

TD02- OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE (2)

Exercice 1 : Questions de cours (à savoir faire sans le cours sous les yeux)

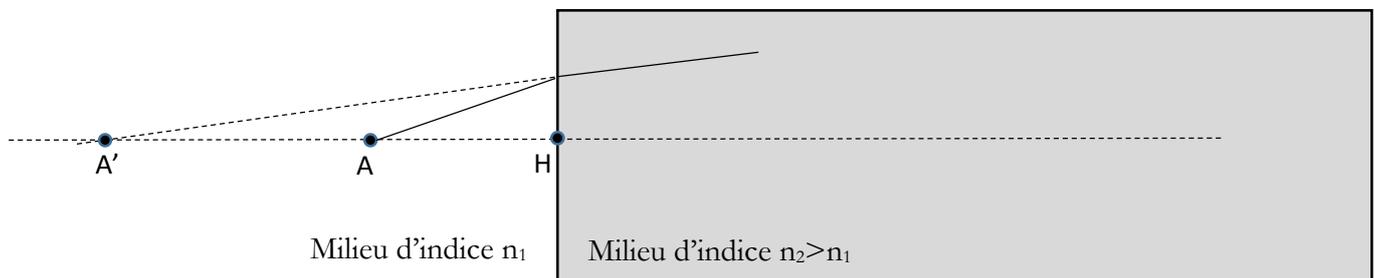
1. Construire l'image d'un objet réel AB à travers un miroir plan.
2. Construire l'image d'un objet virtuel AB à travers un miroir plan.
3. Quelles sont les propriétés du miroir plan ? Quel est son grandissement ?
4. Enoncer les conditions permettant un stigmatisme approché (dites conditions de Gauss).
5. Qu'est-ce qu'une lentille mince ?
6. Quelle est la définition du centre optique d'une lentille ? Même question pour le foyer principal image, le foyer principal objet, les foyers secondaires (images et objets), la distance focale et la vergence d'une lentille.
7. Déterminer graphiquement l'image donnée par une lentille mince sphérique convergente, utilisée dans les conditions de Gauss, des objets plans suivants perpendiculaires à l'axe optique orientés dans le sens de la lumière incidente. Préciser dans chaque cas les caractéristiques de l'image obtenue (c'est-à-dire réelle ou virtuelle, le signe du grandissement, la valeur absolue du grandissement par rapport à 1) :
 - a. Objet réel AB avant le foyer et tel que $-\infty < \overline{OA} < f$
 - b. Objet réel AB entre le foyer et le centre optique : $f < \overline{OA} < 0$
 - c. Objet virtuel AB tel que $0 < \overline{OA} < +\infty$
 - d. Objet réel AB situé à l'infini : $\overline{OA} = -\infty$
8. Reprendre la question 7. pour une lentille divergente dans les cas :

$$-\infty < \overline{OA} < f ; \quad f < \overline{OA} < 0 ; \quad 0 < \overline{OA} < f ; \quad f < \overline{OA} < +\infty ; \quad \overline{OA} = -\infty$$
9. Etablir la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente ($D \geq 4f'$).
10. On s'intéresse à un œil humain.
 - a. Proposer un modèle optique simple pour l'œil.
 - b. Donner l'ordre de grandeur de la limite de résolution et de la plage d'accommodation d'un œil.
11. On s'intéresse à un appareil photographique.
 - a. Proposer un modèle optique simple pour un appareil photographique.
 - b. Construire géométriquement la profondeur de champ (à définir) pour un réglage donné.
12. On s'intéresse à une lunette astronomique. Faire un schéma du parcours de trois rayons à travers la lunette. En déduire l'expression du grossissement en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

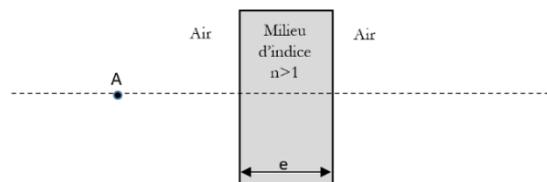
PARTIE 1 : OBJET/IMAGE

Exercice 2* : Image à travers une lame de verre (inspiré CCP MP 2013)

1. On trace l'image de A à travers le dioptre plan ci-dessous. Orienter le rayon tracé et en tracer un deuxième passant par A et justifiant la position de A'. L'image est-elle réelle ou virtuelle ? Justifier.



2. Montrer que, dans les conditions de Gauss, $\frac{n_1}{HA} = \frac{n_2}{HA'}$.
3. Tracer l'image de A à travers la lame de verre d'épaisseur e ci-dessous. L'image est-elle réelle ou virtuelle ? Justifier.



4. Montrer que $\overline{AA'} = e \left(1 - \frac{1}{n}\right)$. Cette relation est appelée relation de conjugaison pour une lame à face parallèle. NB : on pourra tracer l'image intermédiaire à travers le premier dioptre A_1 , puis utiliser la question 2.

PARTIE 2 : MIROIRS PLANS

Exercice 3 : Champ de vision

Déterminer la hauteur minimale L d'un miroir plan placé verticalement pour qu'un homme de taille $H=1,80$ m puisse se voir en entier dans le miroir. A quelle distance h au-dessus du sol et à quelle distance d de l'homme doit être placé le miroir ? On suppose que ses yeux sont situés à 10 cm en dessous du sommet du crâne.

Exercice 4 : Angles morts

On considère que les rétroviseurs extérieurs d'une voiture sont des miroirs plans. Montrer que, quand le conducteur regarde dans les rétroviseurs extérieurs, il existe un « angle mort ».

Pour votre culture : en fait, pour éviter des angles morts trop grands (et donc trop dangereux), on a recours à des rétroviseurs à miroirs sphériques (hors programme). Malheureusement, même comme cela, les angles morts existent toujours.

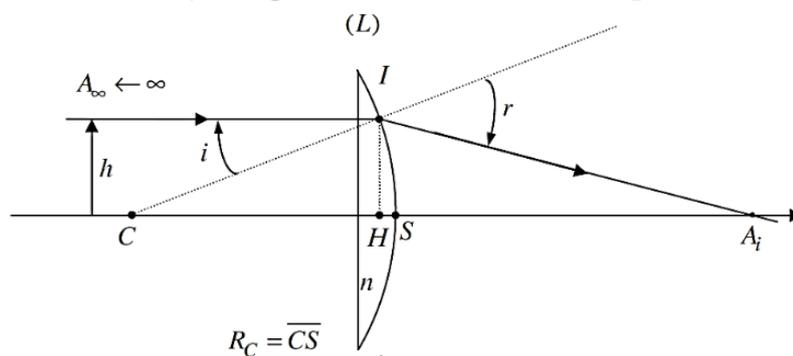
Exercice 5 : Coin de cube

Un coin de cube est constitué de 3 miroirs plans disposés orthogonalement, formant un coin au point O , origine de la base orthonormée directe (O, x, y, z) .

1. Par des considérations de symétrie, déterminer la position de l'image A' par le coin de cube d'un objet réel A .
2. En déduire la direction d'un rayon lumineux émergent du coin de cube par rapport à la direction du rayon incident.
3. De tels réflecteurs ont été déposés sur la surface de la Lune : quel peut-être leur rôle ?

PARTIE 3 : LENTILLES MINCES

Exercice 6* (extrait CCP MP 2013) : vergence d'une lentille mince plan convexe



Exprimer, dans les conditions de Gauss, la vergence d'une lentille mince plan convexe sphérique en fonction de son rayon de courbure R_C et de son indice n .

N.B. : Dans les conditions de Gauss, H est confondu avec S et la distance focale de la lentille vaut SA_i .

Exercice 7 : doublet de lentilles

On considère l'association de deux lentilles minces L_1 et L_2 . L_1 est une lentille convergente de centre O_1 et de foyer F_1 , dont la distance focale est $f_1 = 10$ cm. L_2 est une lentille divergente de centre O_2 et de foyer F_2 , dont la distance focale est $f_2 = -15$ cm. Les centres O_1 et O_2 sont séparés de $d=30$ cm. On considère un objet A situé à 20 cm à gauche de L_1 . Déterminer son image A' à travers le dispositif constitué de deux lentilles :

1. Par une méthode graphique (objet AB transverse).
2. En utilisant les relations de conjugaison.

Exercice 8 (extrait sujet oral CCP filière PSI, 2016) : Déterminer la position d'un objet

On veut, à l'aide d'une lentille de vergence 50δ , observer un objet de 5 mm de haut en réalisant un montage de grandissement $+5$. Calculer les positions de l'objet et de l'image et réaliser la construction géométrique.

Exercice 9 : Association miroir/lentille

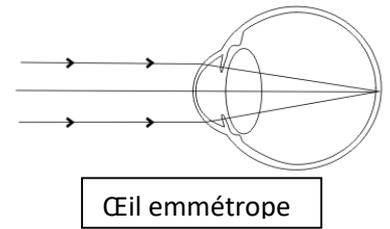
Un système optique est formé d'une lentille mince de distance focale $f = 2d = 30$ cm et d'un miroir plan disposé à la distance $d = 15$ cm derrière la lentille. Déterminer, en fonction de la distance d , la position de l'image que ce système donne d'un objet situé à $d = 15$ cm avant la lentille. Définir la nature de l'image.

PARTIE 4 : INSTRUMENTS D'OPTIQUE

Exercice 10* : l'œil

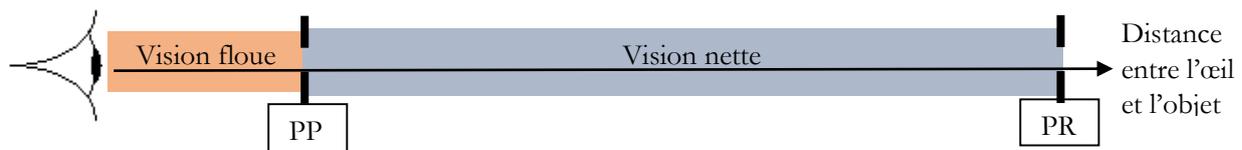
Pour qu'un œil puisse voir un objet nettement, il faut que l'image de l'objet observé se forme sur la rétine. Toute image se formant devant ou derrière la rétine paraît floue.

Un œil normal (dit emmétrope) forme une image nette sur la rétine pour tout objet éloigné (dit « à l'infini »). Autrement dit, au repos, la distance focale du cristallin est située sur la rétine. Pour que l'image d'un objet proche se forme toujours sur la rétine, le cristallin modifie sa distance focale en se déformant grâce aux muscles ciliaires : on dit que l'œil accommode. L'œil ne peut que diminuer sa distance focale, il ne peut pas l'agrandir.

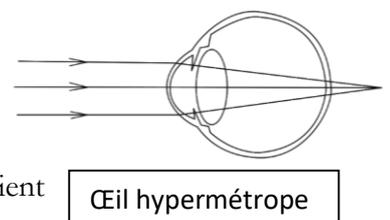
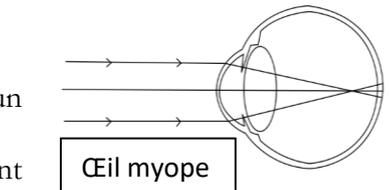


Chaque œil possède ses propres limites d'accommodation qui correspondent à deux points particuliers :

- Le Punctum Proximum (noté PP) est le point le plus proche visible nettement par l'œil.
- Le Punctum Remotum (noté PR) est le point le plus éloigné visible nettement par l'œil.



1. Rappeler le modèle réduit de l'œil. Par quoi modélise-t-on l'iris ? Le cristallin ? La rétine ?
2. Quel est le PR d'un œil emmétrope ?
3. **Myopie.** Un œil myope est un œil trop grand ou trop convergent. Autrement dit, au repos, la distance focale du cristallin est située avant la rétine.
 - a. Comparer le PR d'un œil myope à celui d'un œil emmétrope.
 - b. Comparer le PP d'un œil myope à celui d'un œil emmétrope.
 - c. Avec quels types de verres corrige-t-on la myopie ? Justifier à l'aide d'un schéma.
 - d. Donner le signe de la vergence des verres correcteurs d'un patient myope.
 - e. Pourquoi les personnes myopes retirent-elles leurs lunettes pour voir quelque chose de très près ?
4. **Hypermétropie.** Un œil hypermétrope est un œil trop petit ou pas assez convergent. Autrement dit, au repos, la distance focale du cristallin est située après la rétine.
 - a. Comparer le PR d'un œil hypermétrope à celui d'un œil emmétrope.
 - b. Comparer le PP d'un œil hypermétrope à celui d'un œil emmétrope.
 - c. Avec quels types de verres corrige-t-on l'hypermétropie ? Justifier à l'aide d'un schéma.
 - d. Donner le signe de la vergence des verres correcteurs d'un patient hypermétrope.
 - e. Pourquoi les patients hypermétropes ne portant pas leurs lunettes peuvent être sujets à de fortes migraines ?
 - f. Pourquoi déconseille-t-on fortement aux enfants atteints d'hypermétropie de se faire opérer au laser pour ne plus porter de lunettes ?
5. **Presbytie.** Un œil atteint de presbytie est un œil qui n'arrive plus à accommoder (l'œil est « usé », les muscles ciliaires fonctionnent mal). Autrement dit, pour un œil emmétrope atteint de presbytie, la distance focale du cristallin au repos est toujours située sur la rétine, mais elle est très peu modifiable.
 - a. Comparer le PR d'un œil atteint de presbytie à celui d'un œil emmétrope.
 - b. Comparer le PP d'un œil atteint de presbytie à celui d'un œil emmétrope.
 - c. Donner le signe de la vergence des verres correcteurs d'un patient atteint de presbytie. Pourquoi les patients doivent-ils porter des verres dits « progressifs » ?
 - d. Quelle est la différence entre un patient hypermétrope et un patient presbyte ?



- e. Pourquoi les patients atteints de forte myopie ont une presbytie qui se déclare plus tard que les autres (voire jamais) ?
- f. Conseilleriez-vous à une personne âgée de 40 ans et atteinte de forte myopie de se faire opérer au laser pour ne plus porter de lunettes ? Justifier.
6. **Amplitude d'accommodation.** On note $d_0 = \overline{OA_0}$ la mesure algébrique repérant la position d'un objet lumineux A_0B_0 perpendiculaire à l'axe optique du cristallin et dont l'image se forme sur la rétine. La position de l'image est repérée par la grandeur algébrique $d_i = \overline{OA_i}$.
- Données :*
- La distance entre le cristallin et la rétine est fixe et vaut $D = 16,7 \text{ mm}$.
 - On prendra, pour un œil emmétrope, un *punctum proximum* de $PP_e = 25 \text{ cm}$ et pour un œil presbyte, $PP_p = 35 \text{ cm}$.
- a. Donner la relation entre la vergence du cristallin V , d_0 et d_i . Donner la dimension de V et son unité.
 - b. Calculer la valeur maximale de la vergence V_{\max} quand l'œil emmétrope regarde un objet au PP.
 - c. Calculer la valeur minimale de la vergence V_{\min} quand l'œil emmétrope regarde un objet au PR.
 - d. La variation de la vergence de l'œil $A = V_{\max} - V_{\min}$ est appelée amplitude d'accommodation. Calculer A pour un œil emmétrope.
 - e. Calculer l'amplitude d'accommodation pour un œil atteint de presbytie. Comparer à l'œil emmétrope.
7. **Pouvoir séparateur.** L'expérience montre que deux images ponctuelles a' et b' sur la rétine ne sont différenciées par le cerveau que si elles sont écartées au moins d'une distance minimum d . Les points objets correspondants ne sont donc différenciés que si l'angle sous lequel l'œil les voit est supérieur à la valeur limite ϵ appelé pouvoir séparateur.
- a. Sachant que ϵ est de l'ordre d'une minute d'arc (soit $(1/60)^\circ$), déterminer la distance minimale ab entre les points a et b que peut distinguer un œil normal de $PP = 25 \text{ cm}$.
 - b. Quel est dans ce cas la distance focale f du cristallin et la distance $a'b'$ des images ?
 - c. Calculer ab pour un œil myope de $PP = 7,5 \text{ cm}$. Conclure.
8. **Une histoire pour enfant.** On lit dans un livre pour enfant l'histoire suivante : « Mattéo fait la sieste après avoir posé ses lunettes à côté de lui. Au bout d'un certain temps, l'herbe s'enflamme ! Mattéo cherche alors désespérément à récupérer ses lunettes mais il ne les voit pas car il est très myope ! ». L'auteur de cette histoire a-t-il fait des études scientifiques ? Justifier.

Exercice 11* : la lunette astronomique

On représente une lunette astronomique par deux lentilles minces convergentes : l'objectif L_1 de focale $f_1 = 80 \text{ cm}$ et de diamètre $D = 60 \text{ mm}$, et l'oculaire L_2 de focale $f_2 = 6 \text{ mm}$. 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.

- Quelle est la distance h entre L_1 et L_2 ? Quel est l'intérêt de ce réglage ?
- Représenter sur un schéma, sans respecter l'échelle, le devenir de deux rayons incidents parallèles (l'un passant par le centre optique de l'objectif, et l'autre passant par le foyer objet de l'objectif) faisant un angle α avec l'axe optique et émergeant de la lunette sous un angle α' dans les conditions de Gauss. On appellera $A'B'$ l'image intermédiaire.
- Le grossissement d'une lunette est défini comme le rapport entre l'angle sous lequel est vu l'objet en présence de la lunette et l'angle sous lequel est vu l'objet à l'œil nu (sans la présence de la lunette). Montrer que $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$, puis déterminer l'expression de G en fonction de f_1 et f_2 .
- Si on estime à environ 30° l'angle maximal sous lequel un observateur voit l'image d'un objet à travers la lunette, cet observateur peut-il voir Mars en entier dans la lunette ? Même question pour la Lune.
Données : au moment de l'observation, la distance Terre Mars est égale à $7,0 \cdot 10^7 \text{ km}$ et la distance Terre Lune est égale à $3,8 \cdot 10^5 \text{ km}$. Le diamètre de Mars vaut 6800 km ; le diamètre de la Lune vaut 3400 km .
- Tous les rayons incidents qui pénètrent dans l'objectif de la lunette donnent des rayons émergents qui, à la sortie de l'instrument, passent à l'intérieur d'un cercle appelé cercle oculaire.
 - a. Le cercle oculaire est l'image de l'objectif par l'oculaire. Déterminer graphiquement sa position.
 - b. Etablir la relation qui lie le diamètre d du cercle oculaire, le diamètre D de l'objectif et G . Faire l'AN.
 - c. Quelle est la position du cercle oculaire par rapport à l'oculaire ?
 - d. Où faut-il placer l'œil pour avoir une observation optimale ?
 - e. Quelle taille maximale le cercle oculaire ne doit-il pas dépasser lors d'une observation visuelle ?