

Chapitre 2

■ Optique géométrique ■

Les ordres de grandeur utiles

| | |
|------------------------------------|---|
| vitesse de la lumière dans le vide | $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| constante de Planck | $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ |
| longueur d'onde (visible) | $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$ |
| fréquence (visible) | $4 \cdot 10^{14} \text{ Hz} < \nu = c/\lambda < 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ |

Table 1 : La lumière

| | |
|--|---|
| pouvoir séparateur | $\varepsilon \approx 1' \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ (soit 1 mm à 1 m de distance) |
| Limite de vision distincte d'un œil normal | $PP \approx 25 \text{ cm}$ et $PR = \infty$ |

Table 2 : L'œil

| | |
|-------------------------------|--|
| vide ; air | $n_{\text{vide}} = 1 ; n_{\text{air}} = 1,00029$ $n_{\text{air}} - 1 \approx 3 \cdot 10^{-4}$ |
| eau ; verre ordinaire ; flint | $n_{\text{eau}} = 1,33 ; n_{\text{verre}} \approx 1,5 ; n_{\text{flint}} \approx 1,8$ |

Table 3 : Indices de réfraction

| | |
|-----------------------------------|---|
| lentille convergente ; divergente | $f' \approx 10, 20 \text{ ou } 50 \text{ cm} ; f' \approx -10 \text{ cm}$ |
| précision du goniomètre | 1 minute d'arc = $2,9 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ |

Table 4 : En TP

Le cours d'abord

Cadre de l'optique géométrique

Question 1 Quelle inégalité faut-il respecter pour être dans le cadre de l'optique géométrique ? Est-elle vérifiée dans le cas des systèmes optiques usuels ? Citer des cas où l'optique géométrique ne s'applique pas.

Question 2 Comment est défini l'indice de réfraction d'un milieu transparent ? Pourquoi sa valeur est-elle toujours supérieure ou égale à un ?

Question 3 Qu'est-ce qu'un rayon lumineux ?

Question 4 Comment se propage la lumière dans un milieu homogène ?

Question 5 Définir la notion de « dioptré » et en donner des exemples. Comment est défini le plan d'incidence en un point d'un dioptré ?

Lois de Descartes

Question 6 Énoncer les deux lois de Descartes-Snell aussi bien pour le rayon réfléchi que pour le rayon réfracté (en évitant de se limiter aux seules formules...). De quel moyen simple dispose-t-on pour savoir si, lors d'une réfraction, le rayon s'écarte ou se rapproche de la normale ? Que ne prévoit pas l'optique géométrique ?

Question 7 Dans quel cas parle-t-on de réfraction limite ? Donner l'expression de $\sin i_\ell$. Définir proprement la notion de réflexion totale et en donner des exemples pratiques.

Formation d'images

Question 8 Que signifient les notions de « stigmatisme » et d'« aplanétisme » ?

Question 9 Donner la définition précise de « objet » et « image », ainsi que de « réel(le) » et « virtuel(le) ». Faire pour chacune des quatre possibilités (OR, OV, IR et IV) un schéma avec quelques rayons.

Question 10 Le stigmatisme rigoureux est une propriété rare ; quels arguments font que dans la pratique on peut se contenter d'un stigmatisme approché ? Énoncer pour un système centré les conditions de Gauss limitant les aberrations géométriques et permettant un stigmatisme approché.

Le miroir plan

Question 11 Rappeler les propriétés du miroir plan : position de l'image, grandissement, ... En quoi sont-elles remarquables ?

Question 12 Montrer sur un schéma et en s'appuyant sur une interprétation en termes de faisceau, que l'image d'un objet réel par un miroir plan est virtuelle et inversement ; en donner une application dans chaque cas.

Les lentilles minces

Question 13 Quelle inégalité définit une lentille « mince » ? Quelle conséquence en tire-t-on pour un rayon passant par son centre ? Comment sont définis les foyers et comment sont-ils placés par rapport à la lentille ? Distinguer les deux cas de lentilles en précisant si les foyers sont réels ou virtuels. Comment s'exprime la distance focale et quel est son signe ?

Question 14 Rappeler les formules de conjugaison des lentilles avec origine au centre optique (formule de Descartes). Que vaut le grandissement ? L'image est homothétique de l'objet par rapport à quel point ?

Question 15 Construire l'image d'un objet réel (d'abord avant F puis après F) par une lentille convergente. Interpréter le résultat en termes de faisceau. Reprendre avec un objet virtuel.

Question 16 Qu'observe-t-on lorsqu'on envoie un faisceau convergent sur une lentille divergente (deux cas sont à distinguer : objet virtuel proche de la lentille, avant F , et objet éloigné, après F) ?

Question 17 Par quelle(s) construction(s) obtient-on le rayon émergent correspondant à un rayon incident quelconque ? S'exercer sur les lentilles.

Question 18 On associe deux lentilles minces de même axe et de distances focales f_1' et f_2' .

- Les lentilles sont accolées (l'interstice $e = \overline{O_1O_2} \approx 0$) ; quelle est la distance focale f' de la lentille mince équivalente ? Justifier l'utilisation de la vergence exprimée en dioptries.
- Les deux lentilles sont dissociées ($e = \overline{O_1O_2} \neq 0$) et on définit l'intervalle optique Δ par $\Delta = \overline{F_1'F_2}$; à quelle condition le système est-il afocal (définir ce terme) ?

L'œil

Il est traité à l'exercice 50. et évoqué dans les questions 43., 44. et 45..

Conseils à suivre – Erreurs à éviter

- Les angles de réflexion et de réfraction (pour l'application de la loi de Descartes) sont toujours définis par rapport à la normale au dioptre (et non pas par rapport au dioptre).
- La réflexion totale sur un dioptre n'existe que si l'on passe dans un milieu moins réfringent, c'est-à-dire d'indice plus petit (exemple verre \rightarrow air), et ceci pour un angle d'incidence supérieur à l'angle limite i_ℓ .
- La recherche de l'image d'un objet à distance finie doit commencer par un dessin avec une construction soignée en suivant les recommandations ci-dessous :
 - utiliser trois rayons particuliers fléchés (avec 1, 2 ou 3 flèches) dans l'ordre suivant : 1. le rayon qui passe par le centre et qui n'est pas dévié, 2. le rayon qui arrive parallèlement à l'axe et qui ressort par le foyer image et enfin 3. le rayon qui arrive par le foyer objet et qui ressort parallèlement à l'axe. Sans oublier que l'axe optique constitue lui-même le support d'un rayon ;
 - caractériser l'image construite par ses trois propriétés dans l'ordre : réelle ou virtuelle, droite ($\gamma > 0$) ou renversée ($\gamma < 0$), plus grande ($|\gamma| > 1$) ou plus petite ($|\gamma| < 1$) que l'objet ;
 - ne pas oublier de caractériser l'opération réalisée par la lentille en terme de faisceau : le faisceau incident, s'il est divergent (objet réel) est-il rendu plus ou moins divergent (image virtuelle) ou convergent (image réelle) ? le faisceau incident, s'il est convergent (objet virtuel) est-il rendu plus ou moins convergent (image réelle) ou divergent (image virtuelle) ?

S'exercer à construire l'image d'un objet (d'abord réel puis virtuel) par une lentille (d'abord convergente puis divergente).

- Ne pas confondre objet et image : on ne voit pas un objet à travers une lentille, mais son image.
- Ne pas évoquer « le foyer » ou « le plan focal » d'une lentille puisque dans chaque cas il y en a deux, mais bien préciser « le foyer objet » ou « le foyer image » d'une part et « le plan focal objet » ou « le plan focal image » d'autre part.
- Foyer objet F et foyer image F' ne sont pas conjugués !
- Il faut connaître les formules de conjugaison.

En particulier pour les lentilles $\frac{1}{x'} - \frac{1}{x} = \frac{1}{f'}$ se souvenir qu'au premier membre l'ordre est « image moins objet égale... ».

En cas de doute, on se rappelle que pour un objet réel à l'infini $x \rightarrow -\infty$ donc $\frac{1}{x} \rightarrow 0$

et d'après la formule de conjugaison $\frac{1}{x'} \rightarrow \frac{1}{f'}$ c'est-à-dire $x' \rightarrow f'$, on retrouve bien l'image au foyer image.

- Toutes les grandeurs en optique géométrique sont algébriques, c'est-à-dire qu'elles ont un signe ! Ainsi il faut traduire « on photographie un objet à une distance de 5 m » par $x = \overline{OA} = -5$ m.
C'est le cas aussi des distances focales, des grandissements,...
- Une erreur de signe est de ce fait très mal vue et conduit bien sûr à des applications numériques fantaisistes.
- Il est impossible d'obtenir une image réelle à partir d'un objet réel avec une lentille divergente (et donc pas de projection possible avec une telle lentille).
- Le grandissement transversal est défini, de façon générale, par $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ qui n'est pas une expression du grandissement. Le grandissement n'est pas caractéristique d'un système, il dépend du couple (A, A') .
- Un objet virtuel pour un système optique S peut toujours être considéré comme l'image réelle d'un système optique précédent S' . Le système S étant placé trop près de S' empêche les rayons de se couper réellement.
- Lorsqu'un objet est à l'infini (ou du moins à très grande distance par rapport à la distance focale par exemple), il est interdit de le dessiner sur la figure ; tout point de l'objet envoie alors des rayons parallèles entre eux (plus ou moins inclinés sur l'axe optique du système en fonction du point choisi).
- L'approximation des petits angles, du type $\tan \alpha \approx \alpha$, suppose que l'angle soit exprimé en radians. Il faut s'exercer à convertir des minutes ou secondes d'arc en radians ou l'inverse comme en TP. Rappelons que π rad correspondent à 180° , que 1° est constitué de $60'$ (minutes d'arc) et que $1'$ est constituée de $60''$ (secondes d'arc).
- Lorsque l'étude porte sur un système de deux lentilles disjointes par exemple, l'image donnée par la première devient objet pour la seconde et l'application successive de deux formules de conjugaison (avec origines différentes !) conduit vite à une formule littérale lourde ; il faut dans ce cas préférer les applications numériques intermédiaires et éviter de substituer une formule littérale dans l'autre.
- L'unité pratique usuelle dans le commerce, pour les distances focales de lentilles utilisées en TP ou celles des objectifs d'appareils photos, de projecteurs,... est souvent le millimètre ; s'en souvenir et convertir en mètre avant l'application numérique.
- L'unité de vergence est la dioptrie δ qui s'identifie à un m^{-1} .

Applications directes du cours

Loi de Descartes

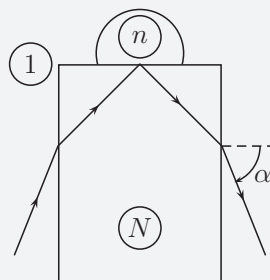
Question 19 Un rayon lumineux dans l'air tombe sur la surface d'un liquide ; il fait un angle $\alpha = 56^\circ$ avec le plan horizontal. La déviation entre le rayon incident et le rayon réfracté est $\theta = 13,5^\circ$. Quel est l'indice du liquide ?

Question 20

Un réfractomètre de Pulrich est constitué d'un bloc de verre de section rectangulaire d'indice N connu, sur lequel on a déposé une goutte d'un liquide d'indice n inconnu. On observe un faisceau de rayons parallèles à la limite réfraction – réflexion totale et on mesure l'angle α correspondant.

Établir l'expression de n en fonction de N et de α .

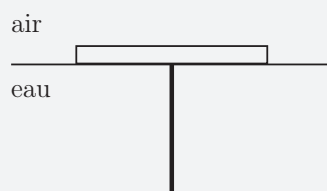
AN : Calculer n sachant que $N = 1,63$ et $\alpha = 60^\circ$.



Question 21

Un disque en liège de rayon r flotte sur l'eau d'indice n ; il soutient une tige placée perpendiculairement en son centre.

Quelle est la longueur h de la partie de la tige non visible pour un observateur dans l'air ? Citer les phénomènes mis en jeu.



Le miroir plan

Question 22 Une personne de taille 1,80 m se tient debout devant une glace plane verticale. Quelle hauteur minimale doit avoir cette glace pour que la personne s'y voie entièrement ? Ce résultat dépend-il de la distance à laquelle se trouve la personne ? Si la glace possède cette dimension minimale, à quelle hauteur convient-il de la placer ?

Question 23 Un rayon lumineux tombe sur un miroir plan ; le miroir tourne d'un angle α , de combien tourne le rayon réfléchi ?

Les lentilles minces

Question 24 On forme à l'aide d'une lentille convergente de distance focale image f' , l'image d'un petit objet placé à une distance $2f'$ en avant de la lentille. L'objet est-il

réel ou virtuel ? Où doit-on placer l'écran pour obtenir une image nette ? Comparer la taille de l'image et celle de l'objet.

Question 25 L'objectif d'un appareil photographique est assimilé à une lentille convergente (L) de distance focale $f' = 50$ mm. La distance entre (L) et le capteur CCD (C) où se forme l'image est variable pour permettre la mise au point. On désire photographier des objets dont la distance à (L) varie entre $D = 0,60$ m et $D \rightarrow \infty$. Donner les valeurs d_{\min} et d_{\max} correspondantes ; commentaire.

Question 26 Un petit objet est placé à $L = 1$ m d'un écran sur lequel on souhaite former son image à l'aide d'une lentille mince convergente de distance focale image $f' = 9$ cm. À quelle distance l de l'objet doit-on placer la lentille pour que l'image nette sur l'écran soit de belle taille ? Quel est alors le grandissement γ ?

Question 27 Un joaillier veut voir un petit diamant 5 fois plus grand qu'il n'est en réalité, et cela, quand il le tient à 4 cm derrière une loupe. Quelle doit être la distance focale de la loupe ?

Question 28 La Lune est vue sous un diamètre angulaire $\alpha = 31'$ (minutes d'arc) ; convertir cet angle en radians. On en fait l'image sur un écran à l'aide d'une simple lentille convergente de distance focale $f' = 50$ cm. Où est placé l'écran et quel est le diamètre de l'image ?

Question 29 Un objet virtuel est placé à 2 cm d'une lentille divergente de distance focale -3 cm. Faire la construction à l'échelle de l'image (trois rayons) et déterminer sa position ainsi que le grandissement transversal.

Question 30 — Vidéo projecteur On désire projeter un objet lumineux AB sur un écran placé à une grande distance D de AB à l'aide d'une lentille convergente. Sachant que le grandissement souhaité, en valeur absolue, est $a = |\gamma| > 1$, exprimer la distance focale f' en fonction des données.

AN : De l'objet à l'image, on souhaite passer de 3,0 cm (taille de la matrice LCD) à 2,0 m pour $D = 5,0$ m ; que doit valoir f' ?

Question 31 — Principe d'une lunette astronomique Une lunette est constituée de deux lentilles convergentes et l'objet se situe à l'infini, vu sous un angle α petit. L'objectif ($f'_1 = 100$ cm) donne une petite image observée à travers l'oculaire ($f'_2 = 2$ cm) afin d'être vue à l'infini sous un angle α' .

Faire un dessin et donner le grossissement $G = \alpha'/\alpha$ de la lunette.

Cette lunette astronomique peut-elle servir à des observations terrestres ? Expliquer.