

# Physique générale : Optique

## Chapitres 1 à 4

<b>0</b>	<b>Conseils généraux</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Lentilles minces</b>	<b>5</b>
1.1	Constructions optiques dans toutes les situations . . . . .	5
1.1.1	Objet à distance finie . . . . .	6
1.1.2	Objet à l'infini . . . . .	7
1.1.3	Rayon quelconque . . . . .	8
1.1.1	Objet à distance finie . . . . .	8
1.1.2	Objet à l'infini . . . . .	9
1.1.3	Rayon quelconque . . . . .	9
1.2	Videoprojecteur . . . . .	10
1.3	La loupe . . . . .	12
1.4	Œil réduit et accommodation . . . . .	13
1.5	Construction géométrique d'objets . . . . .	13
1.5.1	. . . . .	13
1.5.2	. . . . .	14
1.5.3	. . . . .	14
1.5.4	. . . . .	14
<b>2</b>	<b>Miroirs et dioptrés plans</b>	<b>15</b>
2.1	Miroir plan et tracé des rayons . . . . .	15
2.1.1	. . . . .	15
2.1.2	. . . . .	15
2.1.3	. . . . .	16
2.2	Une grenouille intelligente . . . . .	16
2.3	Le chat et le poisson . . . . .	17
2.6	Lois de Snell-Descartes . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Instruments d'optique</b>	<b>21</b>
3.1	Tracés de rayons avec association de lentilles . . . . .	21
3.1.1	. . . . .	21
3.1.2	. . . . .	22
3.2	Des lunettes astronomiques . . . . .	22
3.2.1	. . . . .	23
3.2.2	Lunette de Kepler . . . . .	23

3.2.3	Cercle oculaire . . . . .	25
3.2.4	. . . . .	27
3.2.5	. . . . .	27
3.2.6	Tracé non effectué . . . . .	27
3.2.7	. . . . .	27
3.2.8	Comparaison . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Dioptres et miroirs sphériques</b>	<b>29</b>
4.1	Miroir sphérique . . . . .	29
4.1.1	. . . . .	30
4.1.2	. . . . .	30
4.1.3	. . . . .	31
4.2	Lentille épaisse . . . . .	32
4.2.1	. . . . .	32
4.2.2	. . . . .	32
4.3	Télescope de Newton . . . . .	35
4.3.1	. . . . .	35
4.3.2	. . . . .	36
4.3.3	L'observateurice vise à l'infini . . . . .	37

## CHAPITRE

### 0

# CONSEILS GÉNÉRAUX

Ce document a pour but de rappeler et résumer les conseils, arguments et astuces qui ont pu être vues et énoncées durant les TDs. Il ne remplace ni les séances en elles-mêmes, où votre participation active est nécessaire (c'est en se trompant qu'on sait comment ne pas faire, et donc comment bien faire), ni les CM de votre professeur-e. J'espère néanmoins qu'il saura vous être utile.

La première partie comporte quelques éléments généraux sur l'optique. D'autres conseils et éléments importants sont mis en valeur quand ils sont pertinents : le code couleur reste le même, dans le but d'avoir une structure facilement navigable. Les bases de réflexion, données ou définitions, sont en vert. Les résultats importants, propriétés ou résultats à trouver, sont en rouge. Les points pivots de réflexion, démonstration ou outils à choisir judicieusement, sont en bleu. Les côtés pratiques, exemples et applications, sont en gris.

Les premiers exercices du chapitre 1 sont intégralement corrigés, et certains mots importants (comme « divergent ») ont une note de fin du chapitre 1 avec une brève définition. Ces exercices représentent la base de comment construire sa réflexion face à un exercice de physique (d'optique particulièrement), mais ils ne sont pas tous corrigés ainsi. Ainsi, vous verrez qu'après quelques exemples, je vous renvoie aux corrigés que vous avez à disposition sur *Claroline*. Les schémas y sont clairs et j'espère que ma retranscription écrite du raisonnement derrière ces schémas suffiront à vous guider.

Bonne lecture,

Nora NICOLAS – [n.nicolas@ip2i.in2p3.fr](mailto:n.nicolas@ip2i.in2p3.fr)

### Principe des exercices de physique

Tout exercice de physique suit le schéma suivant :

- 1) Lecture de l'énoncé en français et relevé des données ;
- 2) Traduction des données en schéma si pertinent, et en expression mathématique si pertinent ;
- 3) Compréhension de la réponse attendue ;
- 4) Traduction de la réponse attendue en schéma si pertinent, et en expression mathématique si pertinent ;
- 5) Détermination d'un ou de plusieurs outils (relation mathématique, règle de construction...) du cours faisant le lien entre les données et la réponse : répéter si besoin d'une réponse intermédiaire ;
- 6) Application.

Un exemple est donné partie 1.2.

### Conseils

Avant d'encadrer un résultat :

- 1) Vérifier la cohérence mathématique avec la ligne précédente : les signes devant les grandeurs, le nombre de grandeurs, ne pas oublier les fonctions inverses... ;
- 2) Vérifier l'homogénéité de part et d'autre de l'équation pour les résultats littéraux ;
- 3) Vérifier la cohérence physique de la valeur numérique, notamment à l'aide d'un schéma

### Important

L'erreur la plus simple mais la plus grave à faire est de se tromper sur une grandeur algébrique.

Toujours vérifier le sens des grandeurs algébriques

## CHAPITRE

# 1

## LENTILLES MINCES

### Exercices d'application

#### Exercice 1) Constructions optiques dans toutes les situations

Pour construire une image à partir d'un objet, on utilise les règles de construction :

##### Définition 1.1.1 : Règles de construction

- 1) Tout rayon passant par le centre optique  $O$  n'est pas dévié ;
- 2) Tout rayon incident passant par le foyer objet  $F$  de la lentille émerge parallèlement à l'axe optique ;
- 3) Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en passant par le foyer image  $F'$  de la lentille.

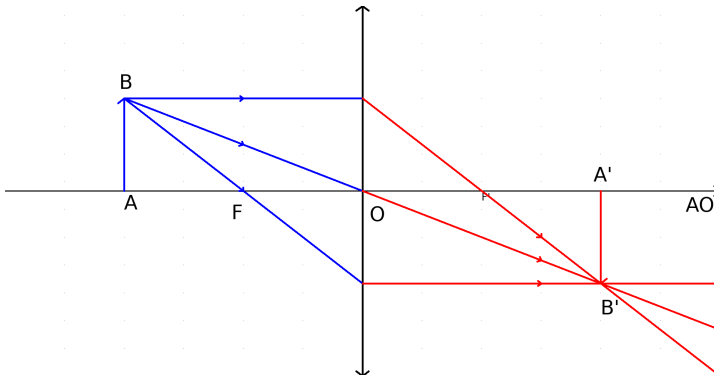
# Constructions pour une lentille convergente

## 1) 1- Objet à distance finie

### 1) 1- a. Avant le foyer objet

On utilise aisément les règles sus-citées en traçant :

- 1) Le rayon passant par  $B$  et par  $O$  : il ne sera pas dévié ;
- 2) Le rayon passant par  $B$  et par  $F$  : il émerge parallèle à l'A.O.<sup>1</sup> ;
- 3) Le rayon passant par  $B$  et parallèle à l'A.O. : il passe par  $F'$  en sortie.



Ces rayons, issus d'un objet réel<sup>2</sup>, se croisent après la lentille : on a un faisceau émergent convergent<sup>3</sup> qui donne une image réelle<sup>4</sup>.

### 1) 1- b. Sur le foyer objet

De la même manière, on trace :

- 1) Le rayon passant par  $B$  et par  $O$  : il ne sera pas dévié ;
- 2) Le rayon passant par  $B$  et  $F$  ne passe pas par le système optique, ce rayon est inutile ;
- 3) Le rayon passant par  $B$  et parallèle à l'A.O. : il passe par  $F'$  en sortie.

Ainsi, à partir d'un objet réel, on obtient des rayons parallèles qui donnent une image à l'infini.

### 1) 1- c. Entre le foyer et la lentille

Tout pareil, on trace :

- 1) Le rayon passant par  $B$  et par  $O$  : il ne sera pas dévié ;
- 2) Le rayon passant par  $B$  et par  $F$  : il émerge parallèle à l'A.O. ;
- 3) Le rayon passant par  $B$  et parallèle à l'A.O. : il passe par  $F'$  en sortie.

Cette fois, à partir d'un objet réel, on obtient un faisceau émergent divergent<sup>5</sup>, donnant une image virtuelle<sup>6</sup>.

### 1) 1- d. Après la lentille

Bien que la situation semble bizarre, le procédé reste le même. On trace un objet après la lentille, puis on trace :

- 1) Le rayon passant par  $B$  et par  $O$  : il ne sera pas dévié ;
- 2) Le rayon passant par  $B$  et par  $F$  : il émerge parallèle à l'A.O. ;
- 3) Le rayon passant par  $B$  et parallèle à l'A.O. : il passe par  $F'$  en sortie.

La seule différence ici, c'est que les rayons dans l'espace objet du système optique ne peuvent pas atteindre l'objet virtuel<sup>7</sup>. On fait partir les rayons de la gauche du système comme s'ils allaient passer par  $B$ , mais une fois arrivés à la lentille on continue les traits en pointillés pour montrer que ce sont des rayons virtuels. Les rayons émergents suivent les règles de la définition 1.1.1, et donnent un faisceau émergent convergent donnant lieu à une image réelle.

### 1) 2- Objet à l'infini

Des rayons parallèles à l'A.O., d'après la règle de construction numéro 3), émergent en coupant l'A.O. au foyer image. On s'intéresse ici à des rayons venant de l'infini, non parallèles à l'A.O.

Pour construire les rayons émergents à partir de rayons quelconques, on utilise deux règles supplémentaires :

#### Définition 1.1.2 : Règles de construction rayons quelconques

- 4) Deux rayons incidents parallèles entre eux donnent des rayons émergents se coupant dans le plan focal image (au même foyer

secondaire image  $\phi'$ );

- 5) Deux rayons incidents se coupant dans le plan focal objet (au même foyer secondaire objet  $\phi$ ) donnent des rayons émergents parallèles entre eux.

Ainsi, pour construire le rayon émergent d'un rayon quelconque, il suffit de prendre un rayon incident parallèle à celui-ci dont on sait construire le rayon émergent : celui qui passe par  $F$  et qui ressortira parallèle à l'A.O., ou celui passant par  $O$  qui ne sera pas dévié. On sait alors que le rayon émergent de notre rayon incident quelconque devra passer par l'intersection entre le rayon émergent particulier que l'on vient de construire et le plan focal image.

### 1) 3- Rayon quelconque

De même que précédemment.

## Constructions pour une lentille divergente

### 1) 1- Objet à distance finie

#### 1) 1- a. Avant le foyer image

Les règles de construction pour une lentille divergente sont les mêmes que celles pour la lentille convergente. La seule différence est que les foyers objet et image sont échangés. On trace donc :

- 1) Le rayon passant par  $B$  et par  $O$  : il ne sera pas dévié ;
- 2) Le rayon passant par  $B$  et par  $F$  : il émerge parallèle à l'A.O. ;
- 3) Le rayon passant par  $B$  et parallèle à l'A.O. : il passe par  $F'$  en sortie.

$F'$  étant maintenant à gauche de  $O$ , on trace en pointillés la partie des rayons émergent qui se situe dans l'espace objet (à gauche de la lentille).

À partir d'un objet réel, on obtient un faisceau divergent, dont l'intersection donne une image virtuelle.



### 1) 1- b. Entre le foyer image et la lentille

Le principe est exactement le même, le résultat est exactement le même.

### 1) 1- c. Sur le foyer objet

De la même manière qu'au point 1) 1- d., on a bien un objet à droite de la lentille, mais le procédé reste le même. On trace :

- 1) Le rayon passant par  $B$  et par  $O$  : il ne sera pas dévié ;
- 2) Le rayon passant par  $B$  et  $F$  ne passe pas par le système optique, ce rayon est inutile ;
- 3) Le rayon passant par  $B$  et parallèle à l'A.O. : il passe par  $F'$  en sortie.

Encore une fois, le rayon 2) provenant de l'espace objet ne peut pas atteindre l'objet virtuel. On le fait partir de la gauche du système optique comme s'il allait passer par  $B$ , mais une fois arrivé à la lentille, on continue le trait en pointillés pour montrer que c'est un rayon virtuel. Le rayon émergent suit la règle de la définition 1.1.1 et passe par le foyer image  $F'$ , qui sera également indiqué en pointillés dans la partie de l'espace objet et en trait plein dans la partie de l'espace image.

Dans le cas où l'objet était au foyer objet, on a alors des rayons émergents parallèles entre eux donnant une image à l'infini.

### 1) 1- d. Entre le foyer objet et la lentille

Même principe qu'à la question précédente. Cette fois les rayons émergents forment un faisceau convergent donnant lieu à une image réelle.

### 1) 1- e. Après le foyer objet

Même principe également. Cette fois les rayons émergents forment un faisceau divergent, donnant lieu à une image virtuelle.

### 1) 2- Objet à l'infini

Pareil qu'avec la lentille convergente.

### 1) 3- Rayon quelconque

Pareil qu'à la question précédente.

**Important 1.1.1 : Résumé de l'exercice**

On a vu qu'à partir de règles de construction simple, il était possible de construire les images, réelles ou virtuelles, à partir de toute situation. On retiendra que le caractère convergent ou divergent d'un faisceau permet de savoir où se forme l'image : dans la prolongation dans le sens positif de la marche des rayons pour un faisceau convergent, et dans la prolongation dans le sens négatif de la marche des rayons pour un faisceau divergent.

**Exercice 2) Videoprojecteur**

Cet exercice est un exemple d'application d'un raisonnement classique à avoir face à un exercice de physique, en référence au premier encadré de ce document.

La lecture de l'énoncé nous indique que l'on a affaire à une lentille mince. La traduction des données nous donne :

**Données**

- 1)  $(AB) = 24 \text{ mm}$  : « l'objet est une matrice de 24 mm » ;
- 2)  $\overline{OA'} = +4 \text{ m}$  : « l'écran se situe à 4 m » (c'est là que se forme l'image, c'est donc la position de  $A'$ ) ;
- 3)  $\overline{OF'} = +5 \text{ cm}$ .

On peut en faire un schéma, et c'est vivement conseillé en optique : cela permet, s'il est bien fait, de savoir à quoi s'attendre numériquement si nécessaire. C'est une méthode supplémentaire pour avoir un avis critique sur une réponse numérique.

La compréhension des réponses attendues nous donne :

**Résultats attendus**

- 1) Que vaut  $\overline{OA'}$  ? : « Déterminer la position et la nature de l'objet » ( $O$  est bon point d'intérêt à partir duquel on peut mesurer des distances, et selon la valeur algébrique de  $\overline{OA'}$  on saura de quel côté de la lentille l'objet se situe, et donc son caractère virtuel ou réel) ;

2) Que vaut  $\overline{A'B'}$  ? : « Déterminer [...] la taille de l'image ».

Les outils dont on dispose qui sont pertinents pour relier les données aux inconnues sont :

### Outils du cours

1) Relation de conjugaison pour une lentille mince :

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

2) Grandissement pour une lentille mince :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

On est donc en mesure de répondre aux questions :

### Application

1) De la relation de conjugaison, on a :

$$\overline{OA} = \left[ \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OF'}} \right]^{-1}$$

Et avec les données,

$$\overline{OA} = -5 \text{ cm}$$

Ainsi, on a un objet réel situé à 5 centimètres à gauche de la lentille.

2) De l'expression du grandissement, on a :

$$\overline{A'B'} = \overline{AB} \times \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Et avec les données,

$$\overline{A'B'} = -1.9 \text{ m}$$

**Remarque**

Attention, comme on a qu'un seul chiffre significatif, on a  $\overline{OA} = -5 \text{ cm}$ , ce qui semble correspondre à la position de  $F$ , mais en réalité ce n'est qu'une approximation numérique. Comme  $\overline{OA'} \gg \overline{OF'}$ , le résultat numérique est proche de  $-\overline{OF'}$ , mais il est évident que si l'objet était en effet au foyer objet, le vidéoprojecteur ne formerait pas l'image sur l'écran mais à l'infini.

**Exercice 3) La loupe****Données**

- 1)  $\overline{OA} = -2 \text{ cm}$
- 2)  $(AB) = 1 \text{ cm}$
- 3)  $\overline{OF'} = 4 \text{ cm}$

**Résultats attendus**

- 1)  $\overline{OA'}$  ?
- 2)  $\overline{A'B'}$  ?

**Outils du cours**

- 1) Relation de conjugaison pour une lentille mince ;
- 2) Grandissement pour une lentille mince.

**Résultats**

$$\overline{OA'} = -4 \text{ cm}$$

$$\overline{A'B'} = 2 \text{ cm}$$

## Exercice 4) Œil réduit et accommodation

### Données

- 1) Rétine = écran, cristallin = lentille ;
- 2) Au repos,  $A$  à l'infini ;
- 3) Au *proximum*,  $A$  à 25 cm ( $\overline{OA} = -25$  cm).

### Résultats attendus

- 1)  $\overline{OF}'_{\text{repos}}$  ?
- 2)  $\overline{OF}'_{\text{accommodation}}$  ?

### Outils du cours

- 1) Relation de conjugaison pour une lentille mince, avec  $\overline{OA}' = \overline{OE} = 22.3$  mm et  $\frac{1}{\overline{OA}} = 0$  quand  $\overline{OA} = -\infty$

### Résultats

$$\overline{OF}'_{\text{repos}} = 22.3 \text{ mm}$$

$$\overline{OF}'_{\text{accommodation}} = 20.6 \text{ mm}$$

## Exercices d'entraînement

### Exercice 5) Construction géométrique d'objets

#### 5) 1-

On a une image réelle. Pour trouver  $B$ , on dessine dans l'espace image les rayons émergents particuliers des règles de construction 1.1.1 et qui se croisent en  $B'$  (c'est bien la finalité d'un objet qui donne une image). On trace, depuis

la lentille, le rayon parallèle à l'axe optique et passant par  $B'$ , le rayon qui passe par  $F'$  et par  $B'$ , et le rayon qui passe par  $O$  et par  $B'$ .

Le premier doit provenir d'un rayon incident passant par  $B$  et par  $F$ . Le seconde doit provenir d'un rayon incident passant par  $B$  et parallèle à l'A.O. Le dernier n'est pas dévié.

Schéma en ligne.

### 5) 2-

Même exercice, mais on échange  $F$  et  $F'$ .

### 5) 3-

On a une image virtuelle. On doit tracer dans l'espace image trois rayons d'intérêt dont la prolongation dans le sens opposé à celle de la marche des rayons passe par  $B'$ . Même principe ensuite.

### 5) 4-

Pareil mais on échange  $F$  et  $F'$ .

## Notes

---

<sup>1</sup>A.O. : axe optique

<sup>2</sup>objet réel : qui existe physiquement, situé avant la face d'entrée du système optique

<sup>3</sup>convergent : dont la prolongation dans le sens positif de la marche des rayons mène à une intersection

<sup>4</sup>image réelle : qui peut être observée sur un support physique dans l'espace image du système, après la face de sortie

<sup>5</sup>divergent : dont la prolongation dans le sens négatif de la marche des rayons mène à une intersection

<sup>6</sup>image virtuelle : qui se forme avant la face de sortie du système optique, et ne peut pas être observée sur un écran

<sup>7</sup>objet virtuel : situé après la face d'entrée, n'ayant pas d'existence physique

## CHAPITRE

# 2

# MIROIRS ET DIOPTRES PLANS

## Exercices d'application

### Exercice 1) Miroir plan et tracé des rayons

#### 1) 1-

On a intersection des rayons incidents avant le miroir, c'est un objet réel. L'image de cet objet par le miroir est son symétrique par rapport au plan du miroir : elle est virtuelle. Les rayons émergents passent par cette image (mais sont en pointillés derrière le miroir).

#### 1) 2-

Les rayons incidents se croisent après le miroir. On a un objet réel. Son image par le miroir plan est son symétrique par rapport au plan du miroir. C'est donc une image réelle (au-dessus du miroir). Les rayons émergents passent par cette image.

### 1) 3-

Ici on a des rayons émergents. Leur intersection est, par définition, le point image. Elle se fait derrière le miroir : c'est un image virtuelle. On obtient l'objet associé en en faisant le symétrique par rapport au plan du miroir : il est donc au-dessus, et c'est un objet réel.

## Exercice 2) Une grenouille intelligente

### Données

Pour une hauteur de grenouille fixée, il y a une taille de nénuphar permettant à tous les rayons partant de la grenouille de ne pas traverser le dioptré.

### But à atteindre

Origine physique de ce phénomène et traduction mathématique.

### Outils du cours

Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

et angle limite de réfraction, tel que :

$$n_1 \sin i_l = n_2 \sin 90^\circ = n_2$$

qui indique que pour  $n_1 > n_2$ , il y a un angle d'incidence à partir duquel il n'y a pas de rayon réfracté (les rayons réfractés font un angle de  $90^\circ$  avec la normale et sont donc parallèles au dioptré).

### Conclusion

Pour qu'il n'y ait pas de rayon sortant de l'eau, il faut que tous les rayons avec un angle d'incidence plus faible que cet angle limite soient bloqués par le nénuphar. Un beau, grand schéma avec toutes les données reportées dessus mène naturellement à l'utilisation de formules trigonométriques de 4<sup>ème</sup>.



**Conseil**

Pour retenir vos formules trigonométriques, un moyen mnémotechnique :

CAH SOH TOA

pour

$$\cos \alpha = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypothénuse}} \quad \sin \alpha = \frac{\text{opposé}}{\text{hypothénuse}} \quad \tan \alpha = \frac{\text{opposé}}{\text{adjacent}}$$

**Important !**

La deuxième plus grosse erreur facile à faire mais cette fois pire que **tout**, c'est d'oublier que :

Les angles de la relation de Descartes sont définis entre les rayons et la normale au dioptre !

Il ne faut pas prendre la surface du dioptre comme référence pour définir des angles.

**Exercice 3) Le chat et le poisson****Données**

- 1) Aquarium  $\equiv$  dioptre plan ;
- 2)  $n_{\text{eau}} = 1.33$ ,  $n_{\text{air}} = 1$  ;
- 3)  $\overline{HA} = -15$  cm.

### Résultats attendus

- 1) Sachant que le poisson observe la lumière partant du chat (point  $A$ ), que vaut  $\overline{HA'}$  ?
- 2) Sachant que le chat observe la lumière partant du poisson (point  $A$ ), que vaut  $\overline{HA'}$  ?

### Outils du cours

Relation de conjugaison pour un objet  $A$  dans un milieu d'indice  $n_1$ , dont l'image  $A'$  est dans un milieu d'indice  $n_2$  :

$$\frac{\overline{HA'}}{\overline{HA}} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{ou} \quad \frac{\overline{HA'}}{n_2} - \frac{\overline{HA}}{n_1} = 0$$

### Application

- 1) Dans ce cas,  $A$ , le chat, est dans un milieu d'indice  $n_1 = 1$  ; son image par le dioptre plan donne  $A'$  dans le milieu d'indice  $n_2 = n_{\text{eau}} = 1.33$ . On adapte donc la relation de conjugaison :

$$\overline{HA'} = n_{\text{eau}} \overline{HA} = -22.5 \text{ cm}$$

- 2) Dans ce cas,  $A$ , le poisson, est dans un milieu d'indice  $n_1 = n_{\text{eau}} = 1.33$ , et son image par le dioptre donne  $A'$  dans l'air d'indice  $n_2 = n_{\text{air}} = 1$ . On adapte donc la relation de conjugaison :

$$\overline{HA'} = \frac{\overline{HA}}{n_{\text{eau}}} < \overline{HA}$$

puisque l'on divise  $\overline{HA}$  par  $n_{\text{eau}} > 1$ .

### Conseils

Réécrire les formules telles que vous les avez apprises en cours, **puis** inclure les données de l'énoncé une par une pour éviter les erreurs...

**Important**

- 1) Ne pas se tromper sur le caractère algébrique des grandeurs ;
- 2) Bien identifier quelle est la source, quel est l'observateur.

## Exercices d'entraînement

### Exercice 6) Lois de Snell-Descartes

Cet exercice est d'une simplicité absolue. Et pourtant...

**Données**

- 1) Rayon incident sur un dioptre entre air et milieu d'indice  $n$  :  
angle avec le dioptre de  $56^\circ$  ;
- 2) Différence d'angle entre rayon incident et réfléchi (« déviation »)  
de  $13.5^\circ$ .

**Résultat attendu**

Indice du liquide.

**Outils du cours**

Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

avec  $n_1$  l'indice du milieu d'indidence,  $n_2$  celui du milieu de réfraction,  $i_1$  l'angle d'incidence et  $i_2$  l'angle de réfraction.

### Application

Un bon schéma fait attentivement est **nécessaire** ici. En effet, les angles donnés ne sont pas ceux qu'on utilise dans la relation de Snell-Descartes.

En appelant  $i$  l'angle entre le rayon et le dioptre, on a

$$i + i_1 = 90^\circ$$

et en appelant  $D$  la déviation entre les deux rayons, on a

$$i + 90^\circ + i_2 + D = 180^\circ$$

On se débrouille pour trouver  $n_2$  sachant qu'on a  $i_1 = 34^\circ$  et  $i_2 = 20.5^\circ$ .

On trouve

$n_2 = 1.6$
-------------

## CHAPITRE

### 3

# INSTRUMENTS D'OPTIQUE

## Exercices d'application

### Exercice 1) Tracés de rayons avec association de lentilles

Les associations de lentilles ne présentent pas de difficultés particulières, une fois les techniques de construction maîtrisées (cf. chapitre 1).

#### 1) 1-

Dans ce premier cas, on doit construire l'image d'un objet réel par l'association de deux lentilles convergentes. Il suffit pour cela de construire l'image de l'objet initial  $\overline{AB}$  par la lentille  $L_1$ , image que l'on appellera  $\overline{A_1B_1}$ . C'est cette image qui servira d'objet à la lentille  $L_2$ , qui en formera l'image finale  $\overline{A'B'}$ .

On procède donc de la même manière que précédemment, en traçant :

- 1) Le rayon passant par  $B$  et par  $O_1$  : il ne sera pas dévié ;
- 2) Le rayon passant par  $B$  et par  $F_1$  : il émerge parallèle à l'A.O.<sup>8</sup> (optionnel quand on est sûr-e de ne pas se tromper avec les deux autres rayons) ;
- 3) Le rayon passant par  $B$  et parallèle à l'A.O. : il passe par  $F'_1$  en sortie.

On obtient un faisceau convergent en sortie de cette lentille, l'intersection des rayons se faisant donc dans leur prolongement dans le sens positif.  $\overline{A_1B_1}$  est une image réelle pour  $L_1$ .

En revanche, cette image, qui est donc l'objet de la lentille  $L_2$ , est dans l'espace image de celle-ci : c'est donc un objet virtuel pour  $L_2$ . On construit donc son image en traçant :

- 1) Le rayon passant par  $B_1$  et par  $O_2$  : il ne sera pas dévié ;
- 2) Le rayon passant par  $B_1$  et par  $F_2$  : il émerge parallèle à l'A.O. (optionnel) ;
- 3) Le rayon passant par  $B_1$  et parallèle à l'A.O. : il passe par  $F'_2$  en sortie.

On fait partir les rayons de la gauche du système comme s'ils allaient passer par  $B_1$ , mais une fois arrivés à la lentille on continue les traits en pointillés pour montrer que ce sont des rayons virtuels. Les rayons émergents suivent les règles de la définition 1.1.1, et donnent un faisceau émergent convergent donnant lieu à une image réelle.

### 1) 2-

De la même manière, on construit  $\overline{A_1B_1}$  à partir de l'action de  $L_1$  sur  $\overline{AB}$ . C'est la situation 1) 1- c. pour la lentille convergente : on obtient une image virtuelle pour  $L_1$ .  $\overline{A_1B_1}$  est cependant dans l'espace objet pour  $L_2$ , et est donc un objet réel pour  $L_2$ . On construit son image comme dans la situation 1) 1- a. pour la lentille divergente, et on obtient une image virtuelle.

## Exercice 2) Des lunettes astronomiques

# Partie 1

**Données**

Association de deux lentilles :

- 1)  $L_1$  « objectif », vergence  $C_1 = 3.125 \delta$ , diamètre  $D = 30 \text{ mm}$  ;
- 2)  $L_2$  « oculaire », vergence  $C_2 = 25 \delta$ .

**2) 1-****Résultat attendu**

Focales de lentilles

**Outil du cours**

Une lentille de focale  $f'$  a pour vergence  $V$  :

$$V = \frac{1}{f'}$$

**Application**

$$\overline{O_1 F'_1} = 32 \text{ cm}$$

$$\overline{O_2 F'_2} = 4 \text{ cm}$$

**2) 2- Lunette de Kepler****2) 2- a.****Définition 3.2.1 : Système afocal**

Est afocal un système pour lequel un objet initial à l'infini donne une image finale à l'infini.

### Interprétation 3.2.1 : Intérêt d'un système afocal

Un système afocal présente comme intérêt de permettre à un œil emmétrope d'observer sans fatigue, étant donné que l'image sortant du système est à l'infini (cf chapitre 1 exercice 4).

## 2) 2- b.

### Résultat attendu

$$\overline{O_1 O_2}$$

### Outils du cours

Règles de construction de rayons :

- 1) Un rayon provenant de l'infini émerge d'une lentille en croisant l'axe optique au plan focal image ;
- 2) Des rayons se croisant dans le plan focal objet d'une lentille émergent parallèles entre eux.

Relation de Chasles :

$$\overline{O_1 O_2} = \overline{O_1 F'_1} + \overline{F'_1 O_2}$$

### Application

Pour que tous les rayons sortant de la lunette soient parallèles entre eux (donnant donc une image à l'infini), il faut que tous les rayons à l'intérieur passent par le plan focal objet de son oculaire.

Or, tous les rayons arrivent dans la lunette parallèles entre eux (objet initial à l'infini) ; il se croisent donc dans le plan focal image de l'objectif.

Pour que la condition soit vérifiée, il faut donc simplement que les plans focaux image de  $L_1$  et objet de  $L_2$  soient confondus ; autrement dit :

$$F'_1 = F_2$$



On a alors  $\overline{O_1O_2} = \overline{O_1F'_1} + \overline{F'_1O_2}$ , et finalement

$$\overline{O_1O_2} = +36 \text{ cm}$$

## 2) 3- Cercle oculaire

### 2) 3- a.

#### Définition 3.2.2 : Cercle oculaire

On appelle cercle oculaire l'image de la monture de l'objectif donnée par l'oculaire.

#### Interprétation 3.2.2 : Utilité du cercle oculaire

Il correspond à la section la plus étroite du faisceau sortant de l'oculaire, où l'œil reçoit le maximum de lumière.

### 2) 3- b.

#### Résultat attendu

$$\overline{O_2C'_k}$$

#### Outil du cours

Par définition,  $C'_k$  est l'image de  $O_1$  par  $L_2$ . On va donc se servir de la relation de conjugaison d'une lentille mince :

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

### Application

On a ici  $O \equiv O_2$ ,  $F' \equiv F'_2$ ,  $A \equiv O_1$  et  $A' \equiv C'_k$ . On a donc :

$$\frac{1}{\overline{O_2 F'_2}} = \frac{1}{\overline{O_2 C'_k}} - \frac{1}{\overline{O_2 O_1}}$$

et après calculs :

$$\overline{O_2 C'_k} = \left[ \frac{1}{\overline{O_2 O_1}} + \frac{1}{\overline{O_2 F'_2}} \right]^{-1} = +4.5 \text{ cm}$$

### 2) 3- c.

#### Résultat attendu

$$D'_k$$

#### Outil du cours

Le diamètre du cercle oculaire s'apparente à la taille d'un objet. On peut donc utiliser le grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

### Application

Avec les données de l'énoncé, on obtient :

$$\gamma = \frac{D'_k}{D} = \frac{\overline{O_2 C'_k}}{\overline{O_2 O_1}}$$

et finalement

$$D'_k = D \times \frac{\overline{O_2 C'_k}}{\overline{O_2 O_1}} = 3.75 \text{ mm}$$

## Partie 2

### 2) 4-

Si l'oculaire est divergent, cela signifie que  $C_3 < 0$ . On a donc  $C_3 = -C_2$ , d'où le résultat demandé.

### 2) 5-

On reprend la question 2) b-, avec cette fois des indices « 3 » au lieu des indices « 2 », et on obtient :

#### Application

$\overline{O_1O_3} = \overline{O_1F'_1} + \overline{F_3O_3}$  avec  $\overline{F_3O_3} = \overline{O_3F'_3} = -4 \text{ cm}$ , d'où

$$\boxed{\overline{O_1O_3} = +28 \text{ cm}}$$

#### Interprétation 3.2.3 : Intérêt

La lunette de Galilée est donc plus compacte que la lunette de Kepler !

### 2) 6- Tracé non effectué

### 2) 7-

### 2) 7- a.

On reprend la question 2) 3- b., avec des indices « 3 » au lieu de « 2 », et on obtient :

#### Application

$$\boxed{\overline{O_3C'_k} = -3.5 \text{ cm}}$$

#### Comparaison

On a cette fois un cercle oculaire virtuel. Il faudra placer son œil le plus près possible de l'oculaire pour espérer avoir le plus de lumière possible.

## 2) 7- b.

On reprend la question 2) 3- c. :

### Application

$$D'_k = 3.75 \text{ mm}$$

## 2) 8- Comparaison

	Avantages	Inconvénients
Lunette Galilée	+ compacte image droite	cercle oculaire virtuel
Lunette Kepler	Grande clarté Cercle oculaire réel	- compacte image renversée

## CHAPITRE

4

# DIOPTRES ET MIROIRS SPHÉRIQUES

## Exercices d'application

### Exercice 1) Miroir sphérique

#### Données

- 1)  $\overline{SC} = +10 \text{ cm}$  ;
- 2) Conditions de Gauss vérifiées.

## 1) 1-

**Résultat attendu**

$$\overline{SF} \quad \text{et} \quad \overline{SF'}$$

**Outil du cours**

1) Relation de conjugaison pour un miroir sphérique :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

2)  $F = F'$  pour un miroir sphérique.

**Application**

Le foyer image est défini comme étant le point en lequel converge un rayon incident venant de l'infini et parallèle à l'A.O. On a donc  $\overline{SA} = +\infty$  et la relation de conjugaison donne directement :

$$\overline{SF} = \overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2} = 5 \text{ cm}$$

## 1) 2-

**Données**

1)  $\overline{SA} = -5 \text{ cm}$

2)  $(AB) = 1 \text{ cm}$

## 1) 2- a.

**Résultat attendu**

1)  $\overline{SA'} = ?$

2)  $\overline{A'B'} = ?$

**Outil du cours**

1) Relation de conjugaison pour un miroir sphérique :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

2) Grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

**Application**

1)

$$\overline{SA'} = \left[ \frac{2}{\overline{SC}} - \frac{1}{\overline{SA}} \right]^{-1} = +2.5 \text{ cm}$$

2)

$$\overline{A'B'} = \overline{AB} \times \left( \frac{-\overline{SA'}}{\overline{SA}} \right) = 0.5 \text{ cm}$$

## 1) 2- b.

On a  $\overline{SA'} > 0$  : l'image se trouve derrière le miroir et est donc virtuelle.

## 1) 3-

Pour déterminer le rayon émergent d'un rayon incident quelconque, on applique les règles 3) et 4) de 1.1.2 : on trace un autre rayon incident parallèle au premier,

qui soit un rayon particulier dont on sait tracer le rayon émergent (passant par  $C$  par exemple). On sait alors que les deux rayons émergents doivent se croiser au même point dans le plan focal objet.

## Exercice 2) Lentille épaisse

### Données

- 1) Association de deux dioptries ;
- 2)  $n = 1.5$  ;
- 3)  $O \equiv C$  ;
- 4)  $\overline{SC} = -15 \text{ cm}$ .

### 2) 1-

L'objet  $\overline{AB}$  passe par un dioptre plan et par un dioptre sphérique.

### 2) 2-

### Données

$$\overline{CA} = -6 \text{ cm}$$

### Résultat attendu

- 1)  $\overline{CA}$  ou  $\overline{SA'}$  a priori ;
- 2)  $\gamma$ .

### Outils du cours

- 1) Relation de conjugaison pour un dioptre sphérique dont l'objet  $A$  est dans un milieu d'indice  $n_1$  et l'image  $A'$  est dans un milieu



d'indice  $n_2$  :

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

- 2) Relation de conjugaison pour un dioptré plan dont l'objet  $A$  est dans un milieu d'indice  $n_1$  et l'image  $A'$  dans un milieu d'indice  $n_2$  :

$$\frac{\overline{OA'}}{n_2} - \frac{\overline{OA}}{n_1} = 0$$

- 3) Grandissement pour un dioptré plan :

$$\gamma_{\text{DP}} = 1$$

- 4) Grandissement pour un dioptré sphérique :

$$\gamma_{\text{DS}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n_1}{n_2} \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

## Application

- 1) Dans notre cas, en partant de l'objet  $\overline{AB}$  dans l'air d'indice 1, donnant une image  $\overline{A_1B_1}$  dans le verre d'indice  $n$  et en appelant  $C$  le sommet du dioptré plan, la première relation de conjugaison donne :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{CA}} = \frac{n}{\overline{CA_1}} = -9 \text{ cm}}$$

On part ensuite de  $\overline{A_1B_1}$  en tant qu'objet dans un milieu d'indice  $n$ , formant une image  $\overline{A'B'}$  dans un milieu d'indice 1 passant par un dioptré sphérique. La relation de conjugaison donne alors :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA_1}} = \frac{1 - n}{\overline{SC}}}$$

Il nous manque a priori la valeur de  $\overline{SA_1}$ , mais une simple relation de Chasles nous donne  $\overline{SA_1} = \overline{SC} + \overline{CA_1} = -24 \text{ cm}$ . En isolant  $\overline{SA'}$ , on obtient :

$$\overline{SA'} = \left[ \frac{n}{\overline{SA_1}} - \frac{n-1}{\overline{SC}} \right]^{-1} = -34 \text{ cm}$$

- 2)  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$ . Sachant que le grandissement d'un dioptré plan, ici  $\frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$ , est égal à 1, et qu'on a  $\gamma_{\text{DS}} = \frac{n}{1} \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA_1}}$ , on obtient

$$\gamma = 2.1$$

### Important !!

On l'a vu mardi 08 octobre, deux choses sont **nécessaires** pour réussir un exercice de ce genre :

- 1) Connaître ses relations de conjugaisons;
- 2) Savoir appliquer les formules théoriques au cas pratique de l'énoncé.

Quand on écrit une formule de conjugaison, il faut toujours penser à quel cas il s'applique. On a l'habitude de nommer  $n_2$  le second milieu, et l'habitude de passer de l'air au verre par exemple, et il est facile de se tromper dans les indices des milieux utilisés. Une méthode sûre pour ne pas se tromper, quitte à perdre du temps, consiste à faire le schéma de l'application théorique de la relation de conjugaison avec les  $n_2$  et  $n_1$ , puis d'appliquer les données de l'énoncé par dessus, pour chaque relation de conjugaison.

## Exercice 3) Télescope de Newton

### Données

- 1) Miroir sphérique de  $\overline{SC} = 16 \text{ m}$  ;
- 2) Observation du Soleil :
  - objet à l'infini ;
  - Conditions de Gauss ;
  - $\theta = 0.5^\circ$

### 3) 1-

### Résultat attendu

- 1)  $\overline{O_1A_1}$  ?
- 2)  $\overline{A_1B_1}$  ?

### Outils du cours

- 1) Objet à l'infini se forme sur le plan focal image ;
- 2) Foyers objet et image confondus pour un miroir sphérique ;
- 3) Relation de conjugaison avec origine au sommet :

$$\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

### Application

- 1) On observe le Soleil, considéré comme un objet à l'infini : d'un objet  $AB$  on obtient un objet  $A_1B_1$  dont  $A_1$  est confondu avec  $F'$ . L'utilisation de la relation de conjugaison avec origine au sommet, en nommant ici  $O_1$  notre sommet comme indiqué sur

l'énoncé, nous donne directement :

$$\overline{O_1 A_1} = \overline{O_1 F'} = \frac{\overline{O_1 C}}{2} = 8 \text{ m}$$

- 2) Pour la taille, on sait qu'elle se forme sur  $F'$ , et on a l'angle de visée. En traçant un rayon d'angle  $\theta$  passant par le centre du miroir, et qui n'est donc pas dévié, on forme un triangle rectangle avec  $\overline{A_1 B_1}$  et  $\overline{A_1 C}$ . On a donc  $\tan \theta = \frac{\overline{A_1 B_1}}{\overline{A_1 C}}$  et finalement comme  $A_1 = F' = F$  et qu'on connaît  $\overline{F' C}$  :

$$\overline{A_1 B_1} = \tan \theta \times \overline{A_1 C} = 7 \text{ cm}$$

### 3) 2-

#### Données

- 1) Miroir plan ;
- 2)  $\overline{O_2 F} = 20 \text{ cm}$ .

#### Résultats attendus

- 1) Nature ?
- 2)  $\overline{O_2 A_2}$  ?
- 3)  $(A_2 B_2)$  ?

#### Outils du cours

- 1) Si l'intersection des rayons émergents (dans le sens de la propagation des rayons ou non), c'est-à-dire là où se forme l'image, est derrière le miroir (i.e. derrière la face réfléchissante), l'image est virtuelle. Si elle est devant, l'image est réelle. Il en vaut de même pour un objet.

- 2) L'action d'un miroir plan sur un objet est d'en faire l'image en symétrique par rapport à son plan.

### Application

- 1) Sur le schéma de l'énoncé, le foyer image du miroir  $M_1$  est derrière le miroir  $M_2$ . Or, nous avons déterminé que c'était là que se formait l'image d'un objet  $\overline{AB}$  par  $M_1$ . L'image  $\overline{A_1B_1}$  pour  $M_1$  et donc l'objet  $\overline{A_1B_1}$  pour  $M_2$  est derrière  $M_2$ , et  $\overline{A_1B_1}$  est un objet virtuel pour  $M_2$ .

Le miroir plan en fait le symétrique par rapport à son plan ; cette image est donc devant le miroir, et  $\overline{A_2B_2}$  est ainsi réelle.

- 2) Par définition du symétrique, la norme d'un vecteur est conservée après action du miroir. En particulier,  $\underbrace{\overline{O_2A_1}}_{\text{avant miroir}} = \underbrace{\overline{O_2A_2}}_{\text{après miroir}}$ , mais comme  $A_1 = F' = F$  et qu'on nous a donné  $\overline{O_2F}$ , on a immédiatement :

$$\overline{O_2A_2} = \overline{O_2F} = 20 \text{ cm}$$

- 3) De même qu'au point précédent, un miroir conserve les distances. On a donc directement :

$$(A_2B_2) = (A_1B_1) = 7 \text{ cm}$$

### 3) 3- L'observateurice vise à l'infini

#### 3) 3- a.

### Données

- 1) Lentille convergente ;
- 2)  $\overline{O_3F'_3} = 4 \text{ cm}$  ;
- 3) Les rayons émergent parallèles entre eux (« L'observateur-ice vise à l'infini »).

### Résultats attendus

$\overline{O_2O_3}$  ?

### Outils du cours

- 1) Des rayons qui se croisent dans le plan focal objet ressortent parallèles à l'axe optique (et inversement) ;
- 2) Relation de CHASLES.

### Application

L'énoncé nous indique donc que l'objet sur lequel agit  $L_3$  se situe sur son plan focal objet. Or, cet objet pour  $L_3$  n'est autre que l'image produite par  $M_2$ ,  $A_2B_2$ , et on en déduit que  $A_2$  est confondu avec  $F_3$ . Il nous reste à écrire que  $\overline{O_2O_3} = \overline{O_2F_3} + \overline{F_3O_3}$  et dire que  $\overline{F_3O_3} = \overline{O_3F'_3}$  pour finalement avoir :

$$\overline{O_2O_3} = \overline{O_2A_2} + \overline{O_3F'_3} = 20 + 4 = 24 \text{ cm}$$

### 3) 3- b.

En formant un rayon depuis  $B_2$  et passant par  $O_3$ , on forme un triangle rectangle entre  $\overline{A_2B_2}$  et  $\overline{F_3O_3}$  étant donné que  $A_2 = F_3$ . On a ainsi

$$\tan \theta' = \frac{A_2B_2}{F_3O_3} \Leftrightarrow \theta' = 66.8^\circ$$

## 3) 3- c.

**Résultat attendu**

Grossissement

**Outil du cours**

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

**Application**

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = 113.6$$