

# Précis d'Optique

STÉPHANE BONNAUD

Novembre 2009

## Avertissement de l'auteur

Ce précis d'optique est destiné à faciliter l'apprentissage de l'optique en spécialité physique-chimie de la classe de Terminale S. Il ne peut en aucun cas remplacer le cours ou les travaux pratiques proposés par votre professeur. L'aspect calculatoire utilisant les formules de conjugaison n'a pas été abordé pour mieux mettre l'accent sur les schémas.

Ce précis traite un à un tous les instruments d'optique à connaître (loupe, microscope, lunette astronomique, miroir plan, miroir sphérique, rétroviseur, télescope de Newton) et présente les schémas à maîtriser absolument. Réaliser des figures justes et propres en temps limité demandera un entraînement régulier sur papier millimétré. Seule une figure correcte permettra de retrouver au millimètre près les valeurs numériques obtenues avec les formules de conjugaison (position d'un objet, d'une image, d'une lentille, d'un cercle oculaire. . .)

L'auteur a tenu à préciser l'histoire de chacun de ces instruments, en justifiant leur utilité et le rôle qu'ils ont joué dans les progrès de la science aux XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles.

Celui qui trouve sans chercher est celui qui a longtemps cherché sans trouver.

Gaston Bachelard

# Table des matières

<b>1</b>	<b>La loupe</b>	<b>4</b>
1.1	Notion de diamètre apparent . . . . .	4
1.2	Propriétés de la loupe . . . . .	5
1.3	Construction de l'image . . . . .	5
1.3.1	Cas où l'œil accommode . . . . .	5
1.3.2	Cas où l'œil n'accommode pas . . . . .	5
1.4	Grossissement de la loupe . . . . .	6
1.5	Applications directes du cours . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Le microscope</b>	<b>7</b>
2.1	Propriétés du microscope . . . . .	7
2.2	Construction de l'image . . . . .	8
2.2.1	Cas où l'œil accommode . . . . .	8
2.2.2	Cas où l'œil n'accommode pas . . . . .	8
2.3	Grossissement du microscope . . . . .	9
2.4	Pupille de l'œil et cercle oculaire . . . . .	10
2.4.1	Pupille de l'œil . . . . .	10
2.4.2	Cercle oculaire . . . . .	10
<b>3</b>	<b>La lunette astronomique</b>	<b>11</b>
3.1	Propriétés de la lunette astronomique . . . . .	11
3.2	Construction de l'image . . . . .	12
3.3	Grossissement de la lunette astronomique afocale . . . . .	12
3.4	Cercle oculaire . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Les miroirs</b>	<b>14</b>
4.1	Le miroir plan . . . . .	14
4.1.1	Propriétés du miroir plan . . . . .	14
4.1.2	Construction de l'image . . . . .	14
4.2	Le miroir sphérique convergent . . . . .	15
4.2.1	Propriétés du miroir sphérique convergent . . . . .	15
4.2.2	Construction de l'image . . . . .	16
4.3	Le miroir sphérique divergent . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Le télescope</b>	<b>18</b>
5.1	Propriétés du télescope de Newton . . . . .	18
5.2	Construction de l'image . . . . .	19
5.3	Grossissement du télescope de Newton . . . . .	19

5.4 Cercle oculaire . . . . .	20
<b>6 Bilan de connaissances</b>	<b>21</b>

# Chapitre 1

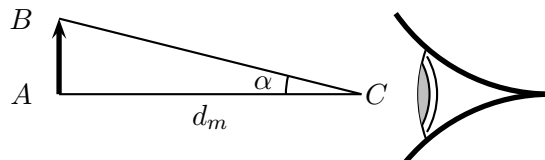
## La loupe

L'invention de la loupe est très ancienne. On peut admirer au musée d'Héraclion en Grèce des morceaux de verre arrondis et polis datant du XVI<sup>e</sup> siècle av. J.-C.

Avant d'aborder la loupe, il convient de maîtriser la notion de diamètre apparent.

### 1.1 Notion de diamètre apparent

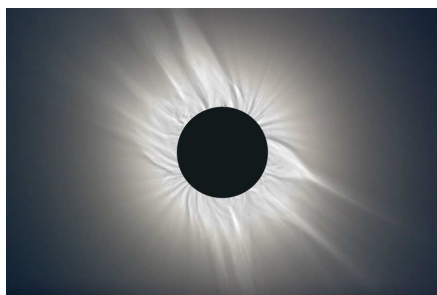
À l'œil nu, pour voir un objet  $AB$  le plus gros possible, il faut l'approcher au plus près de l'œil et le placer à la distance minimale de vision distincte  $d_m$ . Par convention,  $d_m = 25 \text{ cm}$ .



$\alpha$ , l'angle sous lequel est vu l'objet  $AB$ , est appelé le *diamètre apparent*. Si  $\alpha$  est petit ( $\alpha < 10^\circ$ ), on aura :

$$\tan(\alpha) \simeq \alpha \simeq \frac{AB}{d_m}$$

Attention, il s'agit d'un abus de langage, ce diamètre est en réalité un angle, exprimé en degré ou en radian. Pour grossir cet objet, il faudrait augmenter son diamètre apparent en utilisant une loupe par exemple. L'approximation  $\tan(\alpha) \simeq \alpha$  n'est valable que si  $\alpha$  est exprimé en radian.



COURONNE SOLAIRE

Citons quelques exemples de diamètres apparents : le Soleil et la Lune ont sensiblement le même diamètre apparent, environ égal à  $0,5^\circ$ , soit  $30'$  d'angle. C'est pour cela que lors d'une éclipse de Soleil, la Lune occulte exactement le disque solaire, permettant l'observation des éruptions solaires, riches en informations sur la composition du soleil.

## 1.2 Propriétés de la loupe



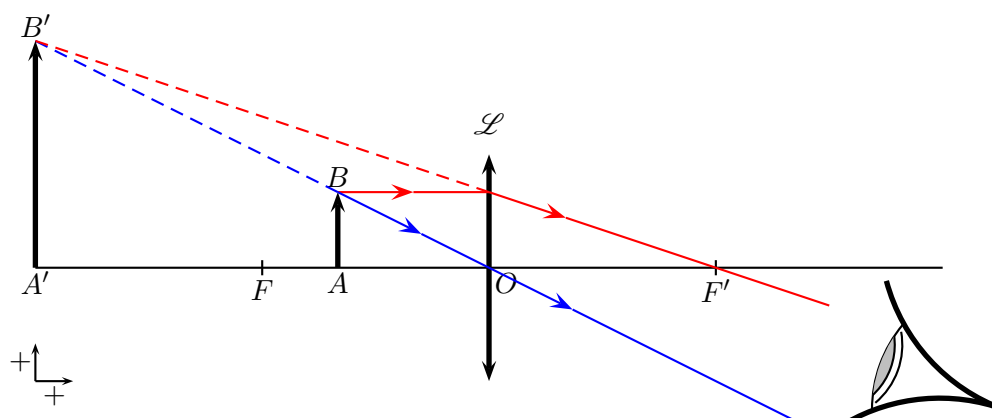
UNE LOUPE

La loupe est un instrument simple constitué d'une seule lentille convergente, utilisée pour observer un objet proche (timbre, insecte). On augmente le diamètre apparent d'un objet en le plaçant entre le plan focal objet de la lentille (contenant  $F$ ) et la lentille.

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}} A'B'$$

## 1.3 Construction de l'image

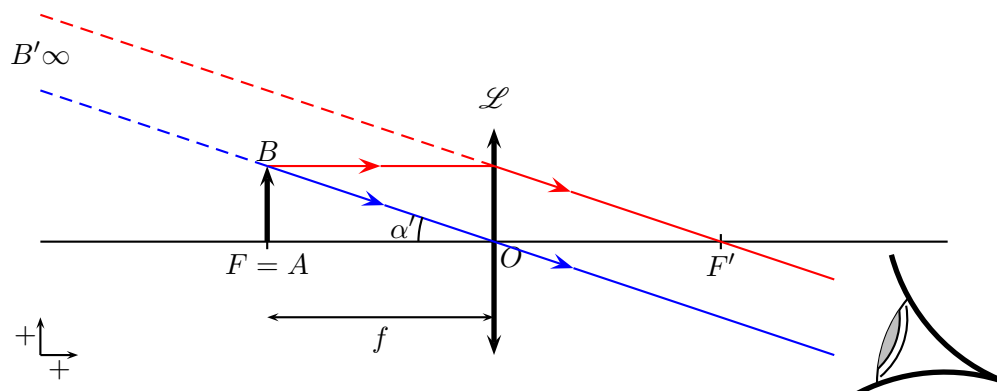
### 1.3.1 Cas où l'œil accommode



L'image  $A'B'$  obtenue est droite, agrandie et virtuelle.

### 1.3.2 Cas où l'œil n'accommode pas

Pour éviter l'accommodation et la fatigue de l'œil, il faut renvoyer l'image  $A'B'$  à l'infini : pour cela, on place l'objet  $AB$  dans le plan focal objet de la lentille ( $A$  est donc confondu avec  $F$ ). Voici la nouvelle figure correspondante :



En savoir plus : pour obtenir un grand **champ d'observation**, il faut mettre la pupille de l'œil tout contre la loupe. On dit que la monture de la loupe est un **diaphragme de champ**.

#### 1.4 Grossissement de la loupe

Si l'image est à l'infini, le grossissement s'exprime alors simplement, sachant que le triangle  $AOB$  est rectangle en  $A$  :

$$\tan(\alpha') \simeq \alpha' \simeq \frac{AB}{f}.$$

On en tire l'expression du grossissement  $G$  :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{d_m}{f}$$

#### 1.5 Applications directes du cours

**Exercice n°1** : Calculer le grossissement maximal d'une loupe de vergence  $C = 8 \delta$ .

**Exercice n°2** : On peut lire sur une loupe «Grossissement  $\times 5$ ». Calculer la distance focale et la vergence de cette lentille convergente.

**Réponses numériques :**

$$\text{Ex1 : } G = 2 ; \text{ Ex2 : } f = 5 \text{ cm, } C = 20 \delta$$

# Chapitre 2

## Le microscope

### 2.1 Propriétés du microscope



MICROSCOPE AQUATIQUE DE CUFF, 1770,  
CONÇU POUR L'ÉTUDE DES ORGANISMES  
AQUATIQUES

Le microscope, apparu à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, est utilisé pour obtenir une image très agrandie d'un objet très petit (cheveu, globule rouge, cellule végétale...). Il est composé de deux lentilles minces convergentes appelées *objectif* et *oculaire*. Un *condenseur*, souvent un *miroir sphérique convergent*, éclaire l'objet par dessous.

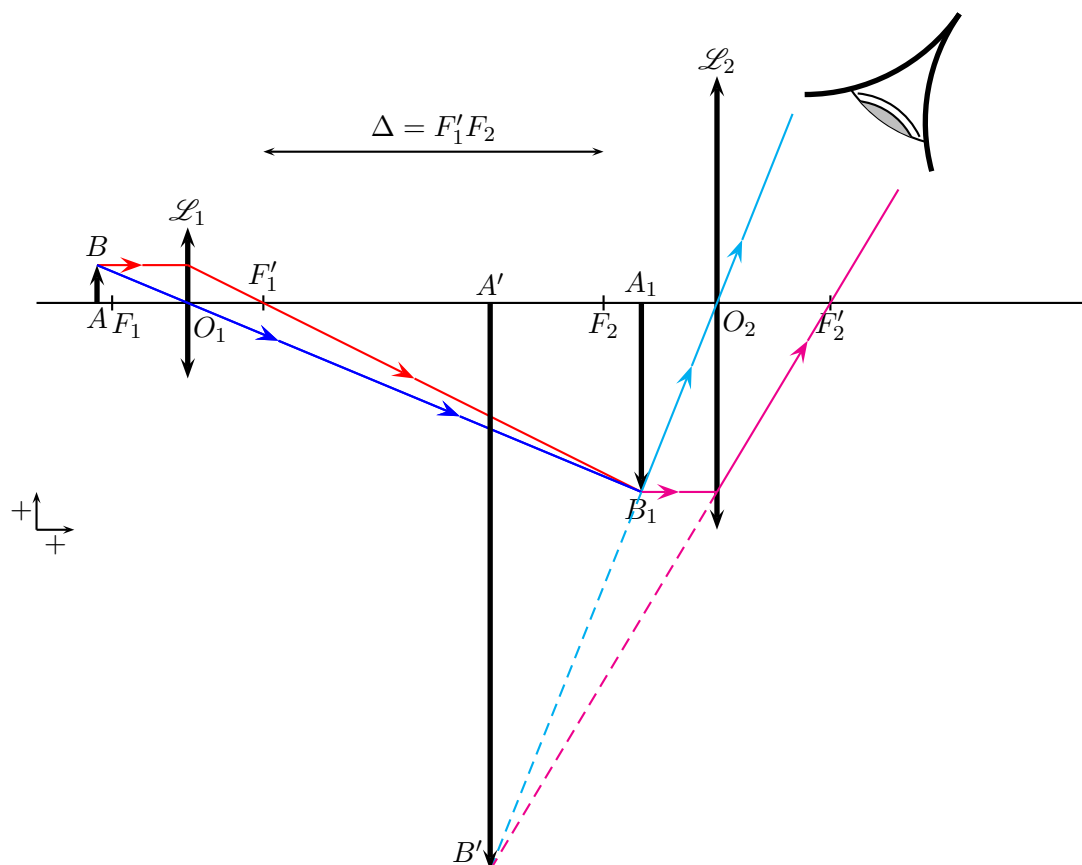
- La première lentille (l'objectif) a une faible distance focale (vergence élevée). Elle donnera une image  $A_1B_1$  très agrandie de  $AB$ ,
- La deuxième lentille (l'oculaire) joue le rôle d'une loupe et servira à observer l'image intermédiaire  $A_1B_1$ .
- Pour que l'œil n'accorde pas, il faudra renvoyer l'image  $A'B'$  à l'infini, comme nous l'avons vu avec la loupe.

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1B_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A'B'$$



## 2.2 Construction de l'image

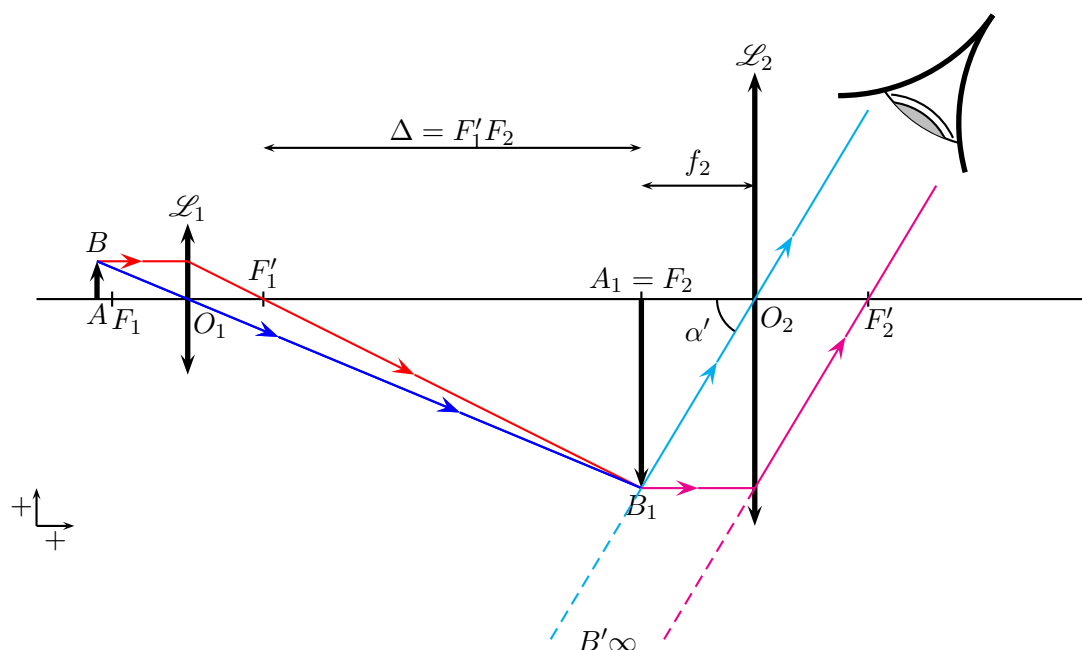
### 2.2.1 Cas où l'œil accommode



L'image  $A'B'$  obtenue est renversée, agrandie et virtuelle. L'œil voit l'image  $A'B'$  qui n'est pas à l'infini, en accommodant.

### 2.2.2 Cas où l'œil n'accommode pas

Pour éviter l'accommodation et la fatigue de l'œil, il faut renvoyer l'image  $A'B'$  à l'infini : pour cela, on place l'image intermédiaire  $A_1B_1$  dans le plan focal objet de la lentille  $\mathcal{L}_2$  ( $A_1$  est donc confondu avec  $F_2$ ). Voici la nouvelle figure correspondante :



L'image  $A'B'$  obtenue est à l'infini, renversée, fortement agrandie et virtuelle. Une image renversée n'est pas gênante pour observer un globule rouge.

### 2.3 Grossissement du microscope

Si l'image est à l'infini, le grossissement s'exprime en fonction du *grandissement*  $\gamma_1$  de  $\mathcal{L}_1$  et du *grossissement* de  $\mathcal{L}_2$ , noté  $G_2$

Exprimons  $\alpha'$  :

Dans le triangle  $A_1B_1O_2$ ,  $\tan(\alpha') \simeq \alpha' \simeq \frac{A_1B_1}{f_2}$ .

On en tire l'expression du grossissement  $G$  du microscope :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\frac{A_1B_1}{f_2}}{\frac{AB}{d_m}} = \frac{A_1B_1}{f_2} \times \frac{d_m}{AB} = \frac{A_1B_1}{AB} \times \frac{d_m}{f_2} = \gamma_1 \times G_2$$

$\gamma_1$  est la grandeur gravée sur l'objectif.  $G_2$  est la grandeur gravée sur l'oculaire du microscope.

## 2.4 Pupille de l'œil et cercle oculaire

### 2.4.1 Pupille de l'œil

La pupille joue le rôle d'un diaphragme. Elle permet d'augmenter la netteté de l'image et de contrôler l'intensité lumineuse arrivant sur la rétine, afin que celle-ci ne soit pas endommagée. Par forte luminosité, la pupille est presque fermée (2 à 3 mm de diamètre) et elle est largement ouverte dans l'obscurité (8 mm).

### 2.4.2 Cercle oculaire

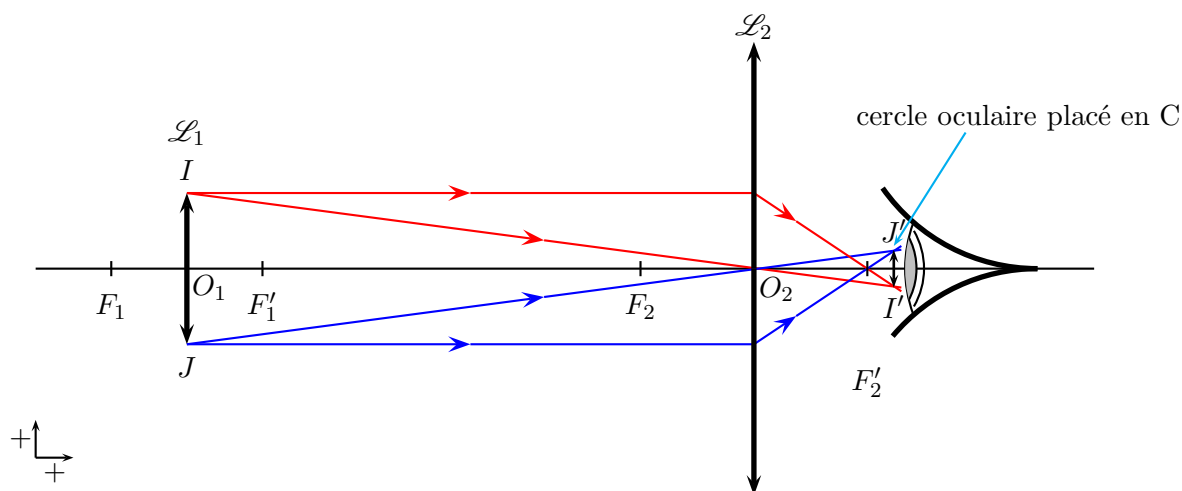
Tous les rayons issus du microscope se concentrent en un disque (ou cercle) de centre  $C$ , proche de l'oculaire, appelé *cercle oculaire*. C'est là que l'observateur doit placer la pupille de l'œil. Par définition, le cercle oculaire est l'image de la monture de l'objectif donnée par l'oculaire :

$$\text{monture de } \mathcal{L}_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} \text{cercle oculaire}$$

ou encore

$$O_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} C$$

- On peut déterminer la position du cercle oculaire à l'aide des relations de conjugaison ou par la construction graphique suivante :



- On détermine la taille du cercle oculaire  $I'J'$  en utilisant le théorème de Thalès ou la relation de conjugaison :

$$\gamma_2 = \frac{\overline{I'J'}}{\overline{IJ}} = \frac{\overline{O_2C}}{\overline{O_2O_1}}$$

# Chapitre 3

## La lunette astronomique

### 3.1 Propriétés de la lunette astronomique

C'est en Hollande, à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, qu'un homme nommé Mélius compose par hasard un système composé de deux morceaux de verre « dont l'un était un peu plus épais au milieu qu'aux extrémités » et invente la première lunette d'approche, objet permettant d'augmenter le diamètre apparent d'un objet lointain. C'est Galilée qui en 1609 établit la lunette d'approche comme instrument d'observation du ciel. Galilée fait alors ses premières observations :

- la Lune,
- les satellites de Jupiter, modèle réduit du système solaire, auparavant prédit par Copernic (1473-1543),
- la voie lactée,
- les anneaux de Saturne.

La lunette de Galilée qui était composée d'un objectif convergent (convexe) et d'un oculaire divergent (concave) donne d'un objet éloigné une image virtuelle droite et agrandie. L'association de deux lunettes de Galilée forme les jumelles de Galilée, utilisées au théâtre, à la qualité optique médiocre.

La lunette astronomique, composée de deux lentilles convergentes, a aujourd'hui un intérêt essentiellement pédagogique. Cet outil d'observation est actuellement abandonné dans la pratique de l'astronomie professionnelle au profit d'appareils *réflecteurs* (comme le télescope) plutôt que *réfracteurs*. Nous verrons pourquoi dans le chapitre traitant du télescope.

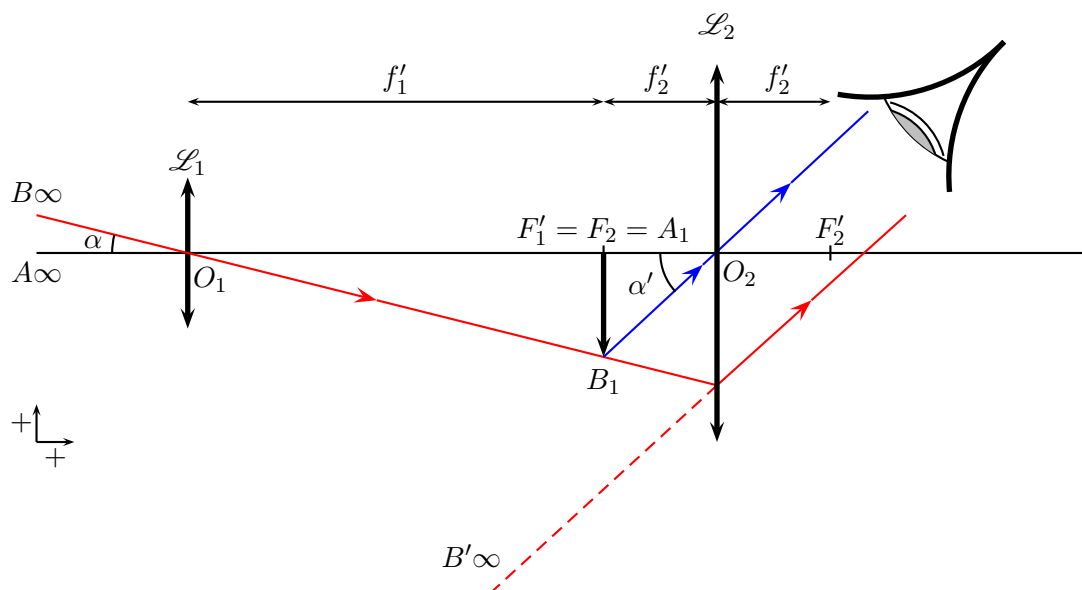
La lunette astronomique est composée de deux lentilles minces convergentes appelées *objectif* et *oculaire*.

- La première lentille (l'objectif) a une grande distance focale (vergence faible). Elle doit être de grande taille pour collecter le plus de lumière possible et fournir des images lumineuses. Elle donnera une image  $A_1B_1$  très agrandie de  $AB$ .
- La deuxième lentille (l'oculaire) joue le rôle d'une loupe et servira à observer l'image intermédiaire  $A_1B_1$ .
- Pour que l'œil n'accommode pas, il faudra renvoyer l'image  $A'B'$  à l'infini, comme nous l'avons vu avec les instruments précédents.

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1B_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A'B'$$

### 3.2 Construction de l'image

Pour éviter l'accommodation et la fatigue de l'œil, il faut renvoyer l'image  $A'B'$  à l'infini ; pour cela, nous envisagerons ici uniquement le cas où l'œil n'accommode pas, en réalisant un système dit *afocal*. L'image intermédiaire  $A_1B_1$  doit alors se situer dans le plan focal objet de la lentille  $\mathcal{L}_2$  ( $A_1$  est donc confondu avec  $F_2$ , lui-même confondu avec  $F'_1$ ). Voici la figure correspondante :



L'image  $A'B'$  obtenue est à l'infini, renversée, agrandie et virtuelle. Une image renversée n'est pas gênante pour observer un astre.

### 3.3 Grossissement de la lunette astronomique afocale

Si l'image est à l'infini, le grossissement s'exprime en fonction des distances focales image  $f'_1$  de  $\mathcal{L}_1$  et  $f'_2$  de  $\mathcal{L}_2$ .

Exprimons  $\alpha'$  :

Dans le triangle  $A_1B_1O_2$ ,  $\tan(\alpha') \simeq \alpha' \simeq \frac{A_1B_1}{f'_2}$ .

Dans le triangle  $A_1B_1O_1$ ,  $\tan(\alpha) \simeq \alpha \simeq \frac{A_1B_1}{f'_1}$ .

On en tire l'expression du grossissement  $G$  de la lunette *afocale* :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\frac{A_1B_1}{f'_2}}{\frac{A_1B_1}{f'_1}} = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1B_1} = \frac{f'_1}{f'_2}$$

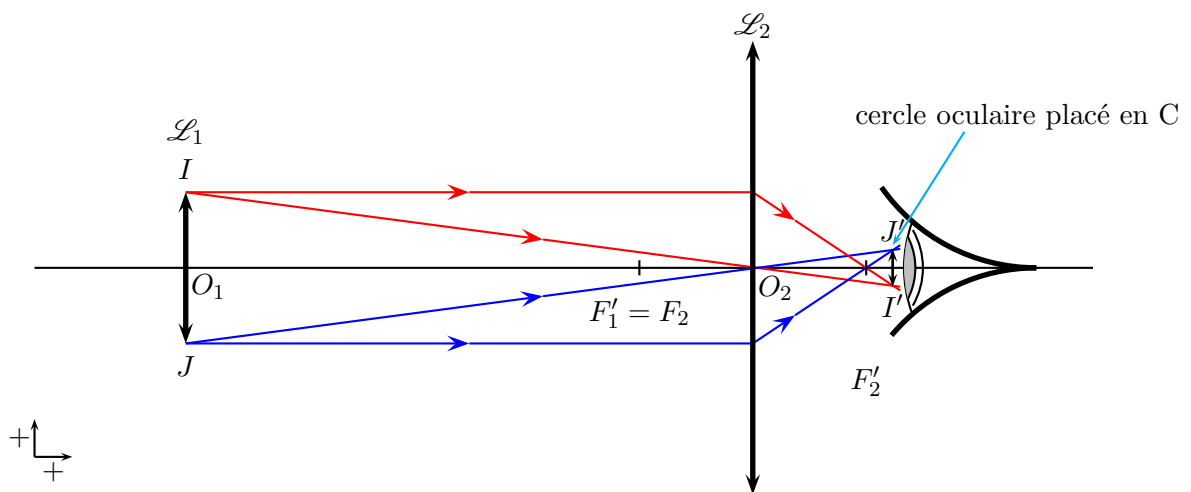
### 3.4 Cercle oculaire

Tous les rayons issus de la lunette astronomique se concentrent en un disque (ou cercle) de centre  $C$ , proche de l'oculaire, appelé *cercle oculaire*. C'est là que l'observateur doit placer la pupille de l'œil. Par définition, le cercle oculaire est l'image de la monture de l'objectif donnée par l'oculaire :

$$\text{monture de } \mathcal{L}_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} \text{cercle oculaire}$$

ou encore

$$O_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} C$$



# Chapitre 4

## Les miroirs

Le télescope possède un *miroir plan* et un *miroir sphérique convergent*, il est donc impératif de connaître les caractéristiques de ces deux miroirs. Le *miroir sphérique divergent* n'est pas explicitement au programme mais l'exemple du rétroviseur de voiture doit être connu, étant donné son utilité.

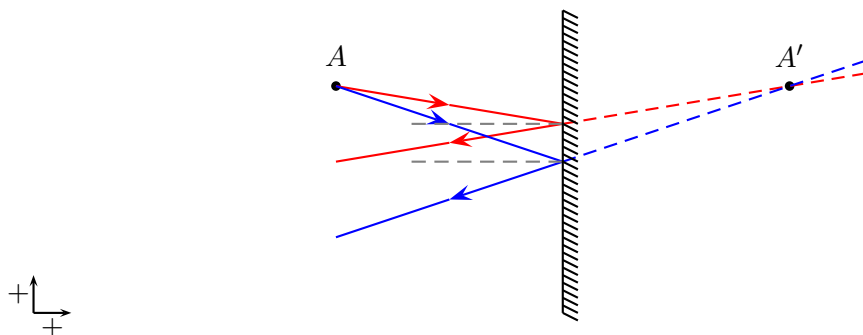
### 4.1 Le miroir plan

#### 4.1.1 Propriétés du miroir plan

Un miroir plan est une surface plane réfléchissante. Les miroirs actuels sont constitués d'une lame de verre à faces planes et parallèles dont la face arrière est recouverte d'une couche métallique revêtue d'un enduit protecteur.

#### 4.1.2 Construction de l'image

Tous les rayons issus de  $A$  convergent vers  $A'$  après réflexion sur le miroir. On remarque que  $A'$  est le symétrique de  $A$  par rapport au plan du miroir. L'image est virtuelle et se situe « de l'autre côté » du miroir.



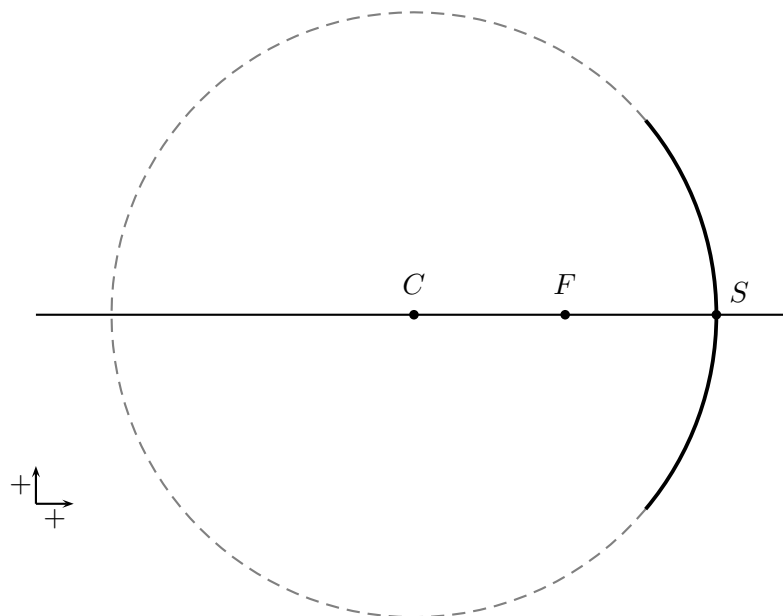
## 4.2 Le miroir sphérique convergent

### 4.2.1 Propriétés du miroir sphérique convergent

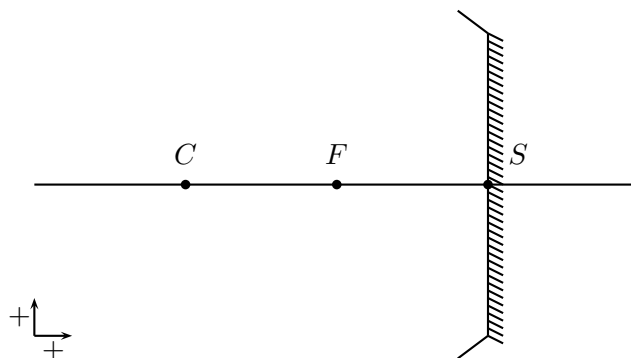
Un miroir sphérique est une calotte (portion de surface sphérique) sphérique réfléchissante. La partie réfléchissante étant tournée vers le centre, on parle de miroir *concave*. La face intérieure d'une petite cuillère peut être considérée comme un miroir concave. Observons-nous dans la cuillère, nous apparaissions plus petit et renversé.

Un miroir sphérique est caractérisé par :

- un centre  $C$ ,
- un sommet  $S$ ,
- un foyer principal  $F$ , situé au milieu de  $[CS]$



On modélise le miroir sphérique par un plan réfléchissant avec un décrochement indiquant la concavité. Les positions de  $C$ ,  $F$  et  $S$  restent inchangées.

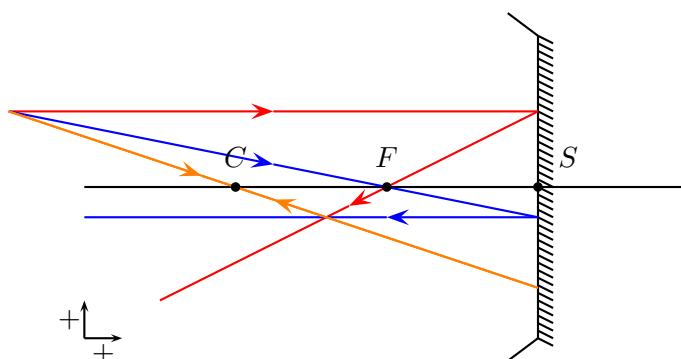




### 4.2.2 Construction de l'image

Représentons quelques rayons tombant sur un miroir sphérique. L'image d'un objet donnée par un miroir sphérique se détermine en respectant les règles suivantes :

- Tout rayon passant par le centre  $C$  du miroir est réfléchi sur lui-même,
- Tout rayon parallèle à l'axe optique est réfléchi en passant par  $F$ ,
- Tout rayon passant par  $F$  est réfléchi parallèlement à l'axe optique.



### 4.3 Le miroir sphérique divergent

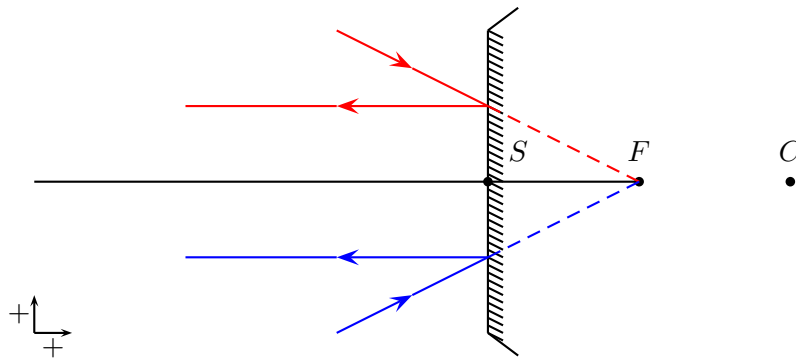
Inspirée du mercure liquide, cette sculpture est la plus grande du monde dans sa catégorie, mesurant 22 mètres de long et 11 mètres de haut. C'est une structure réfléchissante convexe, permettant d'obtenir un champ de vision très élargi, particulièrement adapté pour mettre en valeur les buildings de Chicago.



CLOUD GATE SCULPTURE ON THE AT&T PLAZA, CHICAGO, BY ANISH KAPOOR

« What I wanted to do in Millennium Park is make something that would engage the Chicago skyline so that one will see the clouds kind of floating in, with those very tall buildings reflected in the work. And then, since it is in the form of a gate, the participant, the viewer, will be able to enter into this very deep chamber that does, in a way, the same thing to one's reflection as the exterior of the piece is doing to the reflection of the city around ». Anish Kapoor

Dans un rétroviseur extérieur de voiture, une partie du miroir plan peut être remplacée par un miroir sphérique convexe, ce qui a pour but d'élargir le champ angulaire du conducteur et de lui permettre de mieux voir les véhicules qui le suivent ou le dépassent. L'angle « mort » se trouve alors très réduit, ce qui est un bon point en terme de sécurité.



# Chapitre 5

## Le télescope

### 5.1 Propriétés du télescope de Newton



SIR ISAAC NEWTON

Le verre étant un *milieu dispersif*, soumis à la *réfraction* de la lumière, l'image d'un objet donnée par un dispositif réfracteur (lunette) est floue et aux contours irisés. On parle d'*aberrations chromatiques*. Newton conçoit alors un dispositif réflecteur, plutôt que réfracteur, et utilise dès 1671 un objectif miroir plutôt qu'un objectif lentille.

Les miroirs des télescopes ont l'avantage de ne pas avoir d'aberrations chromatiques, contrairement aux objectifs des lentilles minces utilisés dans les lunettes d'approche. Newton propose ainsi d'utiliser la réflexion de la lumière plutôt que la réfraction. Le premier télescope de Newton est né.



RÉPLIQUE DU TÉLESCOPE DE NEWTON  
(1672)

Le télescope de Newton est composé des éléments suivants :

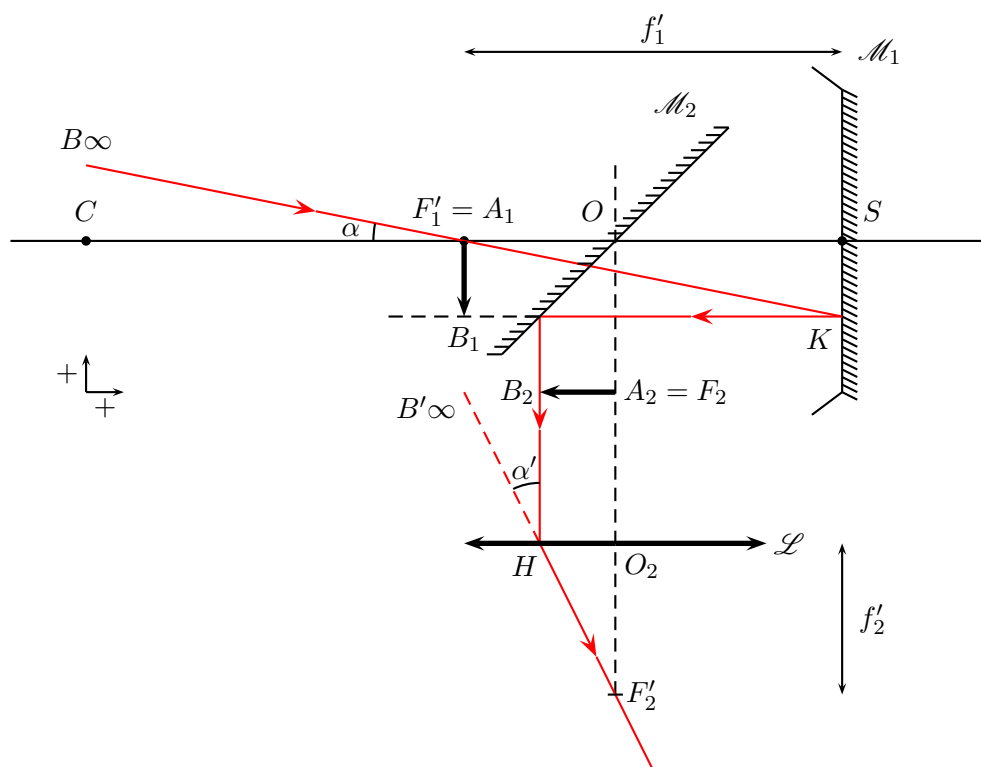
- un miroir primaire  $\mathcal{M}_1$  parabolique concave qui sera modélisé par un miroir sphérique concave (convergent). Il donnera une image  $A_1B_1$  de  $AB$ ,
- un miroir plan secondaire  $\mathcal{M}_2$  incliné à  $45^\circ$  par rapport à l'axe optique, qui renvoie l'image sur l'oculaire. Il donnera l'image  $A_2B_2$  de  $A_1B_1$ , symétrique par rapport au miroir plan,
- une lentille (l'oculaire) qui servira à observer l'image intermédiaire et donnera de  $A_2B_2$  une image finale  $A'B'$ .

$$AB \xrightarrow{\mathcal{M}_1} A_1B_1 \xrightarrow{\mathcal{M}_2} A_2B_2 \xrightarrow{\mathcal{L}} A'B'$$

## 5.2 Construction de l'image

Pour éviter l'accommodation et la fatigue de l'œil, il faut renvoyer l'image  $A'B'$  à l'infini ; pour cela, nous envisagerons ici uniquement le cas où l'œil n'accommode pas, en réalisant un système dit *afocal*. L'image intermédiaire  $A_2B_2$  doit alors se situer dans le plan focal objet de la lentille  $\mathcal{L}$  ( $A_2$  est donc confondu avec  $F_2$ , foyer objet de la lentille  $\mathcal{L}$ ). Voici la figure correspondante :

On tracera la marche d'un rayon venant de l'infini. Le télescope sera considéré comme afocal.



## 5.3 Grossissement du télescope de Newton

Si l'image est à l'infini, le grossissement s'exprime en fonction des distances focales image  $f_1'$  du miroir sphérique  $\mathcal{M}_1$  et  $f_2'$  de l'oculaire  $\mathcal{L}$ .

Exprimons  $\alpha'$  :

$$\text{Dans le triangle } F_2'HO_2, \tan(\alpha') \simeq \alpha' \simeq \frac{HO_2}{F_2'O_2} \simeq \frac{A_2B_2}{f_2'}$$

$$\text{Dans le triangle } A_1B_1K, \tan(\alpha) \simeq \alpha \simeq \frac{A_1B_1}{B_1K} \simeq \frac{A_1B_1}{f_1'}$$

On en tire l'expression du grossissement  $G$  du télescope *afocal*, en remarquant que  $A_1B_1 = A_2B_2$  :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\frac{A_2B_2}{f_2'}}{\frac{A_1B_1}{f_1'}} = \frac{A_2B_2}{f_2'} \times \frac{f_1'}{A_1B_1} = \frac{f_1'}{f_2'}$$

## 5.4 Cercle oculaire

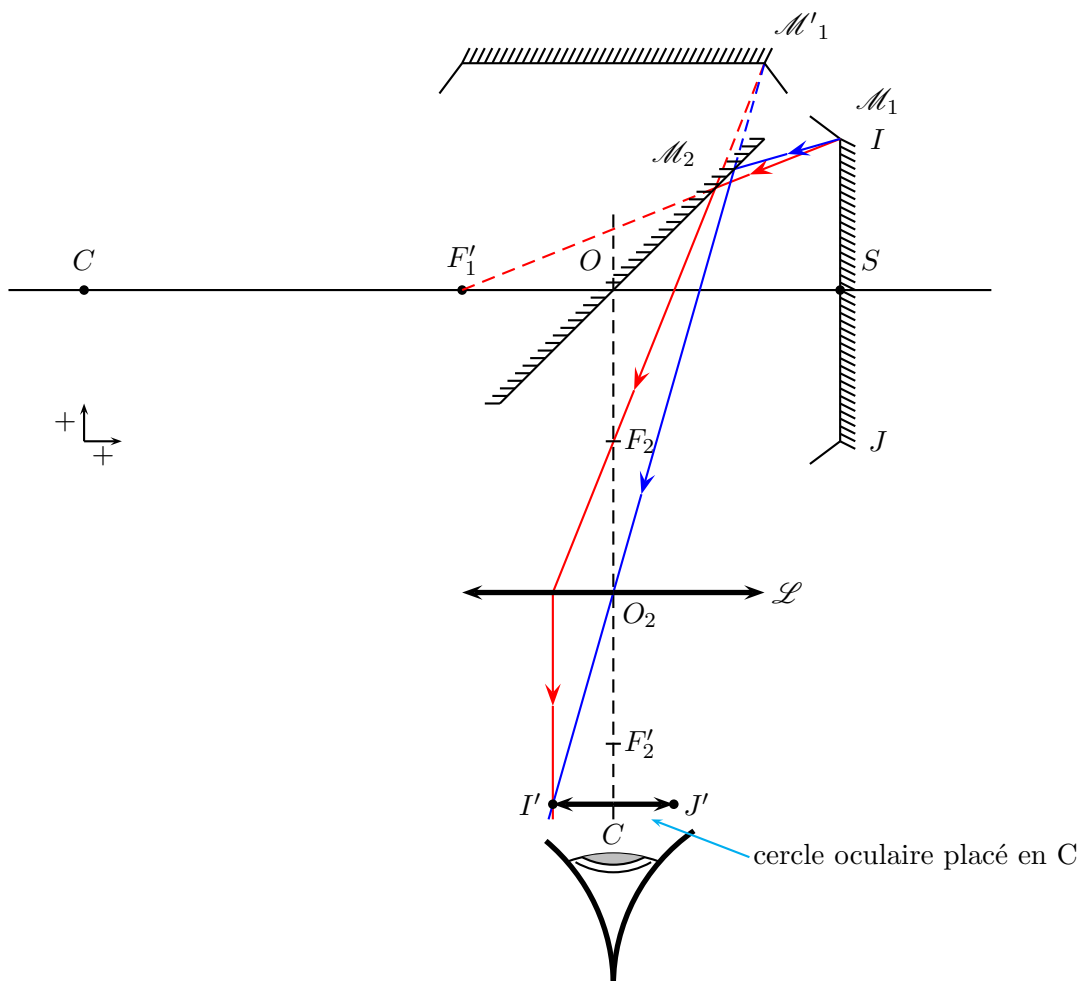
Tous les rayons issus du télescope se concentrent en un disque (ou cercle) de centre  $C$ , proche de l'oculaire, appelé *cercle oculaire*. C'est là que l'observateur doit placer la pupille de l'œil.

Par définition, le cercle oculaire est l'image de la monture de l'objectif (miroir  $\mathcal{M}_1$ ) donnée par le miroir plan et l'oculaire :

$$\text{monture de } \mathcal{M}_1 \xrightarrow{\mathcal{M}_2} \text{monture de } \mathcal{M}'_1 \xrightarrow{\mathcal{L}} \text{cercle oculaire}$$

ou encore

$$S \xrightarrow{\mathcal{M}_2} \xrightarrow{\mathcal{L}} C$$



# Chapitre 6

## Bilan de connaissances

Tout d'abord, il faut respecter certaines règles dans les constructions graphiques :

- Flécher chaque rayon lumineux,
- Orienter l'axe optique principal dans le sens de propagation de la lumière,
- Respecter les échelles longitudinales et transversales,
- Placer tous les éléments caractéristiques : centre, sommet, foyer,
- Utiliser à bon escient les traits pleins et les traits en pointillés.

On trouvera à la fin du précis le contenu détaillé du programme officiel qui précise les notions d'optique à maîtriser cette année.

Enfin, révisez vos classiques avec cette liste d'annales de BAC sélectionnées pour vos révisions :

Instrument	Sujet de BAC
Loupe et rétroprojecteur	Amérique du Nord 2007
Microscope	Pondichéry 2009 (Inde)
Lunette astronomique	Antilles-Guyane septembre 2009
Miroirs	Pondichéry 2006 (Inde)
Rétroviseur de voiture	∅
Télescope	Pondichéry 2006 (Inde)

# Bibliographie

- [1] M. Gabriel, « *Comprendre et appliquer l'optique* », Masson, 1981.
- [2] Luc Dettwiller, « *Les instruments d'optique* », deuxième édition, Ellipses, 1997.
- [3] Lucien Quaranta, « *Introduction à l'optique* », deuxième édition, Masson, 1998.
- [4] J.P. Durandeau , « *Physique-chimie, enseignement de spécialité* », Hachette Éducation, 2002.