GEIPI 2e année – ESIREM
2e année 2e semestre

Avril 2017

Optique – Contrôle continu 3
Optique géométrique

1 Tracés de rayons (7 points)

On considère le dioptre sphérique de la figure 1 (voir annexe).

1 - 1

$$V = \frac{n_i - n_o}{\overline{SC}} = \frac{1{,}5 - 1}{3\ \text{cm}} = 16{,}67\ \delta \qquad f_i = \frac{n_i}{V} = 9\ \text{cm} \qquad f_o = -\frac{n_o}{V} = -6\ \text{cm} \tag{1.0.1}$$

$V > 0$ donc le dioptre est convergent.

1 - 2

On considère ensuite le miroir sphérique de la figure 2.

1 - 3

$$V = \frac{-2n}{\overline{SC}} = -\frac{2}{6\ \text{cm}} = 33{,}33\ \delta \qquad f_i = f_o = \frac{\overline{SC}}{2} = 3\ \text{cm} \tag{1.0.2}$$

$V < 0$ donc le dioptre est divergent.

1 - 4 L'image est virtuelle, droite et réduite. Une boule de Noël est un miroir sphérique convexe comme dans le dessin considéré, et on se verra donc droit et réduit.

On considère maintenant le système optique centré de la figure 3.

1 - 5

$$f_o = 5\ \text{cm} \qquad f_i = -7{,}5\ \text{cm} \tag{1.0.3}$$

$f_i < 0$ le système est donc divergent. $V = n_i/f_i = -n_o/f_o$ donc :

$$\frac{n_i}{n_o} = -\frac{f_i}{f_o} = 1{,}5 \tag{1.0.4}$$

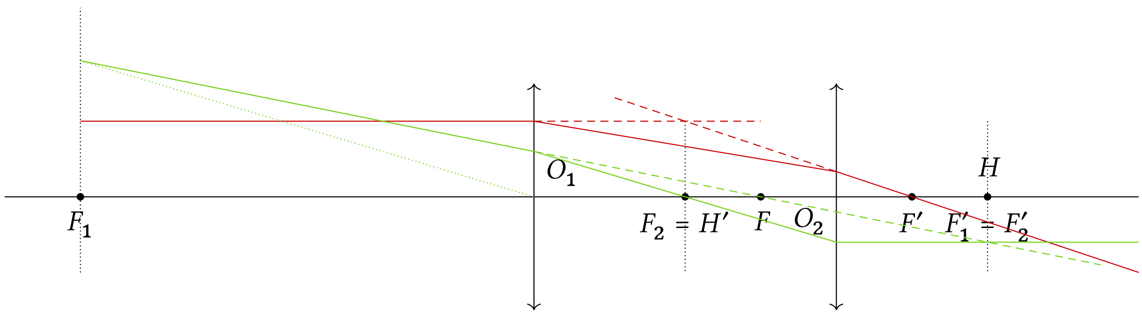
1 - 6

2 Oculaire d'Huygens (9 points)

Pour regarder un objet proche, l'instrument adapté est la loupe. Cependant, lorsque la vergence d'une loupe atteint des valeurs élevées (typiquement 20 δ), la qualité de l'image devient médiocre. Pour pallier à ce problème, on utilise des oculaires composés de plusieurs lentilles. Nous étudions ici l'un de ceux-ci, l'oculaire d'Huygens.

L'oculaire d'Huygens est composé de deux lentilles minces de centre O_1 et O_2, et sa formule est $(3-2-1)$, ce qui signifie que la longueur focale image de la première lentille vaut $f_1' = 3a$, l'épaisseur optique vaut $e = \overline{O_1O_2} = 2a$ et la longueur focale image de la deuxième lentille vaut $f_2' = a$, où a est une longueur arbitraire.

2 - 1



2 - 2

$$V_1 = \frac{1}{f'_1} = \frac{1}{3a} \qquad V_2 = \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{a} \tag{2.0.1}$$

2 - 3

$$V = V_1 + V_2 - \frac{e}{n}V_1V_2 = \frac{1}{3a} + \frac{1}{a} - 2a\frac{1}{3a}\frac{1}{a} = \frac{2}{3a} \tag{2.0.2}$$

$$f' = \frac{n_i}{V} = \frac{3a}{2} \qquad f = \frac{n_o}{V} = -\frac{3a}{2} \tag{2.0.3}$$

2 - 4

$$\Delta = \overline{F'_1F_2} = \overline{F'_1O_1} + \overline{O_1O_2} + \overline{O_2F_2} = -f'_1 + e - f'_2 = -3a + 2a - a = -2a \tag{2.0.4}$$

$$\overline{F'_2F'} = -\frac{f_2f'_2}{\Delta} = -\frac{a(-a)}{-2a} = -\frac{a}{2} \tag{2.0.5}$$

$$\overline{F_1F} = \frac{f_1f'_1}{\Delta} = \frac{3a(-3a)}{-2a} = \frac{9a}{2} \tag{2.0.6}$$

2 - 5

$$\overline{F'_2H'} = \overline{F'_2F'} + \overline{F'H'} = -\frac{a}{2} - f' = -2a \qquad \Longrightarrow H' = F_2 \tag{2.0.7}$$

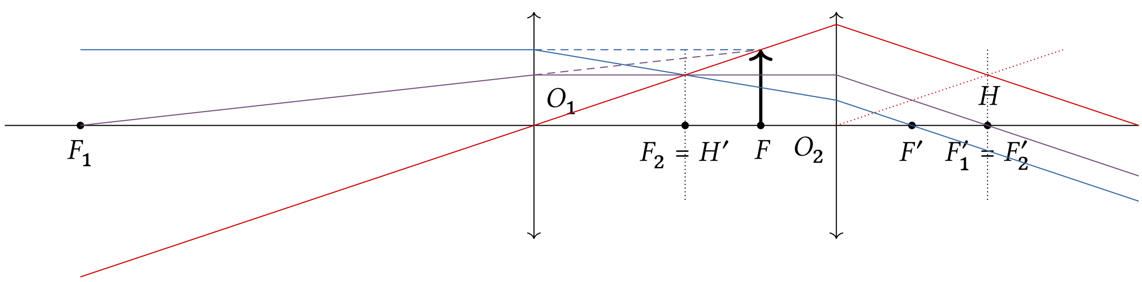
$$\overline{F_1H} = \overline{F_1F} + \overline{FH} = \frac{9a}{2} - f = 6a \qquad \Longrightarrow H = F'_1 \tag{2.0.8}$$

2 - 6

On place un objet virtuel AB à mi-chemin entre F_2 et O_2.

2 - 7 AB est positionné sur le point focal objet du système global ; son image sera donc située à l'infini.

2 - 8



3 Objectif à immersion (9 points)

On considère un objectif de microscope à immersion, c'est-à-dire que le milieu objet est constitué d'huile d'indice $n = 1.5$ et le milieu image est de l'air. On note V sa vergence.

3 - 1 Rappeler sans démonstration

1.
$$T(\overline{AA'}) = \begin{pmatrix} \gamma & 0 \\ -V & 1/\gamma \end{pmatrix} \tag{3.0.1}$$

2.
$$T(\overline{HH'}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -V & 1 \end{pmatrix} \tag{3.0.2}$$

3 - 2

$$T(\overline{HH'}) = \mathscr{T}(\overline{SH'}) \times T(\overline{ES}) \times \mathscr{T}(\overline{HE}) = \begin{pmatrix} 1 & \overline{SH'} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & \frac{\overline{HE}}{n} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3.0.3}$$

3 - 3

$$T(\overline{HH'}) = \begin{pmatrix} 1 & \overline{SH'} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a & a\frac{\overline{HE}}{n} + b \\ c & c\frac{\overline{HE}}{n} + d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a + c\overline{SH'} & a\frac{\overline{HE}}{n} + b + \overline{SH'}\left(c\frac{\overline{HE}}{n} + d\right) \\ c & c\frac{\overline{HE}}{n} + d \end{pmatrix} \tag{3.0.4}$$

Les éléments de la matrice de transfert de l'objectif de microscope de 6 mm d'épaisseur ($\overline{ES} = 6$ mm) valent :

$$T(\overline{ES}) = \begin{pmatrix} 1{,}8 & 0{,}004 \\ -100 & 1/3 \end{pmatrix} \tag{3.0.5}$$

où les grandeurs sont exprimées dans les unités du système international.

3 - 4

$$V = -c = 100\,\delta \qquad f = -\frac{n}{V} = -\frac{1.5}{100} = -15\,\text{mm} \qquad f' = -\frac{1}{V} = 10\,\text{mm} \tag{3.0.6}$$

3 - 5 Par identification :

$$1 = a + c\overline{SH'} \quad \Rightarrow \quad \overline{SH'} = \frac{1-a}{c} = 8\,\text{mm} \tag{3.0.7}$$

$$1 = d + c\frac{\overline{HE}}{n} \quad \Rightarrow \quad \overline{HE} = \frac{n}{c}(1-d) = -10\,\text{mm} \tag{3.0.8}$$

$$\overline{SF'} = \overline{SH'} + \overline{H'F'} = 8\,\text{mm} + 10\,\text{mm} = 18\,\text{mm} \tag{3.0.9}$$

$$\overline{EF} = \overline{EH} + \overline{HF} = 10\,\text{mm} - 15\,\text{mm} = -5\,\text{mm} \tag{3.0.10}$$

3 - 6 Compléter le schéma de l'annexe (à l'échelle 2 :1) en positionnant les points principaux H et H', et les foyers F et F'.

On cherche à observer un objet AB situé à une distance de 1,8 cm en avant du plan principal objet H (dans l'huile, donc).

3 - 7

$$T(\overline{AA'}) = \mathscr{T}(\overline{H'A'}) \times T(\overline{HH'}) \times \mathscr{T}(\overline{AH}) \tag{3.0.11}$$

3 - 8

$$T(\overline{AA'}) = \begin{pmatrix} 1 & \overline{H'A'} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -V & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & \frac{\overline{AH}}{n} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \overline{H'A'} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & \frac{\overline{AH}}{n} \\ -V & -V\frac{\overline{AH}}{n} + 1 \end{pmatrix} \tag{3.0.12}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 - V\overline{H'A'} & \frac{\overline{AH}}{n} + \overline{H'A'}\left(1 - V\frac{\overline{AH}}{n}\right) \\ -V & -V\frac{\overline{AH}}{n} + 1 \end{pmatrix} \tag{3.0.13}$$

On ne connait pas le grandissement, donc on ne peut exploiter que le terme de la première ligne et deuxième colonne :

$$\frac{\overline{AH}}{n} + \overline{H'A'}\left(1 - V\frac{\overline{AH}}{n}\right) = 0 \tag{3.0.14}$$

$$\overline{H'A'} = \frac{-\overline{AH}/n}{1 - V\frac{\overline{AH}}{n}} = 60\,\text{mm} \tag{3.0.15}$$

3 - 9

$$\gamma = 1 - V\overline{H'A'} = -5 \tag{3.0.16}$$

3 - 10

Annexes à rendre avec la copie

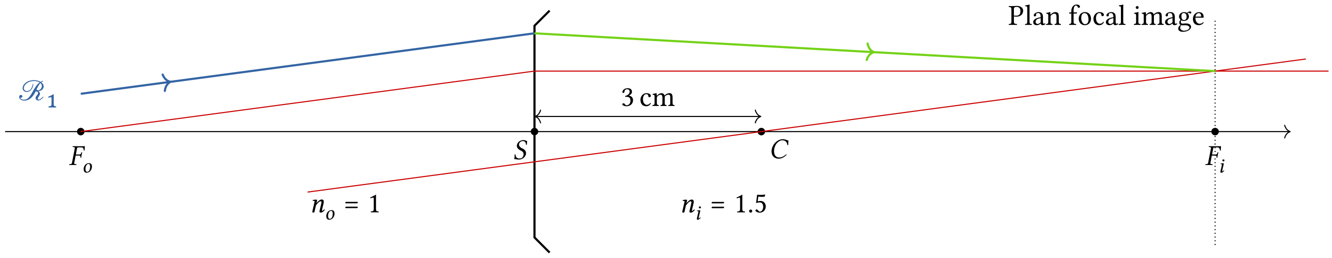


Figure 1 – Dioptre sphérique

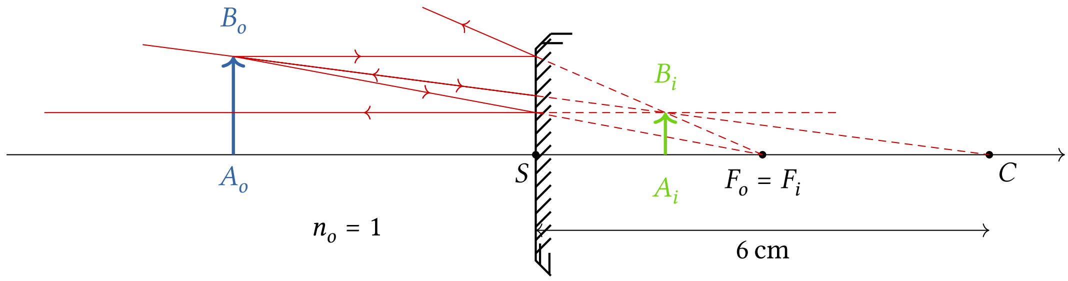


Figure 2 – Miroir sphérique

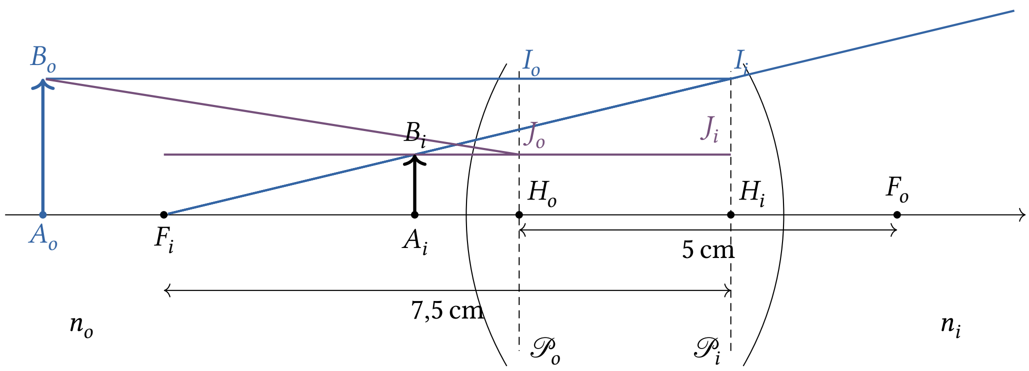


Figure 3 – Système centré

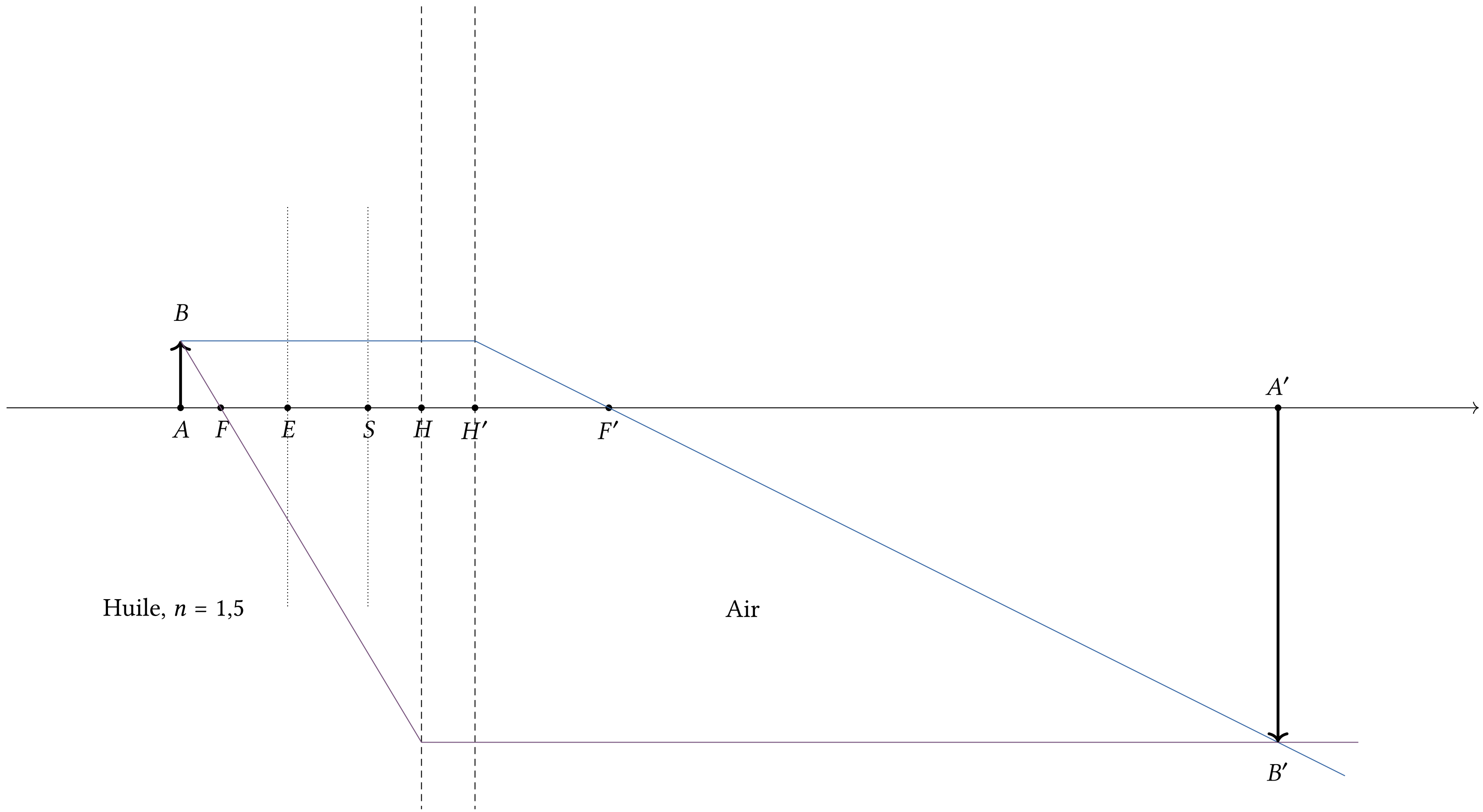


Figure 4 – Schéma à l'échelle 2 :1 (2 cm sur le dessin équivaut à 1 cm dans l'exercice) de l'objectif de microscope à immersion.