

I – MIRAGE OPTIQUE

**Q1.** Dans un milieu transparent, la lumière se propage sans absorption. L'indice d'un MTI est défini par le rapport des célérités de la lumière dans le vide et dans le milieu :  $n = \frac{c}{v}$ .

**Q2.** Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence, traverse la normale, et avec des notations évidentes, les angles d'incidence et de réfraction sont reliés aux indices par  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ .

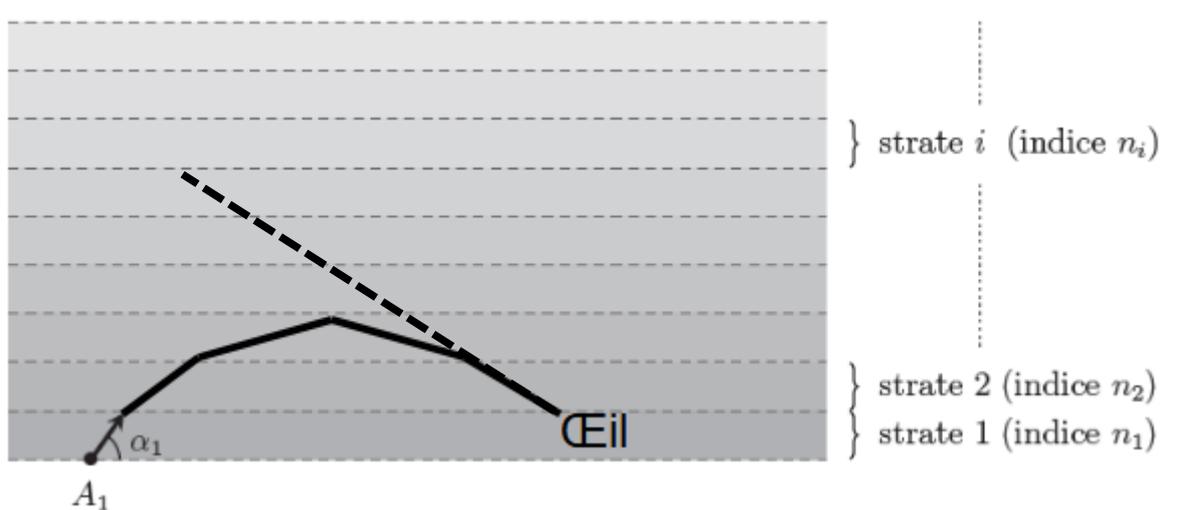
Comme les angles  $\alpha$  sont définis par rapport aux dioptries et non par rapport aux normales, on a la relation  $\alpha + i = \frac{\pi}{2}$ , donc  $\sin i = \cos \alpha$ .

On obtient donc ici  $n_1 \cos \alpha_1 = n_2 \cos \alpha_2 = n_3 \cos \alpha_3 \dots$ , donc  $n_i \cos \alpha_i = n_1 \cos \alpha_1 \quad \forall i$

**Q3.** Il ne doit pas y avoir de solution pour l'angle de réfraction : son **sin serait** supérieur à 1, soit

$\exists k \frac{n_k \sin i_k}{n_{k+1}} > 1 \Leftrightarrow n_k \cos \alpha_k > n_{k+1}$ , ce qui ne peut se produire que lors du passage vers un milieu moins réfringent :  $n_k > n_{k+1}$ .

**Q4.** Le bateau semble flotter : son image est donc dans le ciel, ce qui s'explique par des indices décroissants en fonction de l'altitude et une réflexion totale, le rayon est ainsi incurvé.



ENAC 2023 - Appareil photo

7. L'objet étant presque à l'infini, son image se forme sur le foyer image  $F'$  :  $\overline{OA'} = \overline{OF'} = \frac{1}{V}$  donc  $\overline{OA'} = 10\text{cm}$  : réponse **A**.

8. On cherche l'écart par rapport au foyer image : Newton est plus astucieux que Descartes (qui reste applicable).

$$\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = \overline{F'O} \cdot \overline{Fo} = -f'^2 \text{ avec } \overline{FA} = \overline{Fo} + \overline{OA} = +10\text{cm} - 4,10\text{m} = -4,00\text{m}$$

$$\text{car } \overline{Fo} = \overline{OF'} : \overline{F'A'} = \frac{-100\text{cm}^2}{-4,00\text{m}} = 0,25\text{cm} : \text{réponse } \mathbf{B}$$

9. Newton encore, avec maintenant  $\overline{F'A'} = 5\text{mm}$

$$\overline{FA} = \frac{-100\text{cm}^2}{0,5\text{cm}} = -200\text{cm} = -2,0\text{m} . \text{ Aux } 10\text{cm} \text{ près de la}$$

focale, réponse **C**.

10. On commence par utiliser le th. de Thalès :  $\frac{\overline{A_i A'_i}}{\overline{OA'_i}} = \frac{D_t/2}{D_o/2}$

en appliquant Chasles car  $\overline{OA'_i}$  est donné :  $\overline{A_i A'_i} = \frac{D_t}{D_o} (\overline{OA_i} + \overline{A_i A'_i})$

$$\text{donc } \overline{A_i A'_i} \left(1 - \frac{D_t}{D_o}\right) = \frac{D_t}{D_o} \left(\frac{1}{V} + e\right) : \overline{A_i A'_i} (D_o - D_t) = D_t \left(\frac{1}{V} + e\right)$$

donc réponse **A**.

11. Plus de référence aux foyers : on utilise donc Descartes.

$$\frac{1}{\overline{OA'_i}} = \frac{1}{\overline{OA'_o}} + V \text{ car } A'_o \xrightarrow{L} A'_i, \text{ avec } \overline{OA'_o} = -d'_m$$

$$\text{or } \overline{OA'_i} = \overline{OA_i} + \overline{A_i A'_i} = \frac{1}{V} + e + \frac{D_t}{D_o - D_t} \left(\frac{1}{V} + e\right) = \left(\frac{1}{V} + e\right) \left(1 + \frac{D_t}{D_o - D_t}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{V} + e\right) \frac{D_o}{D_o - D_t}, \text{ qu'on remplace } \frac{D_o - D_t}{D_o} \frac{1}{1/V + e} = -\frac{1}{d'_m}$$

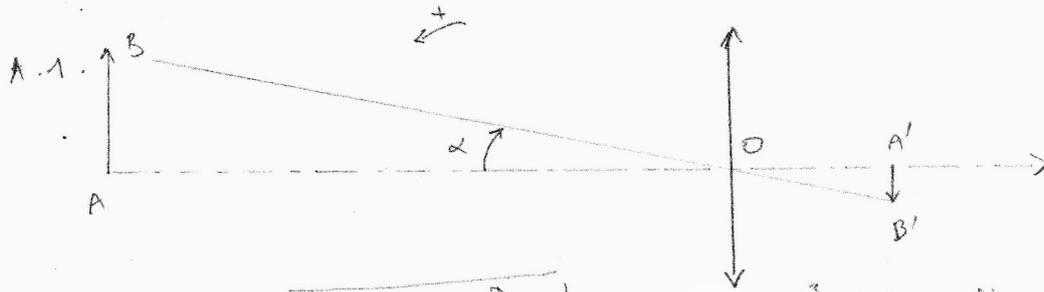
$$\frac{1}{d'_m} = V - \frac{D_o - D_t}{D_o \left(e + \frac{1}{V}\right)} = \frac{D_o e V + D_o - D_t}{D_o \left(e + \frac{1}{V}\right)} : \text{réponse } \mathbf{A}$$

12. On étudie la fonction  $d'_m(D_o)$  : on la dérive pour obtenir sa

$$\text{croissance : } \frac{d d'_m}{d D_o} = \left(e + \frac{1}{V}\right) \frac{1 \cdot (D_t + D_o V e) - D_o \cdot V e}{(D_t + D_o V e)^2} = \frac{D_t (e + 1/V)}{(D_t + D_o V e)^2}$$

positif, donc fonction croissante : réponse **A**.

OPT. ENGLOBBEMENT APP. PHOTO



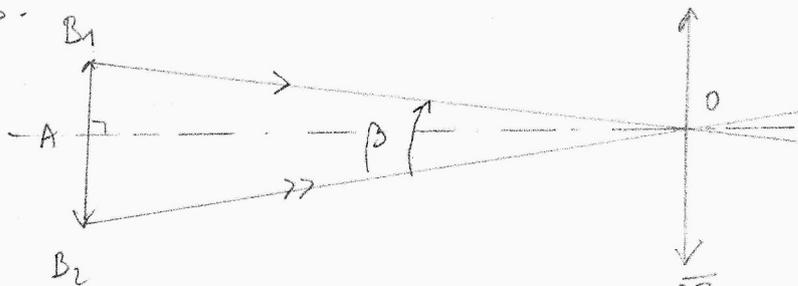
On a  $\left| \tan \alpha = - \frac{D_L}{D_{TL}} \right| = -9,37 \cdot 10^{-3}$  très petit  
 donc  $\tan \alpha \approx \alpha = -9,37 \cdot 10^{-3}$  rad  
 $= -0,537^\circ$  ( $\times \frac{180^\circ}{\pi \text{ rad}}$ )

A.2. On peut utiliser le th. de Thalès ou bien

$\alpha = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OA'}}$  avec  $\overline{A'B'} = -h$  et  $\overline{OA'} = f_1'$   
 en utilisation l'approximation (excellente)  $AB_\infty$ .

On a  $\left| \frac{f_1'}{f_1} = -\alpha h \right| = 1600 \text{ mm} = 1,60 \text{ m}$ , bien trop élevé pour un appareil photographique

A.3.



On a maintenant  $\tan \frac{\beta}{2} = - \frac{\overline{AB_1}}{D_{TL}}$ , donc

$\beta = -2 \text{ Arctan} \frac{D_L}{2 D_{TL}}$

CG : petits angles!

$\beta = -2 \frac{D_L}{2 D_{TL}} = -\alpha$

B.1.  $AB_\infty \xrightarrow{L_2} A_i B_i \xrightarrow{L_3} A' B'$

B.2. S'écarte de l'AO :  $L_3$  est DV

B.3. Guis ; au centre  $L_3$  est équivalente à une lame à faces planes et parallèles  $\rightarrow$  de calage sans déviation.

B.4.  $B_i$  : Interaction virtuelle des incidentes sur  $L_3 \rightarrow$  et  $\rightarrow$

B.5. Passait virtuellement par  $B_i$  et  $F_3$  puisque il émerge horizontal.

B.6.  $F_2' = A_i$  car  $A_\infty$

C.1.  $\gamma_3 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_i B_i}}$  puis Descartes :  $\gamma = \frac{\overline{O_3 A'}}{\overline{O_3 A_i}}$  or  $\frac{1}{\gamma} = \frac{1}{\gamma_3} + V_3$

C.2. Dans le triangle  $O_2 A_i B_i$ , on voit que

$$\tan \alpha = \alpha = \frac{\overline{A_i B_i} \ominus}{\overline{O_2 A_i} \oplus} = \frac{\overline{A_i B_i}}{f_2'} : \text{on reconnaît}$$

$\overline{A_i B_i}$  à gauche de la relation.

$$\text{or } \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_i B_i}} = \frac{\overline{O_3 A'}}{\overline{O_3 A_i}} : \overline{A_i B_i} = \frac{\overline{O_3 A_i} \cdot \overline{A'B'}}{\overline{O_3 A'}}$$

↓  
 $\alpha f_2'$

avec  $\overline{A'B'} = -h$  car négatif

$$\text{or } \overline{O_3 A_i} = \overline{O_3 O_2} + \overline{O_2 A_i} = \overline{O_2 A_i} - \overline{O_2 O_3}$$

$$= f_2' - e \text{ car } A_i \text{ sur } f_2'$$

$$\overline{O_3 A'} = \overline{O_2 A'} - \overline{O_2 O_3} = L - e : \text{relation de montage}$$

C.3. On isole  $f_2'$  : C.2  $\Leftrightarrow \alpha(L-e)f_2' = -hf_2' + he$

$$\Leftrightarrow [\alpha(L-e) + h]f_2' = he$$

$$\Leftrightarrow \boxed{f_2' = \frac{h}{\alpha(L-e) + h} e}$$

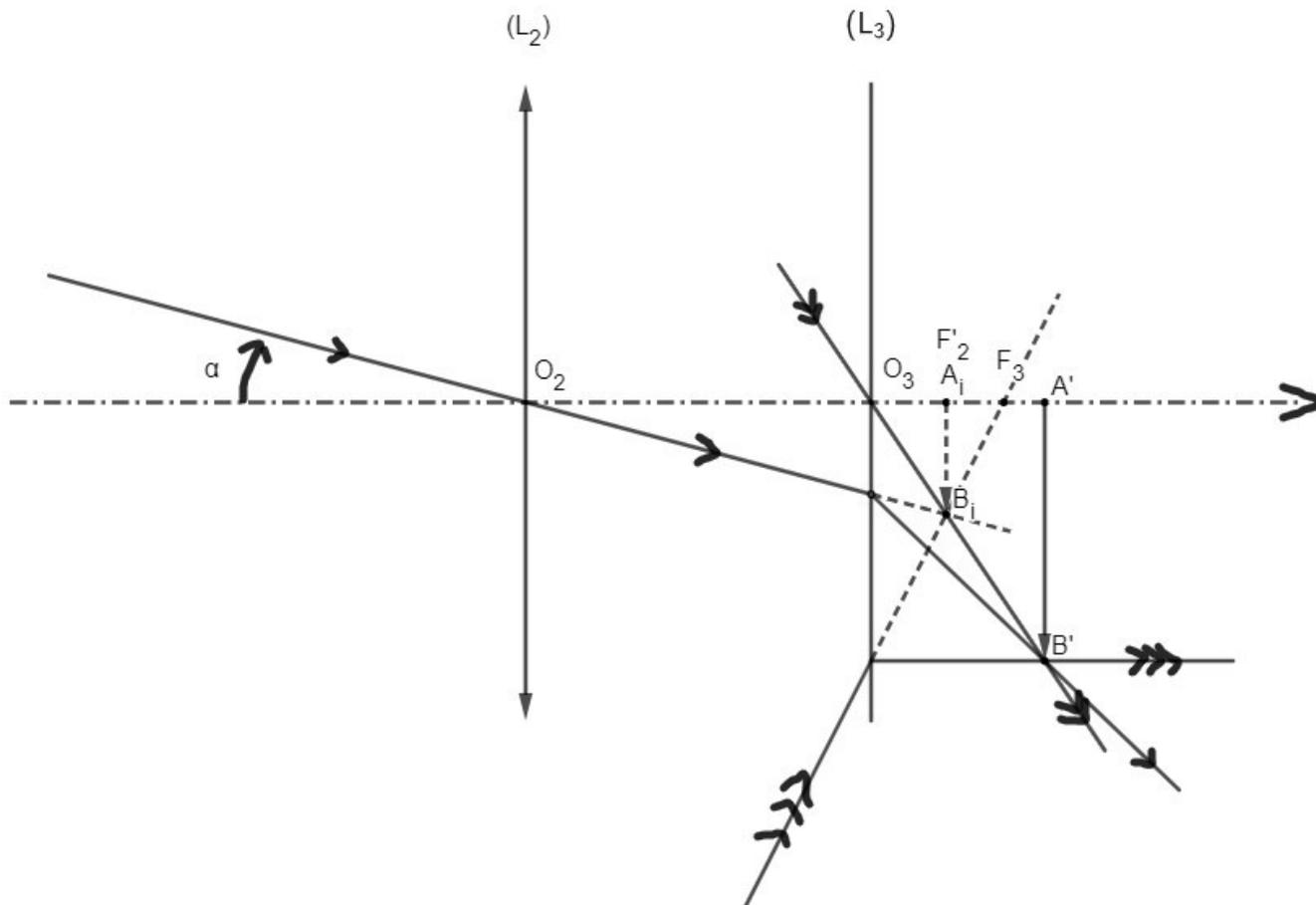
C.4.  $V_3 = \frac{1}{f_3'}$  ; d'après Descartes (C.1.)

$$V_3 = \frac{1}{L-e} - \frac{1}{f_2' - e}$$

C.5.  $f_2' = +29,6 \text{ cm}$

$V_3 = -17,68$

$f_3' = -56,8 \text{ mm} = -5,68 \text{ cm}$



IV

1.  $\sum i_{in} = \sum i_{out}$  conduit ici à  $i_e + i_D = i_s$

3. Avec un sens trigo dans les deux petites mailles indépendantes, on trouve 
$$\begin{cases} -U_1 + U_2 - U_3 = 0 \\ U_3 - U_5 + U_4 = 0 \end{cases}$$

