Université de Jijel
Annexe de Médecine
Module de Biophysique

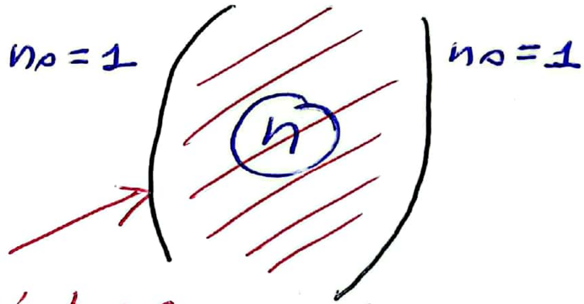
22/05/2025

(II) Etude des systèmes optiques
دراسة الجمل الضوئية

* Système Optique :

Un système optique est un ensemble de milieux transparents, généralement homogènes, séparés par des surfaces dioptriques ou réfléchissantes pour les rayons lumineux.

Nous le désignons par S



surface réfléchissante ou Dioptriques

S : système optique

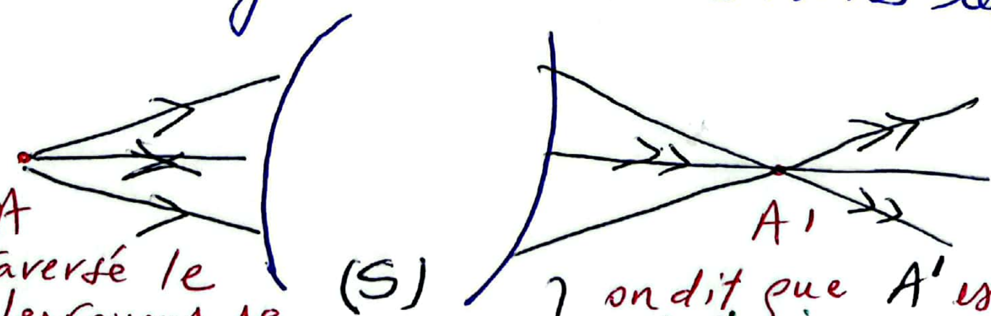
(1) Miroirs
عاكسة

(2) Dioptres
كاسرة

(3) Catadioptriques
عاكسة وكاسرة

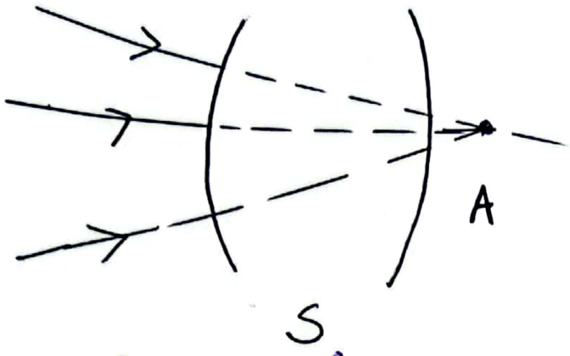
** Notion d'objet et d'Image : مفهوم الصورة والجسم

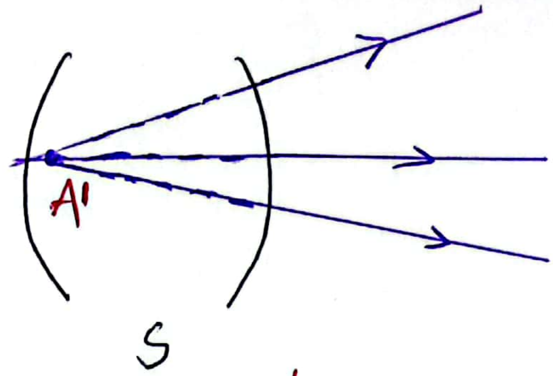
Soit un système optique S et une source lumineuse A qui émet des rayons lumineux dans toutes les directions



Après avoir traversé le système S, les rayons se convergent au point A'

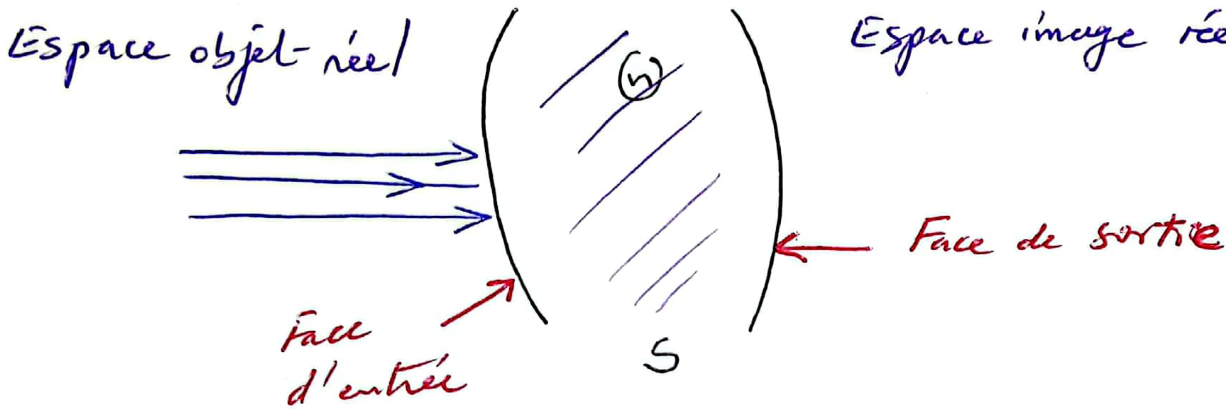
(1) ⇒ on dit que A' est l'image de l'objet A donnée par le système S.





A objet virtuel
intersection des rayons par prolongement

A' : image virtuelle
intersection par prolongement.

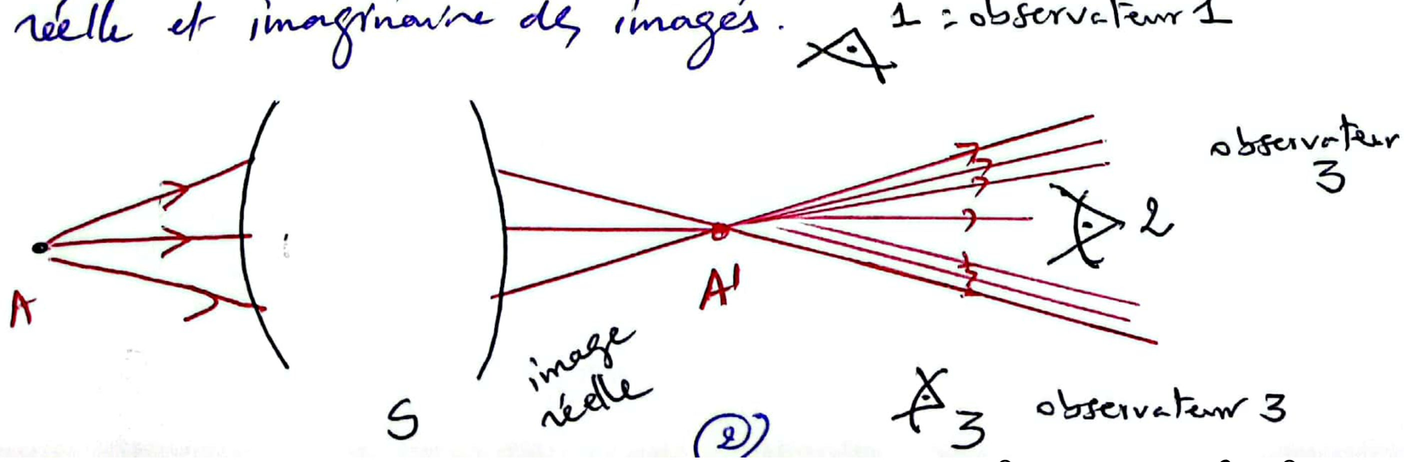


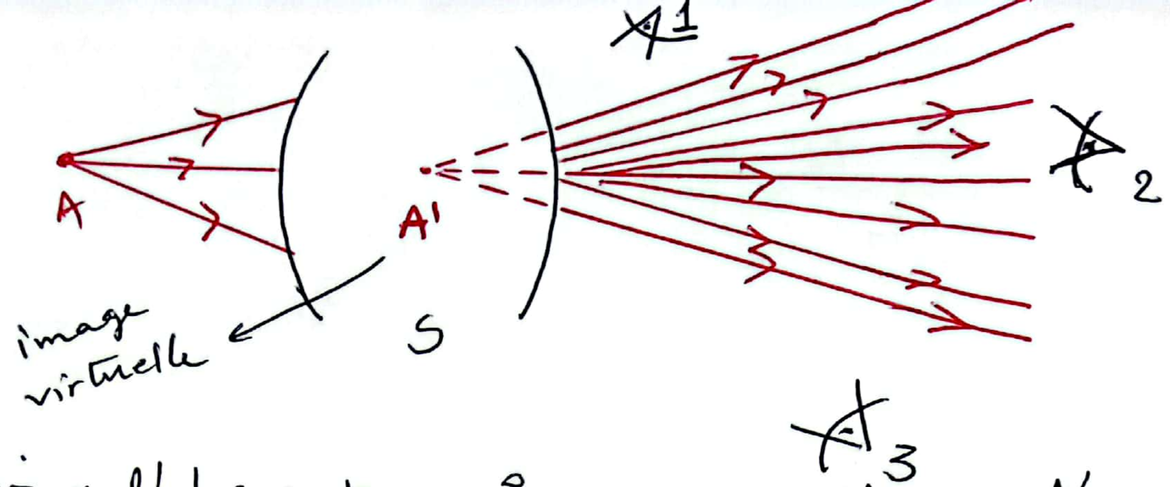
* Si A ∈ Espace objet réel ⇒ A objet réel, virtuel dans le cas contraire.

* Si A' ∈ Espace image réelle ⇒ A' image réelle, sinon virtuelle dans le cas contraire.

__Remarque:__

L'observateur ne fait pas de différence entre la nature réelle et imaginaire des images.





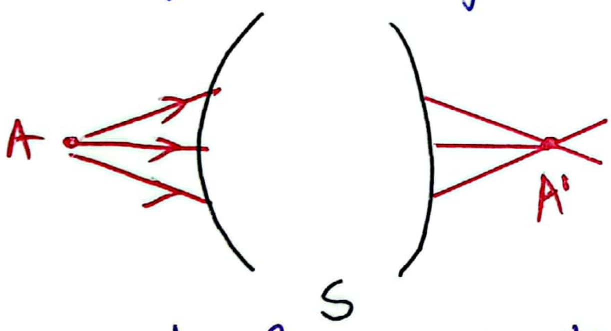
c'est toujours l'observateur N°2 qui verra l'image A'.

Dans les 02 cas, l'image A' (réelle ou virtuelle) ∈ Cône de lumière dont le sommet est l'image A'.

* Stigmatisme :

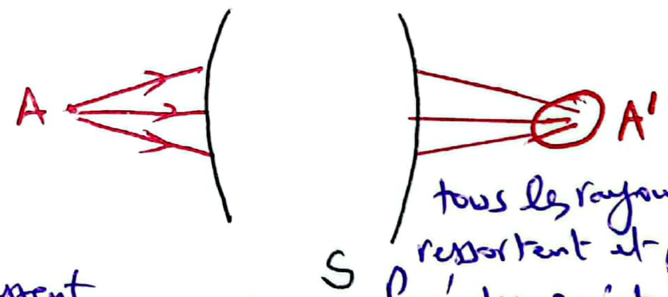
Un système optique est dit "Stigmatique", s'il donne d'une source ponctuelle, une image ponctuelle.

① Stigmatisme rigoureux



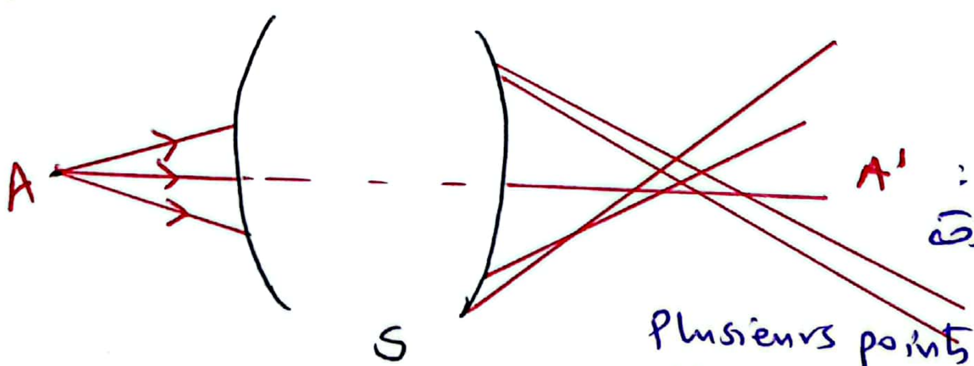
tous les rayons ressortent et passent par le point A'

② Stigmatisme approché



tous les rayons ressortent et passent tous près du point A'

③ Astigmatisme :



A' : image Floue
صورة غير واضحة

Plusieurs points d'intersection, au lieu d'avoir une image ponctuelle, on va avoir une tache (بقعة)

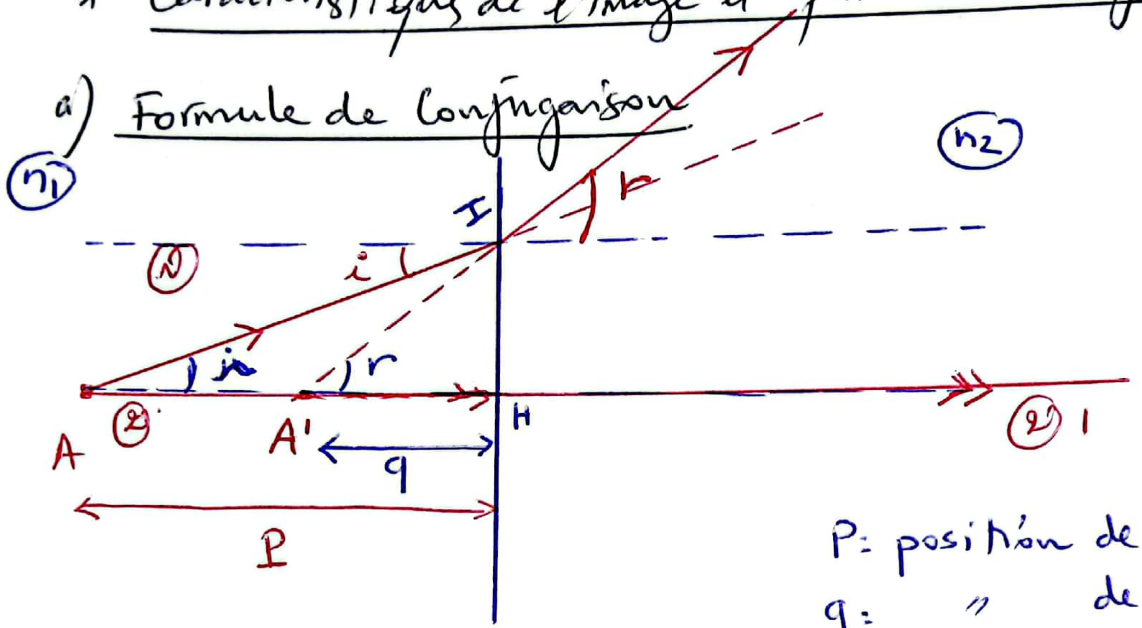
* Etude des systèmes dioptriques :

① Dioptre plan الكاسر المستوي :

toute surface plane qui sépare 2 milieux d'indices de réfraction ($n_1 \neq n_2$) ⟹ Dioptre plan.

* Caractéristiques de l'image et formule de conjugaison :

a) Formule de Conjugaison



P : position de l'objet A
q : " de l'image A'.

A' est une image virtuelle de l'objet réel A.

On a :

$$tg\, i = \frac{\overline{HI}}{\overline{HA}} = \frac{\overline{HI}}{P}$$

$$\Rightarrow \overline{HI} = P\, tg\, i \quad \text{———} \quad (1)$$

$$tg\, r = \frac{\overline{HI}}{\overline{HA'}} = \frac{\overline{HI}}{q}$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{HI} = q\, tg\, r \quad \text{———} \quad (2)$$

$$(1) = (2) \Rightarrow P\, tg\, i = q\, tg\, r.$$

$$\Rightarrow \frac{q}{P} = \frac{tg\, i}{tg\, r} \quad \text{————} \quad (3)$$

Pour les petits angles : $tg\, i \simeq \sin i$; $tg\, r \simeq \sin r$.

en plus on a : $n_1 \sin i = n_2 \sin r$.

$$\Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$, on remplace dans (3)

$$\Rightarrow \frac{q}{p} = \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r} \simeq \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\Rightarrow \frac{q}{p} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Formule de conjugaison pour le dioptre plan

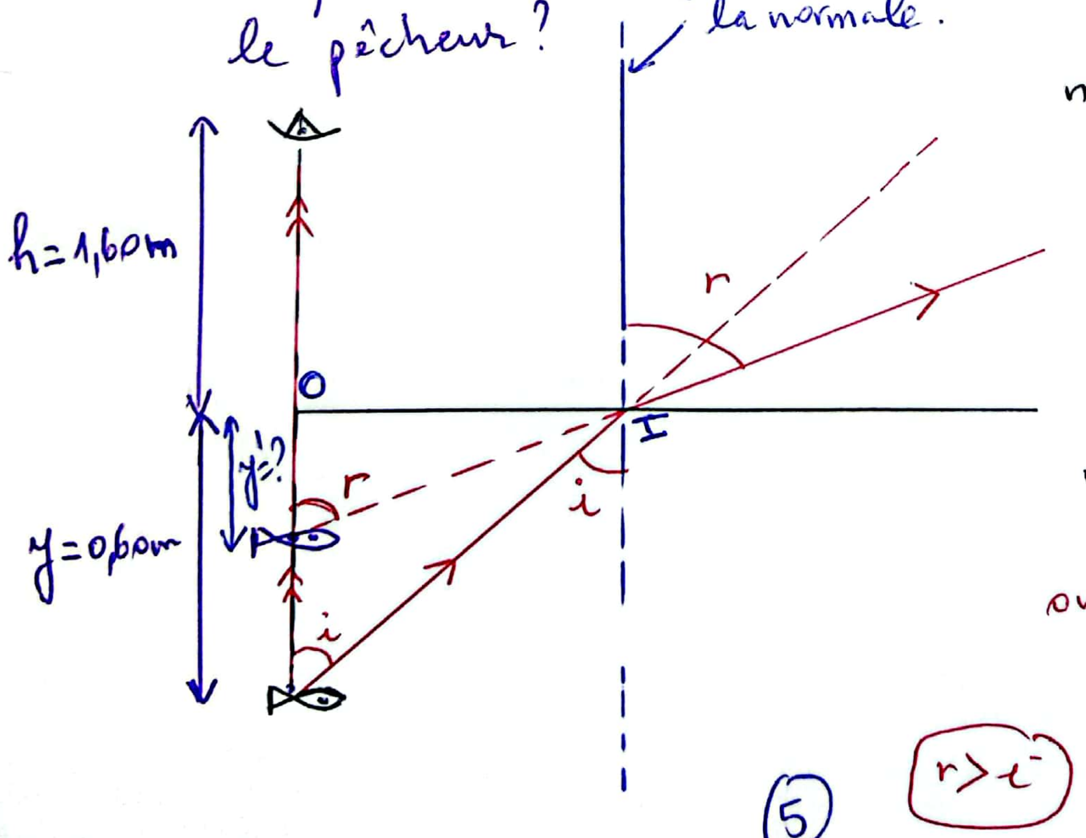
Remarque :

les angles faibles, c'est-à-dire, on est dans les conditions de Gauss : - c'est à dire les rayons issus de A sont paraxiaux (restent voisins de l'axe optique avec des faibles angles d'inclinaison).

exemple :

un pêcheur, dont les yeux sont à 1,60 m au-dessus de l'eau. Regarde un petit poisson situé à 0,60 m au-dessous de l'eau d'indice $n_2 = 4/3$.

- A quelle distance (profondeur) le pêcheur voit-il le poisson ?
- A quelle distance (hauteur) le poisson voit-il le pêcheur ?



on a : $n_2 \sin i = n_1 \sin r$

$\Rightarrow \sin r = \frac{n_2}{n_1} \sin i$

$\boxed{r > i} \Leftarrow \frac{n_2}{n_1} > 1$

Solution :

- $\operatorname{tg} i = \frac{OI}{y} \Rightarrow OI = y \operatorname{tg} i$ —— (1)

$\operatorname{tg} r = \frac{OI}{y'} \Rightarrow OI = y' \operatorname{tg} r$ —— (2).

(1) ≡ (2) $\Rightarrow y' \operatorname{tg} r = y \operatorname{tg} i$

$\Rightarrow y' = y \cdot \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r}$ Pour les faibles angles (Conditions de Gauss).

$\left.\begin{array}{l}\operatorname{tg} i \simeq \sin i \\ \operatorname{tg} r \simeq \sin r\end{array}\right\} \Rightarrow y' = y \frac{\sin i}{\sin r}.$

on a la loi de réfraction : $n_2 \sin i = n_1 \sin r$.

$\Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = n_1/n_2 \Rightarrow y' = \frac{n_1}{n_2} y$

A.N $y' = \frac{1}{4/3} \times 0{,}60 \Rightarrow y' = \frac{3 \times 0{,}60}{4} = 0{,}45\,m < y = 0{,}60$

le pêcheur au lieu de voir le poisson à une profondeur réelle de 0,60 m, il le voit à une profondeur apparente inférieure (0,45 m) à cause de la différence des indices de réfraction des milieux, n_1 (milieu pêcheur) ≠ n_2 (milieu poisson).

- De la même manière :

$n_1 \sin i = n_2 \sin r$

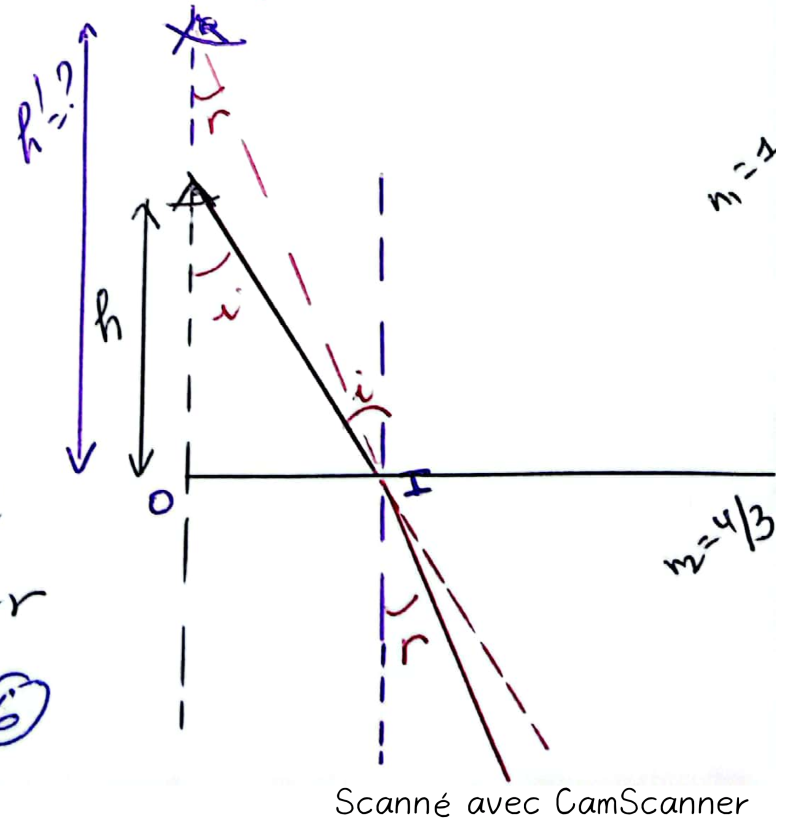
$\Rightarrow \sin r = \frac{n_1}{n_2} \sin i$

$\frac{n_1}{n_2} < 1 \Rightarrow \sin r < \sin i$

$\Rightarrow r < i$

$\operatorname{tg} i = \frac{OI}{h} \Rightarrow \overline{OI} = h \operatorname{tg} i$

$\operatorname{tg} r = \frac{OI}{h'} \Rightarrow \overline{OI} = h' \operatorname{tg} r$



$$\Rightarrow h \, tg\, i = h' \, tg\, r \Rightarrow h' = h \frac{tg\, i}{tg\, r}$$

Pour faibles valeurs de i et r

$$\Rightarrow h' \simeq h \frac{\sin i}{\sin r}, \quad \text{mais } \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Rightarrow h' = \frac{n_2}{n_1} h$$

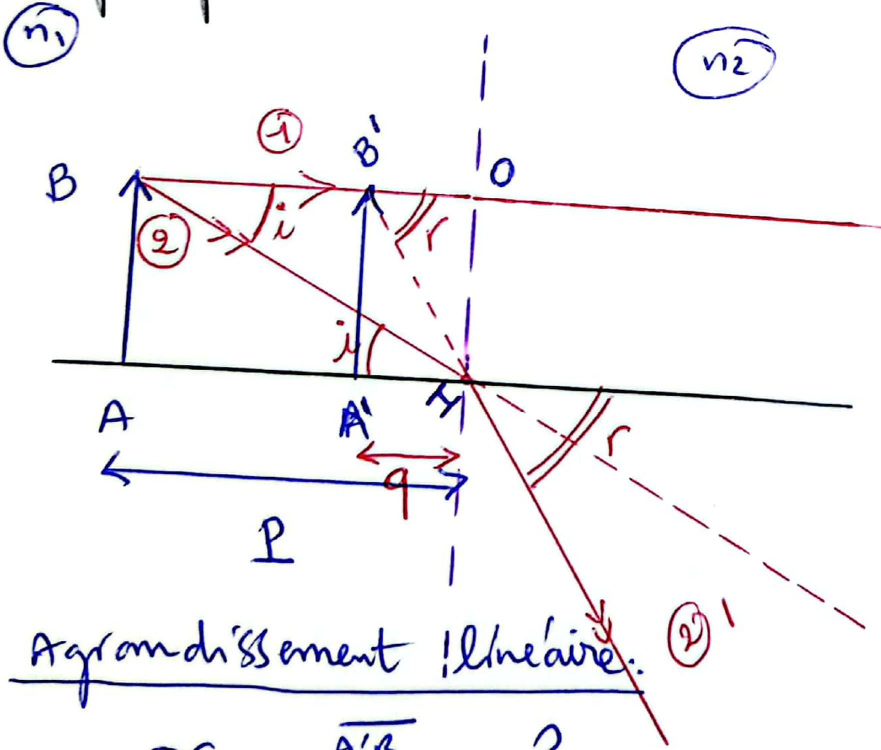
A.N

$$h' = \frac{4/3}{1} \times 1{,}60 \Rightarrow h' = 2{,}13\,m > h$$

le poisson va voir le pêcheur à une hauteur apparente $h' = 2{,}13 >$ à la hauteur réelle 1,60 m, à cause toujours de la différence des indices de réfraction entre les 2 milieux $n_1 \neq n_2$.

b) Caractéristiques de l'image :

Maintenant, au lieu de prendre une source ponctuelle, on prend un objet AB et on cherche son image par le dioptre plan.



$(i = r = 0)$

(on suppose que $\frac{n_1}{n_2} > 1 \Rightarrow r > i$)

- Agrandissement linéaire :

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

on a : $\mathrm{tg}\, i = \frac{\overline{OI}}{p} = \frac{\overline{AB}}{p} \Rightarrow \overline{AB} = p\,\mathrm{tg}\, i$

: $\mathrm{tg}\, r = \frac{\overline{OI}}{q} = \frac{\overline{A'B'}}{q} \Rightarrow \overline{A'B'} = q\,\mathrm{tg}\, r$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{p\,\mathrm{tg}\, i}{q\,\mathrm{tg}\, r} = \frac{p}{q} \cdot \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{p}{q} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

Mais la relation de conjugaison : $\frac{q}{p} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{p}{q} = \frac{n_1}{n_2}$

Donc $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{p}{q} \cdot \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_1}$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = 1 \Rightarrow \overline{A'B'} = \overline{AB}$$

* $\gamma = 1 \Rightarrow$ l'image et l'objet sont de même grandeur.
* $\gamma > 0 \Rightarrow$ image droite par rapport à l'objet (dans le même sens).
* $\overline{A'B'}$ est une image virtuelle de l'objet réel $\overline{AB}$.

② Lame à faces parallèles : الصفيحة المتوازية الوجهين

Une lame à faces parallèles est constituée de 02 dioptres plans parallèles .

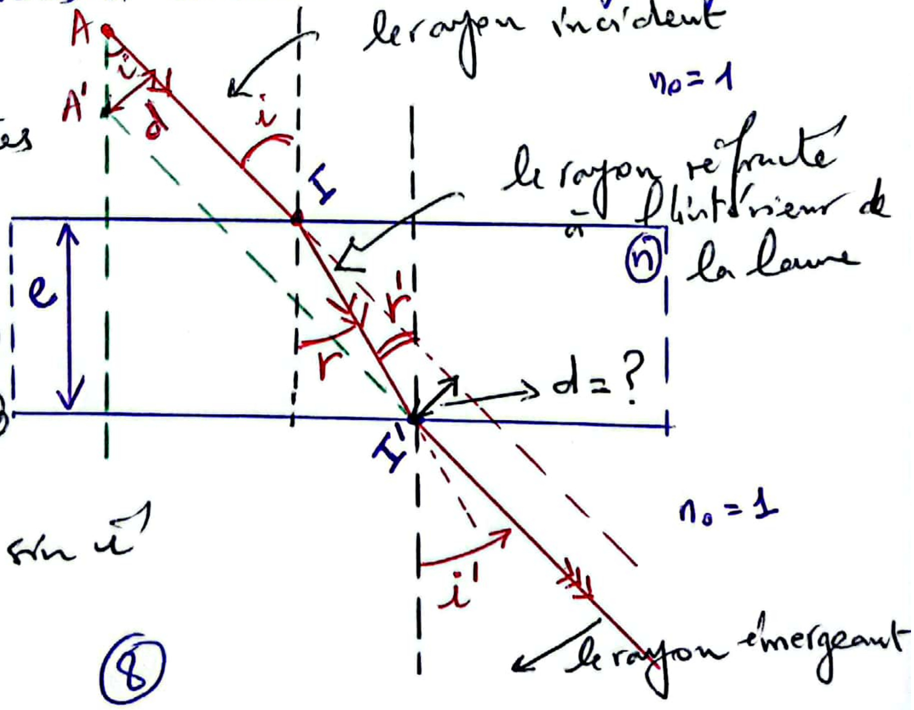
L'application aux 02 dioptres de la loi de Descartes pour la réfraction :

$n_0 \sin i = n \sin r$ — ①

$n \sin r' = n_0 \sin i'$ — ②

on a : $r = r' \Rightarrow$
$n_0 \sin i = n_0 \sin i'$

$\Rightarrow i = i'$



$i = i'$ ⇒ le rayon émergent est parallèle au rayon incident !

⇒ le rayon incident aura un déplacement latéral d donné par :

$$d = e \frac{\sin(i-r)}{\cos r} ;$$

e : épaisseur de la lame.
i : angle d'incidence
r : " de réfraction à l'intérieur de la lame.

Démonstration :

$$\sin(i-r) = \frac{d}{\overline{II'}}$$

$$\Rightarrow \quad d = \overline{II'} \cdot \sin(i-r) \quad \text{——} \quad (1)$$

$\overline{II'} = ?$, on a : $\cos r = \dfrac{e}{\overline{II'}}$

$$\Rightarrow \quad \overline{II'} = \frac{e}{\cos r} \quad \text{——} \quad (2)$$

on remplace (2) dans (1), ce qui donne :

$$\boxed{d = \frac{e}{\cos r} \sin(i-r)}$$

cqfd.

* la distance entre l'objet A et son image A' est donnée par : $\overline{AA'} \simeq e\left(1 - \frac{1}{n}\right)$

Démonstration :

on a : $\sin i = \cancel{} = \dfrac{d}{\overline{AA'}} \Rightarrow \overline{AA'} = \dfrac{d}{\sin i}$

mais on a trouvé que $d = \dfrac{e}{\cos r} \sin(i-r)$

$$\Rightarrow \quad \overline{AA'} = \frac{e \sin(i-r)}{\sin i \cos r} = e \frac{\sin(i-r)}{\sin i \cos r}$$

$$\Rightarrow \quad \overline{AA'} = e\,\frac{[\sin i \cos r - \cos i \sin r]}{\sin i \cos r}$$

$$\overline{AA'} = e\left[1 - \frac{tg\,r}{tg\,i}\right]$$

Pour les angles faibles :

$tg\,r \simeq \sin r$

$tg\,i \simeq \sin i$

$$\Rightarrow \quad \overline{AA'} \simeq e\left(1 - \frac{\sin r}{\sin i}\right)$$

Mais on a : $\frac{\sin r}{\sin i} = \frac{n_0}{n} = \frac{1}{n}$

$$\Rightarrow \boxed{\overline{AA'} \simeq e\left(1 - \frac{1}{n}\right)}$$ cqfd