

TD 01 : Sources lumineuses, réflexion et réfraction des rayons lumineux
EX 1 – Incidence de Brewster

► Un rayon lumineux arrive à l'interface plane séparant l'air d'indice optique $n_0 = 1,00$ d'un autre milieu d'indice optique n . Il se scinde en un rayon réfléchi et un rayon réfracté.

- Q 1.** Déterminer l'angle d'incidence i_B , appelé angle de BREWSTER, pour lequel ces deux rayons sont perpendiculaires entre eux.
- Q 2.** Faire l'application numérique dans le cas de l'eau d'indice optique $n = 1,33$, puis d'un verre d'indice optique $n = 1,5$.

EX 2 – Ératosthène et la mesure du rayon de la Terre

► Le savant grec ÉRATOSTHÈNE (vers 276 - 194 av. J.-C.) a proposé au cours de sa vie une expérience afin de déterminer la valeur du rayon de la Terre supposée sphérique. Sa méthode est la suivante : au solstice d'été à Syène (actuelle Assouan, Égypte), à midi, le Soleil éclaire le fond d'un puits (les rayons du Soleil sont alors verticaux). À Alexandrie (autre ville sur la côte égyptienne), le même jour à la même heure, un obélisque (vertical) projette une ombre qui permet de mesurer l'angle $\alpha = 7^\circ 12'$ ($1^\circ = 60'$ d'arc) que font les rayons du Soleil avec la verticale. ÉRATOSTHÈNE mesure ensuite la distance Syène-Alexandrie, qui vaut 5000 stades, un stade égyptien mesurant 157,5 m. Du fait des dimensions de la Terre, on pourra approximer la distance séparant Alexandrie de Syène comme un segment et non un arc de cercle.

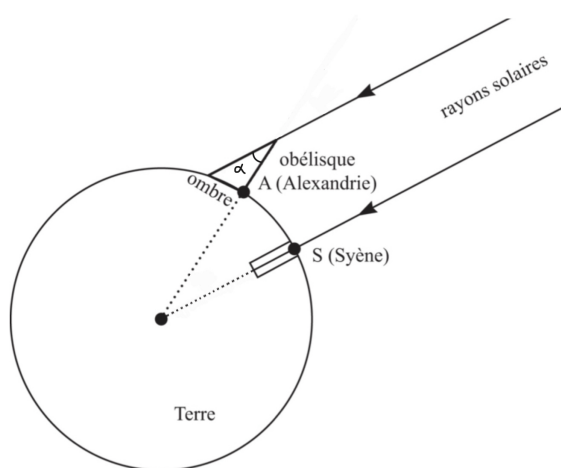


FIGURE 1 – Schéma en coupe de l'expérience d'ÉRATOSTHÈNE et vue à l'échelle en 3D sur le globe terrestre

- Q 1.** Estimer la valeur numérique du rayon de la Terre en exploitant les résultats obtenus par ÉRATOSTHÈNE.
- Q 2.** La valeur du rayon terrestre est $R_T = 6\,378$ km. Commenter les résultats d'ÉRATOSTHÈNE.
- Q 3.** Que se passerait-il si on réalisait la même expérience, mais en considérant cette fois-ci que la Terre est plate ?

EX 3 – Un héron cendré et un poisson

► Un héron cendré dont les yeux O sont à une hauteur $h = 0,95$ m tout pile au-dessus du bord d'une mare regarde un poisson P situé à une profondeur $p = 1,2$ m de la surface de l'eau (le poisson touche quasiment le fond de la mare). Le héron cendré a l'impression que le poisson est à une distance $d = 1,0$ m du bord sur lequel il est juché. L'air et l'eau sont des milieux d'indices optiques respectifs $n_0 = 1,00$ et $n_e = 1,33$.

- Q 1.** Schématiser la situation.
- Q 2.** Le héron, habitué à cette situation, décide de plonger son bec à une distance $d' < d$. Montrer que $d' = d - pf(\alpha, \beta)$ où f est une fonction dépendant de $\alpha = \frac{d}{p+h}$ et $\beta = \frac{n_0}{n_e}$. Faire l'application numérique.

EX 4 – Détection de pluie sur un pare-brise

► Cet exercice propose de s'intéresser à un modèle simplifié du système de détection automatique de pluie qui commande la mise en route des essuies-glaces d'une voiture. Un bloc de plexiglas biseauté situé à l'intérieur du bloc rétroviseur est collé au verre du pare-brise. Une diode électroluminescente (DEL) envoie un pinceau lumineux infrarouge en incidence normale sur le biseau. Un capteur lumineux mesure en permanence l'intensité de la lumière en sortie de la pièce biseautée : plus il y a d'eau sur la vitre, plus elle est faible. Le capteur de pluie pilote ainsi l'essuie-glace en fonction de la quantité d'eau détectée et sélectionne automatiquement la vitesse de balayage la plus efficace.

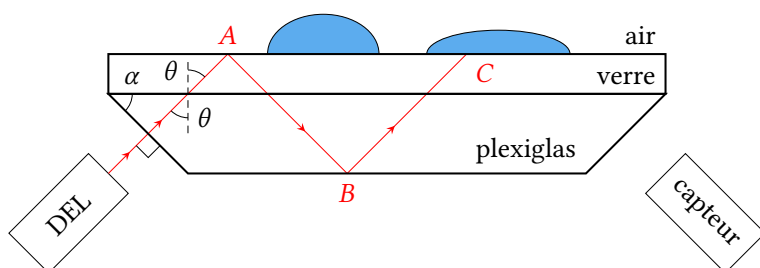


FIGURE 2 – Principe de fonctionnement d'un détecteur de pluie

Données :

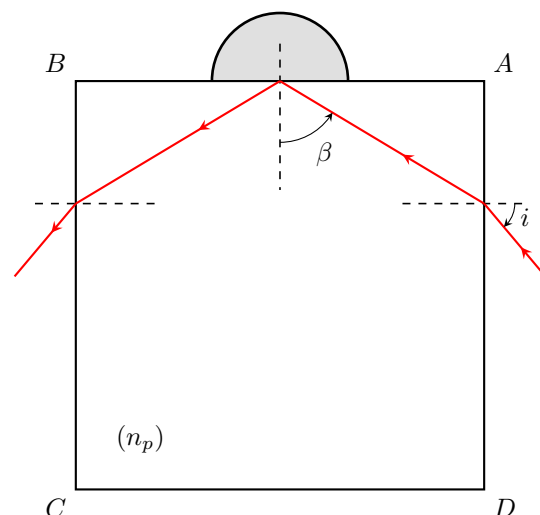
- Angle du biseau : $\alpha = 50^\circ$.
- Indices optiques : verre du pare-brise $n_v = 1,5$; eau $n_e = 1,33$.
- L'indice du plexiglas est suffisamment proche de celui du verre pour les considérer égaux, et négliger tous phénomènes de réflexion et réfraction à cette interface.

- Q 1. Pourquoi utilise-t-on un rayonnement infrarouge ?
- Q 2. Montrer que $\theta = \alpha$ à l'interface plexiglas/verre.
- Q 3. En l'absence de pluie, existe-il un rayon réfracté au point A ou au point C ? Justifier.
- Q 4. En présence de gouttes de pluie sur le pare-brise, placées comme sur la figure, existe-il un rayon réfracté au point C ? Justifier.
- Q 5. Expliquer pourquoi plus il y aura de gouttes sur le pare-brise, moins l'intensité lumineuse reçue par le capteur sera importante.

EX 5 – Réfractomètre de Pulfrich

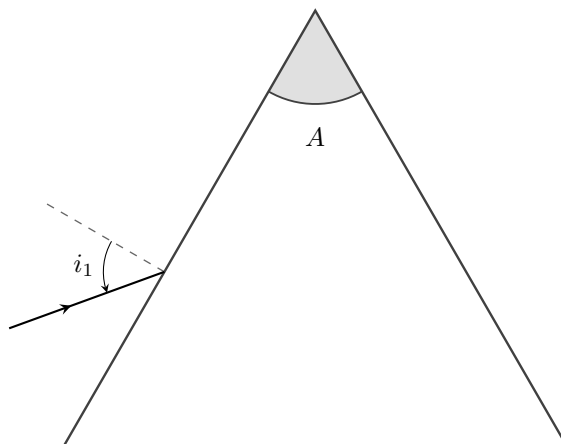
► On veut mesurer l'indice de réfraction n d'un liquide inconnu afin de déterminer sa nature. Pour cela, on dispose d'un réfractomètre de PULFRICH composé d'un cube de verre transparent d'indice $n_p = 1,50$. On dépose une goutte de ce liquide sur le cube, puis on éclaire ce cube par un faisceau lumineux d'incidence i variable sur la face d'entrée AD du cube. On mesure ensuite la valeur de l'angle limite d'incidence i_{lim} pour lequel la goutte apparaît lumineuse pour un observateur dont l'œil est placé juste au dessus de la goutte. On prend $n_0 = 1,00$ pour l'indice optique de l'air.

- Q 1. Justifier pourquoi, pour $i > i_{\text{lim}}$, la goutte apparaît lumineuse.
- Q 2. Déterminer alors l'indice de réfraction n de la goutte de liquide en fonction de n_p , n_0 et i_{lim} .
- Q 3. Montrer que ce réfractomètre mesure des indices optiques n compris entre deux valeurs à déterminer.



EX 6 – Étude d'un prisme

► On considère un prisme fabriqué dans un matériau transparent d'indice optique n dont l'angle à l'un des sommets vaut A . Un rayon lumineux entre par une face du prisme avec un angle d'incidence i_1 et ressort après deux réfractions successives par la face de sortie avec un angle i_2 . L'angle que fait le rayon d'entrée avec le rayon de sortie est appelé l'angle de déviation D . On prend $n_0 = 1,00$ pour l'indice optique de l'air.



Q 1. Reproduire et compléter le schéma ci-dessus afin de faire apparaître les différents angles définis dans l'énoncé (et ceux non définis).

Q 2. Montrer que $D = i_1 + i_2 - A$. On prendra soin de détailler la démonstration. On pourra introduire des angles supplémentaires sur le schéma pour expliciter sa démonstration si nécessaire.

Q 3. a) Montrer qu'un rayon lumineux entrant dans le prisme avec un angle d'incidence i ressort à la condition que :

$$i_1 \geq \arcsin\left(\frac{n}{n_0} \sin\left(A - \arcsin\left(\frac{n_0}{n}\right)\right)\right)$$

b) Si cette dernière condition n'est pas respectée, quel phénomène a lieu au niveau de la face de « sortie » ? Par quelle face sort le rayon lumineux (faire un schéma) ?

Q 4. Montrer que l'angle de déviation D s'exprime en fonction de l'angle d'incidence i_1 et des différents paramètres du problème tel que :

$$D = i_1 + \arcsin\left(\frac{n}{n_0} \sin\left(A - \arcsin\left(\frac{n_0}{n} \sin(i_1)\right)\right)\right) - A$$

Q 5. À l'aide d'une étude graphique, montrer qu'il existe un angle de déviation minimal D_m pour un angle d'incidence donné i_m . On choisira $A = 60^\circ$ et $n = 1,50$ afin de réaliser cette étude graphique. Le choix du logiciel tableur-grapheur ou du langage de programmation est laissé libre. Un graphique correctement annoté est attendu.

Longueur d'onde en nm	Indice de réfraction
404,7	1,5066
435,8	1,5026
480,0	1,4983
486,1	1,4978
546,1	1,4938
587,6	1,4918
589,3	1,4917
643,9	1,4896
656,3	1,4892
706,5	1,4878

Q 6. Comment est qualifié ce type de milieu ? Que va-t-on observer en sortie du prisme (faire un schéma) ?