

TD application : base de l'optique géométrique



I Fréquence, longueur d'onde et indice

La lumière visible possède des longueurs d'onde dans le vide comprises entre $[400 ; 800]$ nm.

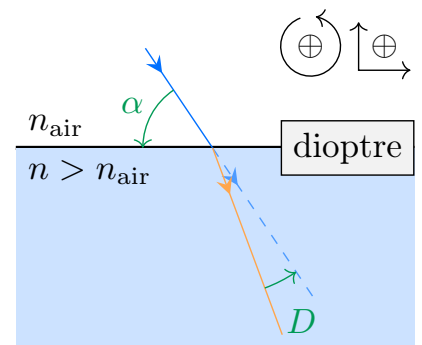
- 1 À quel intervalle de fréquences cela correspond-il ?
- 2 Que deviennent ces longueurs d'ondes
 - a – dans l'eau d'indice $n_1 = 1,33$?
 - b – dans un verre d'indice $n_2 = 1,5$?
- 3 Calculer la valeur de la vitesse de la lumière dans un verre d'indice $n = 1,5$.



II Détermination directe de l'indice d'un liquide

1

Un rayon lumineux dans l'air (n_{air}) tombe sur la surface horizontale d'un liquide d'indice n . Il fait un angle $\alpha = 56^\circ$ avec le plan horizontal. La déviation entre le rayon incident et le rayon réfracté est $D = 13,5^\circ$. Quel est l'indice n du liquide ?



III Incidence de BREWSTER

- 1 Un dioptre plan sépare l'air d'un milieu d'indice n . Pour quelle valeur de l'angle d'incidence le rayon réfléchi est-il perpendiculaire au rayon réfracté ?



IV Rayon lumineux à travers une vitre

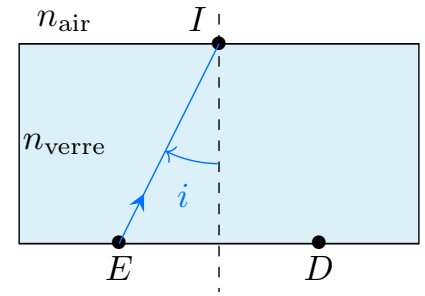
Un rayon lumineux traverse une vitre d'épaisseur $a = 5,0$ mm et d'indice $n = 1,5$ sous une incidence $i_1 = 45^\circ$. Le milieu extérieur est l'air.

- 1 Faire un schéma et calculer l'angle de réfraction i_2 lors du passage à travers la première face (air→verre). Calculer alors l'angle de réfraction i_3 lors du passage à travers la deuxième face (verre→air).
- 2 Justifier que le rayon entrant et le rayon sortant sont parallèles.
- 3 Calculer la déviation latérale d (la distance entre le point où sort le rayon émergent et celui où sortirait le rayon incident s'il n'était pas dévié) entre ces deux rayons.



V Détecteur de pluie sur un pare-brise

On modélise un pare-brise par une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur $e = 5,00$ mm, d'indice $n_v = 1,5$. Un fin pinceau lumineux issu d'un émetteur situé en E arrive de l'intérieur du verre sur le dioptre verre $\rightarrow$ air en I avec un angle d'incidence $i = 60,0^\circ$.



- 1 Montrer que le flux lumineux revient intégralement sur le détecteur situé en D et déterminer la distance ED.
- 2 Lorsqu'il pleut, une lame d'eau d'indice $n_e = 1,33$ et d'épaisseur $e' = 1,00$ mm se dépose sur un pare-brise. Représenter le rayon lumineux dans ce cas. À quelle distance du détecteur arrive-t-il ?

TD entraînement : base de l'optique géométrique



I Fibre optique à saut d'indice

Les câbles à fibres optiques permettent la transmission à haut débit de tous types de signaux électromagnétiques, sur de longues distances avec très peu d'atténuation ; ceux-ci se propagent comme la lumière. Chaque câble comporte un grand nombre de fibres très fines.

Une fibre optique à saut d'indice peut être assimilée à un cylindre de révolution d'axe Oz , constitué d'un cœur de rayon a (de l'ordre de 8 à 50 μm) et d'indice n_1 , entouré d'une couche cylindrique appelée *gaine*, d'épaisseur $b - a$ et d'indice $n_2 < n_1$.

Un rayon pénètre depuis l'air $n_{\text{air}} = 1$ dans la fibre par sa base en O , en faisant un angle θ avec l'axe optique confondu avec Oz .

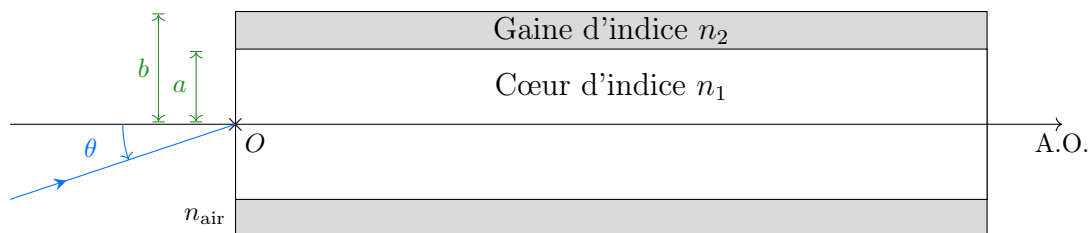


FIGURE TDO2.1 – Schéma d'une fibre optique à saut d'indice.

- 1 Exprimer une condition sur θ en fonction des indices n_1 et n_2 pour que le rayon ne se propage uniquement dans le cœur de la fibre.
- 2 Déterminer l'écart temporel entre la sortie du rayon le plus rapide (en ligne droite) et le rayon le plus lent ($\theta = \theta_{\text{lim}}$).
- 3 La fibre permet de transporter de très courtes impulsions lumineuses, qu'on doit pouvoir distinguer à la sortie. Déterminer le débit maximal d'information possible avec cette fibre en Mb/s, avec 1 b correspondant à une impulsion, avec $L = 100 \text{ km}$, $n_1 = 1,500$ et $n_2 = 1,498$. Commenter le résultat.



II Mirages

- 1 Lorsque le sol est très « chaud », la température de l'air est d'autant plus élevée qu'il est proche du sol. Plus la température de l'air est élevée, moins son indice optique est élevé. On décompose l'atmosphère en N couches planes isothermes dont l'indice optique augmente avec l'altitude :

$$\forall k \in \mathbb{N}^* \quad \text{et} \quad 1 \leq k \leq N, \quad n_{k+1} > n_k$$

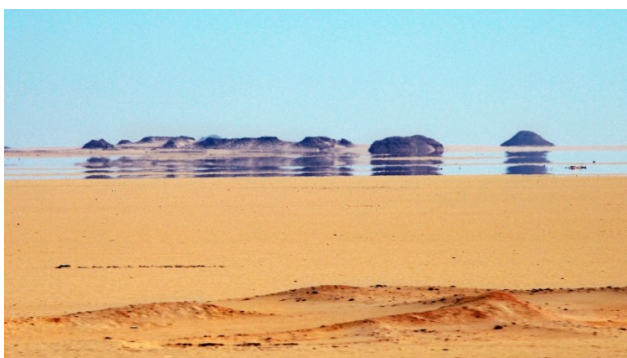


FIGURE O2.2 – Photo d'un mirage chaud

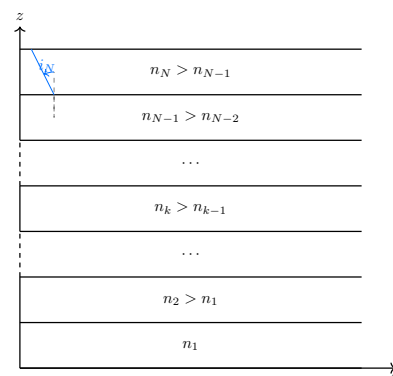


FIGURE O2.3 – Modèle d'atmosphère stratifiée

- a – Montrer que $n_k \sin(i_k)$ est constant, où k désigne la k -ième couche atmosphérique.
- b – Tracer les rayons réfractés par les couches d'air successives en faisant apparaître les angles d'incidence et de réfraction, puis montrer que pour un angle d'incidence initial suffisamment grand, une réflexion totale se produit.

- c – Pour une variation continue de l'indice n , tracer qualitativement le trajet d'un rayon lumineux issu du ciel. Dans quel sens et direction sa trajectoire est-elle courbée ?
- d – Interpréter alors le mirage chaud observé sur la photo ci-dessus. Faire un schéma.

2

Il arrive que la mer soit nettement plus « froide » que l'atmosphère. La température de l'air augmente alors avec l'altitude. Que peut-on observer si on regarde un bateau ou une île au loin ? Interpréter le mirage froid de la photo O2.4 ci-contre. Justifier par un schéma.

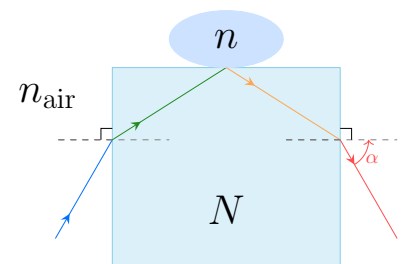


FIGURE O2.4 – Mirage froid.



III Réfractomètre de PULRICH

Un réfractomètre de PULRICH est constitué d'un bloc de verre de section rectangulaire d'indice N connu, sur lequel on a déposé une goutte de liquide d'indice n inconnu ($n < N$). On observe un faisceau de rayons parallèles à la limite réfraction/réflexion totale et on mesure en sortie l'angle α dans ce cas.



- 1 Établir l'expression de n en fonction de N et α .
- 2 Application numérique : calculer n sachant que $N = 1,626$ et $\alpha = 60^\circ 0'$.



IV Réfraction et dispersion

- 1 Un rayon lumineux, se propageant dans l'air, arrive avec une incidence $i = 40^\circ$ sur un dioptre air/verre plan. Si on considère que ce rayon est constitué de lumière blanche, calculer l'écart angulaire entre les rayons réfractés extrêmes.



Données

L'indice du verre est donné par la formule de Cauchy :

$$n = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$$

avec $A = 1,504$ et $B = 4,188 \times 10^{-15} \text{ m}^2$; l'indice de l'air est $n_{\text{air}} = 1,000$.