



TD S5 – PROPAGATION DE LA LUMIÈRE

D.Malka – MPSI 2017-2018 – Lycée Saint-Exupéry

S1 – Illustration du principe de Fermat

Cet exercice vise à illustrer, sur un exemple simple, le principe de Fermat dont voici l'énoncé historique : *la lumière se propage d'un point à un autre en empruntant une trajectoire telle que la durée du parcours est minimale.* (1657)

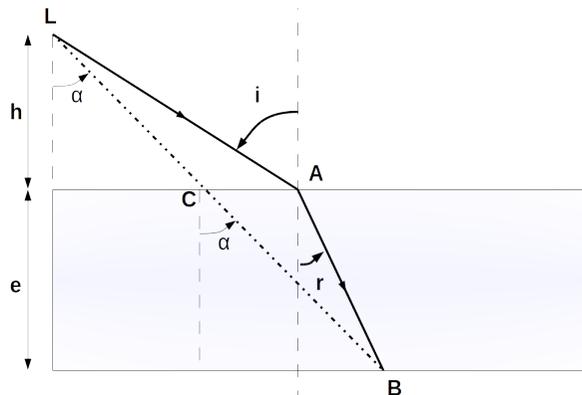


FIGURE 1 – Quel trajet pour la lumière ?

Données : $LC = 8 \text{ cm}$; $i = 60,0^\circ$; $h = 5 \text{ cm}$; $e = 6 \text{ cm}$; $n_{air} = 1$; $n = 1,5$ et $C_0 = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Un rayon lumineux, issu d'une source laser L, se propage de A à B en passant par un bloc de verre d'indice n . On envisage le parcours de la lumière en présence et en l'absence de réfraction (fig.1).

1. **Parcours de la lumière en ligne droite** : exprimer puis calculer la durée Δt_1 de propagation de la lumière de L à B en passant par C.

2. **Parcours de la lumière avec réfraction** : exprimer puis calculer la durée Δt_2 de propagation de la lumière de L à B en passant par A.
3. Quel est le trajet emprunté effectivement par la lumière pour aller de A à B ? Retrouver ce résultat en utilisant le principe de Fermat.

S2 – Fibre optique à saut d'indice

Une fibre optique est constituée de deux diélectriques coaxiaux : le cœur et la gaine. Dans une fibre à saut d'indice, le cœur et la gaine sont des milieux homogènes d'indices respectivement $n_1 = 1,456$ et $n_2 = 1,410$. On note z la direction générale de propagation (fig. 2). Le diamètre du cœur vaut $a = 50,0 \mu\text{m}$. La longueur d'onde dans le vide du signal est $\lambda_0 = 1,55 \mu\text{m}$.

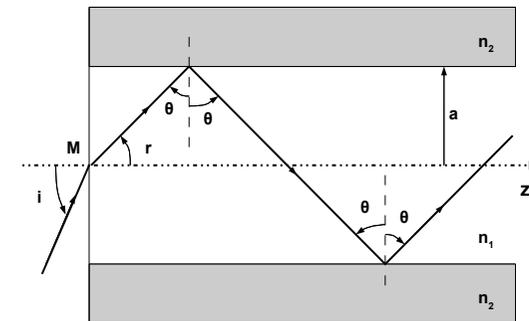


FIGURE 2 – Fibre à saut d'indice. L'indice de cœur est noté n_1 , l'indice de gaine n_2 .

1. Montrer que le rayon lumineux est guidé par réflexion totale dans le cœur (c'est-à-dire qu'il n'en sort pas) si θ est supérieur à une certaine valeur θ_L que l'on exprimera en fonction de n_1 et de n_2 . Calculer θ_L .
2. On note i l'angle d'incidence d'un rayon lumineux à l'entrée de la fibre (fig. 2).
 - 2.1 Déterminer la valeur maximale de l'angle d'incidence i (notée i_{max}) en deçà de laquelle le guidage de la lumière est assuré dans la fibre.
 - 2.2 Calculer $N = \sin i_{max}$, appelée ouverture numérique de la fibre.

S3 – Mirage chaud

Cet exercice est une introduction à la propagation de la lumière dans un milieu non homogène. Le but est d'interpréter qualitativement les phénomènes de mirages (froid et chaud). Ces illusions d'optiques apparaissent lorsque l'indice de l'air varie assez rapidement avec l'altitude.

1. Mirages chauds

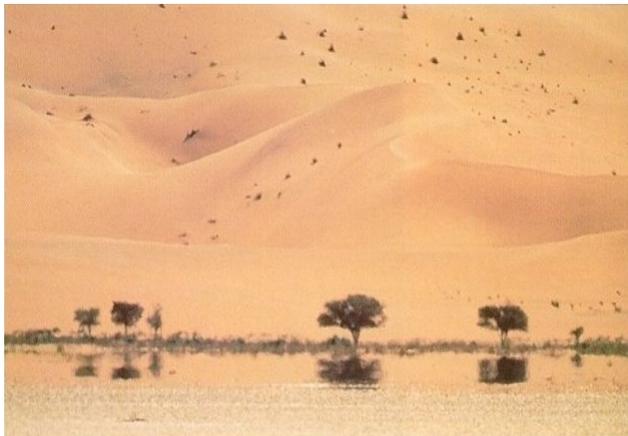


FIGURE 3 – Un mirage chaud

Lorsque le sol est très chaud, la température de l'air est d'autant plus élevée qu'il est proche du sol. Plus l'air est chaud moins son indice optique est élevé. L'indice optique augmente donc avec l'altitude.

On décompose l'atmosphère en couches planes isothermes. C'est le modèle de l'atmosphère stratifiée (fig.4).

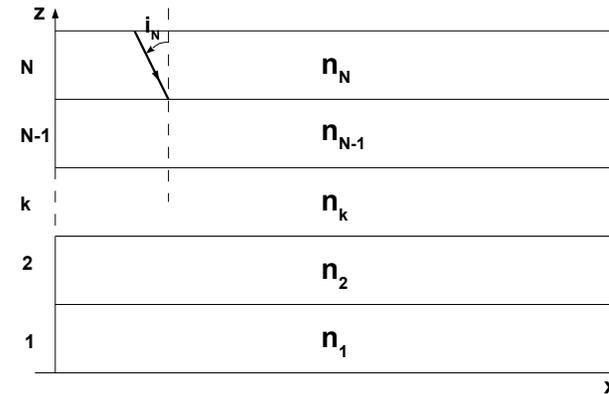


FIGURE 4 – Modèle de l'atmosphère stratifiée

- 1.1 Montrer que, $n_k \sin(i_k) = cste$, où k désigne la $k^{\text{ième}}$ couche atmosphérique.
 - 1.2 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.
 - 1.3 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 ?
 - 1.4 Interpréter alors le mirage chaud observé sur la photo fig.3. Faire un schéma.
2. **Mirages froids**

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 fig.5. Justifier par un schéma.



FIGURE 5 – Un mirage froid