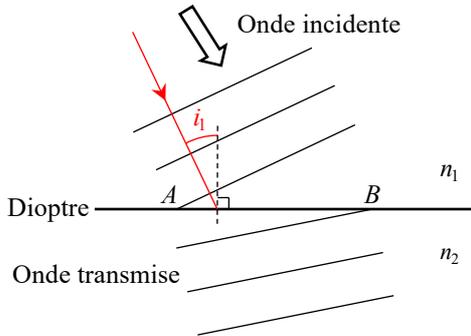


# Exercices du chapitre Op1

## *Chemins optiques et surfaces d'onde*

### 1. Lois de Snell–Descartes et théorème de Malus

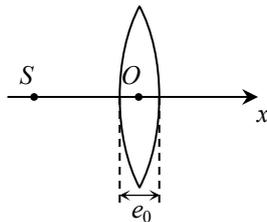
Une onde lumineuse monochromatique plane se propageant dans un milieu d'indice  $n_1$  vient frapper un dioptre plan (interface avec un milieu d'indice  $n_2$ ) sous une incidence  $i_1$ . La transmission (réfraction) à l'interface donne naissance à une autre onde plane, dont on veut déterminer la direction de propagation à partir du théorème de Malus. Sur la figure ci-dessous on a représenté quelques surfaces d'onde de l'onde incidente et de l'onde transmise.



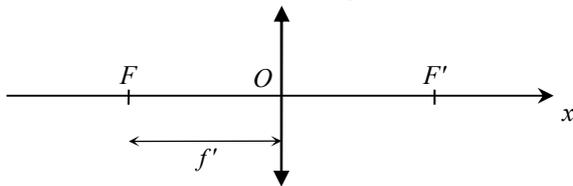
En considérant les rayons passant par les points  $A$  et  $B$  de la figure, et en utilisant le théorème de Malus, établir la loi de Snell–Descartes pour la réfraction.

### 2. Chemins optiques à travers une lentille mince

Une source ponctuelle  $S$  est placée devant une lentille mince convergente de distance focale  $f'$ , sur son axe optique ( $Ox$ ).



On a mesuré l'épaisseur maximale  $e_0$  de la lentille sur l'axe optique, mais on ne connaît pas sa forme exacte : pour faire des constructions on utilisera donc la schématisation habituelle de l'optique géométrique (lentille « infiniment mince »). L'indice du verre de la lentille est  $n$ , celui de l'air est  $n_a$ .

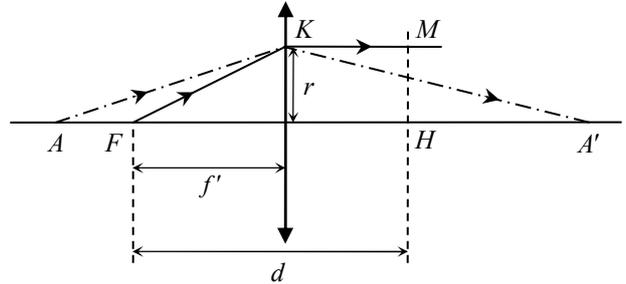


On cherche à déterminer le chemin optique entre  $S$  et un point quelconque situé dans l'espace image (abscisse  $x > 0$ ).

- On place  $S$  au foyer objet principal  $F$ . Quel est le rayon allant de  $S$  jusqu'à un point  $M$  situé sur l'axe optique ? En déduire le chemin optique ( $SM$ ).
- Toujours avec  $S$  en  $F$ , on prend maintenant un point  $N$  de coordonnées  $(x, y, 0)$ , donc hors de l'axe. Tracer le rayon passant par  $N$ . Pourquoi ne peut-on pas faire un calcul géométrique du chemin optique ( $SN$ ) ? Tracer alors la surface d'onde contenant  $N$ , puis en déduire ( $SN$ ).
- On place maintenant  $S$  à la distance  $3f'$  avant la lentille. Déterminer de même ( $SM$ ) puis ( $SN$ ).

### 3. Profil d'une lentille et formule de conjugaison

Une lentille mince convergente, réalisée dans un verre d'indice  $n$ , a une distance focale  $f'$ . Une source lumineuse est placée à son foyer objet principal  $F$ , et on suppose que les conditions de Gauss sont vérifiées. On note  $e_0$  l'épaisseur maximale de la lentille (au niveau de l'axe optique). L'indice de l'air est supposé égal à 1.



- $M$  étant un point quelconque de l'espace image, écrire de deux façons différentes le chemin optique ( $FM$ ), et en déduire l'épaisseur de la lentille en fonction de  $r$  (distance entre le point d'impact  $K$  du rayon sur la lentille et l'axe optique) et des constantes  $f'$ ,  $e_0$  et  $n$ . On pourra supposer que dans la lentille, le rayon est parallèle à l'axe (c'est-à-dire négliger son inclinaison par rapport à celle du segment  $FK$ ).
- Pour deux points conjugués réels  $A$  et  $A'$ , établir la formule de conjugaison de Descartes en utilisant la même technique.

## *Spectre et cohérence temporelle*

### 4. Raie spectrale

Une raie spectrale de l'hydrogène, observée dans la lumière solaire, a une longueur d'onde moyenne  $\lambda_{0m} = 486,1$  nm et une largeur en longueur d'onde  $\Delta\lambda_0 = 0,075$  nm.

- Quelle est sa couleur ?
- Évaluer la longueur de cohérence  $\ell_c$ , le temps de cohérence  $\tau_c$  et le nombre moyen d'oscillations par train d'ondes.

### 5. Effet Doppler et élargissement spectral

Dans une vapeur monoatomique (de masse molaire  $M$  et de température  $T$ ), les atomes, excités par une décharge électrique, émettent une lumière qui serait supposée parfaitement monochromatique (fréquence  $f_0$ ) s'ils étaient immobiles. Mais à cause de l'effet Doppler, l'onde perçue par un détecteur fixe comporte une certaine bande de fréquences autour de  $f_0$ . La densité spectrale de puissance lumineuse reçue par le détecteur est de la forme :

$$p_f(f) = K \exp \left[ - \left( \frac{f - f_0}{\Delta f} \right)^2 \right] \text{ avec } \Delta f = f_0 \sqrt{\frac{2RT}{Mc^2}}.$$

- Trace l'allure du graphe de cette densité spectrale, et donner une interprétation simple de  $\Delta f$ .
- Calculer  $\frac{\Delta f}{f_0}$  pour la raie verte du mercure, de fréquence  $f_0 = 549$  THz, avec  $c = 3,0 \cdot 10^8$  m·s<sup>-1</sup>,  $M = 201$  g·mol<sup>-1</sup>,  $R = 8,314$  J·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup> et  $T = 1000$  K (dans une lampe).
- Expérimentalement, on mesure une longueur de cohérence de l'ordre de 1 cm. L'effet Doppler est-il la cause principale de sa largeur spectrale ? Quelle autre cause intervient ?

## ☞ Réponses partielles

2. a)  $(SM) = n_a(f' + x) + (n - n_a)e_0$ .    b) *Idem*.    3. a)  $e(r) = e_0 - \frac{r^2}{2(n-1)f'}$ .    4. b)  $\ell_c = 3$  mm.