

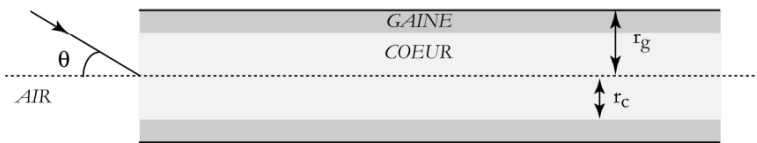
Propagation et lois de Descartes

EX 1 – Rotation d’un miroir

Un rayon lumineux se réfléchit sur un miroir suivant une incidence donnée. On fait tourner le miroir d’un angle α . De quel angle tourne le rayon réfléchi ?

EX 2 – Fibre à saut d’indice

On assimile une fibre optique à saut d’indice à un coeur cylindrique de rayon r_c , d’indice n_c , et une gaine de rayon extérieur $r_g > r_c$, d’indice $n_g < n_c$. La fibre optique est attaquée sous un angle d’incidence θ par rapport à son axe.



1. Quelle est la condition sur θ pour que le rayon lumineux se propage dans la fibre ? On nomera θ_l l’angle limite trouvé. AN : $n_c = 1,48$ et $n_g = 1,46$.
2. Une impulsion lumineuse arrive à $t = 0$ au point O sous la forme d’un faisceau conique de demi-angle au sommet $\theta_i < \theta_l$. Exprimer en fonction de n_c , c , θ_i et de la longueur l de la fibre, l’élargissement temporel de cette impulsion à la sortie de la fibre.
3. La durée de l’impulsion à l’entrée dans la fibre est T . En déduire une limite supérieure à la bande passante de cette fibre. AN : $l = 10\text{km}$, $\theta_i = 8^\circ$, $T = 0\text{s}$.
4. Question subsidiaire :
Sachant que l’atténuation en puissance est passé de $\sigma = -10\text{dB.km}^{-1}$ en 1970 à $\sigma = -0,005\text{dB.km}^{-1}$ aujourd’hui, calculer le pourcentage de perte par km de 1970 et d’aujourd’hui.

On pourra utiliser la loi de Beer-Lambert, vue en Chimie, qui stipule que l’intensité lumineuse dans un milieu transparent décroît exponentiellement en fonction de la distance (l) parcourue :

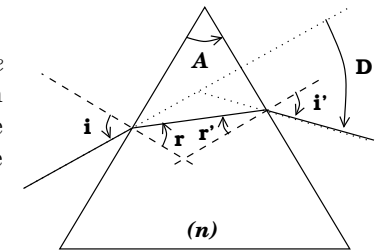
$$\Phi = \Phi_0 e^{-\ln(10)\sigma l} = \Phi_0 10^{-\sigma l}.$$

DÉFINITION : Le *décibel* est l’unité de la quantité sans dimension

$$10 \cdot \log \left(\frac{\Phi}{\Phi_0} \right).$$

EX 3 – Minimum de déviation du prisme

On considère un prisme d’indice n , dont l’arête utile fait un angle A appelé *angle au sommet*. On considère l’angle de déviation totale D entre le rayon incident et le rayon émergent. On rappelle que tous les angles sont orientés.



1. Expliquer le principe de la décomposition de la lumière blanche. Quelle est la couleur la plus déviée ?
2. Démontrer les deux relations du prisme :

$$A = r - r' \quad \text{et} \quad D = -i + i' + A$$

3. L’expérience prouve qu’il existe un angle i_m tel que la déviation est minimale ($D = -D_m$ avec $D_m > 0$). Montrer que dans ce cas, on a forcément $i = -i'$.
4. En déduire que :

$$\sin \frac{D_m + A}{2} = n \sin \frac{A}{2}$$

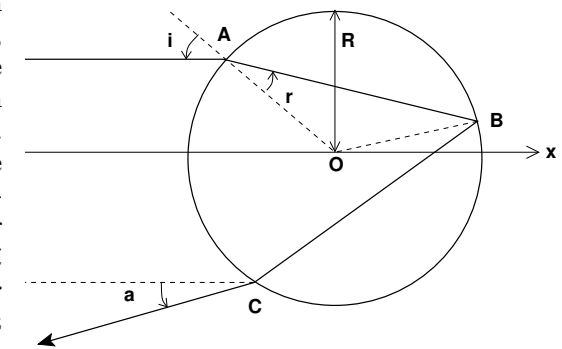
5. En utilisant la loi de la réfraction, démontrez a posteriori l’existence de ce minimum de déviation.

Rappel : la dérivée $\arcsin'(x) = \frac{1}{\cos(\arcsin(x))} = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$.

EX 4 – L’arc-en-ciel

On désire étudier le phénomène de l’arc-en-ciel par un modèle simple. On suppose que les gouttelettes d’eau sont assimilables à des sphères de rayon R , de centre O et d’indice de réfraction homogène $n = 1,3$ baignant dans l’air.

La sphère est éclairée par un faisceau de lumière parallèle, dont un rayon atteint la sphère en A. Après réfraction, le rayon retouche le dioptre eau-air en B. Le rayon alors réfléchi recoupe la sphère en C où un rayon réfracté ressort avec un angle a par rapport à l’axe Ox . On pose i l’angle incident au point A et r l’angle réfracté au même point A.



1. Peut-il y avoir réflexion totale en B ?
2. Montrer que $a = 4r - 2i$.
3. En déduire a en fonction de i seulement.
4. Montrer qu'il existe un angle i_{max} pour lequel a est maximal. Calculer i_{max} et a_{max} .
5. On suppose que le soleil est à l'horizon. Montrer que si un observateur regarde haut dans le ciel avec un angle a qu'on précisera, il recevra un maximum de lumière (il y aura accumulation des rayons lumineux).
6. Expliquez le phénomène de l'arc-en-ciel : Pourquoi l'observateur voit-il un arc de cercle ? Quel est l'angle du cône selon lequel ce cercle est vu ? Pourquoi voit-il des couleurs ?
7. On suppose maintenant que le soleil est à l'Ouest, avec un angle zénithal de 10° au dessus de l'horizon. De quel côté faut-il regarder pour observer un arc-en-ciel ? Préciser la hauteur angulaire maximale α au-dessus de l'horizon et les circonstances météorologiques nécessaires à l'observation.
8. On donne l'indice de réfraction de l'eau pour le rouge, $n = 1,331$, et pour le violet, $n = 1,337$. Quelle couleur est à l'extérieur de l'arc ? Que vaut l'ouverture angulaire $\Delta\alpha$ de l'arc-en-ciel ?