

TD01- OPTIQUE GÉOMETRIQUE (1)

Exercice 1 : Questions de cours (à savoir faire sans le cours sous les yeux)

1. Donner les longueurs d'onde dans le vide associées aux couleurs : violet, bleu, vert, jaune, rouge.
2. Dessiner l'allure du profil spectral de la lumière produite par une source de lumière blanche, une lampe spectrale, un laser. Qualifier chacun de ces spectres.
3. Définir le modèle de l'optique géométrique.
4. Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique.
5. Enoncer de façon complète et à l'aide d'un schéma la loi de Descartes pour la réflexion.
6. Enoncer de façon complète et à l'aide d'un schéma la loi de Descartes pour la réfraction.
7. Etablir la condition de réflexion totale.
8. On considère une fibre optique à saut d'indice (indice gaine n_g , indice n_c).
 - a. Expliquer l'existence d'un cône d'acceptance. Etablir l'expression de l'angle d'acceptance.
 - b. Expliquer le phénomène de dispersion intermodale. Etablir l'expression de $\delta t = t_{\max} - t_{\min}$, la différence de temps de parcours de la fibre entre le rayon ayant le plus long trajet et le rayon ayant le plus court.

Exercice 2* : Comment sauver un enfant de la noyade ?

Un homme bronze tranquillement sur sa serviette à la plage quand soudain il entend des cris d'un enfant appelant à l'aide : l'enfant est allé trop loin dans l'eau, il est en train de se noyer et a besoin d'aide le plus vite possible. L'homme décide de partir son secours. Quel chemin doit-il emprunter pour atteindre l'enfant le plus vite possible ?

Exercice 3 : Appareil photographique de smartphone

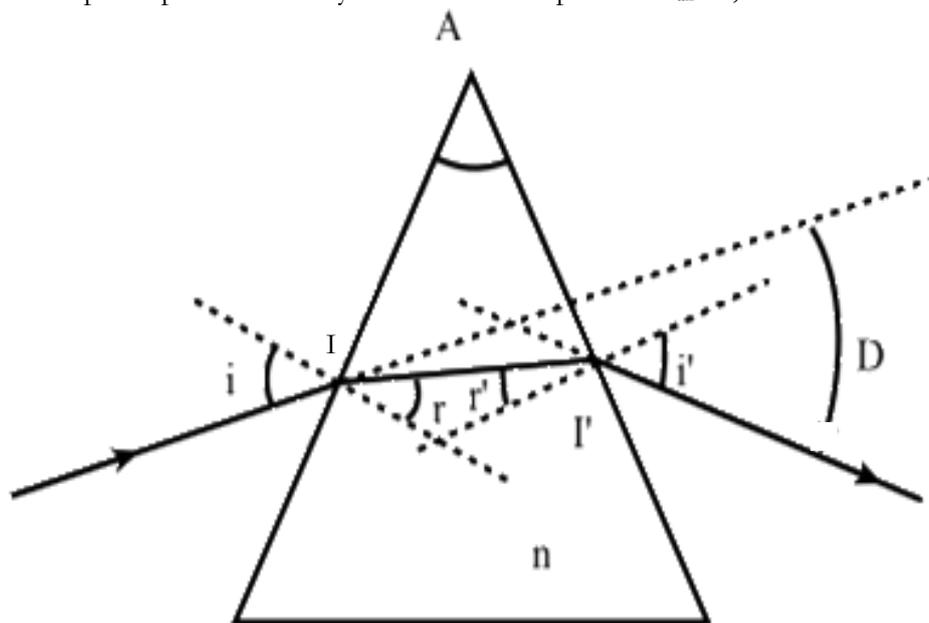
L'appareil photographique du nouvel iPhone 15 possède des objectifs de diamètre 1,8mm. Peut-on étudier la propagation de la lumière dans cet appareil photographique dans l'approximation de l'optique géométrique ? Justifier soigneusement.

Exercice 4 : Partie de pêche

Dans un film Western, un homme armé d'un arc et de flèches longe les berges d'un fleuve. Il aperçoit un poisson dont il veut faire son repas. Comment doit-il effectuer sa visée pour espérer atteindre la cible ?

Exercice 5* : Prisme

On considère un prisme d'angle $A = 60^\circ$ constitué d'un verre d'indice n . On appelle déviation (notée D) l'angle entre le rayon transmis par le prisme et le rayon incident. On prendra $n_{\text{air}} = 1,00$.



On notera i et i' les angles d'incidence à l'entrée et à la sortie du prisme, ainsi que r et r' les angles des rayons réfractés à l'intérieur du prisme respectivement côté entrée et côté sortie.

1. Appliquer la loi de Descartes pour la réfraction en I et I' afin d'obtenir les relations entre angles d'incidence et angles de réfraction.
2. Exprimer A en fonction de r et r'.
3. Etablir la relation : $D = i + i' - A$

Pour une valeur donnée de l'indice n, la déviation D est en fait seulement fonction de i. Lorsque i varie, la déviation D présente une valeur minimale, notée D_m dans la suite.

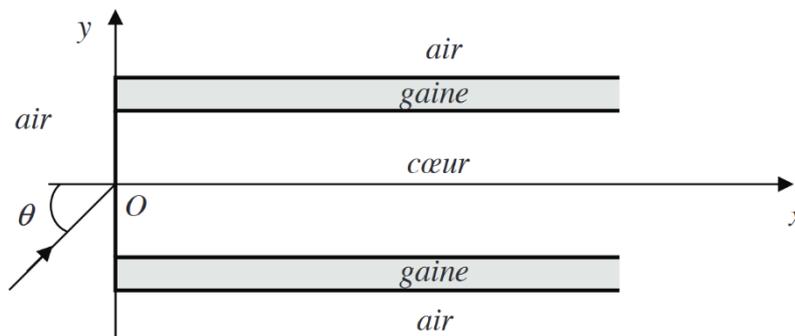
4. En différentiant les relations des questions 1 et 2, démontrer l'égalité suivante :

$$\frac{di}{di} = - \frac{\cos(i)\cos(r')}{\cos(i')\cos(r)}$$

5. Montrer qu'au minimum de déviation, $(1 - n^2)(\sin^2(i) - \sin^2(i')) = 0$. En déduire qu'au minimum de déviation les angles i et i' sont égaux.
6. Etablir la relation $n \sin\left(\frac{A}{2}\right) = \sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)$. En déduire une méthode expérimentale pour mesurer l'indice d'un matériau.

Exercice 6* : Fibre optique à saut d'indice (extrait concours CCinP 2018)

Une fibre optique à saut d'indice, représentée ci-dessous, est constituée d'un cœur cylindrique transparent d'indice $n_c = 1,500$ et de rayon r_c entouré d'une gaine transparente d'indice $n_g = 1,485$. L'axe (Ox) de la fibre est normal au dioptre air-cœur. En raison de la symétrie de révolution de la fibre autour de l'axe (Ox), on se restreint à une étude dans le plan (xOy). On n'orientera aucun angle dans cette partie.



1. Un rayon lumineux monochromatique se propageant dans l'air, situé dans le plan (xOy), pénètre dans le cœur de la fibre en O avec un angle d'incidence θ . Montrer que le rayon reste dans le cœur si l'angle θ est inférieur à un angle limite θ_L , appelé angle d'acceptance de la fibre optique, dont vous donnerez l'expression en fonction de n_c et n_g . Calculer la valeur de θ_L (en degrés). L'indice de l'air vaut $n_a = 1,000$.

On considère maintenant une fibre optique de longueur L. Le rayon entre dans la fibre avec un angle d'incidence θ variable compris entre 0 et θ_L .

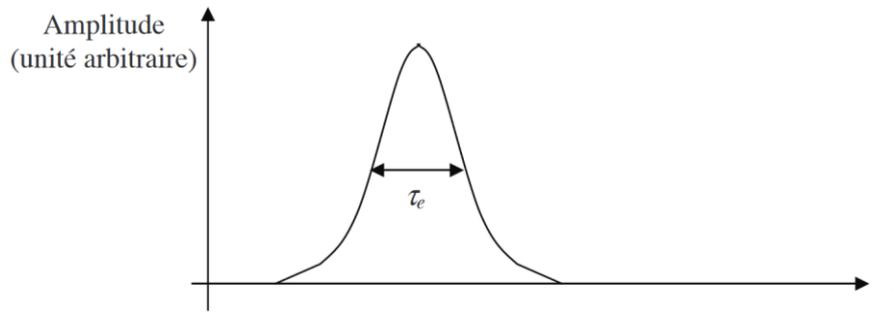
2. Quel est le rayon qui met le moins de temps à traverser la fibre ? Exprimer, en fonction de L, c et n_c , la durée du parcours T_1 de ce rayon.

3. Quel est le rayon qui met le plus de temps à traverser la fibre ? Exprimer, en fonction de L, c, n_c et n_g , la durée du parcours T_2 de ce rayon.

4. Etablir l'expression de l'intervalle de temps $\delta T = T_2 - T_1$ en fonction de L, c, n_c et n_g . On pose $2\Delta = 1 - \left(\frac{n_g}{n_c}\right)^2$ avec $\Delta \ll 1$. Dans ces conditions, exprimer δT en fonction de L, c, n_c et Δ . Calculer δT pour L=10km.

N.B. : pour cette question, on rappelle que, si $x \ll 1$, $(1 + x)^\alpha \sim 1 + \alpha x$.

5. On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse de durée τ_e , représentée ci-dessous, formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et θ_L .



Reproduire la figure ci-dessus. Représenter l'allure de l'impulsion en sortie de fibre. Préciser sa durée approximative τ_s . On considèrera ici qu'il n'y a pas de phénomène d'absorption de la lumière par la fibre.

6. Le codage binaire de l'information consiste à envoyer des impulsions lumineuses, appelées bits, périodiquement avec une fréquence f . En supposant τ_e négligeable devant δT , quelle est la fréquence maximale de transmission f_{max} qui empêche le recouvrement des impulsions à la sortie de la fibre ?

7. En considérant L_{max} la longueur maximale de fibre optique qui permet d'éviter le phénomène de recouvrement des impulsions, on définit le produit $B = L_{max} \cdot f$ comme étant la bande passante de la fibre optique. Exprimer B en fonction de c , n_c et Δ . Expliquer l'intérêt d'introduire cette grandeur. Pour un débit de 100Mbits par seconde, évaluer la longueur maximale de fibre optique que l'on peut utiliser pour transmettre le signal.