

A1 Exercices d'application**A.1 / Laser He-Ne**

Un laser Hélium – Néon émet une onde de longueur d'onde $\lambda_0 = 6,33 \cdot 10^{-7}$ m dans le vide.

- 1°/ Quel est la vitesse de la lumière dans le vide ?
- 2°/ De quel type de source s'agit-il (mono/polychromatique ou à spectre continu) ?
- 3°/ Déterminer sa fréquence et sa période.
- 4°/ Déterminer sa longueur d'onde dans un milieu d'indice $n = 1,33$.

A.2 / Dispersion de la lumière par le verre

Le tableau ci-dessous donne les longueurs d'onde, dans le vide, de deux radiations monochromatiques et les indices correspondants pour deux types de verres différents, un verre crown et un verre flint.

Couleur	λ_0 (nm)	n (crown)	n (flint)
Rouge	656.3	1,504	1,612
bleu	486.1	1.521	1,671

- 1°/ Calculer les fréquences de ces ondes lumineuses. Dépendent-elles de l'indice du milieu ? Vous utiliserez pour la vitesse de la lumière dans le vide $c = 2,998 \cdot 10^8$ m.s⁻¹
- 2°/ Calculer les célérités et les longueurs d'onde de la radiation rouge dans les deux verres.
- 3°/ Un rayon de lumière blanche arrive sur un dioptre plan air-verre, sous l'incidence $i = 60^\circ$. L'indice de l'air est pris égal à 1,00. Calculer l'angle que fait le rayon bleu avec le rayon rouge pour un verre crown, puis pour un verre flint, faire une figure.
- 4°/ Quel est le verre le plus dispersif ?

A.3 / Réfraction

Un rayon lumineux se propage dans l'eau, un milieu d'indice $n = 1,33$. Il arrive en faisant un angle d'incidence $i = 30^\circ$ sur le dioptre séparant le milieu de l'air (indice $n_{\text{air}} = 1,00$).

- 1°/ Faire un schéma de la situation.
- 2°/ Déterminer par le calcul l'angle de réfraction du rayon dans l'air.
- 3°/ Existe-t-il toujours un rayon réfracté quelle que soit l'angle d'incidence ?
- 4°/ Sur le schéma tracer à partir du point d'incidence un demi-cercle de rayon $10 \times n$ et un autre de rayon $10 \times n_{\text{air}}$. Par une construction graphique déterminer la direction du rayon réfracté. Mesurer l'angle et comparer avec le résultat de la question 2.

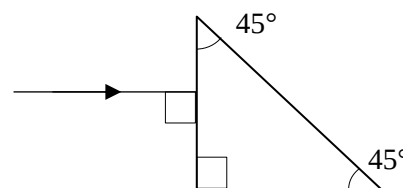
A.4 / Le demi périscopie.

Certains dispositifs (jumelle, périscopie, ...) utilisent des prismes pour dévier le trajet des rayons lumineux.



Le prisme est isocèle et rectangle. Le rayon initialement dans l'air arrive sur l'une des faces perpendiculairement comme indiqué sur le schéma ci-contre. Il est constitué de verre d'indice $n = 1,5$.

- 1°/ Déterminer le comportement de la lumière après le point d'incidence puis compléter le tracé.
- 2°/ Déterminer l'angle de déviation c'est-à-dire l'angle entre le rayon incident et le rayon émergent.

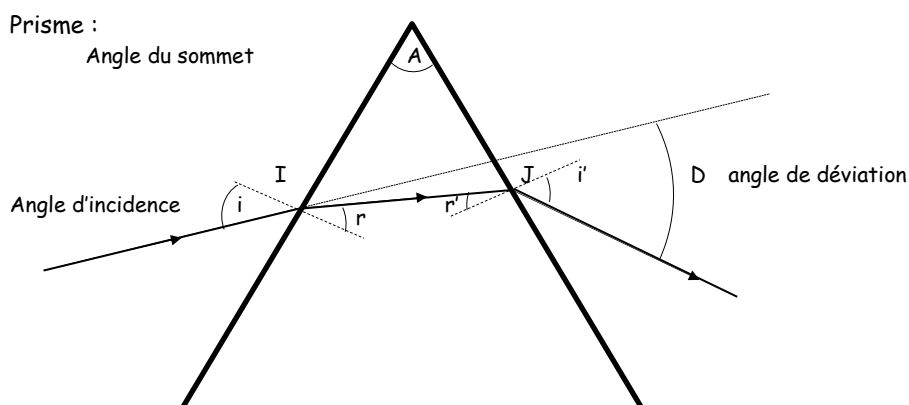
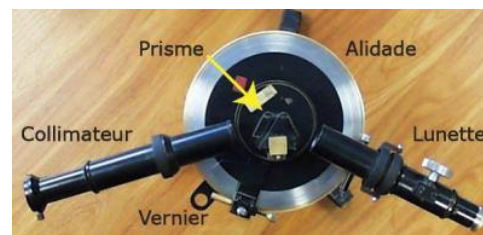


B) Exercices d'entraînement

B.1 / Etude d'un spectroscopie à prisme

Un spectroscopie est un appareil destiné à étudier le spectre d'une source lumineuse. Un collimateur permet de réaliser un faisceau de rayons parallèles qui va éclairer un prisme ou un réseau. Un viseur permet ensuite d'étudier la lumière ayant traversé le prisme ou le réseau.

Le prisme utilisé est caractérisé par un indice $n(\lambda)$ qui dépend de la longueur d'onde λ . Sa section est un triangle d'angle au sommet A . Le prisme est placé dans l'air dont l'indice sera pris égal à 1. Un rayon rencontre une face au point I sous l'angle d'incidence i , il continue son chemin dans le prisme en faisant un angle de réfraction r . Il arrive sur l'autre face au point d'incidence J avec un angle d'incidence r' et ressort en faisant un angle de réfraction i' . On suppose d'abord la lumière monochromatique et l'indice du prisme égal à n .



1°/ Ecrire les lois de Descartes en I et J

2°/ Déterminer la condition d'émergence en J.

On suppose que les conditions permettant l'émergence du rayon sont réalisées.

3°/ Ecrire la relation entre les angles r et r' et l'angle au sommet A .

4°/ Déterminer l'expression de l'angle de déviation D , en fonction de i , i' et A .

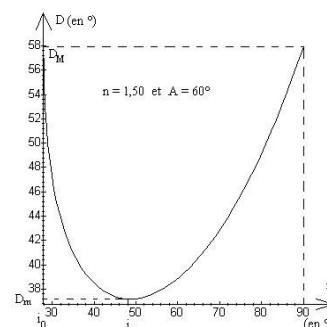
5°/ Il n'existe qu'une seule valeur i_0 de i correspondant au minimum de déviation D_m (D minimum).

En utilisant le principe de retour inverse montrer que $i_0' = i_0$ au minimum de déviation.

6°/ Déterminer la valeur i_0 de i correspondant au minimum de déviation en fonction de n et A .

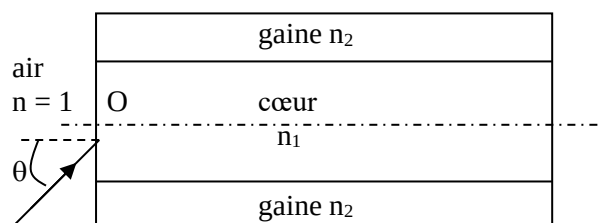
7°/ En déduire que l'on peut calculer n avec la relation
$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

8°/ Comme on peut le voir sur le graphe ci-contre le rayon émergent n'existe que si l'angle d'incidence est assez grand. Mais il faut aussi que l'angle au sommet ne soit pas trop grand. A partir de la condition d'émergence définie à la question 2, montrer que l'angle A doit être inférieur à une valeur limite A_0 , pour qu'il existe au moins un rayon émergent.



B.2 / Transmission à travers une fibre optique à saut d'indice

On utilise des fibres optiques pour transmettre des données à très haut débit. Il faut régulièrement utiliser un répéteur pour recevoir et renvoyer le signal avec suffisamment de puissance. Il faut alors aligner le faisceau incident avec l'axe de la fibre. Dans cet exercice on détermine l'écart maximum (l'angle θ) que peut faire le rayon incident avec l'axe de la fibre sans que le fonctionnement ne soit perturbé. Le plan d'incidence d'un rayon incident en I, se propageant dans l'air et arrivant sur une fibre optique est celui de la figure ci-dessous.



1°/ Tracer qualitativement le rayon transmis dans la fibre.

2°/ Quelle condition sur n_2 par rapport à n_1 faut-il pour qu'il y ait réflexion totale sur le dioptré gaine/cœur ?

Tracer alors la marche du rayon dans la fibre dans ces conditions.

3°/ Déterminer en fonction de n_1 et n_2 l'angle permettant la réflexion totale sur le dioptré gaine/cœur.

4°/ Montrer que si l'angle θ reste inférieur à un angle $\theta_{\max}$, le rayon reste à l'intérieur du cœur (il est guidé dans le cœur).

5°/ On appelle ouverture numérique O.N. la quantité $\sin(\theta_{\max})$. Exprimer O.N. en fonction de n_1 et $\Delta = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2}$.

A.N. : $\Delta = 10^{-2}$ et $n_1 = 1,5$

B.2 Suite / Transmission à travers une fibre optique à saut d'indice

On considère la fibre optique de l'exercice B2 de longueur L et un rayon arrivant en entrée sous une incidence θ_0 . L'angle initial dans la fibre est noté θ'_0 .

6°/ Donner l'expression de la distance d parcourue par ce rayon entre son entrée et sa sortie de la fibre, en fonction de L et de θ'_0 .

7°/ En déduire l'expression du temps τ qu'il met à parcourir la fibre en fonction de L , θ'_0 , c et des indices.

On envoie des informations numériques sous forme d'impulsions lumineuses à l'entrée de la fibre.

Ces impulsions ont la forme d'un faisceau conique convergent vers l'entrée de la fibre. L'angle d'ouverture du cône est $\theta_{\max}$, il s'agit du **cône d'acceptance** (aussi appelé ouverture numérique O.N.) de la fibre optique (*Calculé dans la première partie de l'exercice*).

On a donc des rayons lumineux qui arrivent inclinés avec des angles compris entre 0 et $\theta_{\max}$.

8°/ Donner l'expression de la différence de temps de parcours Δt entre le rayon le plus rapide (temps de parcours $\tau_{\min}$) et le rayon le plus lent (temps de parcours $\tau_{\max}$) en fonction de c , L et n_1 , θ'_0 .

Remarque : le temps de propagation est légèrement différent entre tous les rayons contenus dans le cône d'acceptance. On parle de **dispersion intermodale**.

9°/ En déduire l'expression de la fréquence maximale $f_{\max}$ à laquelle on peut transmettre ces informations numériques en fonction de c , L et n_1 , θ'_0 .

10°/ Application numérique pour : $L = 1,0$ km (*Reprendre les valeurs de l'exercice B2*).

