Bases de l'optique géométrique

<u>Notions et capacités mises en œuvre dans ce TD</u>

- ☑ **Utiliser l'expression reliant l'énergie d'un photon à la fréquence**
- ☑ **Etablir la relation entre longueur d'onde dans le vide et longueur d'onde dans le milieu**
- ☑ **Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur**
- ☑ **Lois de Descartes**
- ☑ **Etablir la condition de réflexion totale**
- ☑ **Etablir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice**

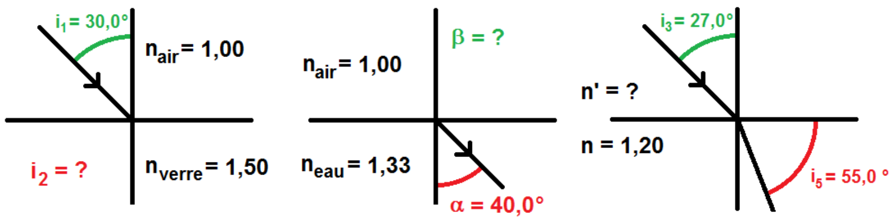
<u>Exercice n° 1</u> : Longueur d'onde d'un laser (★)

Un laser hélium-néon émet un faisceau de lumière de 0,1 watt dont la longueur d'onde dans le vide est égale à 633 nm.

1) On éclaire un écran blanc : de quelle couleur est la tâche observée ?
2) Déterminer le nombre de photons émis par le laser à chaque minute.
3) Le faisceau laser est ensuite envoyé dans un morceau de verre d'indice optique 1,5. Calculer la longueur d'onde dans le plexiglas. La couleur est-elle modifiée ? Justifier.

<u>Exercice n° 2</u> : Lois de Descartes, on s'entraîne… (★)

1) Calculer les grandeurs demandées ci-dessous.



2) Un rayon lumineux dans l'air tombe sur la surface d'un liquide ; il fait un angle de 56° avec le plan horizontal. La déviation entre le rayon incident et le rayon réfracté est de 13,5°. Quel est l'indice optique n du liquide ?
3) Calculer l'angle au-delà duquel un rayon incident dans le verre rencontrant une interface verre(n_{verre}=1.5)/eau(n_{eau}=1.33) est totalement réfléchi.

<u>Exercice n° 3</u> : Indice d'un cube en verre (★★)

Un rayon lumineux traverse l'une des faces d'un cube en matière transparente sous une incidence de 45° puis rencontre une seconde face, perpendiculaire à la première ; en admettant que le plan d'incidence soit normal à ces deux faces et que le rayon sorte dans l'air en rasant la face de sortie.

1) Faire un schéma.
2) Exprimer les lois de Descartes relatives à la réfraction sur chaque face du cube.
3) En déduire l'indice de la substance du cube. *On rappelle que* $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$.

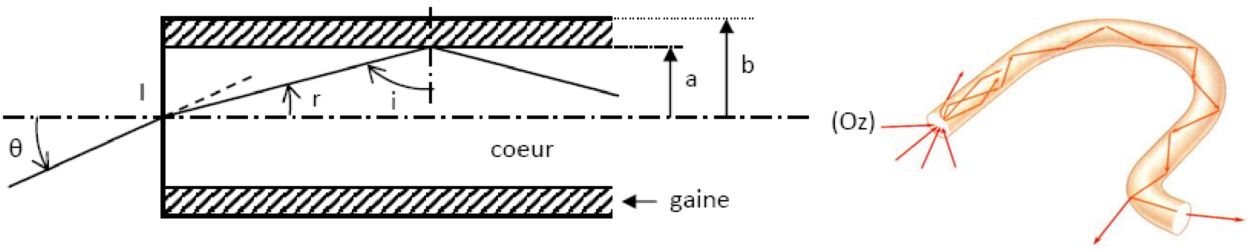
<u>Exercice n° 4</u> : La grenouille invisible (★★)

Pour se cacher des prédateurs, une grenouille s'est cachée sous un nénuphar qui flotte sur l'étang. La grenouille a une hauteur h = 8 cm et sa tête touche le nénuphar. Le nénuphar est un disque de rayon R et d'épaisseur négligeable.

1) La grenouille est supposée centrée sur le nénuphar. Faire un schéma de la situation en plaçant la grenouille (représentée par un trait vertical) et le nénuphar (représenté par un trait horizontal)..
2) Tous les rayons émis par la grenouille peuvent-ils être transmis dans l'air ?
3) Quel est le rayon minimal R_0 du nénuphar pour la grenouille ne soit pas visible par un prédateur situé en-dehors de l'eau ? On prendra $n_{eau} = 1.33$.

<u>Exercice n° 5</u> : Fibre optique à saut d'indice (★★★)

On considère une fibre optique à saut d'indice, formée d'un cœur cylindrique d'axe (Oz), de rayon a, d'indice uniforme n_1, entouré d'une gaine d'axe (Oz), de rayon extérieur b et d'indice $n_2 < n_1$.
Le milieu extérieur est l'air. Un rayon pénètre dans la fibre avec une incidence θ.



1) Montrer que le rayon lumineux est guidé dans le cœur si l'angle i d'incidence entre le cœur et la gaine est supérieur à une valeur critique i_c que l'on exprimera en fonction de n_1 et n_2. Calculer i_c pour n_1 = 1,456 (silice) et n_2 = 1,410 (silicone).
2) Exprimer en fonction de n_1 et n_2, l'angle limite θ_0 d'incidence du rayon sur la face d'entrée de la fibre optique, correspondant à une propagation possible dans la fibre.

Lorsqu'on émet une impulsion lumineuse extrêmement brève au niveau de la face d'entrée de la fibre, des rayons lumineux sont émis dans toutes les directions de propagation possible. Il se pose alors le problème de l'élargissement temporel au niveau de la face de sortie, puisque tous les rayons n'arrivent pas en même temps : certains ont un trajet plus long à parcourir que d'autres.
On note L la longueur totale de la fibre et c la vitesse de la lumière dans le vide.

3) Exprimer en fonction de L, c et n_1 la durée de propagation τ d'un rayon qui suit l'axe (Oz) sur toute la longueur de la fibre.
4) On considère le rayon d'angle d'incidence maximale θ_0 qui « zigzague » dans la fibre sur toute la longueur de la fibre. Exprimer la longueur L' du trajet qu'il suit en fonction de L et de l'angle de i_C.
5) Soit τ' la durée de propagation de ce rayon zigzaguant. Montrer que : $\tau' = (n_1/n_2)\,\tau$
6) Calculer la différence Δτ des durées de propagation des deux rayons particuliers envisagés. Données : L = 1km, n_1 = 1,456, n_2 = 1,410, et $c = 3.10^8 m.s^{-1}$.
7) On envoie alors en entrée de la fibre des impulsions lumineuses très brèves avec une période T (cf. figure). Dessiner de la même manière l'allure des impulsions reçues en sortie de la fibre. (En supposant que celles-ci ne se recouvrent pas).

8) A quelle fréquence maximale f peut-on émettre des impulsions lumineuses en entrée qui soient « séparées » en sortie ? Calculer la valeur numérique de f.

<u>Exercice n° 6</u> : Plongée sous-marine (Résolution de problème)

Les plongeurs, lorsqu'ils relèvent la tête vers la surface de l'eau, ont l'impression de voir un «gouffre lumineux», c'est-à-dire un disque lumineux entouré d'obscurité. Expliquez le phénomène observé et estimez la profondeur à laquelle se trouve le plongeur ayant pris la photo ci-dessous.

<u>Données</u> :
Une tortue marine mesure en moyenne 90 cm.
Indice optique de l'eau : n = 1.33