

Bases de l'optique géométrique

Travaux Dirigés

Les obstacles ne doivent pas vous arrêter.
Si vous vous trouvez face à un mur, ne faites pas demi-tour et n'abandonnez pas.
Trouvez comment l'escalader, le traverser ou le contourner.
Michael Jordan

En autonomie

Cahier d'entraînement : [fiche 8](#).

Savoir-faire

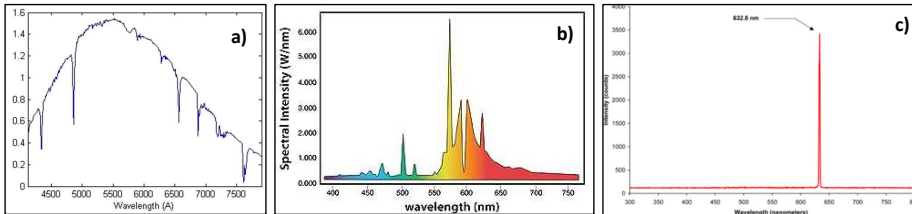
Savoir-faire 1 – Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur

Considérons un faisceau issu d'une diode laser de longueur d'onde 532 nm.

- Q1.** Éclairons une feuille avec cette diode laser : de quelle couleur est la tâche observée ? Le faisceau laser est ensuite envoyé dans un morceau de plexiglas d'indice $n = 1,51$.
- Q2.** Calculer la longueur d'onde dans le plexiglas.
- Q3.** À quelle couleur cela correspond-t-il ? Expliquer.

Savoir-faire 2 – Caractériser une source lumineuse par son spectre

- Q1.** Parmi ces trois spectres, lequel est celui d'une étoile, d'un laser, d'une lampe à vapeur de sodium ?
- Q2.** Comment peut-on expliquer les fluctuations du spectre a) ?



Savoir-faire 3 – Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique

En TP d'optique, nous utiliserons des lentilles dont le diamètre typique sera de l'ordre de 5 cm. La longueur des bancs ne dépassera pas 2 m.

- Q1.** Donner la taille angulaire de la tache de diffraction due à un diaphragme de 5 cm. On travaillera dans le visible, avec $\lambda_0 \approx 500$ nm.
- Q2.** En déduire l'élargissement du faisceau au bout de 2 m. Le comparer aux plus petits détails visibles à l'œil nu (de l'ordre du dixième de millimètre).
- Q3.** Conclure sur la nécessité de prendre en compte la diffraction au laboratoire d'optique.

Savoir-faire 4 – Appliquer les lois de Descartes

Un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 550$ nm passe de l'air à un prisme en verre crown. L'angle d'incidence vaut $i_1 = 30^\circ$.

- Q1.** Faire un schéma légendé dans le plan d'incidence en précisant si le rayon réfracté se rapproche ou s'écarte de la normale.
- Q2.** Calculer l'angle de réfraction i_2 .
- Q3.** On remplace le verre par un bloc de diamant. L'angle de réfraction vaut alors $i_2' = 12^\circ$. Calculer l'indice de réfraction du diamant.

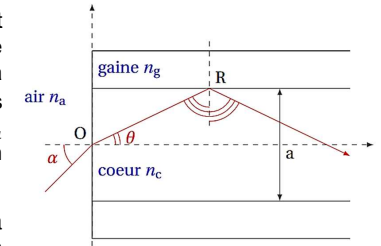
Savoir-faire 5 – Etablir la condition de réflexion totale.

Si la lumière passe dans un milieu moins réfringent ($n_2 < n_1$), il se peut qu'il n'existe aucun rayon réfracté. Toute la lumière est alors réfléchie.

- Q1.** Trouver l'angle limite à partir duquel il n'existe plus de rayon réfracté.

Savoir-faire 6 – Etablir l'expression du cône d'acceptance d'une fibre à saut d'indice

Une fibre à saut d'indice est formée d'un cœur cylindrique d'axe OX et de diamètre a , homogène et isotrope d'indice de réfraction n_c , entourée d'une gaine homogène et isotrope d'indice de réfraction $n_g < n_c$. La fibre est limitée à ses extrémités par deux plans perpendiculaires à OX. L'indice de l'air est noté n_a inférieur à n_c et n_g . On étudie la propagation d'un rayonnement monochromatique dans le plan XOY.



- Q1.** Quelle condition doit vérifier l'angle d'incidence i à la surface de séparation cœur-gaine pour qu'un rayon lumineux situé dans le plan XOY se propage en restant confiné dans le cœur ?

On note i_{lim} l'angle d'incidence limite et $\theta_{\text{lim}} = \frac{\pi}{2} - i_{\text{lim}}$.

- Q2.** Montrer que la condition précédente est vérifiée si l'angle d'incidence sur la face d'entrée de la fibre est inférieur à une valeur limite α_{lim} .
- Q3.** Déterminer la valeur de α_{lim} dans le cas d'une fibre optique pour laquelle $n_c = 1,456$, $n_g = 1,410$.

Bonus : On appelle ouverture numérique $\text{ON} = n_a \cdot \sin(\alpha_{\text{lim}})$.

- Q4.** Montrer que $\text{ON} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$

Savoir-faire 7 – Etablir l'expression de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice

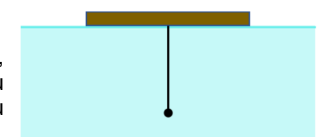
On considère maintenant une fibre optique ($n_c = 1,456$, $n_g = 1,410$) de longueur L . Le rayon entre dans la fibre avec un angle d'incidence α variable compris entre 0 et α_{lim} .

- Q5.** Quel est le rayon qui traverse le plus rapidement la fibre ? Exprimer, en fonction de L , c et n_c , la durée de parcours Δt_1 de ce rayon.
- Q6.** Quel est le rayon qui met le plus de temps à traverser la fibre ? Exprimer, en fonction de L , c , n_g et n_c , la durée de parcours Δt_2 de ce rayon.
- Q7.** En déduire l'expression de l'intervalle de temps $\delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1$ en fonction de L , c , n_g et n_c . Calculer la valeur de δt pour $L = 100$ km.
- Q8.** Quelle est la fréquence maximale d'un signal composé d'impulsions brèves utilisé pour envoyer des informations dans cette fibre ? Il faut que chaque impulsion soit entièrement transmise avant la réception de l'impulsion suivante.

Exercices incontournables

Exercice 1 : Le clou caché (★☆☆)

On dispose d'un flotteur mince, en forme de disque de rayon R , au centre duquel on a planté un clou, perpendiculairement au plan du disque. La tête du clou est à la distance h du centre du disque. Le disque est placé dans l'eau, le clou étant immergé.



- Q1.** A quelle condition le clou est-il visible pour un observateur placé dans l'air ? On prendra pour l'indice de l'eau $n = 1,33$.

Exercice 2 : Angle de Brewster (★★★)

Un dioptre plan sépare l'air d'un milieu d'indice n .

Q1. Pour quelle valeur de l'angle d'incidence le rayon réfléchi est-il perpendiculaire au rayon réfracté ?

A.N. : Pour le verre ($n = 1,5$) ; pour l'eau ($n = 1,33$).

Exercice 3 : Effet d'une vitre sur un rayon lumineux (★★★)

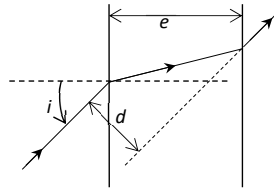
On considère une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur e , d'indice n , plongée dans l'air d'indice 1. Un rayon incident arrive avec une incidence i .

Q1. Montrer que le rayon émergent est parallèle au rayon incident.

Q2. Déterminer l'écart d entre le rayon incident et le rayon émergent en fonction de n , e et $\sin(i)$.

Q3. Faire l'application numérique pour $n = 1,5$, $e = 4$ mm et $i = 50^\circ$.

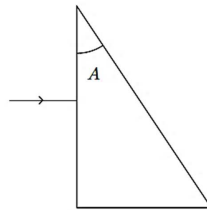
Q4. Quel est l'effet de cette lame sur la vision d'un objet ?

**Exercice 4 : Déviation par un prisme (★★★)**

On considère un prisme droit (possédant un angle droit) d'indice n . Ce prisme est plongé dans l'air. On éclaire ce prisme par un rayon arrivant en incidence normale.

Q1. Schématiser le trajet du rayon lumineux.

Q2. En supposant tous les angles faibles, établir que la déviation D du rayon lumineux (angle entre le rayon incident et le rayon émergent du prisme) s'exprime : $D = (n - 1) \cdot A$

**Exercice 5 : Détecteur de pluie sur un pare-brise (★★★)** (d'après www.etienne-thibierge.fr)

Cet exercice propose de s'intéresser à un modèle simplifié du système de détection automatique de pluie qui commande la mise en route des essuie-glaces d'une voiture (voir document 1 ci-contre).

Q1. Pourquoi utilise-t-on un rayonnement infrarouge ?

Q2. Montrer qu'à l'interface plexiglas \rightarrow verre, $\theta_0 = \alpha$.

Q3. En déduire la valeur de θ_1 . Commenter.

On suppose pour toute la suite que la différence d'indice entre le plexiglas et le verre est suffisamment faible pour pouvoir négliger tous les phénomènes de réflexion et réfraction à cette interface. En particulier, l'angle d'incidence en A est égal à θ_0 .

Q4. En l'absence de pluie, existe-il un rayon réfracté au point A ou au point C ? Justifier.

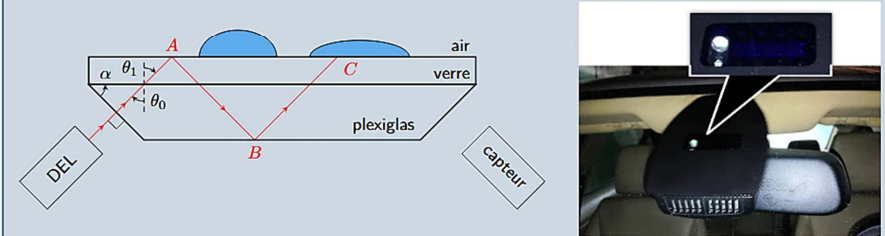
Q5. En présence de gouttes de pluie sur le pare-brise, placées comme sur la figure, existe-il un rayon réfracté au point C ? Justifier.

Q6. Expliquer pourquoi plus il y aura de gouttes sur le pare-brise, moins l'intensité lumineuse reçue par le capteur sera importante.

Document 1 : Principe de fonctionnement d'un détecteur de pluie

Adapté du site <http://www.fiches-auto.fr>.

De plus en plus fréquent pour finalement devenir un équipement généralisé sur presque toutes les gammes de véhicules, le système d'essuie-glace automatique est aujourd'hui un accessoire banal. Cependant, si la grande majorité des gens a compris que cet ensemble était composé d'un capteur couplé à de l'électronique, peu de monde sait réellement comment le capteur fonctionne. Voici l'explication d'un des procédés les plus utilisés.



Comme indiqué sur le schéma, un bloc de plexiglas biseauté situé à l'intérieur du bloc rétroviseur est collé au verre du pare-brise. Une diode électroluminescente (DEL) envoie un pinceau lumineux infrarouge en incidence normale sur le biseau. Un capteur lumineux mesure en permanence l'intensité de la lumière en sortie de la pièce biseautée : plus il y a d'eau sur la vitre, plus elle est faible. Le capteur de pluie pilote ainsi l'essuie-glace en fonction de la quantité d'eau détectée et sélectionne automatiquement la vitesse de balayage la plus efficace.

Données :

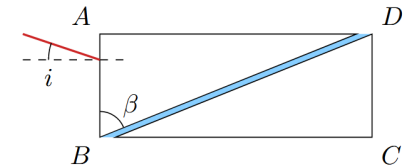
▷ angle du biseau : $\alpha = 50^\circ$;

▷ indices optiques : plexiglas $n_p = 1,50$; verre du pare-brise $n_v = 1,55$; eau $n_e = 1,33$.

Exercice d'entraînement**Exercice 6 : Réfractomètre d'Abbe (★★★)**

Un réfractomètre d'Abbe est un appareil servant à mesurer des indices optiques, très utilisé notamment à des fins de caractérisation rapide d'échantillons.

Ce réfractomètre est composé de deux prismes identiques, d'indice $n_0 = 1,732$, à base en forme de triangle rectangle. L'angle au sommet β vaut 60° . Entre ces prismes est intercalé un film de liquide d'indice n que l'on cherche à déterminer. Pour ce faire, le réfractomètre est éclairé par la face AB par un rayon d'incidence i réglable.



Q1. Si le rayon sort par la face CD, quelle sera sa direction ? Répondre par un argument physique sans calcul, éventuellement à confirmer (ou deviner) par un schéma propre.

Q2. Expliquer comment la mesure de l'angle d'incidence pour laquelle le rayon transmis ne sort plus par la face CD mais par la face AD permet d'en déduire la valeur de l'indice du liquide.

Q3. Que vaut cet indice si l'angle d'incidence critique vaut $18,0^\circ$?

Q4. Quelles sont les limites d'utilisation du dispositif ?