TD Opt 1 : FONDEMENTS DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE.

Applications directes du cours

1. Un rayon lumineux issu de l'air, d'indice $1,00$, arrive sur une étendue d'eau, d'indice $n = 1,33$ avec un angle d'incidence $i = 60°$. Calculer l'angle de réfraction j ainsi que la déviation D subie par le rayon.

2. Un homme dont les yeux se situent à $h = 1,70\,m$ du sol observe une marre gelée (équivalente à un miroir plan) de longueur $\ell = 5\,m$ et située à $d = 2\,m$ de lui. Peut-il voir sa propre image ? Quelle est la hauteur maximale H d'un arbuste situé au bord opposé de la marre que l'homme peut voir par réflexion ?

3. Une fibre optique est constituée d'un cœur cylindrique d'indice $n = 1,50$ entouré d'une gaine cylindrique coaxiale d'indice $n' = 1,40$. Calculer l'angle de réflexion totale pour le dioptre cœur/gaine ainsi que l'angle d'incidence maximal sur la section de la fibre des rayons pouvant se propager dans la fibre.

4. Un poisson est posé sur le fond d'un lac : il regarde vers le haut et voit à la surface de l'eau un disque lumineux de rayon r = 3,0 m , centré à sa verticale, dans lequel il aperçoit tout ce qui est au-dessus de l'eau. Expliquer cette observation. A quelle profondeur h se trouve le poisson ?

Exercices

1 : *Zone d'ombre. (**)*
Une source de lumière en forme de disque de rayon $r_1 = 5mm$ éclaire un disque opaque de même axe, de rayon $r_2 = 5cm$, placé à $d = 50cm$ de la source. Calculer les largeurs de l'ombre portée et de la pénombre sur un écran parallèle aux disques et situé à $D = 2m$ du disque opaque.
En déduire une explication des phénomènes d'éclipses du Soleil et de la Lune.

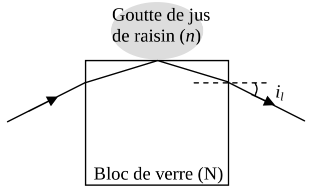
2 : *Champ de vision avec un miroir plan. (*)*
Un homme d'$1,75m$ est debout devant un miroir plan rectangulaire, fixé sur un mur vertical ; son œil est à $l = 1,70m$ du sol ; la base du miroir est à une hauteur h au dessus du sol. Déterminer la valeur maximale de h ainsi que la hauteur H du miroir dans ce cas pour que l'homme se voit des pieds à la tête. Comment varie cette hauteur en fonction de la distance d de l'œil au miroir ?

3 : *Miroir plan. (*)*
Un point lumineux S est placé à $l = 40cm$ au dessus et sur la normale au centre d'un miroir plan circulaire de diamètre $d = 10cm$, disposé horizontalement. Le miroir étant à $L = 2m$ du plafond, calculer le diamètre D du cercle éclairé au plafond par la lumière réfléchie sur le miroir. Que devient le cercle éclairé au plafond si on déplace le miroir latéralement par rapport à la source de lumière?

4 : *Lois de Snell-Descartes. (**)*
Une glace de verre d'épaisseur $e = 1cm$ et d'indice $n = 1,5$ est argentée sur sa face postérieure, un œil placé au voisinage de la perpendiculaire AH voit plusieurs images.
1. Expliquer la formation de ces images. Comparer leurs intensités.
2. Tracer la marche du pinceau qui, issu de A, entre dans l'œil en paraissant provenir de la plus lumineuse de ces images.
3. Préciser la position que devrait avoir le plan réfléchissant M pour donner, seul (sans le verre), cette image lumineuse de A.

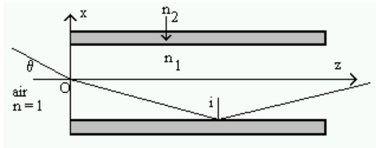
5 : *Lois de Snell-Descartes. (**)*
On fait flotter sur l'eau (n = 1,333) un disque circulaire et opaque, de rayon R = 5 cm, portant en son centre O une aiguille plongeant verticalement dans l'eau. L'aiguille est invisible pour toute position de l'œil au-dessus du plan de la surface du liquide ; quelle est au maximum la longueur OA de l'aiguille ?

6 : *Réfractomètre. (*)*



Les viticulteurs ont besoin de connaître, de façon précise, le taux de sucre présent dans le raisin qu'ils vendangent. L'indice de réfraction du jus de fruit dépend du taux de sucre qu'il contient. Le montage ci-contre illustre le principe du réfractomètre utilisé.
Une goutte de jus de raisin d'indice n inconnu est déposée sur un bloc transparent d'indice $N = 1,52$. L'ensemble est éclairé par un faisceau de lumière parallèle qui tombe sur la face d'entrée du cube sous une incidence ajustable entre 0 et $\frac{\pi}{2}$. Un viseur permet de détecter la valeur de l'angle i_l pour lequel la goutte apparaît particulièrement lumineuse.
Expliquer pourquoi en dessous de la valeur i_l, la goutte apparaît lumineuse et en déduire une relation qui permet de déterminer l'indice n du jus de raisin en fonction de i_l et N.

7 : *Fibre optique. (**)*



Une fibre optique, d'axe Oz, est constituée d'un coeur homogène et transparent d'indice de réfraction n_1, entouré d'une gaine elle aussi transparente et dont l'indice de réfraction n_2 est inférieur à n_1.
1. Montrer que la lumière ne peut se propager dans la fibre optique que si l'angle d'incidence i est supérieur à un angle limite i_0 à déterminer en fonction de n_1 et n_2.
2. La face d'entrée de la fibre est une surface plane normale à Oz. L'angle d'incidence d'un rayon est noté θ. Déterminer l'angle d'acceptance θ_0 correspondant à i_0.
3. *Application numérique :* $n_1 = 1,500$; $n_2 / n_1 = 0,99$. Calculer i_0 et θ_0.
4. Les rayons lumineux d'inclinaisons différentes n'ont pas le même chemin à parcourir dans la fibre, donc leur temps de parcours est variable. Une impulsion lumineuse de courte durée envoyée dans la fibre subit un élargissement temporel lorsqu'elle ressortira de celle-ci. Ceci limite rapidement le taux maximal de transfert d'informations à grande distance par ce type de fibre.
   a. Calculer la différence de temps mis par deux rayons lumineux se propageant dans le cœur de la fibre de longueur $L = 1m$, l'un sur l'axe de la fibre et l'autre incliné de $\alpha = 20°$ par rapport à celui-ci.
   b. Quel nombre d'informations peut transférer une telle fibre par unité de temps ?
   A.N. : $L = 1m, 100m, 10km$, $n_1 = 1,500$.

8 : *Construction de Huyghens des rayons lumineux. (*)*
Considérer le passage de la lumière d'un milieu 1 dans un milieu 2 plus réfringent ($n_2 > n_1$).
1. De I comme centre, tracer deux demi-circonférences de rayons n_2 et n_1 ; prolonger le rayon incident SI jusqu'à son intersection P avec la première circonférence ; abaisser la perpendiculaire PH à la surface réfringente et la prolonger jusqu'à son intersection R avec la seconde circonférence.
2. Etablir que IR est le rayon réfracté correspondant au rayon incident SI en montrant que les angles i_2 et i_1 satisfont à la formule de Descartes : $n_2 \sin i_2 = n_1 \sin i_1$
3. Que donne cette construction dans le cas de l'incidence rasante ($i_1 = 90°$) ?
4. Montrer que cette même construction permet aussi de retrouver la loi de Descartes dans le cas du passage de la lumière du milieu 2 dans le milieu 1.

Réponses et éléments de réponses :
1. $j = 41°$, $D = 19°$. 2. $H = 4,25\,m$. 3. $\ell = 69°$, $i_{max} = 33°$. 4. $h = 2,6\,m$.

1 : $R_O = r_2 + (r_2 - r_1)\frac{D}{d}$ et $R_P = r_2 + (r_2 + r_1)\frac{D}{d}$. $R_O = 23cm$ et $R_P = 27\ cm$.

2 : $h < \frac{l}{2} = 85cm$, $H = 87,5cm$. **3 :** $D = d\left(1 + \frac{L}{l}\right)$, $D = 60cm$. **4 :** $e' = \frac{e}{n}$, $e' = 0,67\,cm$.

5 : $OA = R\sqrt{n^2 - 1}$, $OA = 4,41cm$. **6 :** $n = \sqrt{N^2 - \sin^2 i_l}$

7 : 1. $i_0 = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$. 2.Si $n_1^2 - n_2^2 < 1$, alors $\theta_0 = \arcsin\left(\sqrt{n_1^2 - n_2^2}\right)$ et si $n_1^2 - n_2^2 \geq 1$, alors $\theta_0 = \pi / 2$. 3. $i_0 = 81,9°$, $\theta_0 = 12,2°$. 4. $\Delta t = \frac{n_1 L}{c}\left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right)$. Il faut choisir $N < \frac{1}{\Delta t}$.

8 : 3. $n_2 \sin \ell = n_1$.