

Devoir surveillé n° 1

Signaux optiques

- La durée de l'épreuve est de 1 heure 30 minutes. Les étudiants ne sont pas autorisés à sortir avant la fin du temps prévu.
- L'usage de la calculatrice est autorisé.
- Les numéros de questions et les résultats doivent ressortir de votre copie (pas de rédaction monochrome).
- Toute application numérique ne comportant pas d'unité sera considérée comme fausse.
- Les résultats littéraux non homogènes entraîneront la perte de tous les points de la question.
- Si au cours de l'épreuve vous repérez ce qui semble être une erreur d'énoncé, vous le signalerez sur votre copie et poursuivrez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous avez été amené à prendre.

Autour de l'eau...

Dans tout le problème, on note n l'indice de réfraction de l'eau. **Les sous-parties de ce problème sont totalement indépendantes, vous pouvez les traiter dans l'ordre que vous souhaitez.**

A Indice de réfraction de l'eau

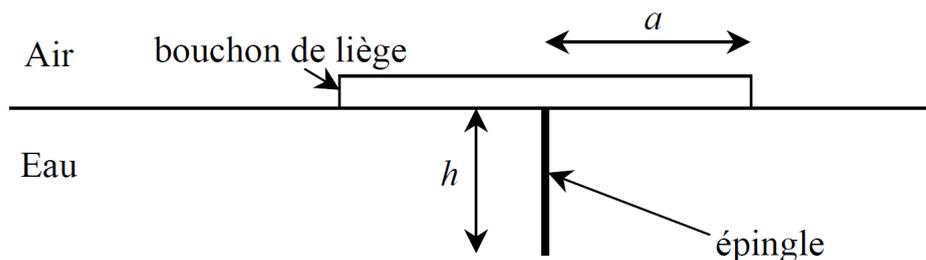
A.1 Définir l'indice de réfraction d'un milieu.

A.2 Quelle propriété de l'eau permet d'expliquer l'existence d'arcs-en-ciel? Comment cela se traduit sur l'indice de réfraction?

A.3 On considère un dioptre plan horizontal séparant de l'air (d'indice assimilable à celui du vide) au-dessus et de l'eau (d'indice n) au-dessous. Un rayon lumineux arrive de haut en bas sur le dioptre avec un angle d'incidence i . Après avoir énoncé les lois de Snell-Descartes, représenter sur un schéma le devenir de ce rayon incident et définir les angles intervenant dans les lois de Snell-Descartes.

B Une première estimation de l'indice

On plante une épingle au centre d'un bouchon de liège en forme de disque de rayon $a = 3,0$ cm et d'épaisseur négligeable. On fait flotter le bouchon sur de l'eau, l'épingle vers le bas. L'épingle dépasse du bouchon d'une longueur h que l'on peut faire varier au cours de l'expérience. La figure ci-dessous représente la situation :



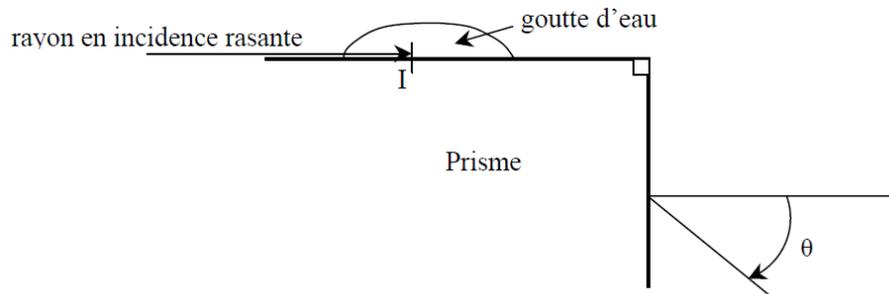
On observe depuis un point situé au-dessus de l'eau. Si la longueur h n'est pas assez grande, on constate qu'il est impossible de voir l'épingle, quelle que soit la position de l'observateur au-dessus de l'eau.

B.1 Expliquer le phénomène en l'illustrant sur deux schémas : le premier où l'observation est possible puis un autre où l'observation est impossible.

B.2 On appelle h_0 , la longueur de l'épingle à partir de laquelle on observe l'épingle. Exprimer l'indice de réfraction de l'eau en fonction de h_0 et a . On donne $h_0 = 2,6$ cm, calculer la valeur numérique de n .

C Utilisation d'un réfractomètre de Pulfrich

On cherche à mesurer l'indice de réfraction de l'eau par le principe du réfractomètre de Pulfrich. On dépose une goutte d'eau sur la face supérieure d'un prisme d'angle au sommet $90,00^\circ$. On éclaire cette goutte d'eau en lumière monochromatique en prenant bien soin qu'elle soit aussi éclairée en incidence rasante. À l'aide d'un oculaire, on observe derrière l'autre face du prisme le rayon émergent sous un angle θ par rapport à la normale au prisme. La situation est présentée sur la figure ci-dessous.



C.1 Que signifie « On éclaire cette goutte d'eau en lumière monochromatique ». Donner un exemple de source lumineuse qui pourrait convenir.

C.2 L'indice de réfraction du verre constituant le prisme est $N = 1,625$. Dessiner la marche du rayon lumineux incident se réfractant en I dans le prisme jusqu'à sa sortie dans l'air. La comparaison des angles d'incidences et de réfraction seront à justifier sur chacun des dioptrés.

C.3 On est capable de mesurer l'angle du rayon émergent θ correspondant au rayon d'incidence rasante à la minute d'angle près (1 minute d'angle correspond à $1/60$ de degré). Exprimer $\sin \theta$ en fonction de n et de N puis en déduire une expression de n en fonction des données. Calculer numériquement n sachant $\theta = 68^\circ 20'$ (68 degrés et 20 minutes d'angle).

C.4 Quelle est la valeur minimale de l'indice de réfraction d'un liquide qu'on peut mesurer avec ce réfractomètre ?

D Effet loupe de l'eau ?

On considère un dioptré plan horizontal air/eau et un s'intéresse à un éventuel caractère grossissant de ce dioptré.

D.1 Qu'appelle-t-on stigmatisme et aplanétisme ?

D.2 On considère un point objet A immergé dans l'eau à une distance $d = HA$ du dioptré et on appelle H le projeté orthogonal du point A sur le dioptré. Construire l'image A' de A par le dioptré plan air/eau.

D.3 Quelles sont les conditions pour obtenir un stigmatisme et un aplanétisme approché ? Comment nomme-t-on ces conditions ?

Dans le cas du dioptré plan, on peut montrer lorsque les conditions de stigmatisme approché sont vérifiées qu'il existe une relation de conjugaison telle que : $\frac{HA'}{HA} = \frac{1}{n}$.

D.4 On considère désormais un objet AB parallèle au dioptré. Dans les conditions de stigmatisme et d'aplanétisme approché, construire l'image $A'B'$ de AB par le dioptré.

D.5 Que peut-on dire du grossissement $\gamma_d = \frac{A'B'}{AB}$ du dioptré plan. L'image $A'B'$ par le dioptré eau-air, paraît-elle plus grande pour l'observateur placé dans l'air ?

On considère désormais une lentille mince convergente de distance focale f' et un objet AB transverse placé entre le centre optique de la lentille et son foyer objet.

D.6 Construire l'image $A'B'$ de l'objet AB par la lentille. Préciser la nature de l'objet et de l'image.

D.7 Déterminer à l'aide de la construction précédente une expression du grossissement de cette lentille en fonction de \overline{OA} et $\overline{OA'}$.

D.8 Du point de vue d'un observateur, peut-on dire que le dioptré plan eau-air a un effet loupe lorsqu'il regarde l'image d'un objet AB immergé dans l'eau.

E Les forces de l'eau...

Aucune connaissance de mécanique n'est nécessaire pour traiter cette partie. Lors de son cours de mécanique sur la chute d'une bille dans un verre d'eau, un étudiant de PCSI étourdi a recopié une relation concernant les forces qu'exercent l'eau sur la bille mais il a un doute sur ce qu'il a recopié.

- Poussée d'Archimède : $\vec{F}_p = -\frac{4}{3}\pi R\rho g\vec{u}_z$ où R est le rayon de la bille, g , l'intensité du champ de pesanteur et ρ la masse volumique de l'eau.

E.1 Donner en le justifiant la dimension d'une force.

E.2 Montrer que cet étudiant a raison d'avoir un doute en montrant que cette expression n'est pas homogène.

E.3 À partir d'une analyse dimensionnelle, proposer une expression homogène en supposant qu'il n'a oublié aucun terme.

Il a également noté une deuxième force mais cette fois-ci il est certain que l'expression est correcte puisqu'elle a été validée par son professeur :

- Force de viscosité : $\vec{F}_v = -6\pi\eta R\vec{v}$ où \vec{v} est le vecteur vitesse de la bille et η le coefficient de viscosité dynamique.

En revanche il ne sait plus quelle est l'unité du coefficient de viscosité dynamique η .

E.4 En utilisant l'homogénéité de l'expression retrouver l'unité du coefficient de viscosité dynamique.

F L'eau, un miroir ?

Les photographes aiment parfois jouer avec l'eau pour embellir leurs photos. On présente ci-dessous un exemple :



<https://www.levoyageanantes.fr/wp-content/uploads/2015/10/miroir-eau-nantes.jpg>

F.1 Illustrer à partir d'une construction géométrique ce que vous observez sur cette photo en considérant par exemple un point objet particulier.

F.2 L'image réfléchie $A'B'$ par l'eau d'un objet AB a-t-elle la même taille que l'objet ? Justifier.

F.3 Pour maximiser cet effet miroir, les photographes prennent souvent ce type de photos peu après le lever du Soleil ou juste avant le coucher du Soleil. Donner une raison scientifique qui permet de l'expliquer.