

PARTIE OPTIQUE (durée conseillée 1 h 15)

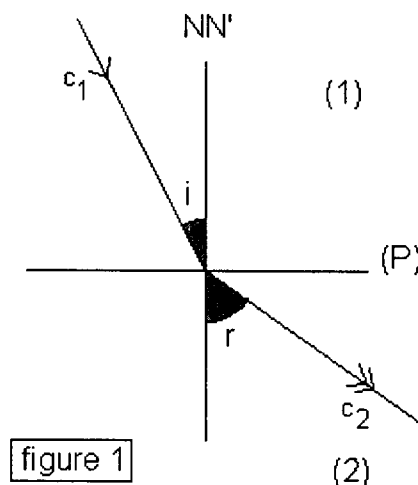
Le sujet comporte 3 parties indépendantes.

Rappel : $\cos(90^\circ - x) = \sin x$ $\sin(90^\circ - x) = \cos x$.

Partie 1 : Dioptré plan, réflexion totale, éclairage d'un réservoir

Soit c_0 la célérité de la lumière dans le vide et c la célérité de la lumière dans un milieu réfringent : il est rappelé que l'indice de réfraction absolu de ce milieu est le rapport $n = c_0 / c$.

1.1 - Un dioptré plan est composé de deux milieux réfringents (1) et (2) séparés par une surface plane (P) (**figure 1** ci-dessous).



Un rayon de lumière incident se propage à la célérité c_1 du milieu 1 vers le milieu 2 en traversant (P) et donne naissance à un rayon réfracté de célérité c_2 situé dans le plan d'incidence.

NN' est la normale (perpendiculaire) à (P), i est l'angle d'incidence, r est l'angle de réfraction.

On rappelle la relation entre les grandeurs n_1 , n_2 , i et r , connue sous le nom de "loi de Descartes" : $n_1 \sin i = n_2 \sin r$.

Exprimer $\sin r$ en fonction de c_1 , c_2 , et $\sin i$.

1.2 - On considère la situation : $c_1 < c_2$.

1.2.1 - Montrer qu'il existe une valeur limite maximale $i_{\max}$ de i au-delà de laquelle le rayon réfracté n'existe plus. Donner l'expression littérale permettant de calculer $i_{\max}$.

Le milieu incident est l'eau pour laquelle $c_1 = 2,249 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

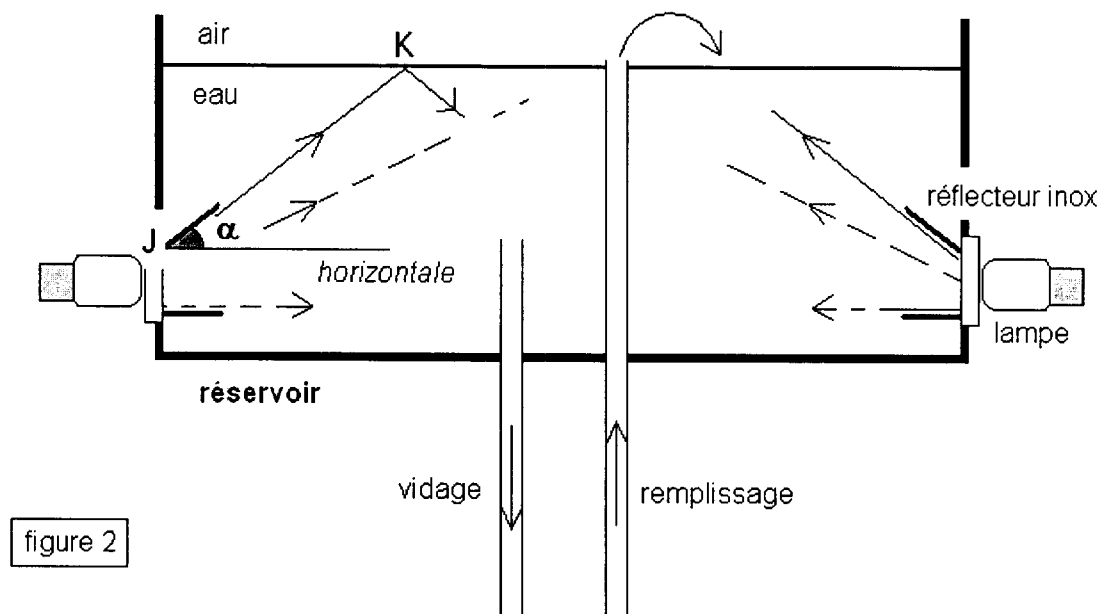
Le milieu réfringent est l'air pour lequel $c_2 = 2,977 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Pour le vide on admet avec précision la valeur suivante : $c_0 = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

1.2.2 - Calculer la valeur numérique de $i_{\max}$ à $\Delta i = 1'$ d'arc près ($3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$).

1.2.3 - Que subit le rayon incident lorsque $i > i_{\max}$? Justifier l'expression « réflexion totale ».

1.3 - Le phénomène de réflexion totale est mis en application pour éclairer de l'intérieur le réservoir d'un château d'eau, ouvert à l'air libre (**figure 2** ci-dessous).



Deux lampes munies chacune de deux volets réflecteurs de lumière en acier inoxydable sont disposées face à face sur la paroi de ce réservoir.

Le volet inférieur est horizontal et fixe, le volet supérieur est orientable avec l'angle α figurant sur le schéma, de façon à renvoyer un rayon extrême JK vers la surface libre de l'eau.

1.3.1 - Montrer que, si le rayon JK est placé à la limite de la réflexion totale, l'angle α peut se calculer par la relation $\cos \alpha = c_1 / c_2 = n_2 / n_1$.

Le technicien installateur du dispositif dispose des deux données simplifiées : $n_{\text{air}} = 1$ et $n_{\text{eau}} = 1,33$.

1.3.2 - Calculer à 1° près la valeur numérique de cet angle α que le technicien devra régler.

1.3.3 - Cet angle α dépend-il du niveau de la surface libre ? Justifier la réponse.

Partie 2 : Polarisation par réflexion vitreuse

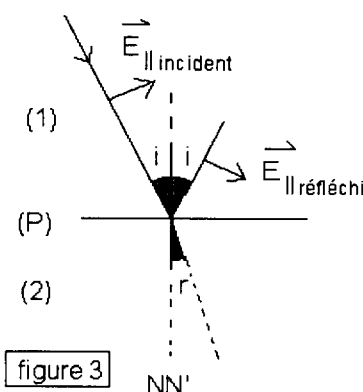
Pour traiter cette partie, aucune connaissance initiale sur la réflexion vitreuse n'est nécessaire.

Lorsque l'on considère une onde de lumière, on l'assimile à la superposition de deux ondes orthogonales entre elles, d'amplitudes $E_{\parallel}$ et $E_{\perp}$, de même fréquence et de même axe de propagation.

2.1 - Dans la liste suivante, choisir le composant optique dont la fonction première est de sélectionner l'une de ces composantes : filtre interférentiel, prisme équilatéral, polariseur, lame à faces parallèles.

À l'aide de ce composant, on sélectionne la vibration parallèle au plan d'incidence d'un dioptre plan, suivant la **figure 3** ci-contre, et l'on procède par les moyens appropriés à la mesure du coefficient de réflexion défini par $R_{\parallel} = (E_{\parallel} \text{ réfléchi}) / (E_{\parallel} \text{ incident})$.

Cette mesure valide le calcul théorique suivant : $R_{\parallel} = -\tan(i - r) / \tan(i + r)$, où i est l'angle d'incidence et r l'angle de réfraction.



2.2 - Dans la situation où $n_1 < n_2$, i peut-il être égal à r ? Justifier la réponse.

On introduit l'angle d'incidence de Brewster i_B par la condition : $i_B + r = 90^\circ$.

2.3 – Montrer, que dans ce cas, $R_{||} = 0$.

2.4 - Montrer que $\tan i_B = n_2 / n_1$.

Une mesure de i_B pour le passage air-eau a donné $i_B = 53^\circ \pm 0,5^\circ$; l'indice de l'air n_{air} vaut 1,00.

2.5 - Utiliser cette valeur de i_B pour fournir un encadrement de la valeur numérique de l'indice de réfraction n_{eau} .

Partie 3 : Interférences entre deux faisceaux lasers, velocimétrie

3.1 - Étude de la figure d'interférence

Deux faisceaux F1 et F2 issus d'un même LASER passent par les points A et B et font entre eux un angle $AOB = \beta$ (figure 4 ci-dessous).

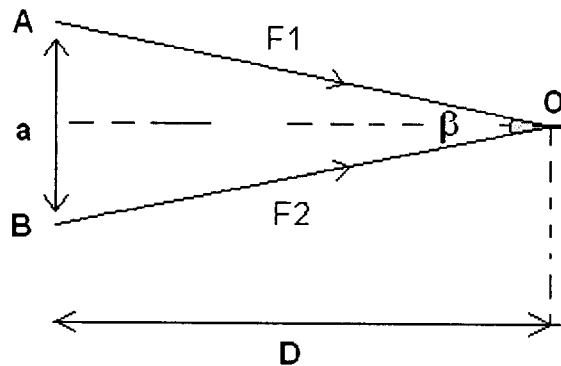


figure 4

Le point O est équidistant de A et de B et appartient à la zone de recouvrement des deux faisceaux.

On pose a = distance AB et D = distance orthogonale entre AB et le point O.

Soit λ la longueur d'onde du faisceau dans le milieu de propagation.

Dans le volume commun des deux faisceaux, on observe des interférences (figure 5 ci-dessous) dont l'interfrange X est calculée sur le modèle des franges de Young : $X = \lambda D / a$.

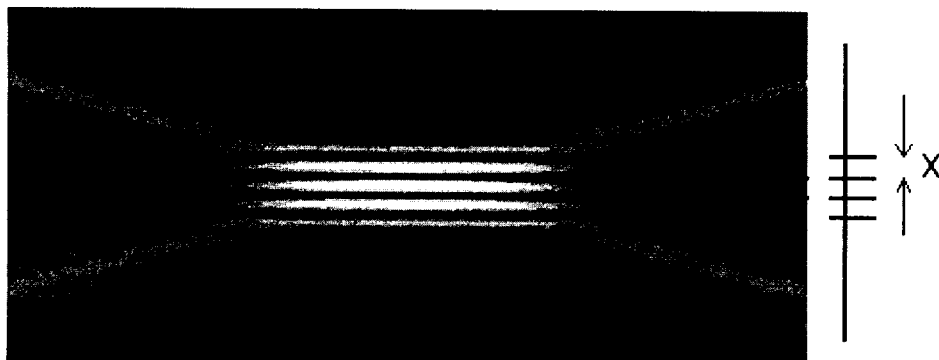


figure 5

3.1.1 - Les deux vibrations étant en phase lors de leurs passages en A et B, déterminer la nature de la frange présente au point O.

3.1.2 - En posant $a \ll D$, montrer qu'on peut écrire dans ces conditions : $X \approx \lambda / \beta$ (β en rad).

Le laser utilisé a pour longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$ dans l'air et l'angle β est fixé à $7,0^\circ$.

3.1.3 - Calculer la valeur numérique de X .

3.2 - Construction et principe d'un vélocimètre à franges

On crée le dispositif suivant, destiné à la mesure de la vitesse au centre de l'écoulement cylindrique d'un liquide (eau) en régime d'écoulement laminaire.

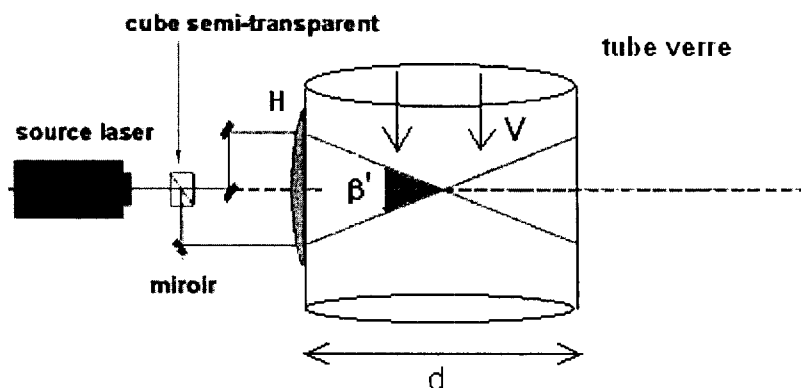


figure 6

L'eau circule le long de l'axe d'un tube de verre de diamètre $d = 8 \text{ cm}$.

Celui-ci est muni d'une lentille "hublot" H au travers de laquelle on fait passer les deux faisceaux qui se croisent au centre O de l'écoulement.

On posera : indice de réfraction de l'air $n_{\text{air}} = 1$ et indice de l'eau $n_{\text{eau}} = n = 1,33$.

3.2.1 - Exprimer la longueur d'onde (dans l'eau) λ' du rayonnement laser en fonction de λ et de n_{eau} .

3.2.2 - La valeur de β' étant de $10,0^\circ$ calculer l'interfrange X' observée en O .

On ensemence le liquide avec de fines particules réfléchissantes : celles-ci sont entraînées par l'écoulement à la vitesse V orthogonale aux franges (en régime laminaire V est lente $< 1 \text{ cm/s}$).

Chaque particule, soumise à un éclairage variable au cours de la traversée des franges, diffuse un signal lumineux S représenté en **figure 7** ci-dessous.

Soit F la fréquence de ce signal.

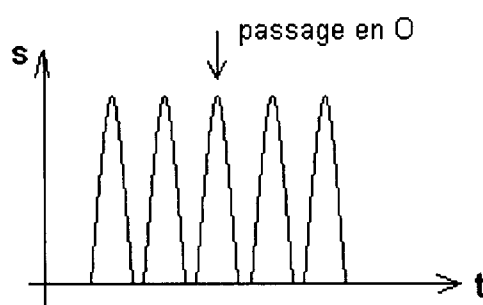
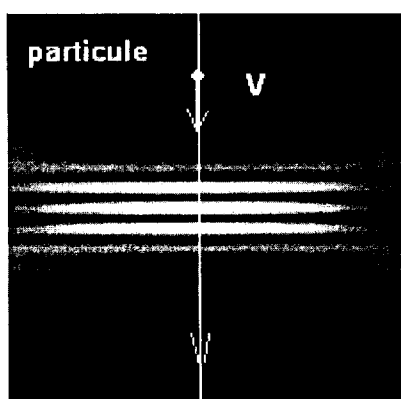


figure 7

3.2.3 - Exprimer une relation entre V , F et X' et calculer V pour la mesure suivante : $F = 1,4 \text{ kHz}$.