

EXERCICES SUR LA PROPAGATION D'ONDES

• EX 1 : Violon

Une corde de violon tendue avec  $F$  émet un son de fréquence  $f$ .

1) En présence d'un diapason de fréquence  $f_0 = 240$  Hz, l'intensité du son perçu varie périodiquement avec une période  $\tau = 0,1$  s. Que peut-on en conclure sur  $f$  ?

2) En diminuant  $F$  on allonge la période  $\tau$  du phénomène observé. En déduire la valeur de  $f$  et la variation relative  $\Delta F/F$  nécessaire pour accorder la corde de guitare et le diapason.

• EX 2 : Bulle de savon

Une bulle de savon est constituée d'une lame mince d'eau savonneuse ( $n = 1,33$ ) plongée dans l'air et contenant de l'air ( $n = 1$ ). Lorsque la bulle vieillit, l'épaisseur  $e$  du film diminue et juste avant sa disparition, l'intensité réfléchie devient très faible. Interpréter cette observation sachant que l'onde réfléchie sur un dioptre  $n_1 - n_2$  subit un déphasage de  $\pi$  si  $n_1 < n_2$  et ne subit aucun déphasage si  $n_1 > n_2$ .

Question 3

Plusieurs personnes ont des verres correcteurs qui apparaissent bleu-vert quand ils réfléchissent la lumière. Un mince film d'une substance d'indice de réfraction  $n = 1,35$  est appliqué sur la surface extérieure des verres de sorte que l'interface film-verre ne réfléchisse pas la lumière rouge de longueur d'onde  $\lambda = 630$  nm. Quelle doit être l'épaisseur du film pour que cela se produise? Supposez que les indices de réfraction de l'air et du verre sont respectivement 1,0 et 1,6.

- (a) 157,5 nm
- (b) 315,0 nm
- (c) 233,3 nm
- (d) 116,7 nm

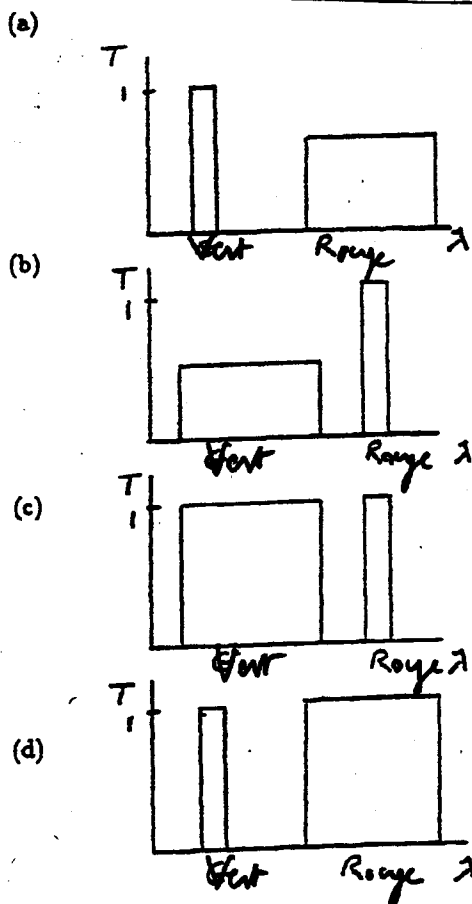
Question 5

Un navire a sur son mât une lampe émettant une lumière verte (de longueur d'onde  $\lambda = 500$  nm). Pour un plongeur immergé dans l'eau (indice de réfraction  $n = 1,33$ ) à côté du navire, quelles sont la longueur d'onde et la couleur apparente de la dite lumière?

- (a) Verte ( $\lambda = 500$  nm)
- (b) Rouge ( $\lambda = 665$  nm)
- (c) Verte ( $\lambda = 376$  nm)
- (d) Ultraviolette ( $\lambda = 376$  nm)

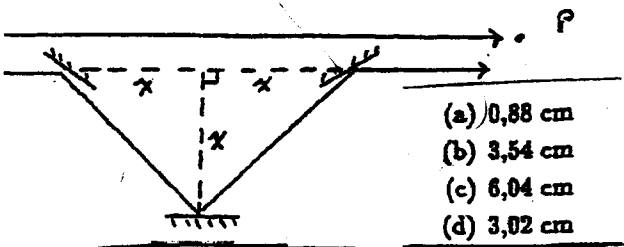
Question 4

Vous disposez de dix filtres identiques. L'un d'eux est placé devant une source de lumière blanche et la lumière apparaît rouge. Quand tous les filtres sont placés devant la même source, une pâle lumière verte est transmise. Laquelle des courbes suivantes peut représenter le coefficient de transmission d'un des filtres en fonction de la longueur d'onde?



question ⑥

faisceau de micro-ondes de longueur d'onde  $\lambda = 5,0 \text{ cm}$  d'intensité  $I_0$  est divisé et recombinaison à l'aide du système miroirs illustré. Quel doit être la distance  $x$  pour que l'intensité du faisceau au point  $P$  (le détecteur) soit nulle?



- (a) 0,88 cm
- (b) 3,54 cm
- (c) 6,04 cm
- (d) 3,02 cm

*Handwritten notes and calculations for question 6:*

$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta$

$\Delta \phi = \pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = \pi$

$x = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$

$x = \frac{5,0 \text{ cm}}{2 \sin 30^\circ}$

$x = \frac{5,0 \text{ cm}}{2 \cdot 0,5}$

$x = 5,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 2\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 2\pi$

$x = \frac{\lambda}{\sin \theta}$

$x = \frac{5,0 \text{ cm}}{\sin 30^\circ}$

$x = 10,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 3\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 3\pi$

$x = \frac{3\lambda}{2 \sin \theta}$

$x = \frac{3 \cdot 5,0 \text{ cm}}{2 \cdot 0,5}$

$x = 15,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 4\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 4\pi$

$x = \frac{2\lambda}{\sin \theta}$

$x = \frac{2 \cdot 5,0 \text{ cm}}{0,5}$

$x = 20,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 5\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 5\pi$

$x = \frac{5\lambda}{2 \sin \theta}$

$x = \frac{5 \cdot 5,0 \text{ cm}}{2 \cdot 0,5}$

$x = 25,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 6\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 6\pi$

$x = \frac{3\lambda}{\sin \theta}$

$x = \frac{3 \cdot 5,0 \text{ cm}}{0,5}$

$x = 30,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 7\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 7\pi$

$x = \frac{7\lambda}{2 \sin \theta}$

$x = \frac{7 \cdot 5,0 \text{ cm}}{2 \cdot 0,5}$

$x = 35,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 8\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 8\pi$

$x = \frac{4\lambda}{\sin \theta}$

$x = \frac{4 \cdot 5,0 \text{ cm}}{0,5}$

$x = 40,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 9\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 9\pi$

$x = \frac{9\lambda}{2 \sin \theta}$

$x = \frac{9 \cdot 5,0 \text{ cm}}{2 \cdot 0,5}$

$x = 45,0 \text{ cm}$

$\Delta \phi = 10\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta = 10\pi$

$x = \frac{5\lambda}{\sin \theta}$

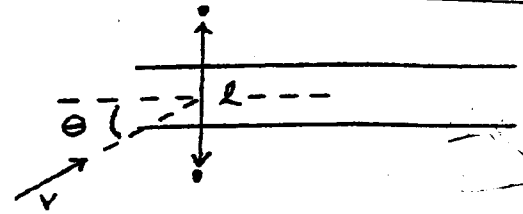
$x = \frac{5 \cdot 5,0 \text{ cm}}{0,5}$

$x = 50,0 \text{ cm}$

50 cm = Canada

**PROBLÈME ⑦**

Dans cette question nous allons étudier un système de navigation visant à guider les avions à l'approche de la piste d'atterrissage. Supposons que deux antennes soient placées au début de la piste, de part et d'autre du pavage, séparées par une distance  $l = 100 \text{ m}$ . Les deux antennes émettent un signal radio de fréquence  $f_0 = 12 \text{ MHz}$ , en phase l'une avec l'autre. Un avion volant à une vitesse  $v$  par rapport au sol se dirige vers l'aéroport et son vecteur-vitesse fait un angle  $\theta$  avec la piste, comme illustré. L'avion, encore très loin de l'aéroport, sintonise le signal et se dirige en ligne droite vers le point médian entre les deux antennes.



- (a) À la position présente de l'avion, l'intensité du signal émis par chaque antenne séparément est  $I_0$ . Trouvez l'intensité du signal combiné des deux antennes reçu par l'avion pour des angles d'approche de  $\theta = 0$  et de  $\theta = \pi/2$ .
- (b) Pour quel angle d'approche l'avion ne reçoit-il aucun signal? Si l'avion s'approche de l'aéroport avec un angle de  $30^\circ$ , à quelle intensité devrait s'attendre le navigateur?
- (c) L'avion s'écarte légèrement de sa trajectoire: son angle d'approche est  $\theta = 0$  mais il se dirige directement vers l'une des antennes et non vers le point médian. L'avion est encore éloigné de l'aéroport mais, en s'approchant, l'intensité du signal reçu commence à diminuer. À quelle distance de l'antenne la plus proche l'avion se trouve-t-il quand l'intensité est tombée à son minimum?
- (d) L'avion, revenu sur le droit chemin, s'approche de l'aéroport avec une vitesse  $v = 500 \text{ km/h}$  et un angle  $\theta = 30^\circ$ . L'avion possède un dispositif qui produit un signal de référence à  $12 \text{ MHz}$  qui est comparé au signal reçu en provenance des antennes. Un battement est observé dans la somme des deux signaux. Quelle est la fréquence de battement? Le navigateur programme l'ordinateur de bord pour calculer la vitesse  $v$  de l'avion (par rapport au sol) en fonction de la fréquence de battement  $\Delta f$ . Plus tard, quand la fréquence de battement est de  $10 \text{ Hz}$  et que le signal reçu en provenance des antennes a une fréquence légèrement plus basse que les  $12 \text{ MHz}$  de référence, quelle est la vitesse  $v$  de l'avion?

*Handwritten notes for problem 7:*

$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta$

$\Delta \phi = 2\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = 2\pi$

$l \sin \theta = \lambda$

$100 \text{ m} \sin \theta = \frac{300 \text{ m}}{12 \text{ MHz}}$

$100 \text{ m} \sin \theta = 25 \text{ m}$

$\sin \theta = 0,25$

$\theta = \arcsin(0,25)$

$\theta \approx 14,5^\circ$

$\Delta \phi = \pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = \pi$

$l \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$

$100 \text{ m} \sin \theta = 12,5 \text{ m}$

$\sin \theta = 0,125$

$\theta \approx 7,2^\circ$

$\Delta \phi = 0$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = 0$

$l \sin \theta = 0$

$\theta = 0^\circ$

$\Delta \phi = 3\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = 3\pi$

$l \sin \theta = \frac{3\lambda}{2}$

$100 \text{ m} \sin \theta = 37,5 \text{ m}$

$\sin \theta = 0,375$

$\theta \approx 22,0^\circ$

$\Delta \phi = 4\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = 4\pi$

$l \sin \theta = 2\lambda$

$100 \text{ m} \sin \theta = 50 \text{ m}$

$\sin \theta = 0,5$

$\theta = 30^\circ$

$\Delta \phi = 5\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = 5\pi$

$l \sin \theta = \frac{5\lambda}{2}$

$100 \text{ m} \sin \theta = 62,5 \text{ m}$

$\sin \theta = 0,625$

$\theta \approx 38,7^\circ$

$\Delta \phi = 6\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = 6\pi$

$l \sin \theta = 3\lambda$

$100 \text{ m} \sin \theta = 75 \text{ m}$

$\sin \theta = 0,75$

$\theta \approx 48,8^\circ$

$\Delta \phi = 7\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = 7\pi$

$l \sin \theta = \frac{7\lambda}{2}$

$100 \text{ m} \sin \theta = 87,5 \text{ m}$

$\sin \theta = 0,875$

$\theta \approx 61,0^\circ$

$\Delta \phi = 8\pi$

$\frac{2\pi}{\lambda} l \sin \theta = 8\pi$

$l \sin \theta = 4\lambda$

$100 \text{ m} \sin \theta = 100 \text{ m}$

$\sin \theta = 1,0$

$\theta = 90^\circ$