

Sujet 1

I Plasma ionosphérique (★)

L'ionosphère est considérée comme un plasma dilué neutre contenant une densité d'électrons non relativistes avec $n = 1,0 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$. Soit une onde électromagnétique incidente $\vec{E}_i = E_0 e^{j(\omega t - kz)} \vec{e}_x$ qui se réfléchit à l'interface entre l'atmosphère et l'ionosphère en $z = 0$: $\vec{E}_r = E_{0r} e^{j(\omega t + kz)} \vec{e}_x$ et qui se transmet aussi: $\vec{E}_t = E_{0t} e^{j(\omega t - k'z)} \vec{e}_x$.

Données: $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

- 1) Rappeler pourquoi on peut négliger la composante magnétique de la force de Lorentz agissant sur les électrons. Déterminer la vitesse des électrons et le vecteur densité de courant.
- 2) Déterminer l'équation de propagation du champ électrique dans l'ionosphère. En déduire la relation de dispersion. On introduira la pulsation de plasma ω_p .
- 3) Soit une onde incidente de fréquence 168 kHz. Peut-elle se propager ? Même question pour une onde de 100 MHz.
- 4) Dans le cas d'une propagation dans le milieu plasma, donner les relations entre E_0 , E_{0r} et E_{0t} . En déduire $r = \frac{E_{0r}}{E_0}$ et le coefficient de réflexion en puissance R .

Sujet 2

I Recherche des modes propres acoustiques d'un tuyau (★★)

La colonne d'air contenue dans un instrument à vent (flûte, clarinette...) ou dans un tuyau d'orgue vibre selon des modes propres correspondant à des conditions limites données.

Dans une modélisation très simple, on envisage deux types de conditions :

- si l'extrémité du tuyau est **ouverte**, la surpression acoustique, notée $P(x,t)$, est **nulle** à cette extrémité; (la pression est imposée par l'extérieur)
- si l'extrémité du tuyau est **fermée**, l'amplitude de variation de la surpression acoustique $P(x,t)$ est **maximale** à cette extrémité.

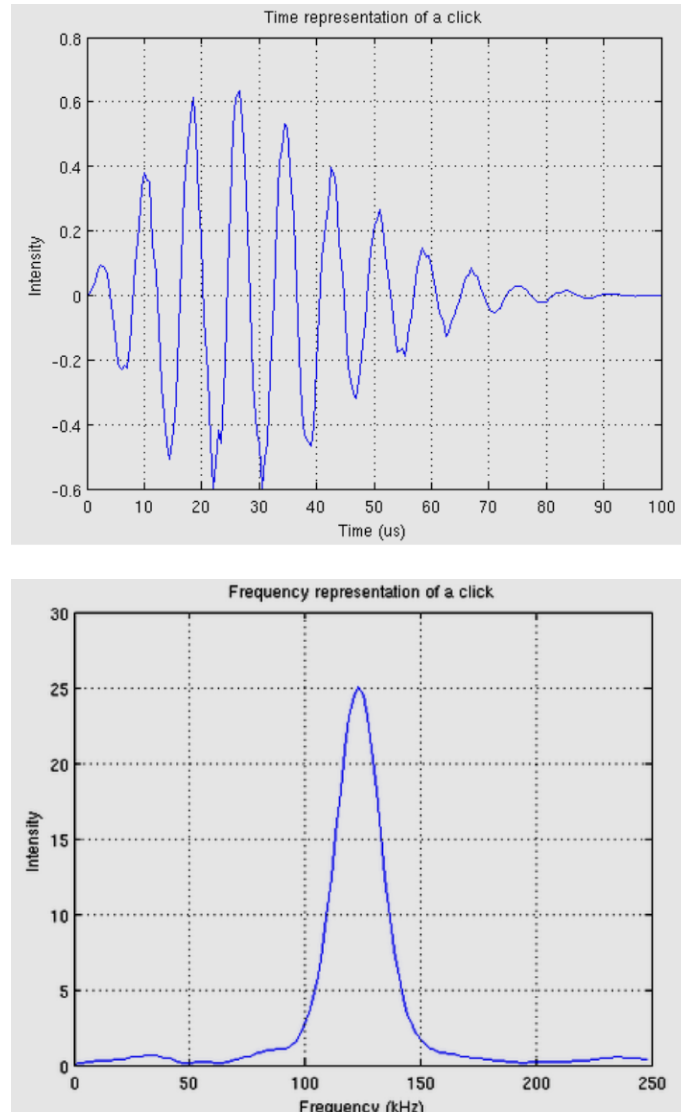
On considère un tuyau de longueur L dans lequel la célérité des ondes sonores est notée v .

- 1) Déterminez les fréquences des modes propres du tuyau lorsque ses deux extrémités sont **ouvertes**. Représentez graphiquement la surpression dans le tuyau pour le troisième mode, les modes étant classés par fréquence croissante.
- 2) Même question si l'une des deux extrémités du tuyau est ouverte et l'autre fermée.
- 3) Première application : les grands orgues peuvent produire des notes très graves. Calculez la longueur d'onde d'un son de fréquence 34 Hz , en prenant la valeur de la célérité du son à 0°C dans l'air, soit $v = 331\text{ m/s}$. Calculez la longueur minimale d'un tuyau produisant cette note (considérez pour cela les configurations des questions 1) et 2)).
- 4) Deuxième application : on peut modéliser très grossièrement une clarinette par un tube fermé au niveau de l'embouchure et ouvert à l'extrémité de l'instrument. Expliquez pourquoi le son produit par une clarinette ne comporte que des harmoniques impairs.

Sujet 3

I Clic d'un dauphin

Le graphe représente l'enregistrement d'un 'clic' d'écholocation émis par un dauphin.



- 1) Vérifier la cohérence entre les deux graphes ci-dessus.
- 2) Rappeler l'expression du niveau sonore en dB pour une onde sonore plane progressive harmonique en fonction de l'amplitude de la surpression, de l'impédance acoustique du milieu considéré, et de l'intensité de référence I_0 .
- 3) L'impédance acoustique de l'eau salée est de l'ordre de $1,5 \cdot 10^6$ U.S.I. et l'intensité acoustique de référence est $I_0 = 10^{-12}$ W/m². L'intensité sonore d'un clic peut atteindre 200 dB très près du dauphin. Calculer la surpression associée. L'approximation acoustique est-elle valide ?
- 4) A une distance de 100 m, l'intensité perçue est plus faible. Quelle en est la raison ?
- 5) L'impédance acoustique de l'atmosphère vaut 420 U.S.I. Pourquoi un marin sur une barque n'entend-il pas le clic du dauphin ?