Fénelon Sainte-Marie
La Plaine Monceau
GROUPE SCOLAIRE

Physique

DEVOIR MAISON n°14 ✯

pour le mercredi 12 mars 2025

PC/PC*

2024-2025

L'accent doit être mis sur la clarté et la précision de la rédaction, ainsi que sur le soin apporté aux calculs et à la présentation.
N'oubliez pas d'indiquer sur la copie le nom de la personne relectrice (code **R**) ou coautrice (code **A**).

Siffleur

*Extraits traduits de l'article **Whisler (radio)** (Wikipedia)*

*Un siffleur (whistler) est une onde électromagnétique (radio) à très basse fréquence générée par les éclairs. Les fréquences des **siffleurs terrestres** varient entre 1 kHz et 30 kHz, avec un maximum d'amplitude usuellement entre 3 kHz et 5 kHz. Bien qu'il s'agisse d'ondes électromagnétiques, elles se propagent à des fréquences du domaine audio et **peuvent être converties en signaux audio au moyen d'un détecteur ad hoc**. Elles sont produites par des éclairs (essentiellement intra-nuages et courant en retour) et les impulsions se propagent le long des lignes de champ magnétique terrestre d'un hémisphère à l'autre. Elles subissent une dispersion importante du fait de la vitesse plus faible des basses fréquences dans les plasmas formés par l'ionosphère et la magnétosphère. Elles sont donc perçues avec une **tonalité descendante** qui peut durer plusieurs secondes. Les engins spatiaux Voyager 1 et 2 ont détecté des activités de type siffleur dans le voisinage de Jupiter, impliquant la présence d'éclairs.*

Dans un plasma comportant n électrons libres par unité de volume (et autant d'ions, fixes, de charge +e), on étudie la propagation d'une onde électromagnétique de champs $\underline{\vec{E}} = \underline{\vec{E_0}} e^{i(\omega t - kz)}$ et $\underline{\vec{B}} = \underline{\vec{B_0}} e^{i(\omega t - kz)}$ avec $\omega > 0$. Ce champ se superpose à un champ magnétostatique uniforme et constant $\vec{B}_s$ de norme $B_s >> \left\| \vec{B}_0 \right\|$.
On posera $\Omega_c = \frac{e.B_s}{m_e}$ où m_e est la masse des électrons et e la charge élémentaire.

1 - a – Dans le champ magnétique terrestre, montrer que pour un siffleur, $\omega << \Omega_c$.
On utilisera cette relation pour effecteur des approximations dans la suite.

b – On considère ici que $\vec{B_s} = B_s . \vec{e_z}$ où $B_s > 0$. Montrer qu'une telle onde est transverse et est caractérisée par une densité volumique de courant de composantes :

$$j_y \approx \varepsilon_0 . \frac{\Omega_p^2}{\Omega_c} . E_x \text{ et } j_x \approx -\varepsilon_0 . \frac{\Omega_p^2}{\Omega_c} . E_y \text{ où } \Omega_p^2 = \frac{n.e^2}{m_e . \varepsilon_0}$$

2 – On étudie le cas particulier de la propagation d'une onde vérifiant $\underline{E_y} = -i.\underline{E_x}$.

a – Quel est l'état de polarisation d'une telle onde ?

b – Déterminer la relation de dispersion approchée de cette onde. On remarquera que $\Omega_p \gg \omega$

c – En déduire la vitesse de phase.

Interpréter la phrase du document préliminaire : *Elles sont donc perçues avec une tonalité descendante.*

3 - Le milieu est éclairé par une onde électromagnétique polarisée rectilignement selon $\vec{e_x}$.

a – Montrer que celle-ci s'obtient par superposition d'une onde polarisée circulairement à gauche et d'une onde polarisée circulairement à droite.

b - Préciser la nature de l'onde après la traversée du plasma sur une longueur suffisante. On précisera ce dernier critère.

Données :

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}\ F.m^{-1}$, $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$; $B_S = 50\ \mu T$; $e = 1{,}6.10^{-19}\ C$; $m_e = 9{,}1.10^{-31}\ kg$; $n \approx 10^{11}\ m^{-3}$