



Ondes hélicon

- À partir des documents en annexe, répondre de manière synthétique aux questions suivantes.
 - Qu'est-ce qu'un plasma ; quel(s) paramètre(s) distingue(nt), à votre avis, les différents milieux cités par le texte comme des plasmas ?
 - En adoptant pour description d'un métal l'approximation des régies quasi-stationnaires et la loi d'Ohm $\vec{j} = \gamma_0 \vec{E}$ où $\gamma_0 > 0$, pouvez-vous retrouver l'affirmation proposée dans le document « l'épaisseur de peau varie proportionnellement à l'inverse de la racine carré de la fréquence » ?
 - Qu'appelle-t-on *équation de dispersion* d'une onde électromagnétique ? Dans un plasma dilué comportant des électrons (masse $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg, charge $-e = -1,60 \times 10^{-19}$ C) en densité particulaire n , l'équation de dispersion s'écrit $c^2 \vec{k}^2 = \omega^2 - \omega_p^2$ si la pulsation de plasma ω_p est définie par $\omega_p^2 = ne^2/m_e \epsilon_0$. Une telle relation permet-elle d'expliquer la « tonalité descendante » des siffleurs ionosphériques ?
- 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 $\vec{E} = \vec{E}_0 f(z, t)$ et $\vec{B} = \vec{B}_0 f(z, t)$ où $f(z, t) = \exp(i(\omega t - kz))$ avec $\omega > 0$ et $i^2 = -1$. Ce champ se superpose à un champ magnétostatique uniforme et constant \vec{B}_s , de norme $B_s \gg |\vec{B}_0|$. On posera $\Omega_c = eB_s/m_e$.
 - On étudie des milieux dans lesquels $n \sim 10^{28} \text{ m}^{-3}$. Comparer Ω_c et Ω_p . Dans le champ magnétique terrestre, montrer que, pour un siffleur, $\omega \ll \Omega_c$.
 - 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 les relations $j_y = i\epsilon_0 \frac{\Omega_p^2}{\Omega_c} E_x$ et $j_x = -i\epsilon_0 \frac{\Omega_p^2}{\Omega_c} E_y$, liant les composantes du champ électrique \vec{E} et celles de la densité volumique de courant \vec{j} .
- On étudie le cas particulier de la propagation d'une onde vérifiant $E_y = +iE_x$. À quelle condition une telle onde peut-elle se propager dans ce plasma ? Expliciter le champ *réel* associé et décrire ses propriétés.
- Le milieu est éclairé par une onde électromagnétique polarisée rectilignement, $\vec{E}(z=0) = E_0 \hat{e}_x$. En décomposant celle-ci sous la forme $\frac{1}{2} (\vec{E}_+ + \vec{E}_-)$ avec $\vec{E}_\pm = E_0 (\hat{e}_x \pm \hat{e}_y)$, décrire la nature de l'onde après la traversée sur une longueur suffisante (préciser).

Données

permittivité du vide	$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$
célérité de la lumière	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Il sera accordé une grande importance aux qualités d'exposition. Le candidat est invité, dès le début de son passage au tableau, à présenter le sujet préparé de manière ordonnée et argumentée.

*Extraits traduits de l'article **Helicon (physics)** (Wikipédia, eng.)*

Un hélicon est une onde électromagnétique à basse fréquence susceptible de se propager dans des plasmas en présence d'un champ magnétique. Les premiers hélicons observés étaient des siffleurs atmosphériques, mais on peut aussi les observer dans des conducteurs solides ou dans n'importe quel autre plasma électromagnétique.

Les hélicons ont en particulier la possibilité de se propager à travers des métaux purs, sous réserve de se placer dans des conditions de basse température et en présence de champs magnétiques élevés. La plupart des ondes électromagnétiques dans les conducteurs ordinaires ne peuvent pas se propager dans ces conditions, la conductivité élevée des métaux (due à leurs électrons libres) écrantant le champ électromagnétique. En fait, une onde électromagnétique dans un métal est caractérisée par une épaisseur de peau très faible : les champs électrique et magnétique y sont rapidement réfléchis lors de l'entrée dans le métal (cet effet est responsable de la brillance de surface des métaux). Toutefois, l'épaisseur de peau varie proportionnellement à l'inverse de la racine carré de la fréquence ; ainsi, une onde de très basse fréquence peut surmonter l'effet de peau et donc se propager à travers le métal.

*Extraits traduits de l'article **Whistler (radio)** (Wikipédia, eng.)*

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.

Des siffleurs ont probablement été repérés dès 1886 sur des lignes téléphoniques longue distance mais leur première description claire est due à Barkhausen en 1919. En 1953, Storey a montré que les siffleurs sont créés par les décharges dans les éclairs.