

# Travaux Dirigés numéro 20

## Ondes électromagnétiques dispersives : le plasma

PC, 11 février 2009

À très haute température, les constituants d'un gaz monoatomique ou moléculaire ont tendance à s'ioniser. Le modèle le plus simple de **plasma** est celui d'un milieu dilué formé de cations immobiles de charge  $+e$  et d'électrons libres de charge  $-e$  de masse  $m_e$ , sans interaction électrique. On note  $n_0$  le nombre moyen d'électrons ou de cations par unité de volume mésoscopique. Sous l'action d'un champ électrique, les électrons libres sont mis en mouvement et on observe l'établissement d'un courant volumique local.

1. Montrer que dans un plasma, l'existence d'un champ électrique s'accompagne d'un **courant électrique** régi par :

$$\text{(T.C.I.) : } m_e \frac{\partial \vec{v}_e}{\partial t} = -e \vec{E} \quad \text{et} \quad \vec{j} = n_0(-e) \vec{v}_e$$

2. On étudie la possibilité de la propagation d'une pseudo-onde plane progressive harmonique dans un plasma ; on note  $\omega$  la pulsation et  $\vec{k} = \underline{k} \vec{u}_x$  le vecteur d'onde (a priori complexe). Les champs électrique, magnétique, les densités de charge et de courant sont reliés par les six équations :
  - les quatre équations de Maxwell ;
  - les deux lois reliant  $\vec{j}$ ,  $\vec{v}_e$  et  $\vec{E}$

Traduire ces six équations en formalisme complexe.

3. Par analogie avec les propriétés du métal conducteur, montrer qu'on peut définir la **conductance complexe du plasma** par :

$$\underline{\gamma} = \frac{n_0 e^2}{j m_e \omega}$$

et en régime sinusoïdal forcé  $\vec{j} = \underline{\gamma} \vec{E}$ . En déduire la relation de dispersion dans les plasmas reliant l'amplitude complexe du vecteur d'onde  $\underline{k}$  et la pulsation  $\omega$  :

$$\underline{k}^2 = \frac{\omega^2 - \frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m_e}}{c_0^2}$$

4. Le carré de  $\underline{k}$  est réel. En déduire l'existence d'une pulsation de coupure  $\omega_c$  et discuter deux cas selon la position de  $\omega$  par rapport à  $\omega_c$ .
5. Dans le cas  $\omega > \omega_c$ , exprimer les vitesses de groupe et de phase et tracer l'allure de leurs variations. Commenter ces courbes.
6. A.N. : calculer  $\omega_c$  pour un plasma d'hélium assimilé à un gaz parfait à la pression  $P_0 = 1,013 \cdot 10^5$  Pa et à la température  $T = 1000$  K.
7. Comparer les notions de distance caractéristique d'amortissement dans un plasma et d'épaisseur de peau dans un bon conducteur.