

G.1a

$$\rho = \rho_e + \rho_{in} = -ne + ne = 0$$

G.1.b

$$\star \frac{\|\vec{b}_{m1}\|}{\|\vec{b}_{e1}\|} = \frac{e\|\vec{v}_{i1}\|}{e\|\vec{E}_{11}\|} \leq \frac{v_D}{c} = \frac{v}{c} \ll 1 \quad \text{car le plasma est non relativiste}$$

$$\star \text{PFD} \quad \begin{cases} m_e \frac{d\vec{v}_e}{dt} = -e\|\vec{E}_{11}\| + m_e \vec{g} \\ m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = +e\|\vec{E}_{11}\| \end{cases}$$

$$m_i \gg m_e \quad \Rightarrow \|\vec{v}_{i1}\| \ll \|\vec{v}_{e1}\| \quad \text{on néglige } \vec{g} \text{ sur les ions devant les électrons}$$

G.1.c

$$\frac{mg}{eE} = \frac{9 \cdot 10^{-31} \cdot 10}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^3} \approx 6 \cdot 10^{-8} \ll 1$$

$$mg \ll eE \quad \text{pesanteur néglige}$$

G.2.d

$$\vec{J}_e = \rho_e \vec{v}_e = -ne \vec{v}_e$$

$$\text{PFD appliqué à l'électron: } m \frac{d\vec{v}_e}{dt} = -e\vec{E} \Rightarrow \frac{d\vec{v}_e}{dt} = \frac{-e}{m} \vec{E}$$

$$\text{on intègre } \vec{v}_e \text{ en notation complexe: } \frac{d\vec{v}_e}{dt} = \frac{-e}{m} \vec{E}$$

$$\text{pu } \vec{v}_e = -\frac{e}{i\omega m} \vec{E} \quad \Rightarrow \vec{v}_e = \frac{-e \vec{E}}{i\omega m}$$

$$\Rightarrow \vec{J}_e = \frac{ne^2}{i\omega m} \vec{E} = \underline{\sigma} \vec{E}$$

$$\boxed{\underline{\sigma} = \frac{ne^2}{i\omega m}}$$

Conductivité électrique  
Complexe

G.2

Les équations de Maxwell dans le plasma

$$\text{MG: } \text{div} \vec{E} = 0$$

$$\text{MF: } \text{div} \vec{B} = 0$$

$$\text{MA: } \text{Rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{MB: } \text{Rot} \vec{B} = \mu_0 \left( \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) = \mu_0 \left( \vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

G.3

$$\begin{aligned} \text{Rot Rot} \vec{E} &= \text{grad}(\text{div} \vec{E}) - \Delta \vec{E} = -\Delta \vec{E} \\ &= \text{Rot} \left( -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) \\ &= -\frac{\partial}{\partial t} (\text{Rot} \vec{B}) = -\frac{\partial}{\partial t} \left( \mu_0 \vec{j} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \\ &= -\mu_0 \frac{\partial \vec{j}}{\partial t} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \vec{E} &= \mu_0 \frac{\partial \vec{j}}{\partial t} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ &= \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \omega \vec{E} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ &= \frac{\mu_0 n e^2}{m} \vec{E} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \end{aligned}$$

$$\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2}$$

$$= \frac{1}{c^2} \left( \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \frac{\mu_0 c^2 n e^2}{m} \vec{E} \right)$$

$$\text{on pose } \omega_p^2 = \frac{\mu_0 c^2 n e^2}{m} = \frac{n e^2}{m \epsilon_0} \text{ pulsation plasma}$$

$$\Rightarrow \Delta \vec{E} = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \omega_p^2 \vec{E} \right)$$

eq d'onde dans le plasma  
appelée pulsation plasma.

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n e^2}{m \epsilon_0}}$$

H2 : 
$$0\vec{E} = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \omega_p^2 \vec{E} \right)$$

$$(-\partial^2 \vec{E}) = \frac{1}{c^2} \left( (\mu\epsilon)^2 \vec{E} + \omega_p^2 \vec{E} \right)$$

$$\Rightarrow -k^2 = \frac{1}{c^2} (\omega_p^2 - \omega^2) \Rightarrow \boxed{k^2 = \frac{(\omega^2 - \omega_p^2)}{c^2}}$$

1<sup>re</sup> domaine

$\omega > \omega_p \Rightarrow k = \frac{\sqrt{\omega^2 - \omega_p^2}}{c}$  *k réel est la domaine de transmission*

2<sup>de</sup> domaine

$\omega < \omega_p \Rightarrow k = \frac{i\sqrt{\omega_p^2 - \omega^2}}{c}$  *k imaginaire donc on a évanescent*

applicati

$\omega > \omega_p$  *la onde est travers le plasma sans problème j'utilise au communication*

*avec la satellite géostationnaire*

$\omega < \omega_p$  *la onde ne traverse pas le plasma*

*caractéristique de l'atmosphère*

*reflète une onde par la surface*

*radio. (communication avec les satellites différent de la terre par onde radio)*

H3

$$v_{te} = \frac{v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$v_g = \frac{dv}{dk} \neq v \text{ mais } \omega^2 - \omega_p^2 = c^2 k^2 \Rightarrow 2\omega d\omega = 2c^2 k dk$$
  

$$\Rightarrow \frac{d\omega}{dk} = \frac{c^2 k}{\omega} = \frac{c^2}{v}$$

$\Rightarrow$

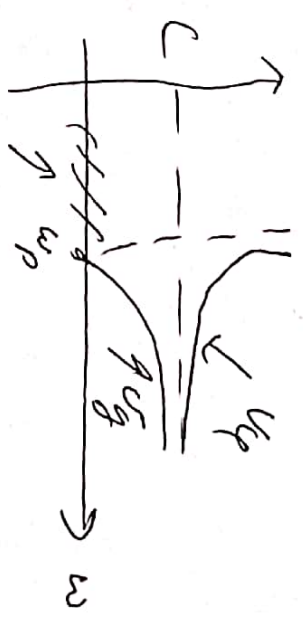
$$v_g = c^2 \sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}}$$

$$\text{et } v_{te} = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}}}$$

applicati *des domaine de transmission*

*communication avec les satellites à l'extérieur de la terre.*

H4



*Zone interdite pour les ondes*

$\omega \rightarrow \infty$

$$v_g = v_{te} = c \Rightarrow \text{le plasma se comporte comme la lumière}$$

*les électrons peuvent plus à l'interieur de l'élongation*

*diminution avec E.*

$v_{te} > c$

*aucune contradiction car la phase est pas une grandeur physique*

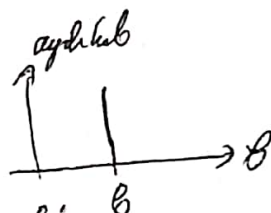
$v_g < c$

*la phase la vitesse de propagation de l'énergie qui est une grandeur physique*

I.1 OPM gl mbr de l'esp d dm l'esp e qui  
rellement impossible

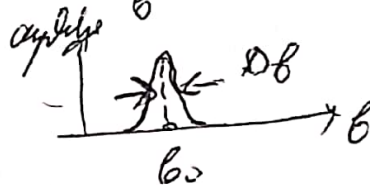
OPM

Spctre



paquet d'onde  
gauche

Spctre



- $v_g = 2v_\phi$  L'enveloppe se déplace plus vite que la maxime de l'onde
- $v_g = \frac{v_\phi}{2}$  L'enveloppe se déplace moins vite que la maxime

