

Ionosphère

1. Caractéristiques

L'ionosphère est une couche de la haute atmosphère située entre en moyenne entre 60km et 540km d'altitude, contenant des particules ionisées due au rayonnement solaire. Le degré d'ionisation est plus important le jour que la nuit.

Le degré d'ionisation est donné par :

$$N(h) = N_{\max} - 17,36(h - h_{\max})^2 \text{ e}^-/\text{cm}^3$$

$$N_{\max} = 10^{-4} \text{ (nuit) et } 10^{-6} \text{ (jour) e}^-/\text{cm}^3$$

$$N_{\max} = N(h_{\max} = 300 \text{ km})$$

2. Propagation dans l'ionosphère :

Les particules ionisées assimilées à des électrons, soumises à un champ électrique E porté par l'onde, subissent une accélération γ telle que : $q \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{\gamma}$

où $m = 10^{-30} \text{ kg}$ (masse de l'électron)

et $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (charge de e^-)

en raison des collisions entre particules et électrons en mouvement, l'équation dynamique devient : $q \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{\gamma} + \mathcal{E} \cdot m \cdot \vec{v}$ (1)

où \mathcal{E} = nombre de collisions par seconde et v = la vitesse de déplacement des

électrons telle que $\gamma = \frac{dv}{dt} = j\omega v$

Il résulte un courant de déplacement des électrons $J = N(h) \cdot q \cdot v$

l'équation (1) devient : $q \cdot E = m(j\omega v) + \mathcal{E} \cdot m \cdot v$ d'où $v = qE / (\mathcal{E} \cdot m + jm\omega)$

Les équations de Maxwell permettent de déterminer l'équation de propagation de l'onde dans l'ionosphère considéré comme le vide ($\mu = \mu_0; \epsilon = \epsilon_0$) chargé.

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \text{ avec } \vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \text{ avec } \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} \text{ et } \vec{J} = N(h) q^2 \vec{E} / (\mathcal{E} \cdot m + jm\omega)$$

$$\text{rot} \vec{H} = j\omega \epsilon_0 \vec{E} (1 + (N(h) q^2 / m \epsilon_0) (1 / (\mathcal{E} \cdot m + jm\omega))) = j\omega \epsilon_0 \epsilon^* \vec{E}$$

$$\text{avec } \epsilon^* = \epsilon_r - j\epsilon_r'$$

Donc l'ionosphère se comporte comme un milieu conducteur caractérisé par :

une permittivité réelle : $\epsilon_r = 1 - N(h) q^2 / (m \epsilon_0 (\omega^2 + \mathcal{E}^2))$

une conductivité : $\sigma = N(h) q^2 \mathcal{E} / (m (\omega^2 + \mathcal{E}^2))$

on définit $N(h) q^2 / m \epsilon_0 = \omega_p^2$ qui caractérise la fréquence du plasma (couche située à l'altitude h) d'où $f_p = 1/2 \pi \sqrt{N(h) q^2 / m \epsilon_0} = 9 \sqrt{N(h)}$

3. Réflexion et réfraction ionosphérique :

Indice de réfraction de l'ionosphère : $n(h) = \sqrt{\epsilon_r}$

On remarque plus on monte en altitude jusqu'à $h_{\max} = 300 \text{ km}$, plus $N(h)$ augmente donc $n(h)$ diminue d'où la réfraction atmosphérique qui permet à l'onde de retourner vers la terre mais au-delà de 300km $N(h)$ diminue donc $n(h)$ augmente, l'onde remonte vers le ciel d'où une possible liaison spatiale pour une certaine fréquence.

