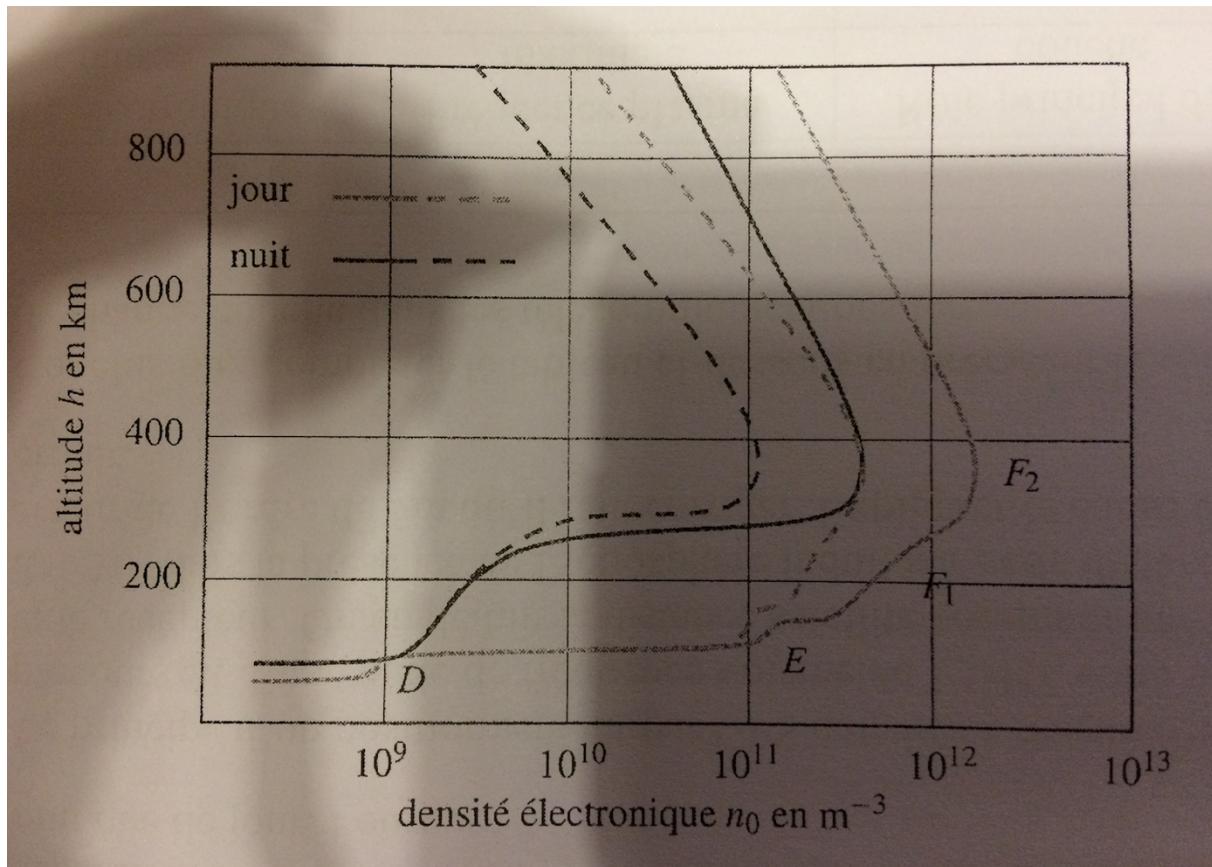


Approche documentaire : Effets de l'ionosphère sur les télécommunications

05/12/2020



I. Structure de l'atmosphère

1)

Le Rayonnement solaire constitué de photons X ou UV provoque l'ionisation des couches supérieures de l'atmosphère entre 80 km et 800 km d'altitude.

Ce processus d'ionisation provoque la dissociation des molécules neutre X en ions positifs X+ et électrons e-. Les électrons ionisés sont libres et très mobiles tandis que les ions X+ sont lourds. On a donc un plasma qui est globalement neutre mais qui localement peut être chargé. Le processus d'ionisation est plus efficace je jour que la nuit puisque les couches d'atmosphère sont directement exposé au flux de photons solaires alors que la nuit, la terre occulte le flux de photons solaire. Ainsi la densité de plasma augmente le jour et diminue la nuit.

2)

La densité d'atmosphère

$$\rho = \rho_0 \exp(-h/h_0)$$

est d'autant plus grande que de l'altitude h est basse ($h_0 \sim 8\text{km}$) . La couche D étant la plus basse, elle absorbe donc plus le rayonnement solaire.

3)

La couche F est celle qui a la plus grande variabilité jour/nuit et saisonnière de densité électronique.

La couche E a une variation jour / nuit.

	D	E	F
Altitude	80-100 km	100-150 km	$h > 150\text{km}$
Densité électronique jour	$< 10^9$	10^{11}	$3 \cdot 10^{11} - 2 \cdot 10^{12}$
Densité électronique nuit	$< 10^9$	10^9	$10^{11} - 3 \cdot 10^{11}$
Fréquence Plasma maximale	284 kHz	2.84 MHz	12.7 MHz
Rôle principal de la couche	Reflexion grandes ondes et TSF Marconi	Radio amateur	Bande FM

4)

Démontré la semaine dernière $n = c/v_{\text{phase}}$

Equation fondamentale de la dynamique sur un electron libre excité par une onde électromagétique qui obeit aux equations de Maxwell (celles avec les rotationnels).

$$v_{\text{phase}} = \omega/k = c/\sqrt{1-f_p^2/f^2}$$

II. Comportement vis-à-vis d'une onde en incidence normale

5) Calcul pour le maximum de densité électronique, soit je jour

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$N_1=1$$

Theta1=0 \rightarrow theta2=0 il y a toujours transmission

Et il faut que la frequence soit supérieure à la frequence plasma (frequence de coupure).

III. Reflexion sous incidence oblique

Pour une onde partant du sol , les fréquences Plasma augmentent de qq KHz à plus de 10 MHz

L'indice des couches de l'ionosphère décroît, donc l'angle de l'onde réfractée θ_2 par rapport à la normale augmente jusqu'à ce qu'il y ait réflexion (Fig 19.4 b)

6) Loi de Schnell – Descartes

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Pour qu'il y ait transmission par refraction, il faut que

$$\sin \theta_1 \leq n$$

- $F < F_p$, l'indice de réfraction devient imaginaire, l'onde ne peut pas se propager, elle est donc absorbée (onde perdue car pas réfléchie)
- $F > F_p$
 - $\sin \theta_1 \leq n_2$: alors l'onde est réfractée donc transmise dans la couche supérieure
 - $\sin \theta_1 > n_2$: l'onde est réfléchie par la couche supérieure. Dans ce cas l'onde est renvoyée vers le sol. Il y a réflexion multiple comme dans une lame mince (d'indice $n > 1$)

7)

$$i = \frac{\pi}{2} - \alpha, n_{air} = 1$$

$$n_{air} \sin i = n_0 \sin \theta_D = n_E \sin \theta_E = n_F \sin \theta_F$$

pour qu'il y ait réflexion ($\sin \theta_F > 1$)
sur la couche F

$$\Rightarrow n_{air} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) > n_F = \sqrt{1 - \frac{f_P^2(F)}{f^2}}$$

$$\cos^2 \alpha > 1 - \frac{f_P^2(F)}{f^2}$$

$$\left(\frac{f_P^2(F)}{f^2} \right) > 1 - \cos^2 \alpha = \sin^2 \alpha$$

$$\boxed{f < \frac{f_P}{\sin \alpha}}$$

IV. Application aux télécommunications :

8)

Les grandes ondes (bande GO) sont refléchies sur la couche D ($f_P = 284$ kHz).

La modulation fréquence (FM) peut être refléchie sur la couche F ($f_P = 12$ MHz) pour un angle alpha convenable.

Du coup les FM ont une plus longue portée que les GO.

La bande FM est celle utilisée pour transmettre la musique, pas les GO. C'est pour cela que la bande GO est sensible aux parasites (je ne sais pas pourquoi).

9)

L'onde de Marconi aurait pu se reflécher sur la couche D pour

$$\sin \text{Alpha} = (F_p)_D / F_c = 284 \text{ kHz} / 312 \text{ kHz}$$

$$\text{Alpha} = 65.5^\circ$$

10)

Couche E : $F_p\text{-max}=2.84 \text{ MHz}$. (jour)

La couche E est sensible à la différence jour/nuit.

lambda	80 m	60 m	40 m
frequence	1.25 MHz	1.6 MHz	2.5 MHz

Les ondes des radio amateurs sont réfléchies sur la couche E.

Théoriquement les distances de transmission sont plus grandes que pour les ondes de la radio TSF.

$$\Omega_{gap} = \sqrt{n_e^2 / (\epsilon_0 m)}$$

La nuit, n chute d'un facteur 100, donc $(F_p)_E$ diminue d'un facteur 10.
Ces ondes sont plus absorbées la nuit.

11)

L'indice de l'ionosphère est inférieur à 1.

La vitesse de phase de l'onde est $c/n > c$.

Il y a donc une erreur $d = c/n * \Delta t$

On surestime la distance.

12)

Voir le tableau