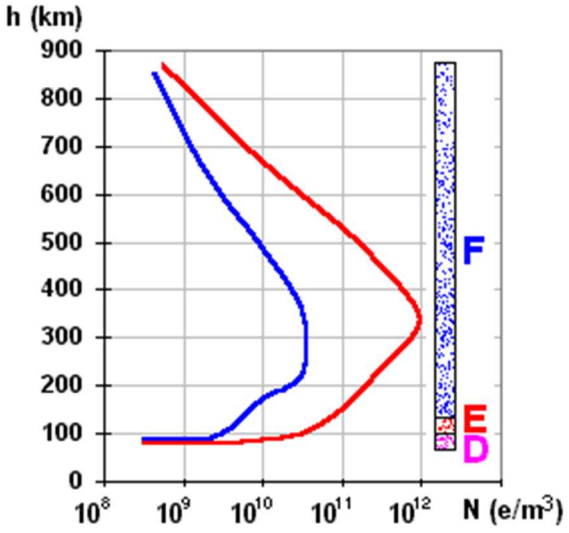
6.6.2 Interface ondes électromagnétiques-Exercice 3

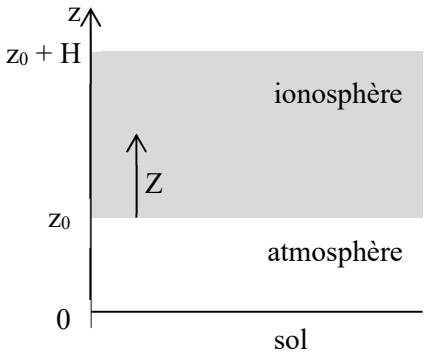
Extrait du site « Le Manuel Internet des Radioamateurs » :

L'ionosphère est une région de l'atmosphère située entre la mésosphère et la magnétosphère, c'est à dire entre 60 et 800 km d'altitude. Elle est constituée de gaz fortement ionisés à très faible pression (entre 2.10-2 mb et 1.10-8 mb) et à haute température (-20 à +1000°C)
Le sondeur vertical est une sorte de radar dont la fréquence est variable entre 1 et 30 MHz. L'émetteur envoie des impulsions très brèves qui sont réfléchies à une altitude dépendant de la fréquence et de la densité électronique dans l'ionosphère. La mesure du temps séparant l'impulsion émise et la réception de l'écho permet de calculer l'altitude à laquelle s'est effectuée la réflexion. Le tracé de cette altitude en fonction de la fréquence est un ionogramme. Sur la figure ci-contre on peut voir que pour la fréquence de 5 MHz, la couche F2 renvoie l'onde émise verticalement à une hauteur virtuelle de 290 et de 330 km environ.
Depuis 1960, les satellites artificiels et sondes spatiales ont permis une meilleure compréhension des phénomènes ionosphériques



La Terre est entourée d'une atmosphère non ionisée assimilée au vide d'indice 1surmontée de l'ionosphère d'indice complexe $\underline{n}$ tel que : $\underline{n}^2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$ où $\omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{m\varepsilon_0}}$ est la pulsation plasma.

N est la densité particulaire des électrons de masse m.



a-Exprimer le coefficient de réflexion en puissance R, sur l'interface vide/ionosphère, de l'onde radioélectrique émise verticalement depuis le sol.

b-Montrer que pour une fréquence $f < f_c$, il y a réflexion totale de l'onde radioélectrique.
Calculer la fréquence critique f_c correspondant à l'altitude où règne une densité électronique $N_0 = 6.10^5$ électrons/cm^3.
On donne : $\varepsilon_0 = 8{,}84.10^{-12}$ F.m^{-1} ; m = 9,1.10^{-31} kg ; e = 1,6.10^{-19} C

c-Calculer $\underline{n}$ et R pour les fréquences respectives f = 7,0 MHz ; 7,5 MHZ ; 8,5 MHZ. Tracer l'allure de R(f).

d-On suppose $f < f_c$. Dans un modèle simplifié, la couche ionosphérique d'épaisseur H = 200 km surmonte l'atmosphère d'épaisseur z_0 = 100 km. La tranche ionosphérique d'altitude z à partir du sol et de cote $Z = z - z_0$ à partir de l'interface atmosphère/ionosphère, est caractérisée par la densité électronique :

$$N(Z) = N_0 \frac{4(H - Z)Z}{H^2}$$

Calculer l'altitude maximale z_m atteinte par l'onde radioélectrique émise verticalement avant de revenir vers le sol, en fonction de z_0, H et du rapport f/f_c.

A.N : calculer z_m pour les ondes radioélectriques de fréquences f = 4 MHz ; 6 MHz et $f = f_c$.

6.6.2 Interface ondes électromagnétiques-Exercice 3

---

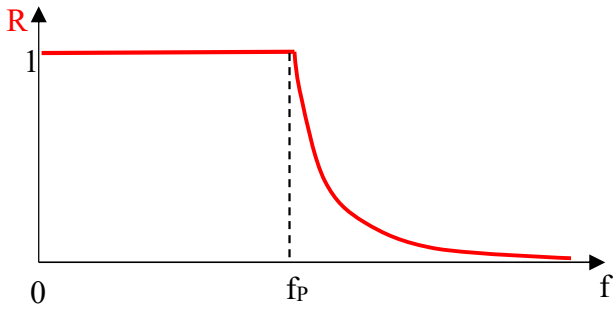
a-Voir cours : $\boxed{R = |\underline{r}|^2}$ avec : $\boxed{\underline{r} = \dfrac{1-\underline{n}}{1+\underline{n}}}$

b-Si $f < f_c = f_p = \dfrac{\omega_p}{2\pi}$: $\underline{n}^2$ réel < 0 => $\underline{n}$ imaginaire pur => $|\underline{r}| = 1$ => $R = 1$ Il y a réflexion totale.

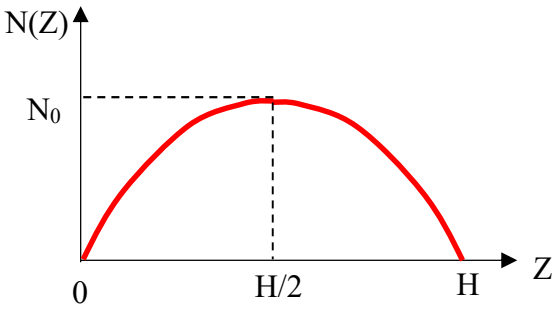
A.N : $f_c = 6{,}95$ MHz

c-

f	$\underline{n}$	R
7 MHz	0,12	0,62
7,5 MHz	0,38	0,21
8,5 MHz	0,58	0,07



d-N dépend de Z => la fréquence plasma dépend de Z : $f_p(Z) = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{N(Z)e^2}{m\varepsilon_0}}$



Il y a réflexion de l'onde de fréquence f à une profondeur d'ionosphère Z telle que : $f = f_p(Z)$

Soit : $f = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{N_0 e^2}{m\varepsilon_0}\dfrac{4(H-Z)Z}{H^2}}$ => $f^2 = f_c^2\dfrac{4(H-Z)Z}{H^2}$ => $Z^2 - HZ + \left(\dfrac{Hf}{2f_c}\right)^2 = 0$

D'où : $Z = \dfrac{1}{2}[H - \sqrt{H^2 - 4\left(\dfrac{Hf}{2f_c}\right)^2}] = \dfrac{H}{2}[1 - \sqrt{1 - \dfrac{f^2}{f_c^2}}]$

L'altitude de la réflexion est donc : $\boxed{z_m = z_0 + \dfrac{H}{2}[1 - \sqrt{1 - \dfrac{f^2}{f_c^2}}]}$

f	z_m
4 MHz	118 km
6 MHz	149 km
$f_c = 6{,}95$ MHz	$z_0 + \dfrac{H}{2} = 200$ km