Université Djillali Liabès
Faculté de Génie électrique
Département de télécommunications
1ère année Master Système de Télécommunication
Matière : Radiocommunication (ST13)
Durée : 1h30'

Le 25/01/2018

Examen

Exercice N°1 *(5 pts)*

Soit le champ électrique donné par l'équation suivante :

$$\vec{E}(t,z) = \sqrt{2}E_0 \left[\overrightarrow{e_x} \sin\left(wt - \beta z + \frac{\pi}{3}\right) + \overrightarrow{e_y} \sin\left(wt - \beta z - \frac{\pi}{3}\right)\right]$$

1) Déterminer la polarisation du champ électrique.
2) Calculer le champ magnétique H(t, z) qui lui correspond dans un milieu sans perte.
3) Démontrer que le champ magnétique est toujours perpendiculaire au champ électrique.

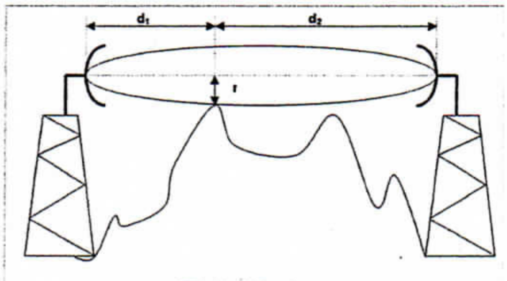
Exercice N°2 *(5 pts)*

A) On suppose qu'une onde radio se propage en ligne directe entre deux antennes se situent à 20m au dessus du sol.
1) En utilisant le modèle exponentiel qui détermine le coindice de réfraction de la troposphère, trouver la valeur du rayon de courbure des ondes dans ce cas.
2) La même question dans le cas d'une atmosphère standard.

B) On considère une terre plate et une atmosphère standard ; déterminer la valeur du gradient du coindice de réfraction modifié à une altitude de 10km.

Exercice N°3 *(5 pts)*

1) A partir de la figure ci-contre, déterminer l'expression donnant le rayon du premier ellipsoïde de Fresnel.
2) Donner le rayon d'ellipsoïde de Fresnel de rang 3.
3) Quelle est la valeur maximale de r pour une distance entre les deux antennes de 20km, et une fréquence de 2GHz.



Ellipsoïde de Fresnel

Exercice N°4 *(5 pts)*

Une station spatiale se situe à une distance de 400km de la surface de la terre. Elle émet une puissance de 20Watt à travers une antenne de gain Ge=30dB, à la fréquence de 6GHz.

1) Calculer la puissance captée, si le gain de l'antenne paraboloïdale de réception située sur terre, est de 50dB.
2) Calculer le diamètre du paraboloïde situé sur la sonde spatiale, sachant que son facteur de gain fg=0,6.
3) Déterminer en décibels les affaiblissements de propagation et de la liaison.

Matière : Radiocommunication

Correction de l'Examen

Exercice N°1 :

2) Le champ magnétique $H(t,z)$ est déterminer à partir du champ électrique, en utilisant l'équation de Maxwell-Faraday :

$$\overrightarrow{rot}\ \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{dt}$$

puisque le milieu de propagation est sans pertes

$$\Rightarrow \mu = \mu_0 \text{ et } \varepsilon = \varepsilon_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{rot}\ \vec{E} = -e_x \frac{\partial E_y}{\partial z} + e_y \frac{\partial E_x}{\partial z} = -\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t}$$

$$\left.\begin{aligned} \Rightarrow \frac{dE_y}{dz} &= -\sqrt{2}\beta E_0 \cos(\omega t - \beta z - \tfrac{\pi}{3}) \\ \frac{\partial E_x}{dz} &= -\sqrt{2}\beta E_0 \cos(\omega t - \beta z + \tfrac{\pi}{3}) \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

on aura :

$$-\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} = -e_x\left[-\sqrt{2}\beta E_0 \cos(\omega t - \beta z - \tfrac{\pi}{3})\right] +$$

$$+ e_y\left[-\sqrt{2}\beta E_0 \cos(\omega t - \beta z + \tfrac{\pi}{3})\right]$$

$$-\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} = \sqrt{2}\beta E_0 \left[e_x \cos(\omega t - \beta z - \tfrac{\pi}{3}) - e_y \cos(\omega t - \beta z + \tfrac{\pi}{3})\right]$$

Après intégration par rapport au Temps, (en choisisant une constante d'intégration nulle car il n'ya pas de champ statique), on trouve :

$$H(t,z) = \frac{\sqrt{2}\beta E_0}{\omega \mu_0}\left[-e_x \sin(\omega t - \beta z - \frac{\pi}{3}) + e_y \sin(\omega t - \beta z + \frac{\pi}{3})\right]$$

1) Afin de déterminer la polarisation du champ électrique, on calcul le déphasage entre E_x et E_y =>

$$\varphi_x - \varphi_y = \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{3} = \frac{2\pi}{3}$$

on a : $0 < \frac{2\pi}{3} < \pi$ et $|E_x| = |E_y|$ =>

Le champ électique à une polarisation quelconque

* ~~Donc~~ Le champ magnétique est toujours perpendiculaire au champ électique, car $E(t,z) \cdot H(t,z) = 0$

$$\vec{E} \cdot \vec{H} = E_x H_x + E_y H_y$$

$$= \frac{(\sqrt{2} E_0)^2 \beta}{\omega \mu_0}\left[-\sin(\omega t - \beta z - \frac{\pi}{3}) \cdot \sin(\omega t - \beta z + \frac{\pi}{3}) + \sin(\omega t - \beta z - \frac{\pi}{3})(\sin \omega t - \beta z + \frac{\pi}{3})\right]$$

$$= 0$$

Exercice N°2

A1 : on a une trajectoire rectiligne

1- Le modèle exponentiel du coindice de réfraction est donné par :

$$N = 315 \exp(-0{,}136\,h)$$

Le rayon du courbure des ondes R_0 est donné par :

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R} - \frac{1}{\tilde{R}}$$

avec $\tilde{R}$ est le rayon fictif de la terre :

$$\tilde{R} = KR \quad \text{avec} \quad K = \frac{1}{1 + 6{,}37\,10^{-3}\,\frac{dN}{dh}}$$

$$\cancel{K = \frac{1}{1 + 6{,}37\,10^{-3}}}$$

Juste $\frac{dN}{dh}$

on calcul $\frac{dN}{dh}$:

0,5

$$\frac{dN}{dh} = -0{,}136 \cdot 315 \exp(-0{,}136h)$$

$$= -42{,}84 \exp(-0{,}136 \cdot 20 \cdot 10^{-3})$$

$$h = 20\,m = 20\,10^{-3}\,Km \qquad 0{,}020$$

$$\Rightarrow \frac{dN}{dh} = -42{,}72$$

$$K = \frac{1}{1 - 6{,}37\,10^{-3} \times 42{,}72} = 1{,}37$$

$$\tilde{R} = KR = 1{,}37 \times 6370 \cancel{10^{3}} = 8727\,Km$$

$$\text{ce qui donne : } \frac{1}{R_0} = \frac{1}{6370} - \frac{1}{8727} = \cancel{0{,}42399\,10^{-4}\,Km^{-1}}\ 42{,}4\,10^{-6}\,Km^{-1}$$

$$\Rightarrow R_0 = \cancel{\dots}\ 23585{,}46\,Km$$

A-2 Dans le cas d'une atmosphère standard

$$n = n_0 - 0,25 \frac{h}{R}$$

$$N = (n-1)10^6 = (n_0 - 0,25 \frac{h}{R} - 1) 10^6$$

$$N = -0,25 \frac{h}{R} 10^6$$

$$\frac{dN}{dh} = -\frac{0,25}{R} 10^6 = -\frac{0,25}{6370} 10^6 = -39,25 \ Km^{-1}$$

$$\tilde{R} = KR = \frac{R}{1 - 6,37 10^{-3} (+39,25)} = \cancel{\frac{1}{R - 6,37 \times 0,25 10^3}}$$

$$\tilde{R} = \frac{6370}{\cancel{61} -} = \cancel{2,09 10^{-4} Km}$$

$$= 8494 \ Km$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R} - \frac{1}{\hat{R}} = \frac{1}{6370} - \frac{1}{8494}$$

Donc $R_0 = 25474$ Km

B) pour une Terre plate ~~et~~ une atmosphère standard $\Rightarrow$ l'indice de refraction modifié n^*

$$n^* = n + \frac{h}{R}$$

$$n^* = n + 157 10^{-6} h = n_0 - 0,25 \frac{h}{R} + 157 10^{-6} h$$

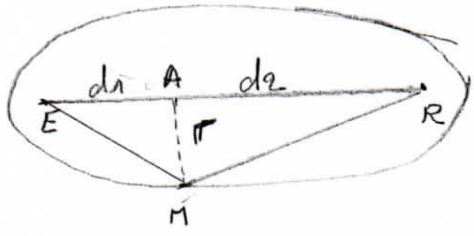
on a ~~Le~~ coindice de refration est donné par:

$$M = (n^* - 1) 10^6 = (n_0 - 0,25 \frac{h}{R} + 157 10^{-6} h - 1) 10^6$$

Le gradient de M :

$$\frac{dM}{dh} = (-\frac{0,25}{R} + 157 10^{-6}) 10^6 = 117,75 \ (Km^{-1})$$

Exercice N° 3 :



1) Afin d'etablir une liaison en visibilité directe entre les deux points (E et R), il faut que :

$$EMR - EAR = n\frac{\lambda}{2}$$

pour le premier ellipsoïde de fresnel $\Rightarrow n = 1 \Rightarrow$

$$\Rightarrow EMR - EAR = \frac{\lambda}{2}$$

on a : $EMR = EM + MR$ et $EAR = EA + AR = d_1 + d_2$

selon le Théorème de

$$EM^2 = d_1^2 + r^2 \quad \text{et} \quad MR^2 = d_2^2 + r^2$$

$$\Rightarrow EMR - EAR = EM + MR - d_1 - d_2 = \frac{\lambda}{2}$$

$$= \sqrt{d_1^2 + r^2} + \sqrt{d_2^2 + r^2} - d_1 - d_2 = \frac{\lambda}{2}$$

on fait sortir en facteur d_1 et d_2 $\Rightarrow$

$$d_1\sqrt{1 + \left(\frac{r}{d_1}\right)^2} + d_2\sqrt{1 + \left(\frac{r}{d_2}\right)^2} - d_1 - d_2 = \frac{\lambda}{2}$$

on a $d_1 >> r$ et $d_2 >> r$ et on sait que $(1+\varepsilon)^n = 1 + n\varepsilon$

delà $\Rightarrow d_1\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{r}{d_1}\right)^2\right] + d_2\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{r}{d_2}\right)^2\right] - d_1 - d_2 = \frac{\lambda}{2}$

$$\Rightarrow \cancel{d_1} + \frac{r^2}{2d_1} + \cancel{d_2} + \frac{r^2}{2d_2} - \cancel{d_1} - \cancel{d_2} = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2}r^2\left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}\right) = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow r = \sqrt{\lambda\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

2) pour $n = 3 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{3\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$

3) La valeur maximale de r est obtenue lorsque $d_1 = d_2$

$$\Rightarrow r_{max} = \sqrt{\frac{\lambda d_1^2}{2d_1}} = \sqrt{\lambda\frac{d_1}{2}} = \sqrt{\frac{c}{f}\frac{d_1}{2}} = \left(\frac{3\cdot10^8}{2\cdot10^9}\cdot\frac{10\cdot10^3}{2}\right)^{1/2} = 27,4\ m$$

ST13-5

Exercice N°4

1) La puissance captée par la station terrestre :

$$P_r = P_e \, G_e \, G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2$$

$$G_{e_{dB}} = 30\,dB \Rightarrow G_e = 10^3 =$$

$$G_{r_{dB}} = 50\,dB \Rightarrow G_r = 10^5 =$$

$$P_r = 20 \cdot 10^3 \cdot 10^5 \left[\frac{(3\,10^8 / 6 \cdot 10^9)}{4\pi \cdot 400 \cdot 10^3}\right]^2 = 20 \cdot 10^8 \left(\frac{0,05}{5024\,10^3}\right)^2$$

$$P_r = 20 \cdot 10^{-8}\ W$$

2) Le diamètre de l'antenne paraboloïdale est donnée par :

$$D = \frac{\lambda}{\pi}\sqrt{\frac{G_e}{f_g}} = \frac{3\,10^8}{6 \cdot 10^9 \cdot 3.14} \cdot \sqrt{\frac{10^3}{0,6}}$$

$$D = 0,65\ m$$

3) * L'affaiblissement de propagation est donné par :

$$\alpha_p = 20 \log \frac{\lambda}{4\pi R} = 20 \log\left[\frac{3\,10^8}{6\,10^9 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot 400\,10^3}\right]$$

$$\alpha_p = -160,04\ dB$$

* L'affaiblissement de la liaison est :

$$\alpha_L = \alpha_p(dB) + G_e(dB) + G_r(dB) = -160,04 + 30 + 50$$

$$\alpha_L = -80,04\ dB$$