

Question 1 :

Bande de fréquences : c'est la plage de fréquences pour laquelle on peut utiliser normalement l'antenne. En effet, une antenne est caractérisée par une impédance complexe d'entrée dont les parties réelle et imaginaire dépendent directement de la fréquence du signal, donc pour certaines valeurs de celle-là, on peut avoir un stockage de l'énergie dans l'espace proche de l'antenne et par suite on aura moins de rayonnement lointain.

Cette plage de fréquences détermine aussi si l'antenne est sélective ou pas selon sa largeur.

Les fréquences de ces antennes s'étendent de 870 à 2200 MHz : on se place dans la bande des fréquences radio Ultra Hautes Fréquences (UHF) soit une longueur d'onde entre 0.1 m et 1 m.

Gain : c'est une caractérisation des propriétés directives de l'antenne en fonction de la puissance fournie à ses bornes. Il représente le rapport entre l'intensité rayonnée dans une direction bien déterminée et celle d'un rayonnement isotrope (uniforme dans toutes les directions) avec la même puissance fournie.

$$G(\theta, \Phi) = \frac{U(\theta, \Phi)}{\frac{P_f}{4\pi}}$$

Horizontal/Vertical Beamwidth : c'est l'angle d'ouverture qui délimite la région (dans un plan fixé) où la puissance rayonnée reste supérieure à la moitié (à l'échelle linéaire) de la puissance maximale (ou à -3 dB à l'échelle logarithmique).

Lorsque cet angle est mesuré selon l'azimute, on parle de l'ouverture horizontale (Horizontal Beamwidth) et si l'on mesure selon l'élévation, on parle de l'ouverture verticale (Vertical Beamwidth).

Une valeur de 9.0° dans le plan vertical contre une valeur de 65° dans le plan horizontal indique que l'antenne est beaucoup plus directive suivant le plan vertical.

Electrical Downtilt Range ou **Pointage** : c'est l'angle entre l'axe du lobe principale (la direction principale de rayonnement) et l'axe d'origine qui correspond à $\theta = 0^\circ$. Cette valeur nous renseigne sur la direction principale du rayonnement de l'antenne. Les antennes d'une station de base pointent légèrement vers le bas d'où les valeurs données de quelques degrés.

Upper Sidelobe Suppression : c'est le rapport entre l'amplitude du lobe principale et celle d'un lobe latéral.

1st Upper Sidelobe Suppression : c'est le rapport entre l'amplitude du lobe principale et celle du lobe à côté.

Front-To-Back Ratio : c'est le rapport entre l'amplitude du lobe principale et celle du lobe arrière.

Polarisation : c'est l'orientation du champ électrique rayonné ou reçu par l'antenne. Elle peut être linéaire ou elliptique. Une polarisation double dans les deux directions implique la capacité de l'antennes à émettre/recevoir des ondes polarisées dans les deux directions.

VSWR : c'est le rapport d'onde stationnaire (ROS) qui traduit la capacité de l'adaptation de l'antenne à une ligne de transmission.

Si on note r le coefficient de réflexion complexe ($r = \frac{A_r}{A_i}$) et ρ son module, alors $ROS = \frac{1+\rho}{1-\rho}$.

Dans ce cas, $ROS < 1.5 \Rightarrow \rho < 0.2$. On récupère alors plus de 80% de l'amplitude de l'onde incidente.

Isolation between Ports : c'est le rapport entre la puissance injectée dans un port et la puissance récupérée de l'autre port. Idéalement, on veut que l'isolation entre les deux ports soit infinie afin d'éviter les interférences entre les deux signaux injectés.

Pour cette antenne, la valeur est de 30 dB soit une atténuation de la puissance d'un facteur de 1000 en linéaire donc on a une bonne isolation.

Impédance : c'est le rapport entre la tension et le courant à l'entrée de l'antenne en émission. Il est important d'adapter cette impédance pour s'assurer d'un bon transfert d'énergie entre l'antenne et les dispositifs de transmission qui y sont connectés.

Maximum Power Input : c'est le maximum de puissance qui peut être transmis au port d'une antenne. Cette valeur dépend de la fréquence du signal.

Question 2 :

La directivité D d'une antenne c'est sa capacité de rayonner la puissance dans une direction privilégiée de l'espace.

Hypothèses :

- Le calcul se fait en champ lointain.
- La distribution du champ électromagnétique sur la surface est équiphase et uniforme : $\phi(x, y) = \text{constante}$ et $E(x, y) = E_0$.

On travaille avec le standard DCS1800 donc la partie rayonnante occupe $\frac{1}{3}$ de la surface d'ouverture totale.

$$D = \frac{1}{3} \frac{4\pi S_{\text{ouverture}}}{\lambda^2} = \frac{1}{3} \frac{4\pi f^2 S_{\text{ouverture}}}{c^2}$$

$$\text{Application numérique : } D = \frac{1}{3} \frac{4\pi \times (1800 \times 10^6)^2 \times 2.08 \times 0.328}{(3.10^8)^2} = 102.9 = 20.1 \text{ dB}$$

Question 3 :

Le rendement d'une antenne c'est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie ou injectée. Il traduit donc la capacité à transmettre la puissance électrique en entrée sous forme de puissance rayonnée en sortie. Cette capacité est liée aux pertes par conduction, diélectriques, magnétiques etc.

$$G = \eta D \Rightarrow \eta = \frac{G}{D}$$

Le gain est dépendant de la fréquence du signal donc de même pour le rendement.

Applications numériques :

Pour la fréquence $1800 \text{ MHz} \in [1710 \text{ MHz}, 1900 \text{ MHz}]$, $\eta = \frac{10^{\frac{18.3}{10}}}{102.9} = 65.7\%$

Un tiers de la puissance injecté aux bornes de l'antenne sera perdu par conduction (effet de peau) et sera dissipé par effet joule.

Question 4 :

Soit P_{ray} , P_{inj} et P_{inc} les puissances rayonnée, injectée et incidente respectivement.

$$\begin{cases} \eta = \frac{P_{ray}}{P_{inj}} \Rightarrow P_{ray} = \eta P_{inj} \\ P_{inj} = (1 - \rho^2) P_{inc} \end{cases} \Rightarrow P_{ray} = \eta P_{inj} = \eta(1 - \rho^2) P_{inc}$$

Et d'après la première question, $ROS \approx 1.5 \Rightarrow \rho \approx 0.2$.

Application numérique : $P_{ray} = 0.657 \times 0.96 \times 1 = 0.63 \text{ W}$.

On perd un tiers de la puissance incidente à cause d'un problème d'adaptation à l'entrée de l'antenne et puis par dissipation par conduction.

Question 5 :

La distance du champ lointain ou la zone de Fraunhofer de l'antenne définit la zone de validation des paramètres de l'antenne où les ondes électromagnétiques sont considérées transverses et localement planes. Dans cette zone, l'amplitude du champ décroît en $\frac{1}{r}$ où r est la distance qui sépare l'antenne du point $M(r, \theta, \phi)$ considéré.

D'après la fiche technique, la plus grande distance caractéristique de l'antenne est son hauteur $d_{antenne} = \frac{H}{3} = 693.3 \text{ mm}$, donc $d_{champ \ lointain} = \frac{2d_{antenne}^2}{\lambda} = \frac{2fd_{antenne}^2}{c}$

Application numérique : $d_{champ \ lointain} = \frac{2 \cdot 1800 \times 10^6 \times 0.6933^2}{3 \times 10^8} = 5.76 \text{ m}$.

Question 6 :

C'est la surface qui aurait rayonné la même puissance si l'antenne était sans pertes qui traduit la capacité de l'antenne sans pertes à convertir la puissance reçue dans des conditions optimales. Les pertes vont diminuer la puissance rayonnée donc on perd en surface rayonnante, c'est-à-dire $A_{eff} < S_{ouverture}$.

$$G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2} \Rightarrow A_{eff} = \frac{G\lambda^2}{4\pi} = \frac{10^{\frac{G_{dB}}{10}} c^2}{4\pi f^2}$$

Application numérique : $A_{eff} = \frac{10^{\frac{18.3}{10}} \times (3 \times 10^8)^2}{4\pi \times (1800 \times 10^6)^2} = 0.15 \text{ m}^2$.

On passe d'une surface d'ouverture $S_{ouverture} = 0.68 \text{ m}^2$ à une aire effective $A_{eff} = 0.15 \text{ m}^2 \approx 0.2 \times S_{ouverture}$ ce qui traduit l'importance des pertes d'énergie lors de la transmission de l'onde.

Question 7 :

La direction principale est inclinée en bas d'un angle $\theta = tilt = 2^\circ$, donc le point d'impact est situé à une distance d de l'antenne avec $d = \frac{h}{\sin(\theta)}$.

Application numérique : $d = \frac{125}{\sin(2^\circ)} = 3582 \text{ m} = 3.582 \text{ km}$.

En utilisant la formule de FRISS : $P_{reçu} = P_{inj} \frac{G_e G_r}{\alpha} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = P_{inj} \frac{10^{\frac{G_e}{10}} \times 10^{\frac{G_r}{10}}}{10^{\frac{\alpha_{dB}}{10}}} \left(\frac{c}{4\pi d f}\right)^2$

Application numérique : $P_{reçu} = 0.63 \times \frac{10^{1.83} \times 1}{10^3} \times \left(\frac{3 \times 10^8}{4\pi \times 3582 \times 1800 \times 10^6}\right)^2 = 5.8 \times 10^{-13} \text{ W}$.

Le niveau de puissance reçu au niveau du mobile est

$$10 \log\left(\frac{5.8 \times 10^{-13}}{0.63}\right) = -120.3 \text{ dB} = -120.3 + 10 \log(10^3) = -90.3 \text{ dBm}$$

On reste au-dessus du niveau de puissance minimale qu'il faut recevoir pour assurer la qualité de communication requise.

On utilise le diagramme de rayonnement pour déterminer la puissance de rayonnement aux bords d'un secteur d'ouverture $\theta = 120^\circ$ dans le plan horizontal, on trouve une différence de -10 dB par rapport à la puissance maximale calculée sur l'axe principal, donc $P(\theta) = P_{max} - 10 \text{ dB} = -120.3 - 10 = -130.3 \text{ dBW} = -100.3 \text{ dBm}$.

Aux bords du secteur d'ouverture $\theta = 120^\circ$, on a encore une puissance qui est au-dessus du seuil minimal pour garantir la qualité de communication requise.

Soit r le rayon du secteur angulaire couvert par l'antenne. On a $r = d \times \cos(2^\circ) = 3580 \text{ m}$.

Question 8 :

On calcule l'amplitude du champ E en utilisant la formule donnée : $E_{eff} = 1.375 \times 1800^{0.5} = 58.3 \text{ V/m}$.

$$\text{Or } S_r \leq \frac{1}{2} \frac{E_{max}^2}{\eta_0} \Rightarrow \frac{PIRE}{4\pi d^2} \leq \frac{E_{eff}^2}{\eta_0} \Rightarrow d^2 \geq \frac{\eta_0 P_{inj} G_e}{4\pi E^2}$$

Application numérique : $d \geq \sqrt{\frac{120\pi \times 0.63 \times 10^{\frac{18.3}{10}}}{4\pi \times 58.3^2}} = 0.61 \text{ m}.$

Pour le grand public, on respecte bien les normes de sécurité puisque sur le sol on est à une distance supérieur à 61 *cm* de l'antenne, tandis que pour les travailleurs qui sont plus proche de l'antenne, il faut refaire le calcul des amplitudes de E et H puisqu'on est pas dans le champ lointain.