

Tous documents autorisés

Le barème est donné à titre indicatif.

*Il sera tenu compte des justifications apportées à chaque réponse, ainsi que de la présentation.*

### **Partie 1 (10 points)**

On considère une antenne pour une station de base de réseau 4G (bande dite à 800 MHz), dont les diagrammes de rayonnement dans les plans horizontaux et verticaux sont données par les graphiques ci-dessous. Les diagrammes sont normalisés par rapport au gain maximal (12 dBi). L'antenne est adaptée  $50 \Omega$  avec un VSWR maximal de 1.5. La puissance électrique en entrée est de 40 dBm.

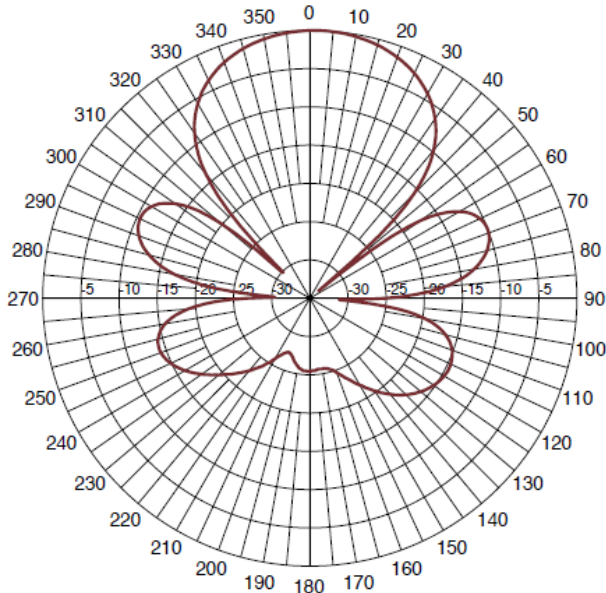


Diagramme de rayonnement (plan horizontal)

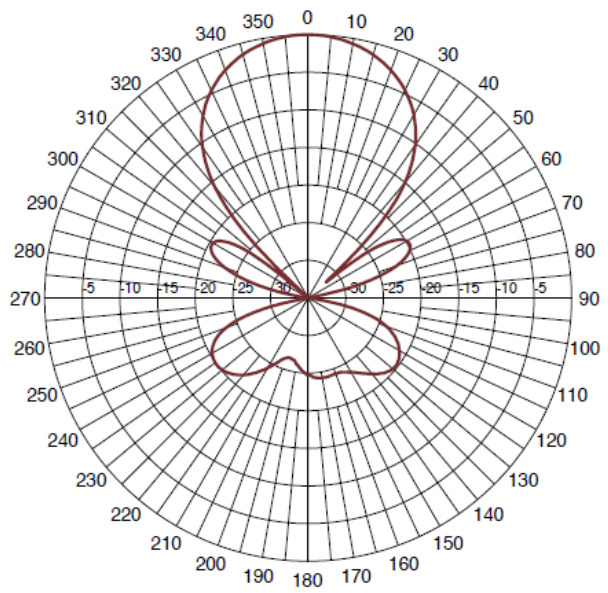


Diagramme de rayonnement (plan vertical)

1. Estimez les angles d'ouverture à 3 dB dans les plans horizontaux et verticaux de cette antenne. (2 pts)

*Environ  $50^\circ$  dans le plan horizontal, environ  $40^\circ$  dans le plan vertical*

2. Combien vaut le front-to-back ratio de cette antenne ? (2 pts)

*25 dB*

3. Combien vaut le coefficient de réflexion de l'antenne ? Quelle est la perte de puissance maximale liée à la désadaptation de l'antenne ? (2 pts)

*$VSWR_{max} = 1.5 \rightarrow |\Gamma| < (VSWR_{max} - 1) / (VSWR_{max} + 1) = 0.2$ . La perte de puissance est donc inférieure à  $0.2^2 = 0.04$  fois la puissance électrique disponible.*

4. On s'intéresse dans un premier temps aux risques sanitaires posés par l'exposition du public aux champs électromagnétiques. A 800 MHz, la recommandation européenne 1999/519/EC fixe une limite d'exposition de 39 V/m (en condition champ lointain). En supposant une

propagation en espace libre et en champ lointain et en considérant une limite dix fois plus faible que celle préconisée par la recommandation, déterminez la distance de protection minimale lorsqu'on considère le lobe principal ? Et le premier lobe secondaire ? (4 pts)

*La limite maximale de champ  $E_{\max}$  est fixée à  $39 \times 0.1 = 3.9 \text{ V/m}$ .*

*En champ lointain, le champ électrique produit par l'antenne à une distance  $d$  est donné par la relation suivante :*

$$|E| = \sqrt{\eta_0 \frac{P_E G_E}{4\pi d^2}}$$

*où  $P_E$  est la puissance électrique disponible (on néglige ici les pertes par désadaptation) = 10 W,  $G_E$  le gain de l'antenne dans la direction considérée = 15.8.*

*On en déduit la relation permettant de calculer la distance à partir de laquelle le champ électrique dépasse la limite.*

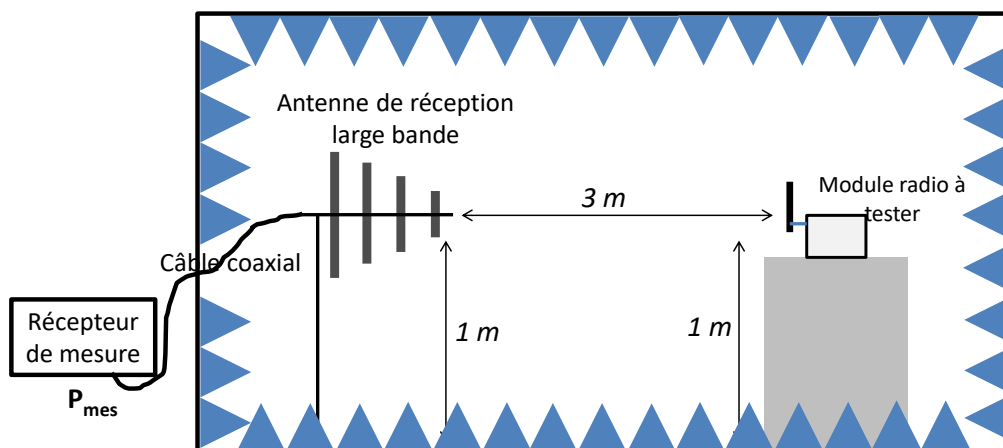
$$d_{\max} = \sqrt{\eta_0 \frac{P_E G_E}{4\pi |E_{\max}|^2}} = \sqrt{377 \times \frac{10 \times 15.8}{3.9^2 \times 4\pi}} = 17.6 \text{ m}$$

*Le premier lobe secondaire est visible dans le plan horizontal pour un azimut de  $70^\circ$ . Le gain  $y$  est de  $12 - 10 = 2 \text{ dBi}$ , soit 1.58. La distance de sécurité est alors de :*

$$d_{\max} = \sqrt{\eta_0 \frac{P_E G_E}{4\pi |E_{\max}|^2}} = \sqrt{377 \times \frac{10 \times 1.58}{7.8^2 \times 4\pi}} = 5.6 \text{ m}$$

## **Partie 2 (10 points)**

Pour être commercialisé, l'émission électromagnétique d'un petit module radiofréquence fonctionnant sur la bande ISM à 868 MHz doit être certifiée, notamment sa puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) sur sa plage de fréquence de fonctionnement. Celle-ci doit rester inférieure à 14 dBm. Pour cela, on réalise le test en chambre anéchoïque décrit ci-dessous. Le résultat de mesure est fourni par le récepteur qui délivre une puissance notée  $P_{\text{mes}}$ , exprimée en dBm. Il est connecté à l'antenne de réception via un câble coaxial dont les pertes sont de 1 dB. Le gain de l'antenne de réception est égal à 5 dB. L'incertitude des résultats est estimée à 2 dB.



1. Pourquoi le PIRE du module radio doit être limité ? (2 pts)

*Pour éviter la création des interférences radio. Le module radio travaillera sur une bande libre ISM, partagée par de nombreux autres émetteurs récepteurs.*

2. La distance de séparation entre le module à caractériser et l'antenne de réception est-elle acceptable ? (2 pts)

*La mesure du PIRE est basée sur une mesure de la puissance reçue par l'antenne de réception, puis par une extrapolation du PIRE en utilisant un modèle de propagation simple et valide. En l'occurrence, on utilise la formule du Friis qui suppose des conditions de champ lointain et d'espace libre. Le fait de travailler en chambre anéchoïque avec une absence d'obstacles garantit la condition d'espace libre.*

*Pour garantir la condition de champ lointain, il faut que la séparation entre l'antenne de réception et le module radio soit suffisante, au moins plusieurs longueurs d'onde et plus grande que les dimensions de ces deux dispositifs (pas de définition officielle car la frontière champ lointain - champ proche est floue). En l'occurrence, les deux dispositifs doivent être plus petits que la distance de séparation. A 868 MHz, la longueur d'onde est égale à :  $\lambda = c/f = 35 \text{ cm}$ . Il y a donc environ 9 longueurs d'onde de séparation entre l'antenne de réception et le module radio. On peut raisonnablement supposer que l'on a placé l'antenne de réception en condition champ lointain.*

3. Le récepteur de mesure indique  $P_{\text{mes}} = -27 \text{ dBm}$ . Quelle est la puissance électrique mesurée en sortie de l'antenne de réception ? (2 pts)

*Il faut tenir compte de la perte du câble coaxial reliant le récepteur de mesure et l'antenne. En sortie d'antenne, la puissance électrique est de  $-26 \text{ dBm}$ .*

4 En déduire le PIRE du module radio. (3 pts)

*En utilisant la formule de Friis et en notant  $P_{\text{mes}_a}$  la puissance mesurée en sortie d'antenne de réception :*

$$P_{\text{mes}_a} = \frac{\text{PIRE} \times G_R}{\left(\frac{4\pi}{c} d \times f\right)^2} \Rightarrow \text{PIRE} = \frac{P_{\text{mes}_a}}{G_R} \left(\frac{4\pi}{c} d \times f\right)^2$$

*Exprimé en dB, la relation devient :*

$$\text{PIRE}(\text{dBm}) = P_{\text{mes}_a}(\text{dBm}) - G_R(\text{dB}) + 20 \log\left(\frac{4\pi}{c} d \times f\right) = -26 - 5 + 40.8 = 9.8 \text{ dBm}$$

*Le PIRE est égal à  $10 \text{ dBm}$ .*

5. Le module peut-il être certifié ? (1 pt)

*Même en tenant compte de l'incertitude de mesure, le PIRE reste inférieure à la limite de  $14 \text{ dBm}$ . Le module peut donc être certifié.*