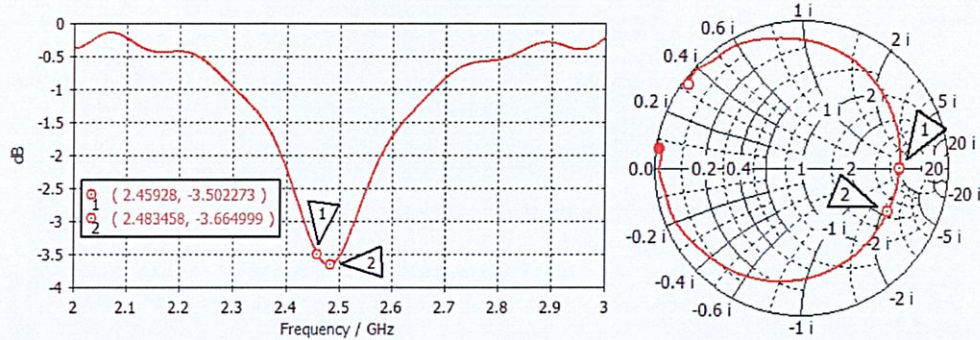


2h. Documents et calculatrice autorisés.

1 Questions de cours

Toutes les questions de cette partie sont indépendantes.

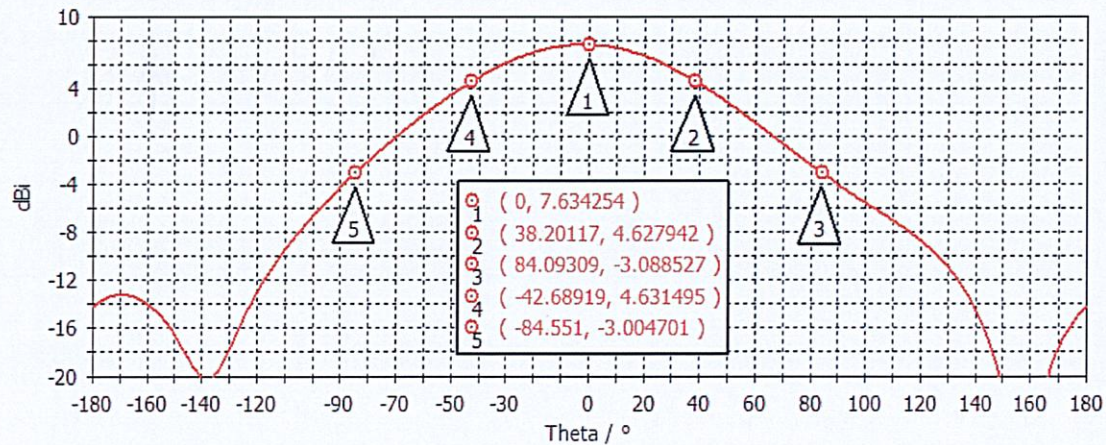
1. Voici l'impédance d'entrée d'une antenne patch ($|S_{11}|$ à gauche et abaque de Smith à droite).



La fréquence de résonance de cette antenne est :

- ☒ 2.459 GHz
☐ 2.483 GHz

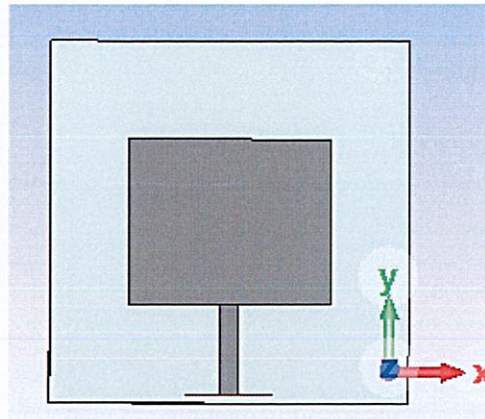
2. Le résultat de la simulation d'une antenne patch est présenté ci-dessous (courbe du gain dans le plan E en dBi).



L'ouverture à mi-puissance vaut :

- ☐ 0°
☐ 38°
☒ 78° 80
☐ 84°
☐ 152° 168

3. On considère l'antenne patch ci-dessous. Le plan E est le plan :



- ☐ (xOz)
☒ (yOz)
☐ (xOy)

4. Pour l'antenne patch précédente, le plan H est le plan :

- ☒ $\varphi = 0^\circ$
☐ $\varphi = 90^\circ$
☐ $\theta = 0^\circ$
☐ $\theta = 90^\circ$

5. On considère une antenne isotrope rayonnant une puissance de 0dBm à 2.4GHz. La puissance reçue par une antenne de réception de gain 6 dBi située à 10 m de distance dans l'axe de l'antenne est (on suppose les antennes parfaitement adaptées et avec la même polarisation) :

$$P_r = P_e G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \rightarrow P_{r, \text{dB}} = P_{e, \text{dB}} + G_{e, \text{dB}} + G_{r, \text{dB}} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

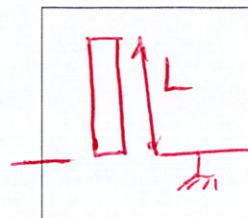
0dBm (isotrope) 6dBi

$$= -54 \text{ dBm} \approx 3,98 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

6. Quel est l'avantage d'utiliser une antenne à polarisation circulaire à l'émission et une antenne à polarisation linéaire à la réception (par rapport à 2 antennes à polarisation linéaire) ?

Pas d'annulation de puissance reçue quelle que soit l'orientation de l'antenne, mais perte de 3dB dans la transmission.

7. On souhaite réaliser une antenne monopôle fonctionnant à 868 MHz (application LoRa). Quelle doit être la hauteur physique de cette antenne ?



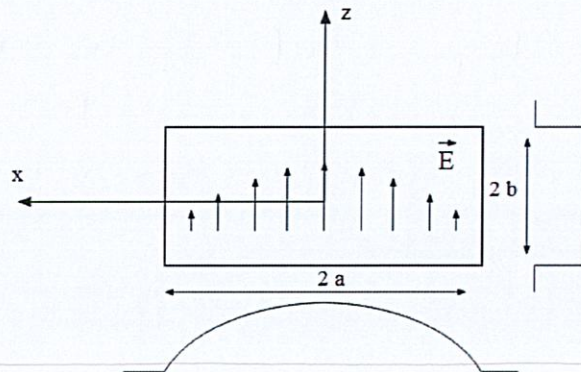
$$L = \frac{\lambda_0}{4} = 86,4 \text{ mm}$$

8. Quel est l'avantage d'une antenne cornet par rapport à un réseau d'antennes imprimées ?

- ☐ Le cornet est plus compact
- ☒ Le cornet peut transmettre plus de puissance
- ☐ Le cornet est plus facile à intégrer dans un circuit imprimé
- ☐ Le cornet a un gain plus élevé
- ☐ Le cornet est plus léger
- ☐ Le cornet est moins cher

9. La figure ci-dessous représente le champ électrique au niveau de l'ouverture d'un cornet. Le plan E correspond au plan :

- ☐ (xOz)
- ☒ (yOz)
- ☐ (xOy)



2 Exercice : Antenne miniature

On se propose d'étudier l'antenne miniature 7488920245 de Würth Elektronik, dont une partie de la documentation technique est disponible en annexe.

1. Quelle est la bande passante de cette antenne ? On utilisera le critère classique pour les antennes.

①

$|S_{11}| < -10 \text{ dB} \Rightarrow$ bande passante : $[2,3 \text{ GHz}; 2,7 \text{ GHz}]$
ou $VSWR < 2$

2. A partir de vos connaissances, justifier la forme du diagramme de rayonnement de l'antenne.

①

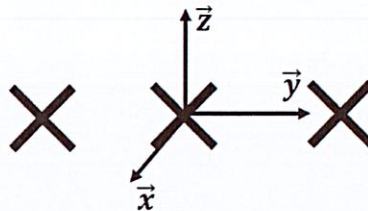
Antenne petite par rapport à la longueur d'onde
→ antenne équivalente au doublet de Hertz
→ antenne omnidirectionnelle dans un plan et sous forme de "∞" dans l'autre plan.

3. Cette antenne est à polarisation :

- ☒ linéaire
☐ circulaire

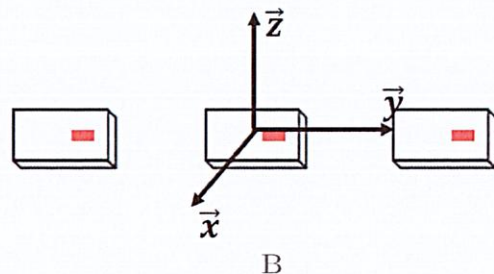
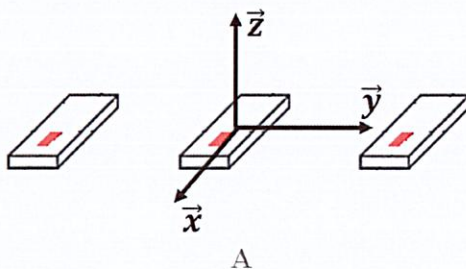
①

On souhaite réaliser un réseau d'antennes *end-fire* utilisant cette antenne miniature (voir figure ci-dessous). On souhaite donc que ce réseau rayonne dans la direction \vec{y} (les antennes sont placées sur l'axe \vec{y}).



4. Quelle doit être l'orientation des antennes pour que le réseau puisse rayonner dans la direction souhaitée ? (Justifier)

①



configuration (A) : Il faut que chaque antenne élémentaire rayonne dans la direction \vec{y} or le diagramme de rayonnement présente un 0 de rayonnement dans l'axe de l'antenne.

5. Quel doit être le déphasage Ψ entre chaque antenne pour que le réseau rayonne dans la direction souhaitée ? (Justifier)

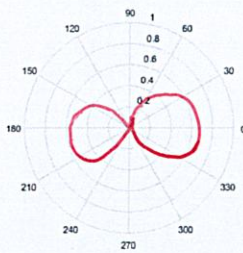
①

$$\frac{\Psi}{kd} = \sin \theta \quad \text{avec } \theta = \frac{\pi}{2} \rightarrow \sin \theta = 1$$

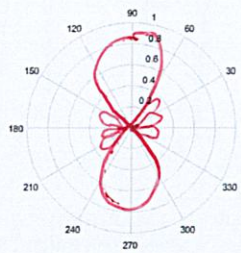
$$\rightarrow \boxed{\Psi = kd}$$

6. Tracer l'allure de la caractéristique de rayonnement dans les 3 plans de coupes principaux (plans $\varphi = 0^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ et $\theta = 90^\circ$) du réseau formé par ces 3 antennes avec le déphasage calculé, en coordonnées polaires.

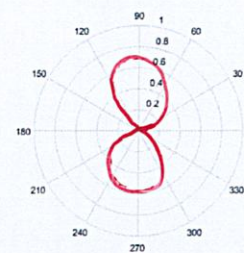
①



Plan $\varphi = 0^\circ$



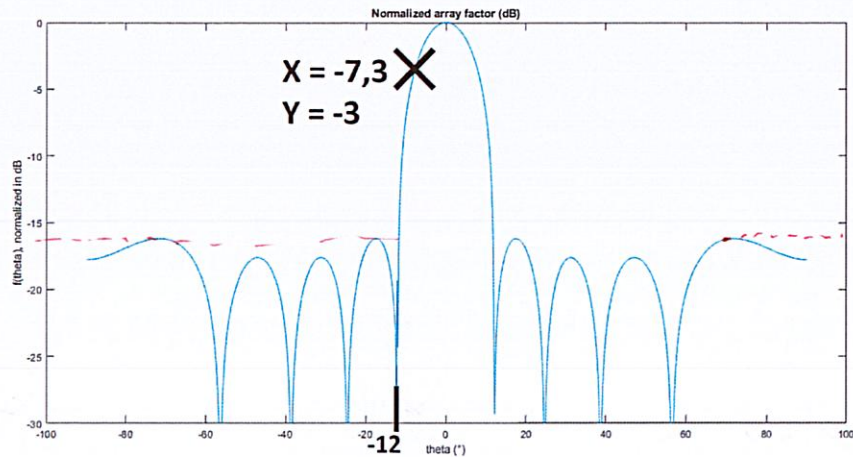
Plan $\varphi = 90^\circ$



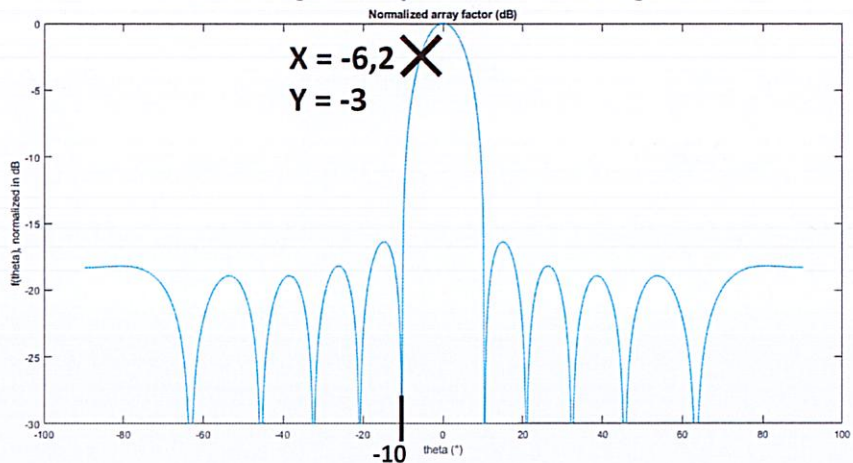
Plan $\theta = 90^\circ$

3 Exercice : Réseau d'antennes patchs

On souhaite réaliser une liaison point à point à 24 GHz (uplink). On utilise pour cela un réseau d'antennes patchs imprimées. On donne la caractéristique de rayonnement dans les plans E et H.



Caractéristique de rayonnement dans le plan E



Caractéristique de rayonnement dans le plan H

1. Quel est le niveau de lobe secondaire dans le plan E par rapport au lobe principal? (en dB)

lobes secondaire $\sim -16 \text{ dB}$

2. Sachant qu'il y a 6 antennes dans le plan E, quelle est la distance entre chaque antenne dans cette direction?

$$\sin\left(\frac{Nkd}{2}\sin\theta\right) = 0 \text{ pour } \theta = -12^\circ \text{ (1}^\text{er} \text{ zéro du diagramme)}$$

$$\frac{Nkd}{2} \sin 12^\circ = \pi \rightarrow d = \frac{2\pi}{Nk \sin 12^\circ} = \frac{\lambda}{N \sin 12^\circ} = 9.6 \text{ mm.}$$

3. Sachant que la distance entre antennes dans le plan H est de 8.7mm, combien y a-t-il d'antennes dans cette direction ?

$$\sin\left(\frac{N\lambda d}{2} \sin\theta\right) = 0 \text{ pour } \theta = -10^\circ \text{ (1}^{\text{er}} \text{ zéro du diagramme)}$$

$$\rightarrow \frac{N\lambda d}{2} \sin 10^\circ = \pi \rightarrow N = \frac{2\pi}{\lambda d \sin 10^\circ} = \frac{\lambda}{d \sin 10^\circ} = 8,3 \rightarrow \boxed{8 \text{ éléments}}$$

Rq: l'imprécision de la valeur de N vient de l'imprécision sur θ et d .

4. Quelle est la directivité de l'antenne ? (en dBi)

en linéaire $\rightarrow D \approx \frac{36400}{\theta_e^\circ \cdot \theta_H^\circ}$ (approximation valable car faible niveau de lobes secondaires et θ_e et θ_H petits)

$12,8^\circ \rightarrow \theta_e^\circ \cdot \theta_H^\circ \approx 12,8^\circ \cdot 12,8^\circ$

$\approx 201 \rightarrow \boxed{D \approx 223 \text{ dBi}}$

Rq: avec la formule $D \approx \frac{4\pi}{\sin^2 \theta_e \sin^2 \theta_H}$ on trouve $D \approx 223$

5. Sachant que l'efficacité de l'antenne est de 80%, quel est le gain de l'antenne ? (en dBi)

$$G = \alpha D = 160,8 \text{ (en linéaire)}$$

$$\boxed{G_{\text{dB}} = 22,1 \text{ dBi}}$$

6. La surface de l'antenne est de 70mm x 79mm. Quelle est la valeur du coefficient d'ouverture de l'antenne ?

$$D = R_{\text{appt}} \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \rightarrow R_{\text{appt}} = 45\%$$

$\frac{444}{201}$

7. On souhaite réaliser une liaison point à point entre deux antennes identiques situées à 200 m l'une de l'autre. La puissance émise par l'antenne d'émission est de 10 dBm. Quelle est la puissance reçue par l'antenne de réception ? (en dBm)

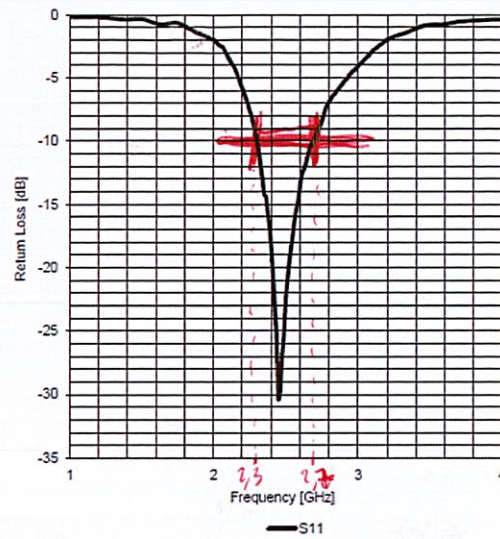
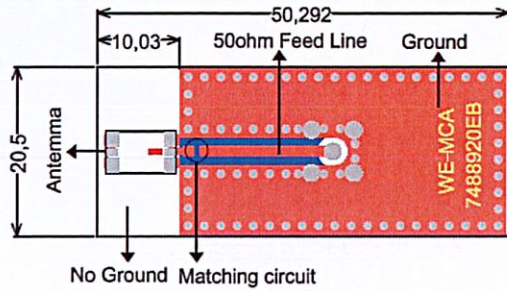
On suppose que les antennes sont parfaitement adaptées, avec la même polarisation, et que l'environnement de propagation est libre (Line of Sight).

$$P_r = P_e G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad G_e = G_r = 27,1 \text{ dBi} \quad P_e = 10 \text{ dBm}$$

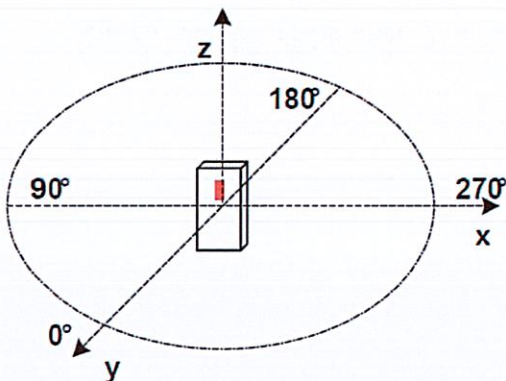
$$P_{r_{\text{dBm}}} = P_{e_{\text{dBm}}} + G_{e_{\text{dB}}} + G_{r_{\text{dB}}} + 10 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) = \boxed{-52 \text{ dBm}}$$

Annexe : Documentation technique de l'antenne miniature 7488920245

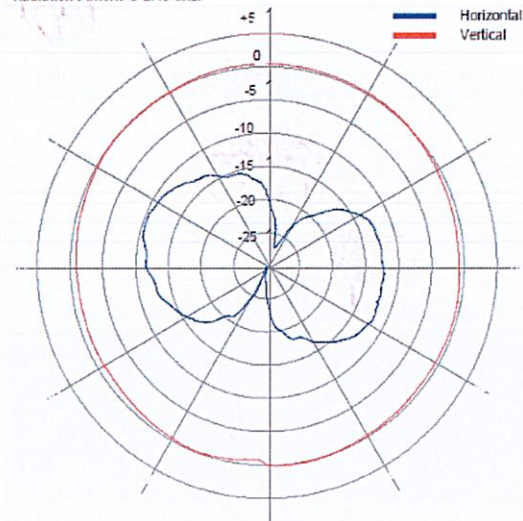
Evaluation Board: [mm]



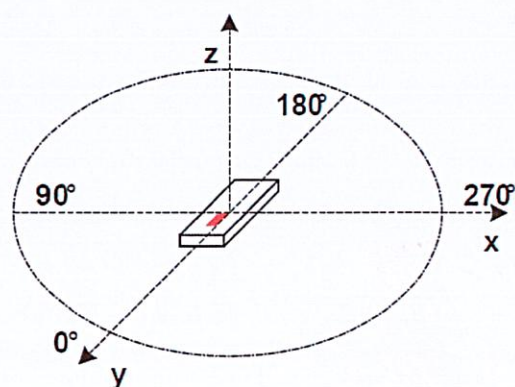
XZ-cut scanning direction:



Radiation Pattern @ 2.45 GHz:



XY-cut scanning direction:



Radiation Pattern @ 2.45 GHz:

