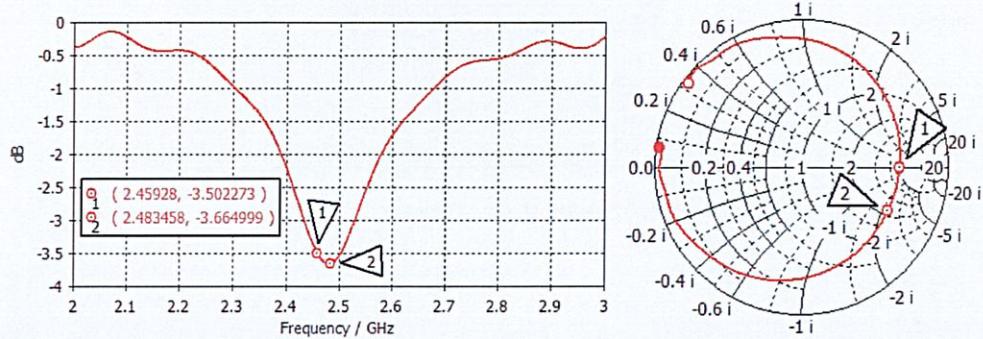


2h. Documents et calculatrice autorisés.
1 Questions de cours

Toutes les questions de cette partie sont indépendantes.

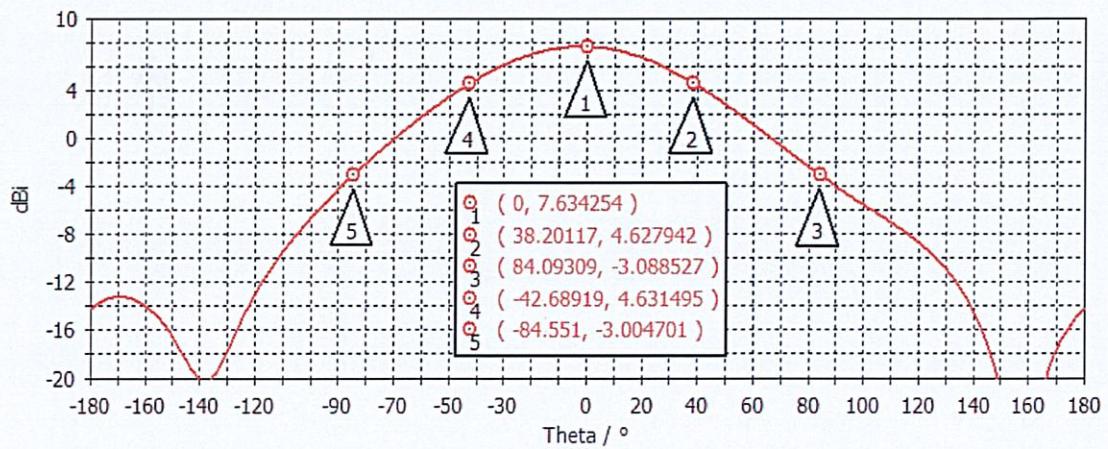
1. Voici l'impédance d'entrée d'une antenne patch ($|S_{11}|$ à gauche et abacque de Smith à droite).



La fréquence de résonnance 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).

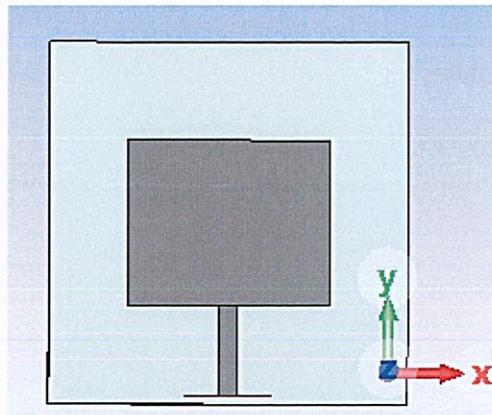


L'ouverture à mi-puissance vaut :

- 0°
 38°
 70° 80
 84°
 152° 168

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

- 0,5
 (xOz)
 (yOz)
 (xOy)



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

- 0,5
 $\varphi = 0^\circ$
 $\varphi = 90^\circ$
 $\theta = 0^\circ$
 $\theta = 90^\circ$

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

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

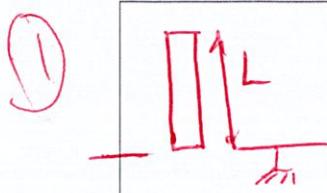
OdBm 6dBi (isotrope) 6dBi

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

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) ?

0,5
 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 ?



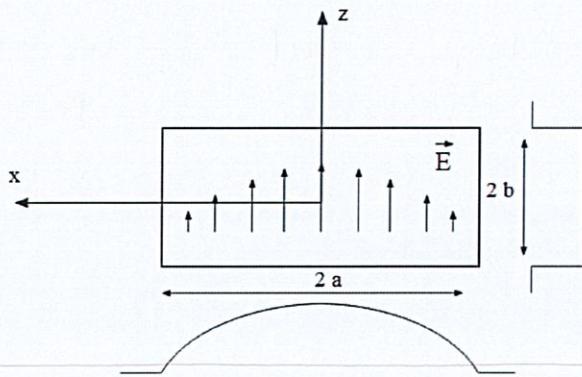
$$L = \frac{\lambda_0}{4} = 86,4 \text{ mm}$$

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 :

- ①
- (xOz)
 - (yOz)
 - (xOy)



2 Exercice : Antenne miniature

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

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

①

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

$\text{VSWR} \leq 2$

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

①

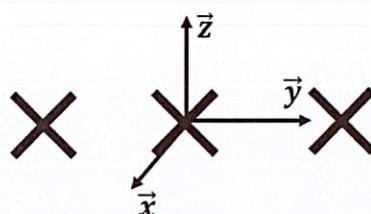
Antenne petite par rapport à la longueur d'onde
 ↳ antenne équivalente au doublet de Hertz
 ↳ antenne omnidirectionnelle dans un plan et sous forme de "X" dans l'autre plan.

- Cette antenne est à polarisation :

- linéaire
 circulaire

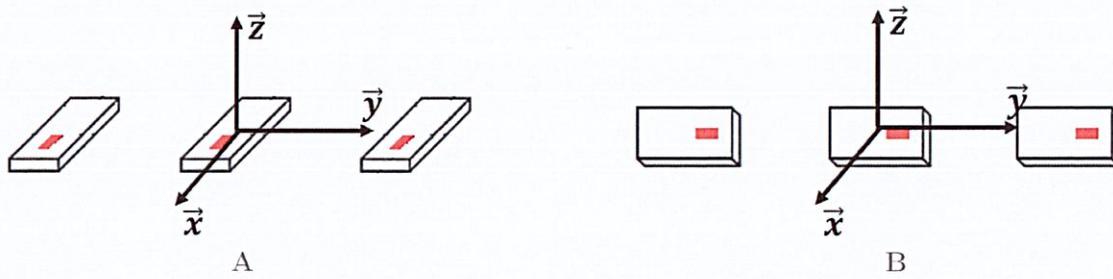
①

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}).



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

①



Configuration ① : Il faut que chaque antenne élémentaire rayonne dans la direction \vec{y} or le diagramme de rayonnement présente un O de rayonnement dans l'axe de l'antenne.

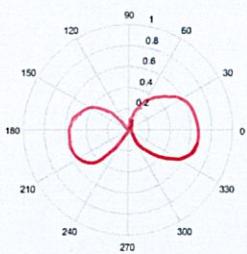
5. Quel doit être le déphasage Ψ entre chaque antenne pour que le réseau rayonne dans la direction souhaitée ? (Justifier)

①

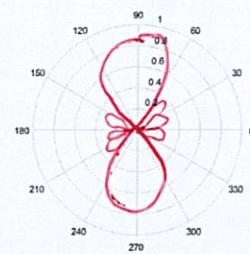
$$\frac{\Psi}{bd} = \sin \theta \quad \text{avec } \theta = \frac{\pi}{2} \rightarrow \sin \theta = 1 \\ \rightarrow \boxed{\Psi = \pi d}$$

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.

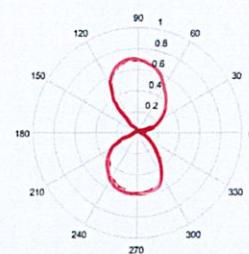
②



Plan $\varphi = 0^\circ$



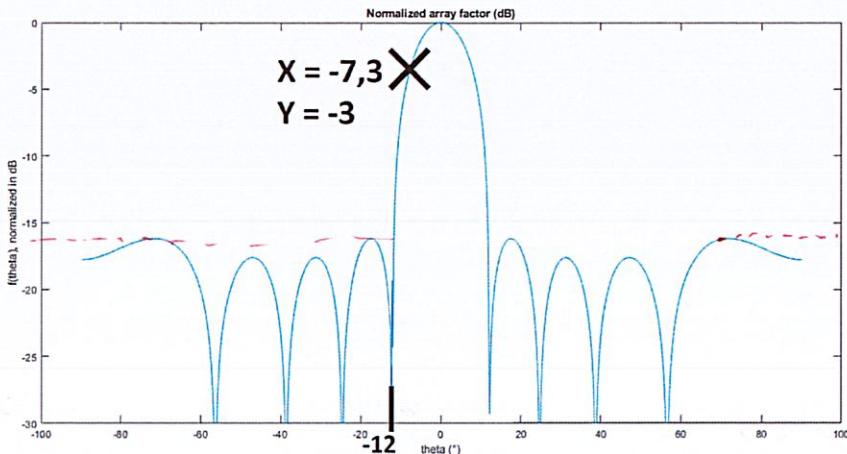
Plan $\varphi = 90^\circ$



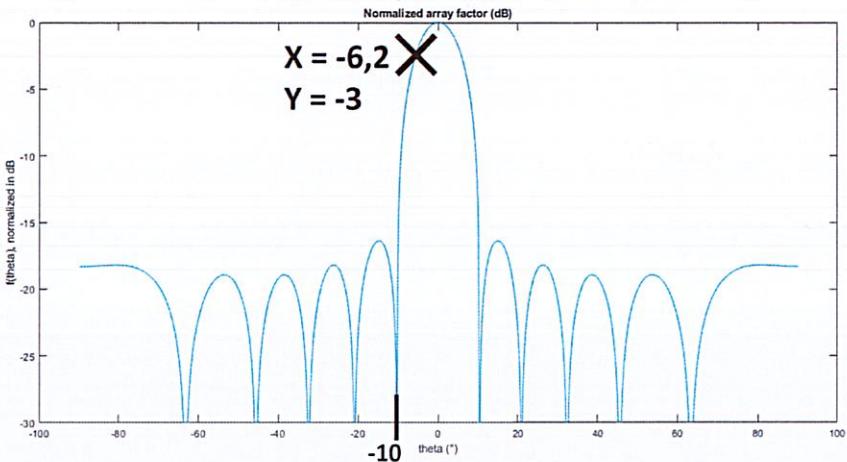
Plan $\theta = 90^\circ$

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 secondaires ≈ -16 dB.

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

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

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

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 ?

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

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

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

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

en linéaire $\rightarrow D \approx \frac{36400}{\theta_e \cdot \theta_m}$ (approximation valable sur faible niveau de lobes secondaires et θ_e et θ_m petits)

$\Delta \theta \rightarrow \theta_e \cdot \theta_m < 120^\circ$

$= 201 \rightarrow D_{dB} \approx 23$

Rq : avec la formule $D \approx \frac{4 \ln 2}{\sin \theta_e \sin \theta_m}$ on trouve $D_{dB} \approx 23$

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

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

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

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

$$D = R_{app} \cdot \frac{\frac{4\pi S}{\lambda^2}}{444} \rightarrow R_{app} = 75\%$$

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)

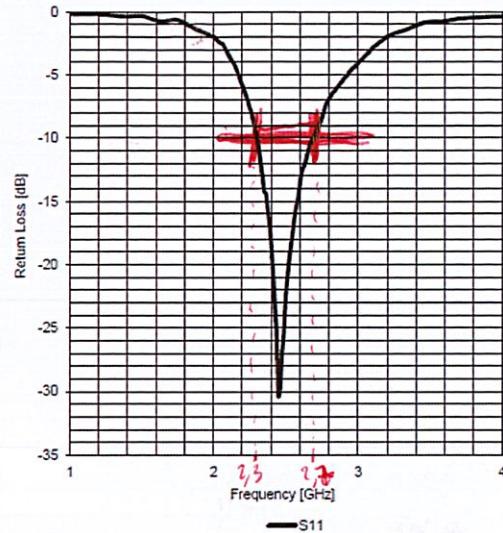
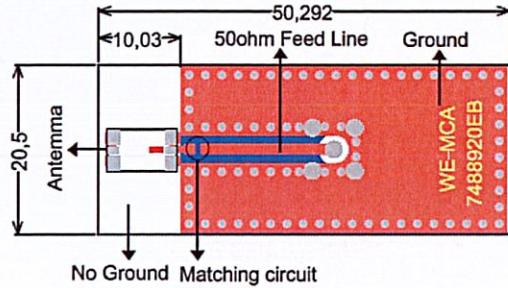
On suppose que les antennes sont parfaitement adaptées, avec la même polarisation, et que l'environnement de propagation est libre (*Line of Sight*).

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

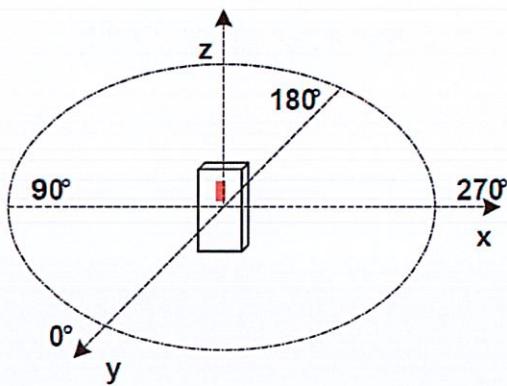
$$P_{dBm} = P_{dBm} + G_{dB} + G_{dB} + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) = -52 \text{ dBm}$$

Annexe : Documentation technique de l'antenne miniature 7488920245

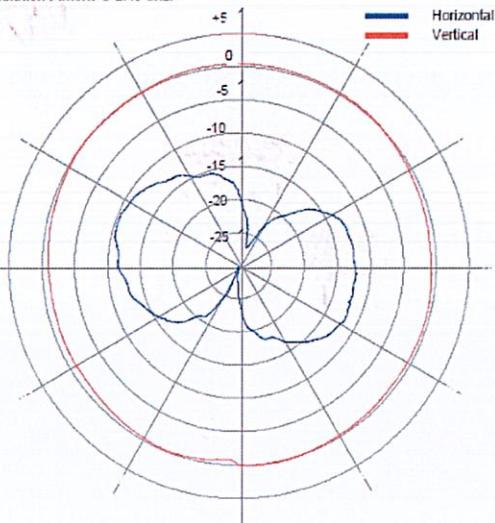
Evaluation Board: [mm]



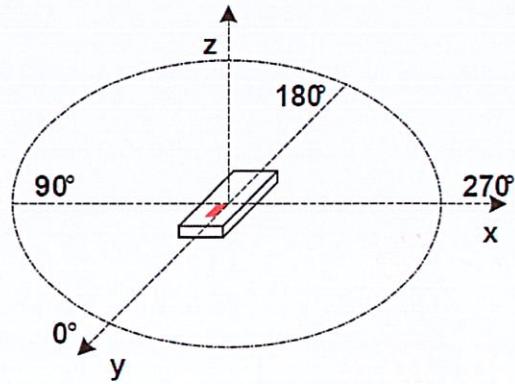
XZ-cut scanning direction:



Radiation Pattern @ 2.45 GHz:



XY-cut scanning direction:



Radiation Pattern @ 2.45 GHz:

