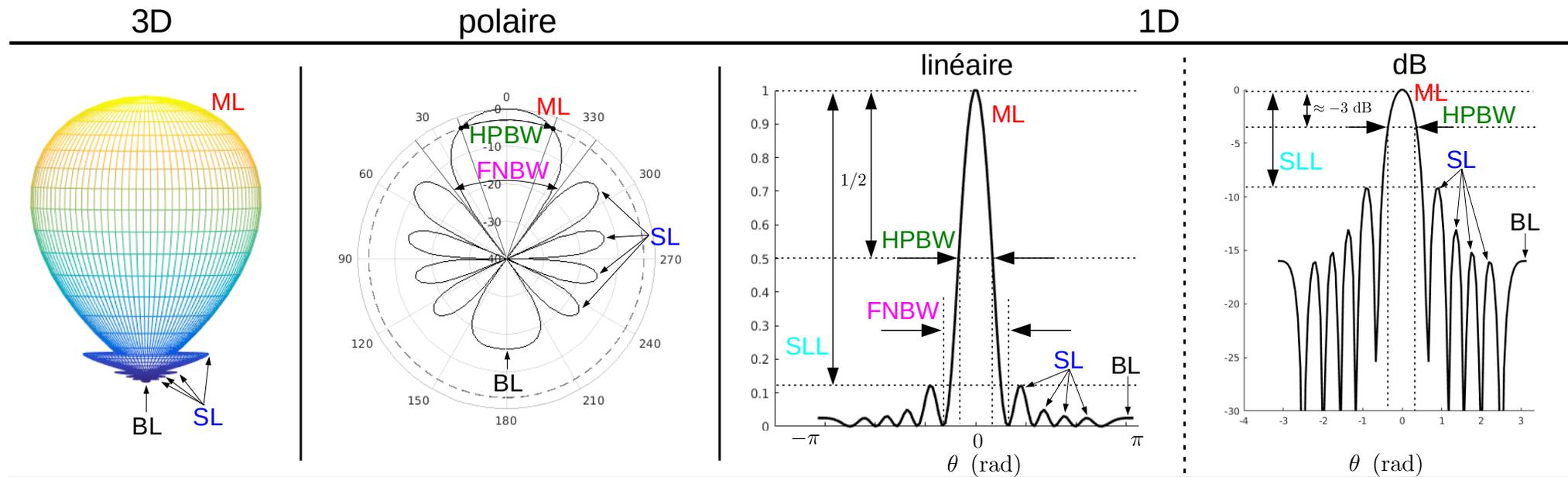


3- Diagramme de rayonnement (2/2)

Représentations possibles



Grandeurs caractéristiques

- ✓ lobe principal (Main Lobe, **ML**) :
direction principale dans laquelle l'intensité de rayonnement est maximale
- ✓ lobes secondaires (Side Lobes, **SL**) :
directions de rayonnement autre que le lobe principal souhaité
- ✓ lobe arrière (Back Lobe, **BL**) :
direction de rayonnement opposée (180°) à celle du lobe principal
- ✓ ouverture à -3 dB ou mi-puissance (Half-Power BeamWidth, **HPBW**) :
angle défini entre les deux directions autour du ML pour lesquelles l'intensité de rayonnement du lobe principal est égale à la moitié de sa valeur maximale
- ✓ largeur du premier nul du lobe principal (First Null BeamWidth, **FNBW**) :
angle correspondant aux premiers zéro de rayonnement du lobe principal
- ✓ dynamique entre le 1^{er} lobe secondaire (Side Lobe Level, **SLL**) et le lobe principal
Remarque : pour des applications radar $SLL \approx -20$ dB (\approx facteur 100 !)

Que vaut-il pour le dipôle infiniésimal ?

4- Directivité, efficacité et gain (1/5)

Directivité

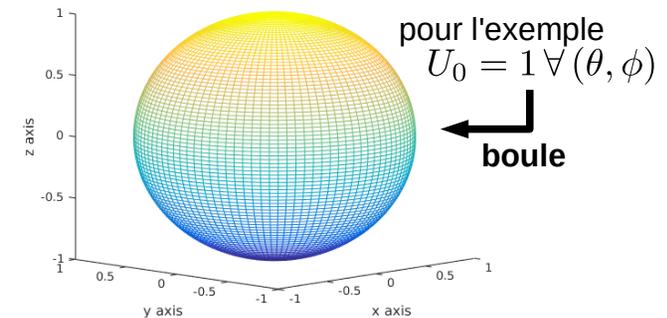
définition : rapport de l'intensité de rayonnement, dans une direction donnée (θ, ϕ) à l'intensité de rayonnement d'une source isotrope rayonnant la même puissance

$$D(\theta, \phi) := \frac{U(\theta, \phi)}{U_0}$$

Mais qu'est-ce-qu'une « antenne isotrope » ?

antenne qui rayonne un champ E.M. dont l'intensité est constante dans toutes les directions.
Elle n'existe pas ! C'est un cas idéal qui sert de référence.

$$U_0 = \frac{P_{\text{ray}}}{4\pi}$$



donc

$$D(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{\text{ray}}}$$

⚠ sans unité

Remarque : si (θ, ϕ) non précisés, on parle de directivité maximale D_{max}

$$D_{\text{max}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi) \Big|_{\text{max}}}{P_{\text{ray}}} = 4\pi \frac{U_{\text{max}}}{P_{\text{ray}}}$$

⚠ sans unité

Pour le dipôle infinitésimal

$$D = \frac{3}{2} \sin^2 \theta$$

et

$$D_{\text{max}} = 1,5$$

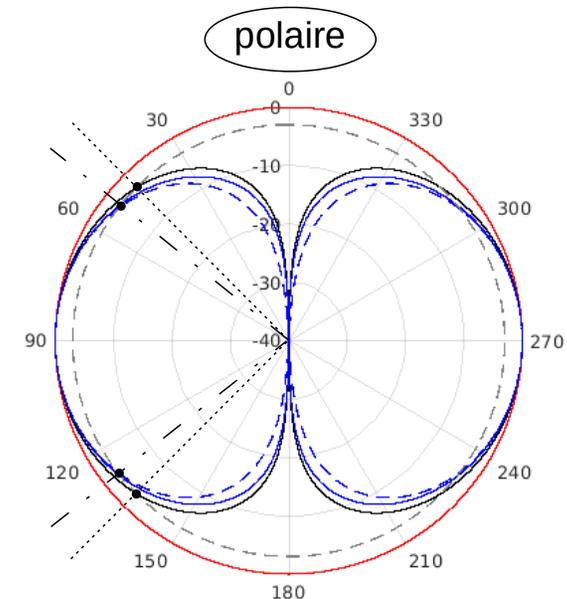
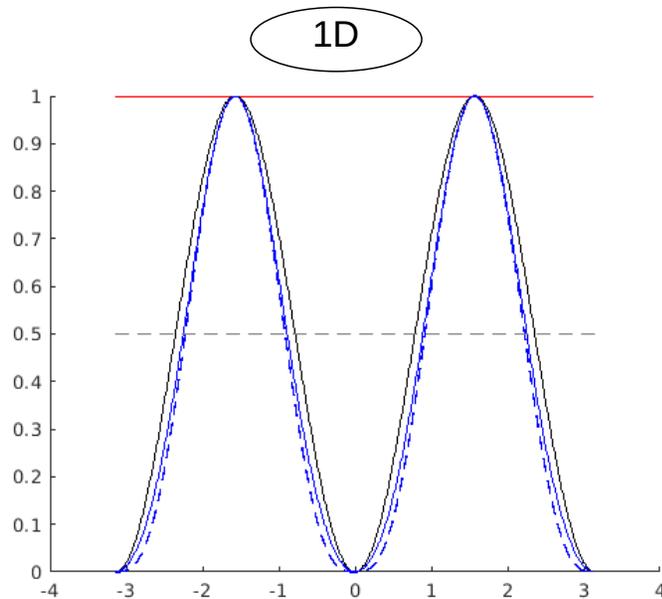
en dB
10 log₁₀ (·)

$$D_{\text{max}} \approx 1,76 \text{ dB}$$

4- Directivité, efficacité et gain (2/5)

Exemples de Directivité

Type d'antenne	Intensité de rayonnement	Directivité	HPBW (°)
source isotrope	$U = 1$	1	×
dipôle infinitésimal $l \ll \lambda$	$U \propto \sin^2 \theta$	1,5	90
dipôle $l = \lambda/2$	$U \propto \left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right)^2 \approx \sin^3 \theta $	1,64	≈ 75



Conclusion

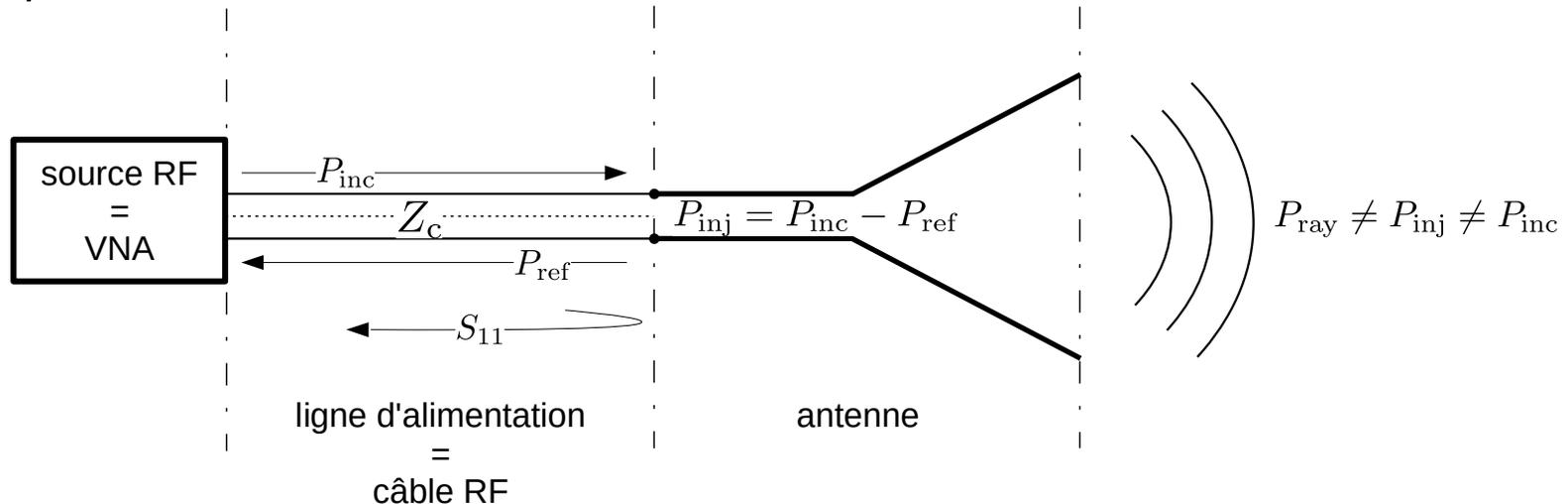
Lorsque la taille de l'antenne augmente, la directivité croît et la largeur à mi-puissance diminue

4- Directivité, efficacité et gain (3/5)

Efficacité totale (rendement total)

prendre en considération les pertes par désadaptation entre la ligne d'alimentation et l'antenne, ainsi que les pertes dans les matériaux constituant l'antenne (métalliques et diélectriques)

Contexte expérimental



Remarques :

- ✓ S_{11} « coefficient de réflexion » de l'antenne $S_{11} = \frac{Z_A - Z_c}{Z_A + Z_c} \in \mathbb{C}$
- ✓ Z_A « impédance » de l'antenne (cf. p. 26)
- ✓ $P_{inj} = P_{inc} - P_{ref} = P_{inc} (1 - |S_{11}|^2) \quad | \quad |S_{11}|^2 = P_{ref}/P_{inc}$

$$e_{tot} := \frac{P_{ray}}{P_{inc}} = \frac{P_{ray}}{P_{inj}} (1 - |S_{11}|^2) = e_{ray} (1 - |S_{11}|^2)$$



Toutes les efficacités sont des nombres sans unité et comprises dans l'intervalle $[0,1]$

« efficacité due à la désadaptation »
« efficacité de rayonnement »

4- Directivité, efficacité et gain (4/5)

Gain relatif

on a vu que

$$e_{\text{ray}} = \frac{P_{\text{ray}}}{P_{\text{inj}}} \quad \text{et} \quad D(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{\text{ray}}}$$

d'où

$$e_{\text{ray}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{D(\theta, \phi)} \cdot \frac{1}{P_{\text{inj}}}$$

donc

$$e_{\text{ray}} = \frac{G(\theta, \phi)}{D(\theta, \phi)} \quad | \quad G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{\text{inj}}} \quad \text{et} \quad G_{\text{max}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)|_{\text{max}}}{P_{\text{inj}}}$$

$\rightarrow = 1$ si pas de pertes dans les matériaux  sans unité

Gain absolu

prendre en considération les pertes par désadaptation entre la ligne d'alimentation et l'antenne

$$G_{\text{abs}}(\theta, \phi) = (1 - |S_{11}|^2) G(\theta, \phi) \quad \text{et} \quad e_{\text{tot}} = \frac{G_{\text{abs}}(\theta, \phi)}{D(\theta, \phi)}$$

Remarque

si adaptation d'impédance entre la ligne d'alimentation et l'antenne ($Z_{\text{ant}} = Z_c$) alors $|S_{11}| = 0$ et $G_{\text{abs}} = G$

4- Directivité, efficacité et gain (5/5)

Avez-vous compris ?

Problématique

Un dipôle demi-onde sans pertes d'impédance 73 ohms est connecté à une ligne de transmission d'impédance caractéristique 50 ohms. En supposant que l'intensité de rayonnement soit de la forme :

$$U = A_0 \sin^3 \theta$$

déterminer le gain absolu maximum de l'antenne.

Information

Avant de partir dans les calculs, proposer une procédure d'étude qui permet de parvenir à l'objectif



Réponse :

Exemple de procédure d'étude :

a) déterminer la puissance rayonnée P_{ray}

b) Exprimer la directivité D et déduire la directivité max. D_{max}

c) Antenne sans pertes !

d) Calculer le gain absolu max. $G_{\text{abs}}|_{\text{max}}$

Mise en œuvre de la procédure

a) Puissance rayonnée

$$P_{\text{ray}} = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} U \sin \theta \, d\theta d\phi = A_0 \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} \sin^3 \theta \sin \theta \, d\theta d\phi = 2\pi A_0 \int_{\theta=0}^{\pi} \sin^4 \theta \, d\theta$$

$$\text{or } \sin^4 \theta = (\sin^2 \theta)^2 = \left(\frac{1 - \cos 2\theta}{2} \right)^2 = \frac{1}{4} \left(1 - 2 \cos 2\theta + \underbrace{\cos^2 2\theta}_{=(1+\cos 4\theta)/2} \right)$$

$$\text{d'où } \int_{\theta=0}^{\pi} \sin^4 \theta \, d\theta = \frac{1}{4} \int_{\theta=0}^{\pi} \frac{3}{2} \, d\theta = \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{2} \pi \Rightarrow P_{\text{ray}} = \frac{3\pi^2}{4} A_0$$

b) Directivité

$$D = 4\pi \frac{U}{P_{\text{ray}}} \Rightarrow D = \frac{16}{3\pi} \sin^3 \theta \quad \text{et} \quad D_{\text{max}} = D \Big|_{\theta=\frac{\pi}{2}} = \frac{16}{3\pi} \approx 1,698$$

c) Antenne sans pertes

$$\text{alors } G = D \Rightarrow G_{\text{max}} = D_{\text{max}} \approx 1,698$$

d) Conclusion, gain absolu max.

$$G_{\text{abs}}|_{\text{max}} = G_{\text{max}} (1 - |S_{11}|^2) \quad | \quad S_{11} = \frac{Z_A - Z_c}{Z_A + Z_c} \Rightarrow G_{\text{abs}}|_{\text{max}} = 1,698 \left(1 - \left| \frac{23}{123} \right|^2 \right) \Rightarrow G_{\text{abs}}|_{\text{max}} = 1,639 \Rightarrow 2,146 \text{ dBi}$$