

Antennes

M. EL AOUN

Département Informatique, Réseaux et Télécommunications
Ecole Supérieure Polytechnique

A25



Outline

1 Introduction

2 Diagramme de rayonnement

3 Polarisation

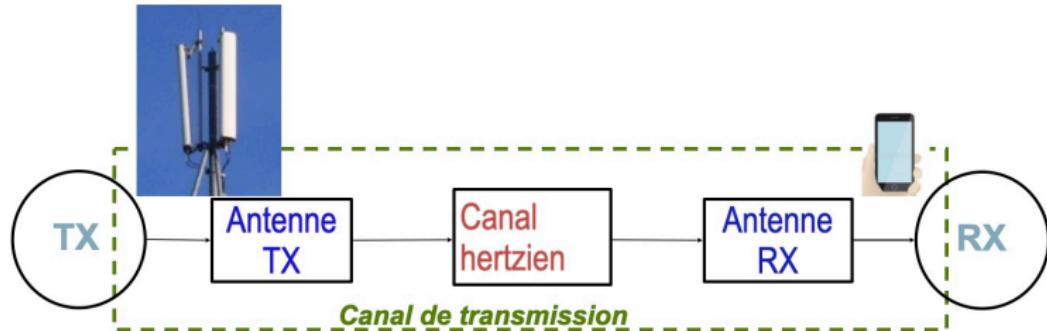
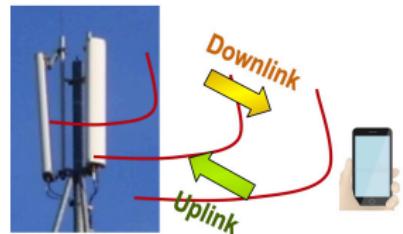
4 Gain

5 PIRE

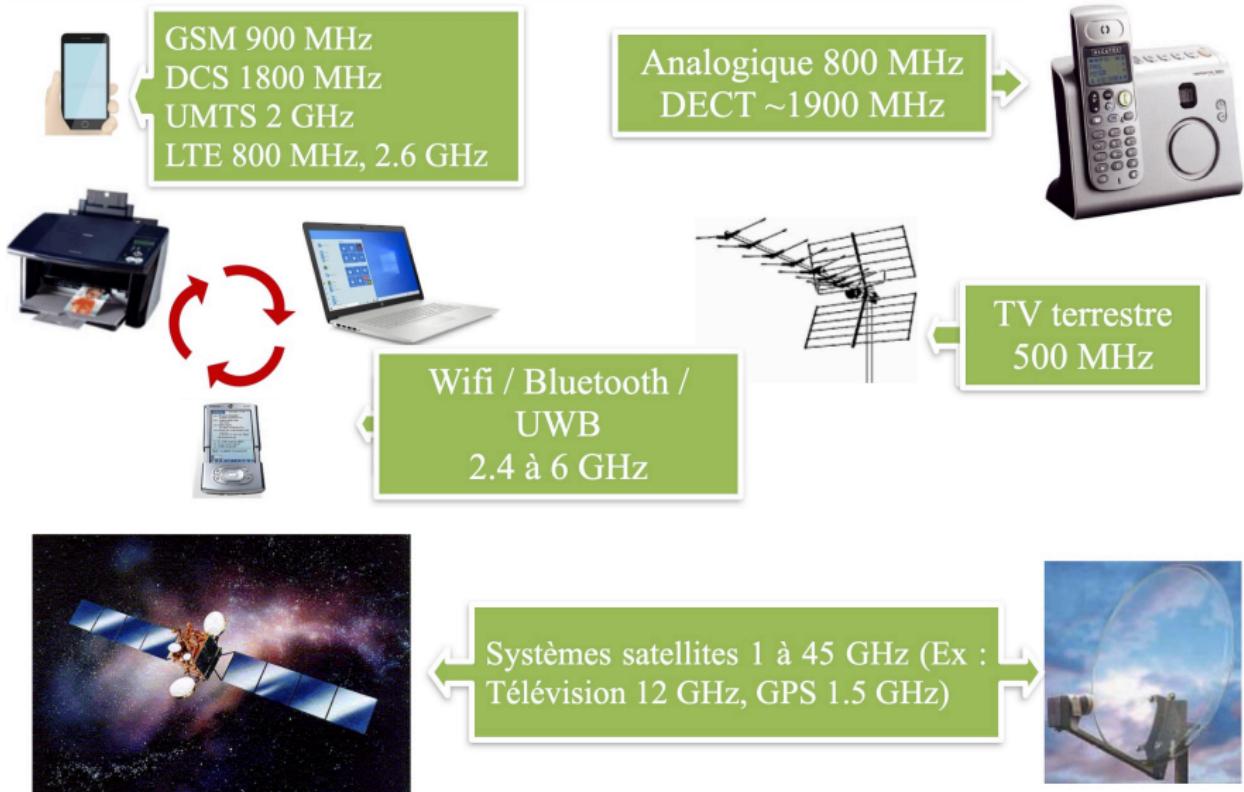


Introduction

- Une liaison radioélectrique est un canal de transmission entre un émetteur et un récepteur, dont le support de transmission est assuré par des ondes électromagnétiques.
- Comme tous les canaux de communication, la liaison radio est soumise aux problèmes posés par le bruit et les perturbations, qui vont limiter les performances du système de transmission.



Introduction



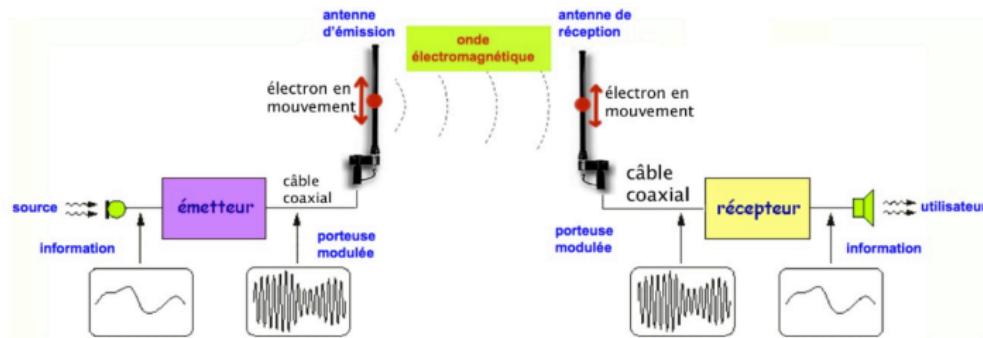
Introduction

- La connaissance d'une liaison radioélectrique demande :
 - La connaissance des propriétés des antennes d'émission et de réception
 - La connaissance de la propagation des ondes électromagnétiques dans le canal hertzien

Définition

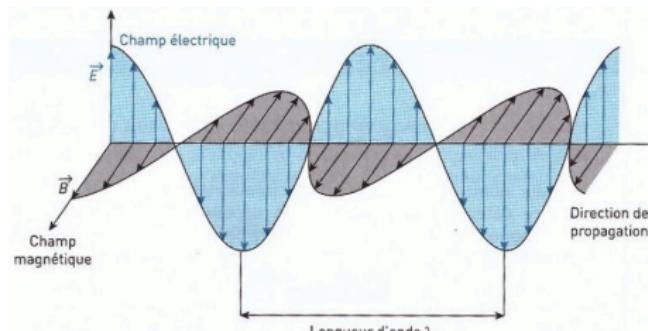
- Une antenne est un dispositif permettant de créer, d'émettre et de recevoir des ondes électromagnétiques. Elle permet de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique
- Une antenne est conçue pour rayonner ou capter le maximum d'énergie d'une onde électromagnétique se propageant en espace libre.
- Elle se définit par les caractères suivants :
 - Bande de fréquences d'utilisation
 - Polarisation
 - Gain
 - Diagramme de rayonnement
 - Type d'antenne

Propagation des ondes électromagnétiques



- Une onde électromagnétique correspond à la propagation de 2 grandeurs :

- un champ électrique \vec{E}
- un champ magnétique \vec{B}



Puissance rayonnée

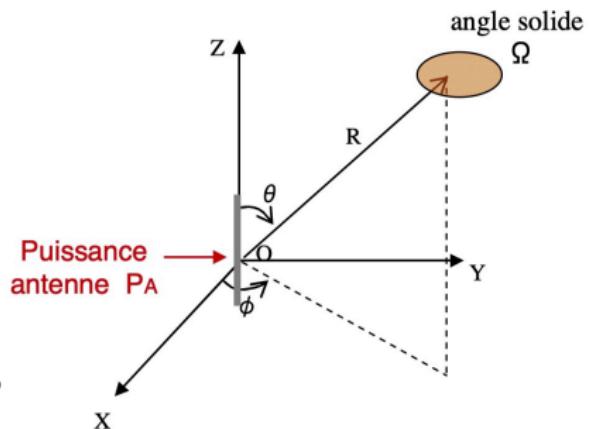
- La puissance rayonnée dans une direction quelconque (ϕ, θ) dans un angle solide Ω :

$$P(\phi, \theta) = \frac{P_A}{\Omega}$$

P_A est la puissance d'émission de l'antenne P_e .

- La puissance fournie à une surface élémentaire située à une distance R

$$p(\phi, \theta) = \frac{P_e}{\Omega R^2}$$



Antenne omnidirectionnelle ou isotrope

- On appelle antenne **isotrope** un modèle théorique d'une antenne rayonnant dans toutes les directions. C'est un modèle théorique irréalisable dans la pratique
- Une antenne isotrope est une source ponctuelle qui rayonne une puissance de manière constante dans toutes les directions de l'espace
- La puissance rayonnée par unité de surface :

$$p_s(\phi, \theta, d) = \frac{P_A}{S} = \frac{P_e}{4\pi d^2}$$

p_s diminue à mesure qu'on s'éloigne d'une distance d de l'antenne.

- La puissance reçue par l'antenne réceptrice est :

$$P_r = p_s S$$

Directivité et diagramme de rayonnement

- Une antenne sert à convertir une puissance électrique en une puissance rayonnée (transportée par une onde électromagnétique)
- En pratique, la puissance rayonnée par une antenne réelle est répartie inégalement dans l'espace.
- Les directions dans lesquelles cette puissance sera rayonnée vont dépendre des caractéristiques de l'antenne.
- On appelle **lobes** les directions de rayonnement de l'énergie.
- Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser les lobes en 3D.

Diagramme de rayonnement

- Le diagramme de rayonnement **en puissance** est défini par le rapport :

$$r(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_{max}}$$

$P(\theta, \phi)$ la répartition de la puissance par unité d'angle solide dans la direction d'angle solide. P_{max} est la puissance maximale mesurée.

$$r(\theta, \phi) \leq 1$$

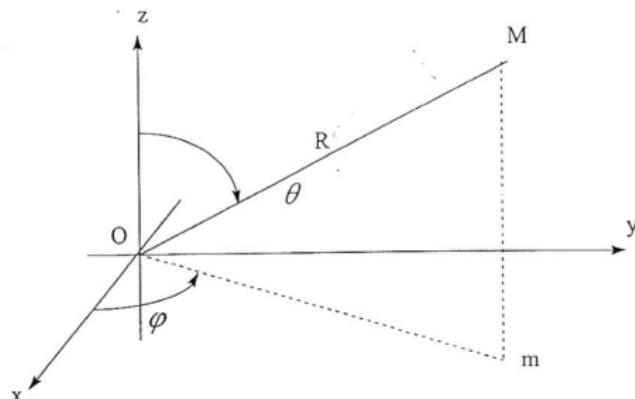
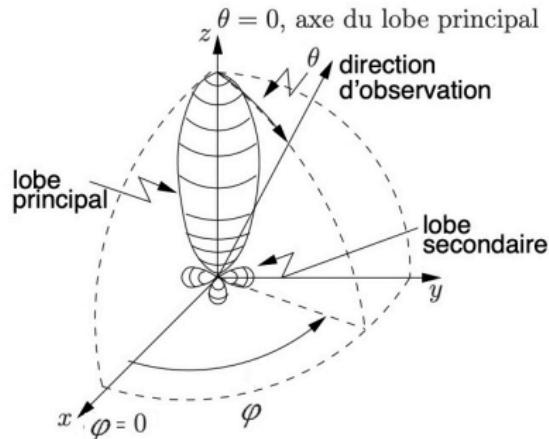


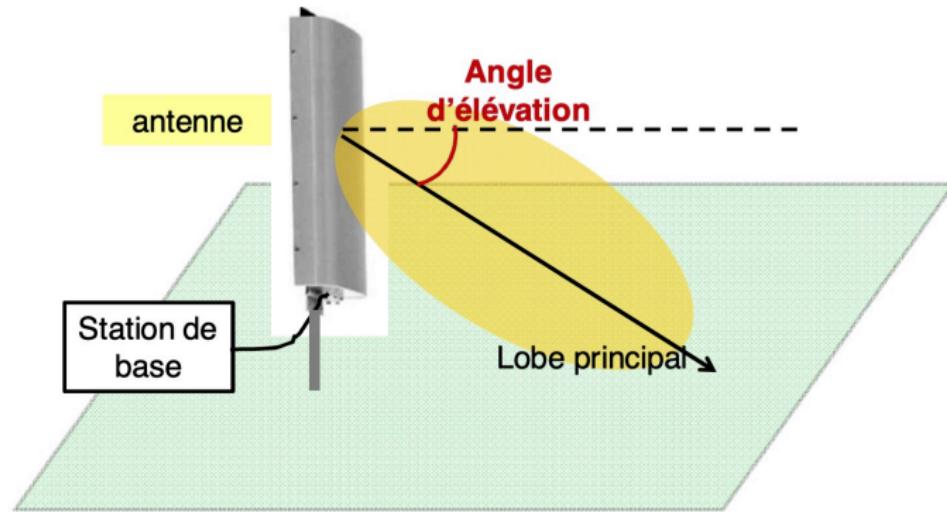
Diagramme de rayonnement : lobe principal & lobes secondaires

- Le lobe principal correspond à la direction privilégiée de rayonnement.
- Les lobes secondaires sont généralement des lobes parasites.
- L'énergie rayonnée par les lobes secondaires est perdue donc on cherche à les atténuer.
- Le lobe principal pointe dans la direction $\theta = 0$



Exemple : stations de base

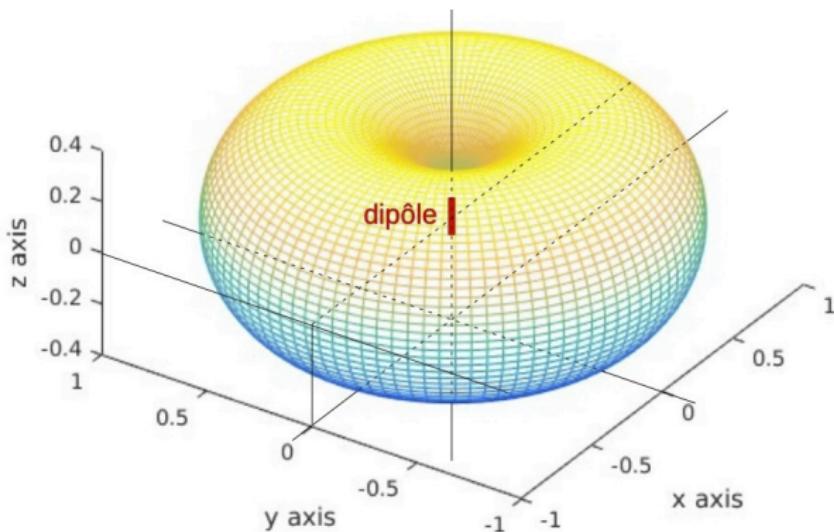
- Azimuth : l'ouverture horizontale
- Elévation : l'ouverture verticale



L'antenne est conçue pour couvrir une zone du sol, dont l'ouverture horizontale dépend du secteur. L'ouverture verticale doit rester faible pour couvrir une zone proche de l'antenne (angle très faible)

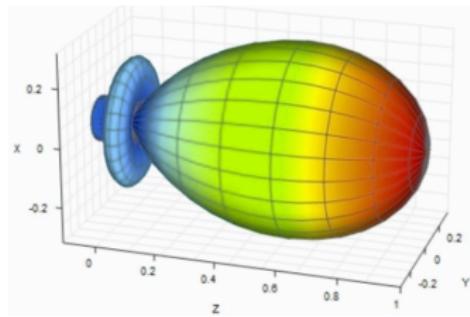
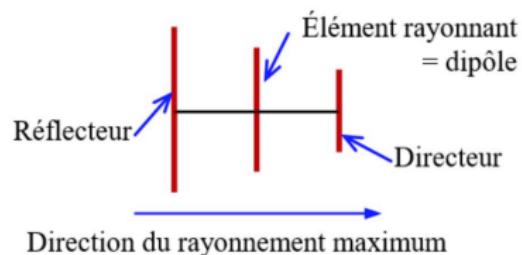
Antenne filaire

- Si on considère une antenne filaire verticale (dipôle) (suivant l'axe Oz), le rayonnement est maximal dans le plan (Oxy)



Antenne Yagi

- Un élément actif ou "driver", qui est généralement un dipôle $\lambda/2$
- Un élément parasite légèrement plus long, le réflecteur
- Un ou plusieurs éléments parasites légèrement plus courts appelés les directeurs.



Antenne Yagi

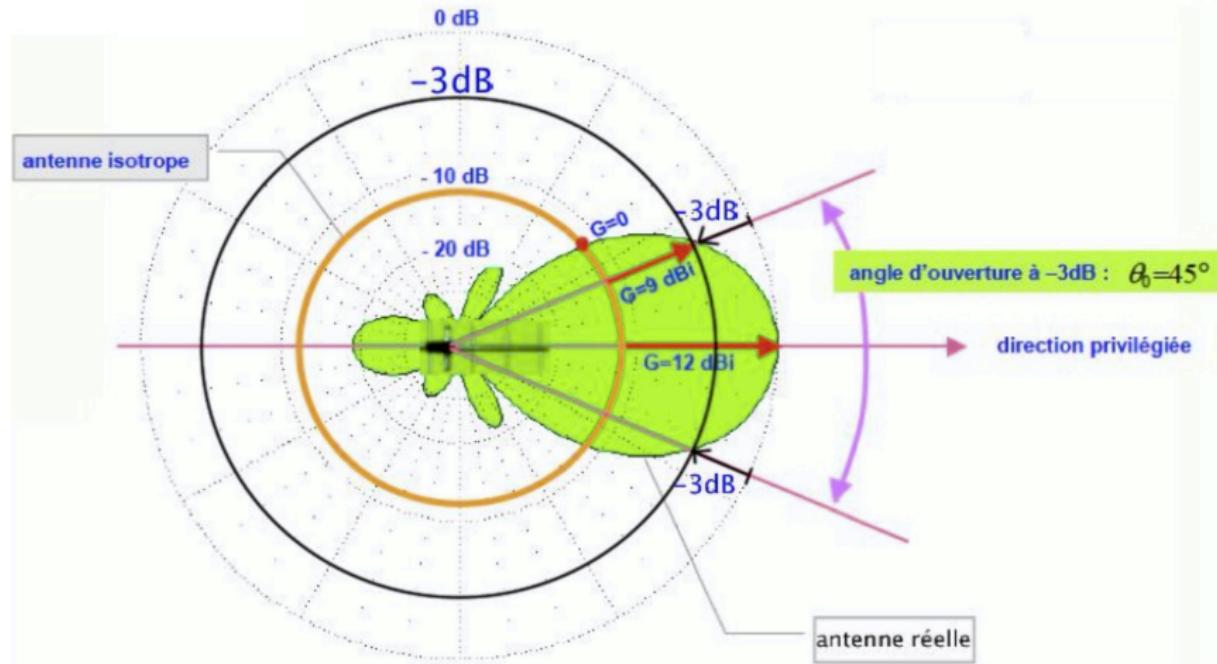
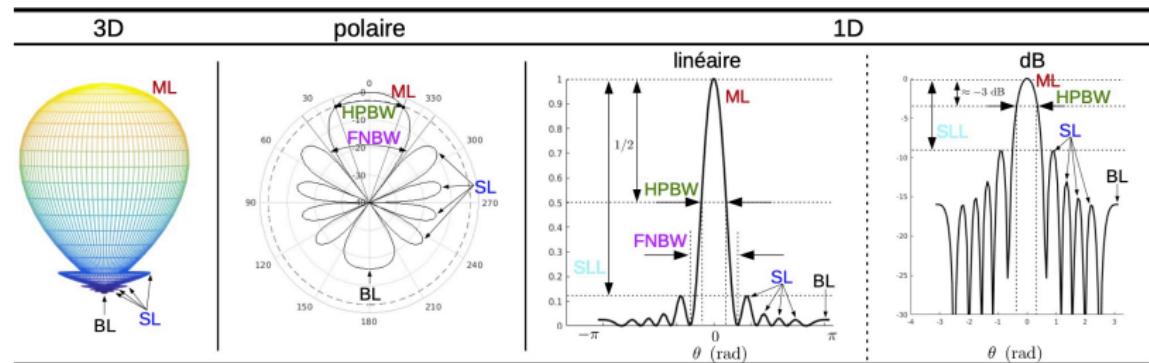
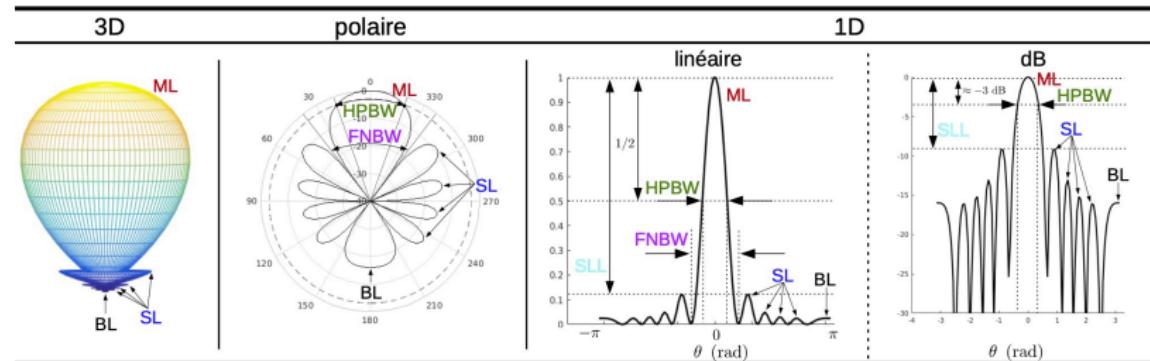


Diagramme de rayonnement : Représentations possibles



- 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 degré) à celle du lobe principal
- dynamique entre le 1er lobe secondaire (*Side Lobe Level*, SLL) et le lobe principal

Diagramme de rayonnement : Représentations possibles

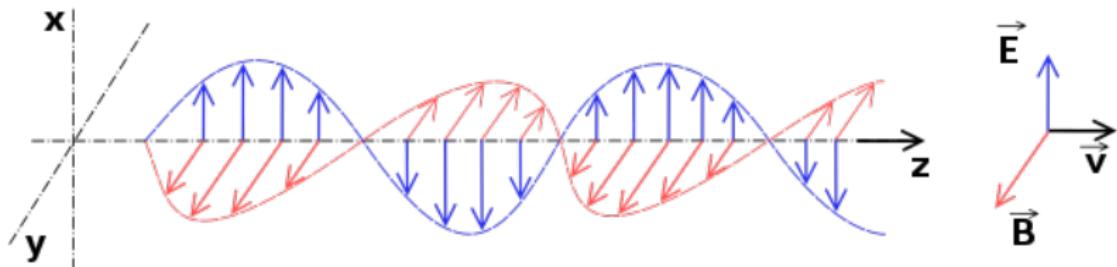


- ouverture à -3dB ou mi-puissance (*Half-Power BeamWidth, HPBW*) : angle défini entre les deux directions autour du ML pour lesquelles l'intensité de rayonnement du lobe principal est égale à la moitié de sa valeur maximale
- largeur du premier nul du lobe principal (*First Null BeamWidth, FNBW*) : angle correspondant aux premiers zéro de rayonnement du lobe principal



Polarisation

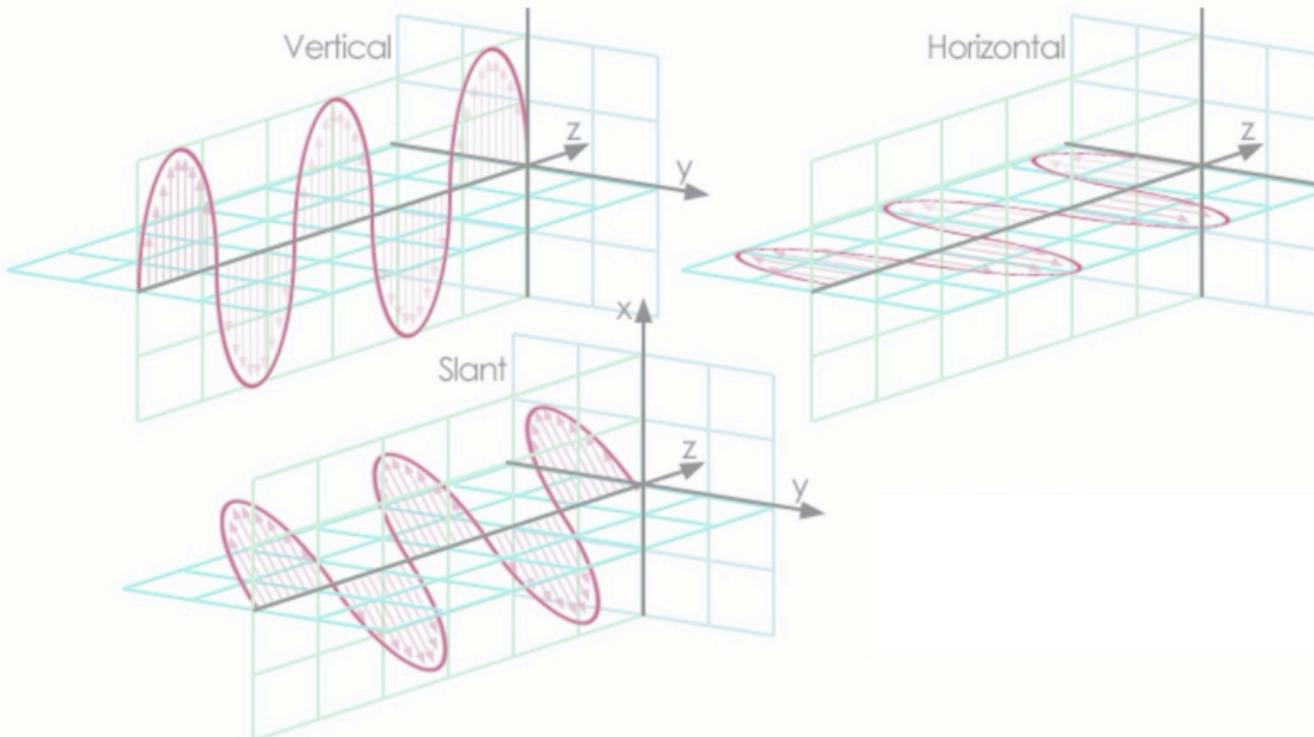
- La polarisation d'une antenne est définie par la position de son champ électrique par rapport à la terre.
 - exemple :



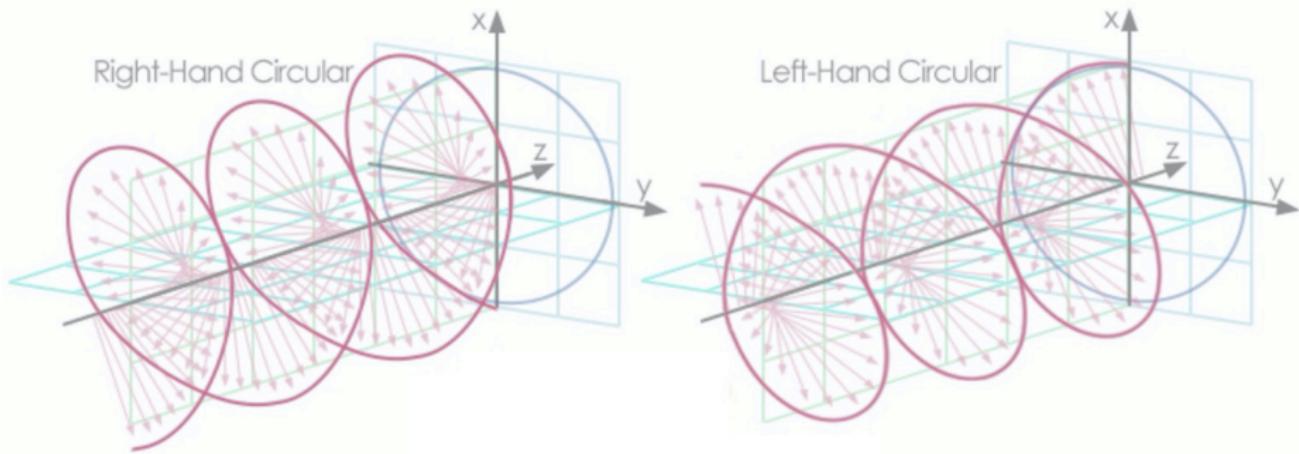
- Types de polarisation :
 - Polarisation linéaire (horizontale ou verticale)
 - Polarisation circulaire (à droite ou à gauche)
 - Polarisation elliptique (la direction du champ \vec{E} varie dans le temps)



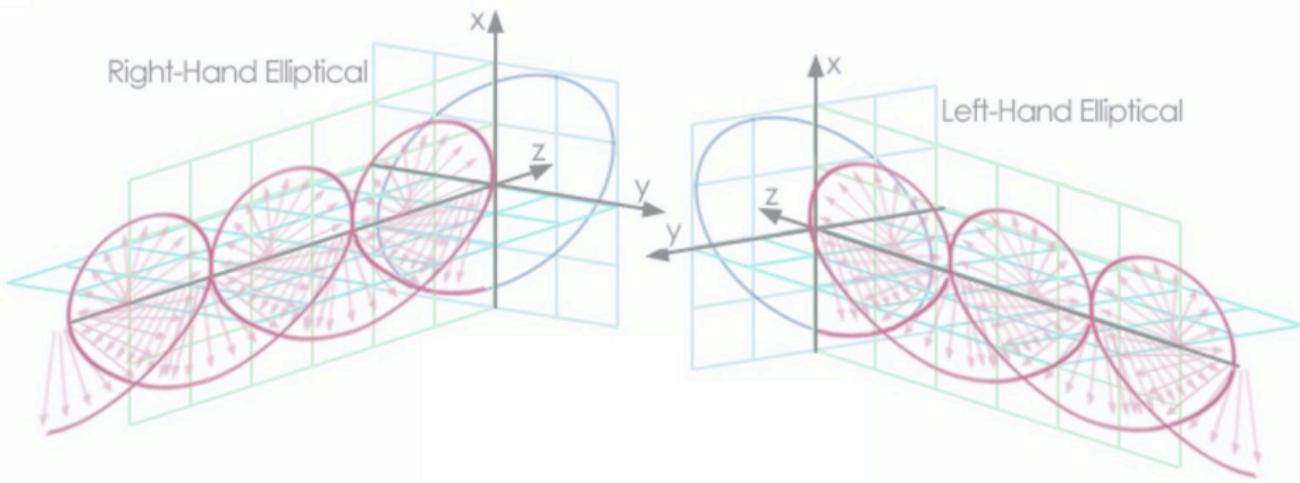
Polarisation linéaire



Polarisation circulaire



Polarisation elliptique



Directivité/Rendement

- La directivité $D(\theta, \phi)$ d'une antenne dans une direction (θ, ϕ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \phi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne **isotrope**.

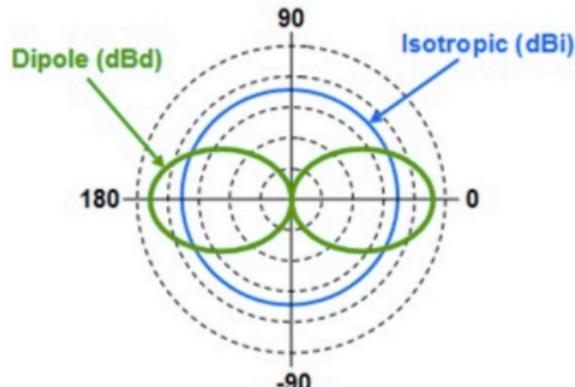
$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_R}$$

- Le rendement d'une antenne est le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne P_R et la puissance qui lui est fournie P_A .

$$\eta = \frac{P_R}{P_A}$$

Gain d'une antenne

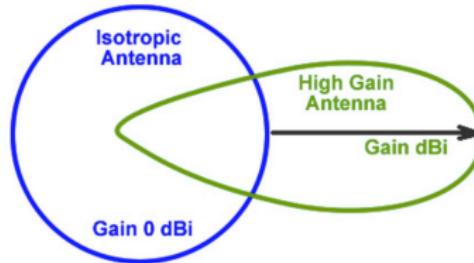
- Le gain d'une antenne par rapport à l'antenne isotrope est dû au fait que l'énergie est focalisée dans une direction. Il s'exprime en **dBi** (décibels par rapport à l'antenne isotrope)
- Le **gain absolu** d'une antenne est défini par rapport à la source isotropique qui rayonne un champ identique dans toutes les directions **dbi** (antenne de référence pour les calculs de gain).
- Le **gain en puissance** d'une antenne est donné en décibel (échelle logarithmique qui sert à mesurer les gains en puissance) **dB**.



Gain

- Le gain G d'une antenne correspond au gain dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, ϕ_0). Cette propriété caractérise la capacité d'une antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction.

$$G = 4\pi \frac{P(\theta_0, \phi_0)}{P_A}$$



- Le gain d'antenne omnidirectionnelle sans pertes vaut 1 (0 dB).
- Le gain en fonction de la directivité et du rendement :

$$G = \eta D$$

Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE)

On appelle Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente (PIRE) d'une antenne la puissance émise en tenant compte du gain directionnel.

$$\text{PIRE} = G_e P_e$$

La puissance surfacique à la distance d vaut donc :

$$p_s = \frac{G_e P_e}{4\pi d^2}$$

G_e : gain d'antenne à l'émission P_e puissance électrique de l'émetteur
(souvent égale à $P_{isotrope}$, la puissance isotrope de l'antenne)

Puissance reçue

- La puissance reçue est la puissance électrique disponible en sortie de l'antenne réceptrice.

$$P_r = p_s S_e$$

p_s puissance surfacique reçue, S_e surface effective de l'antenne : (surface équivalente qui tient compte du gain en réception G_r de l'antenne).

$$S_e = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

- Le **bilan global de la liaison** exprime la puissance **reçue** en fonction de la puissance **émise** :

$$P_r = p_s S_e = \frac{G_e P_e}{4\pi d^4} G_r \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$P_r = P_e G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$



Bilan

- Expression de la puissance reçue en dB (bilan) :

$$P_r(dB_m) = P_e(dB_m) + G_e(dB_i) + G_r(dB_i) + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

λ : longueur de l'onde émise

d : distance à l'antenne