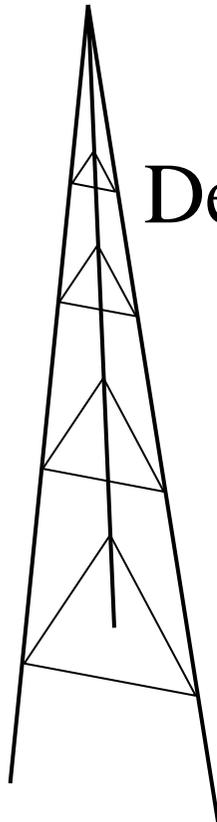


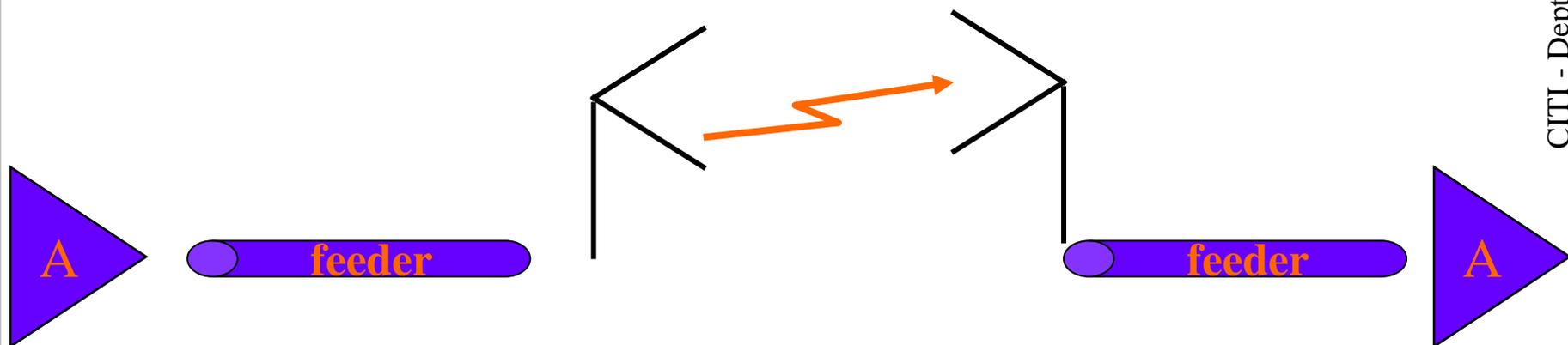
Communications Hertzienne (COH)

Deuxième partie : Antennes

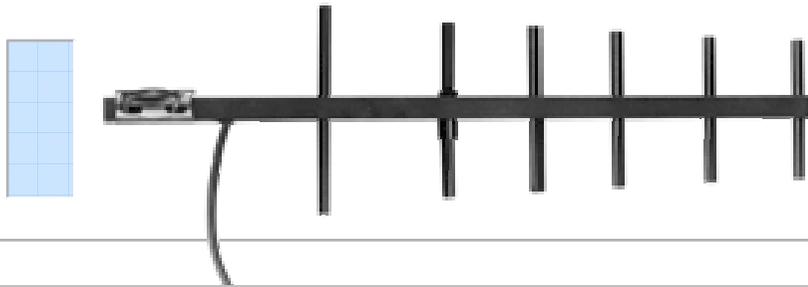


Introduction

- 1 antenne =
 - élément initial ou final d'une chaîne d'émission ou de réception.



Propriété 1 : réversibilité



ASP-998

Antenne Yagi (boucle locale)

Specifications

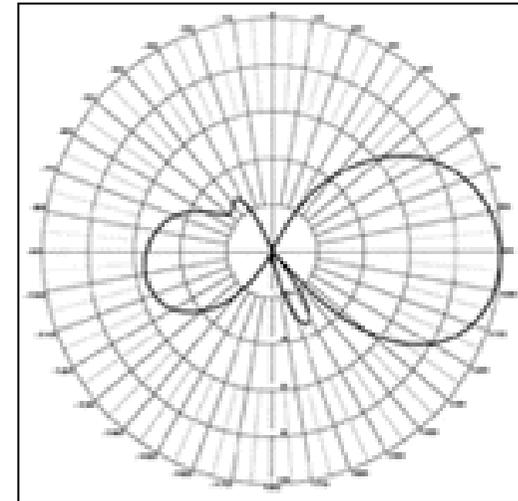
Electrical

Power Rating	125 watts
Gain	8 dBd (10 dBi) typical
Frequency Range	ASP-998, 806-894 MHz ASPG998, 890-960 MHz
VSWR	1.5:1
Impedance	50 ohms
Polarization	Vertical
Front to Back Ratio	ASP-998, >11dB ASPG998, >10 dB
E-plane Beamwidth	ASP-998, 42-51° ASPG998, 44-50°
H-plane Beamwidth	ASP-998, 53-68° ASPG998, 55-64°

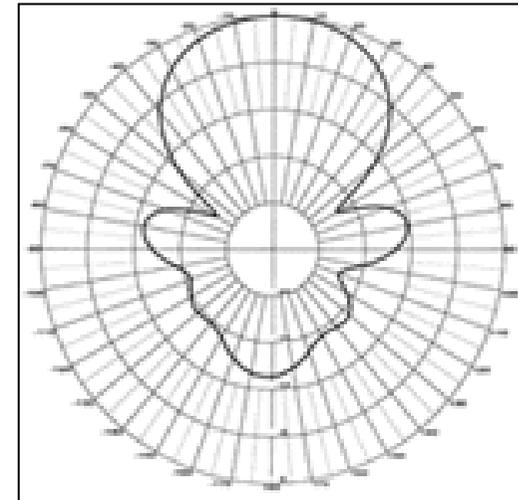
Mechanical

Rated Wind Velocity	120 mph (193 km/h)
Length	23.2 inches (58.9 cm)
Radiator Material	DURA-COAT aluminum
Reflector Material	DURA-COAT aluminum
Mounting Material	Zinc-plated steel bracket, U-Bolt
Mounting Length	1.5 inches (3.81 cm)
Mounting Diameter	1 inch (2.54 cm)
Weight	1.2 lb (0.55 kg)
Shipping Weight	2 lb (0.91 kg)
Shipping Dim	26.5 x 8 x 1.5 inches (67.3 x 20.3 x 3.8 cm)
Cable	2.25 ft (0.68 m) PRO-FLEX™

E-Plane



H-Plane



CITI - Dept Telecoms - INSA Lyon

<http://www.antenna.com>

Antenne à ouverture rayonnante

A Lyon

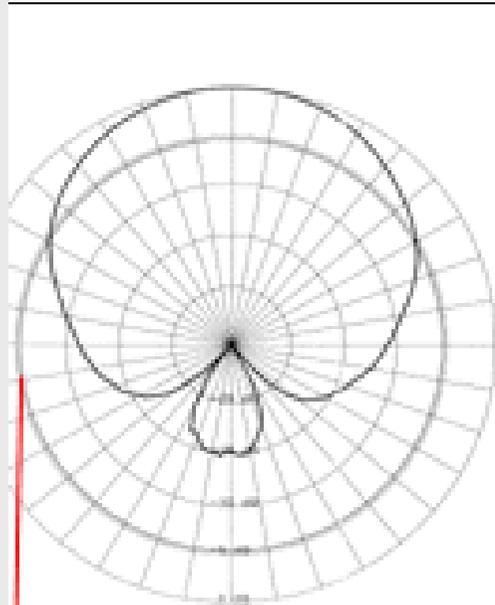
Specifications

Electrical

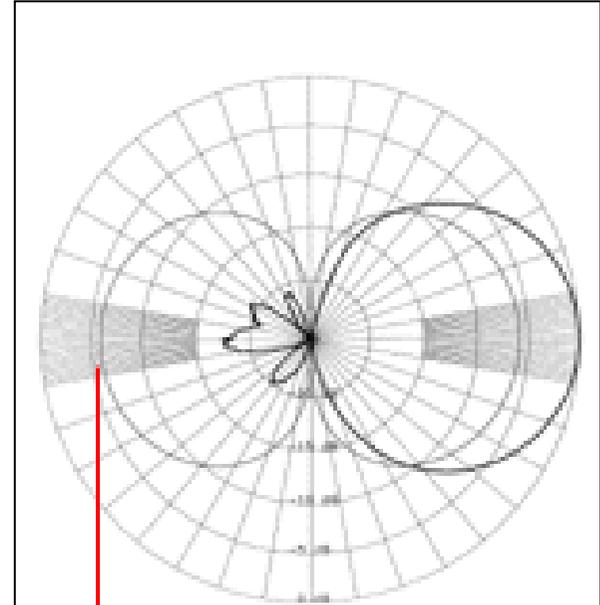
Gain	8.0 dBi
Frequency Range	2300-2500 MHz
VSWR	1.5:1
Power	10 watts
Impedance	50 ohms
Polarization	Vertical
Front to Back Ratio	>25dB
E-plane Beamwidth	60°+/-5°
H-plane Beamwidth	80°+/-5°

Mechanical

Depth	1.6 inches (4.1 cm)
Radiator Material	Brass
Reflector Material	Brass
Mounting	Integrated
Windload(fatal)	208kph
Weight	0.145 kg
Cable	not supplied
Connector	SMAfemale



H Plane (80°)
Dipole Reference



E Plane (60°)
Dipole Reference



Introduction

- Chap 4 : Caractéristiques de rayonnement
 - Fonction caractéristique
 - Intensité de rayonnement
 - Directivité
 - Diagramme de rayonnement
 - Bilan de liaison
- Chap 5 : Caractéristiques électriques
 - Impédance équivalente
 - F.e.m. : conversion libre/guidé
 - Surface équivalente, hauteur équivalente
 - Gain
 - Bilan de liaison



Introduction

- Chap 6 : Les antennes filaires
 - Principe de calcul à partir du rayonnement du d.e.e
 - L'antenne $\frac{1}{2}$ onde symétrique
 - Antenne asymétrique plan de masse
- Chap 7 : Autres types d'antennes
 - Ouvertures rayonnantes, fentes, antennes à réflecteurs, ...
- Chap 8 : Antennes en réseau / traitement d'antennes
 - Couplage des antennes : relations mutuelles
 - Formation de faisceau
 - Antennes intelligentes

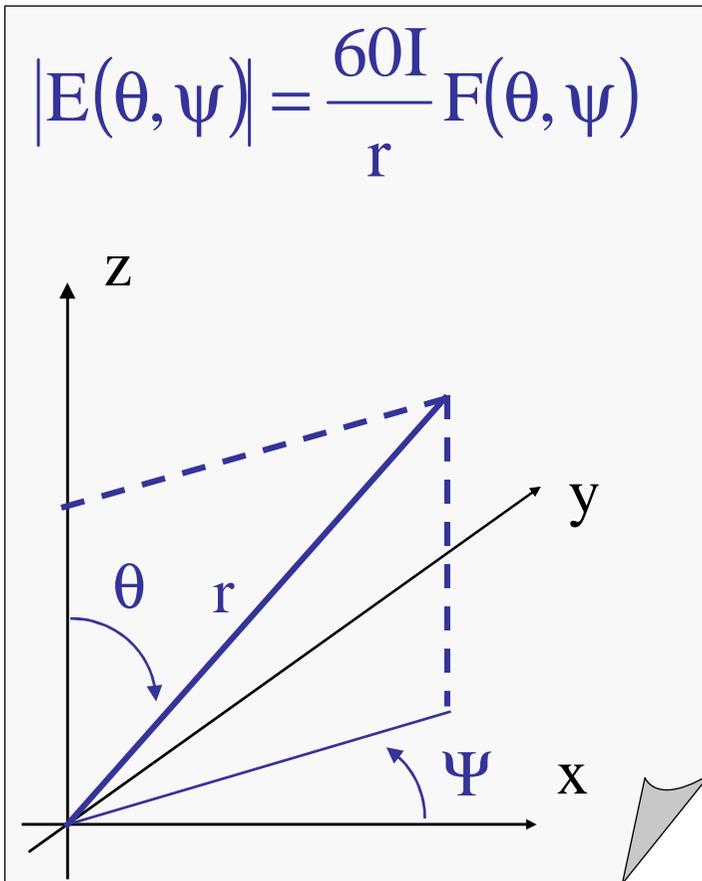


Chap 4 : Caractéristiques de rayonnement

- Fonction caractéristique
- Intensité de rayonnement
- Directivité
- Diagramme de rayonnement
- Bilan de liaison

1- Fonction caractéristique

- $F(\theta, \psi)$: caractérise la directivité de l'antenne



Pour le d.e.e

$$\underline{E}_\theta(r, t) = \frac{-j60\pi}{\lambda r} \cdot I \cdot dl \cdot \sin \theta \cdot e^{j(\omega t - \beta r)}$$

$$|E_\theta(\theta)| = \frac{60I}{r} \cdot \underbrace{\frac{\pi dl}{\lambda} |\sin \theta|}_{|F(\theta)|}$$

$$|F(\theta)|$$

fonction caractéristique du doublet

2- Puissance rayonnée

- La densité de puissance

– par unité de surface
sur un front d'onde :

$$\bar{P}(\vec{r}) = \frac{E_{\text{eff}}^2(\vec{r})}{Z_0} = \frac{30I_{\text{eff}}^2}{\pi r^2} F^2(\theta, \psi)$$

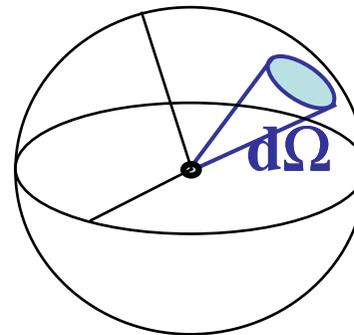
- La puissance totale rayonnée est :

$$P_r = \oiint_S \bar{P}(\vec{r}) \cdot dS$$

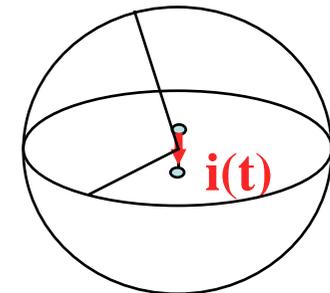
- L'intensité de rayonnement

– Par unité d'angle solide

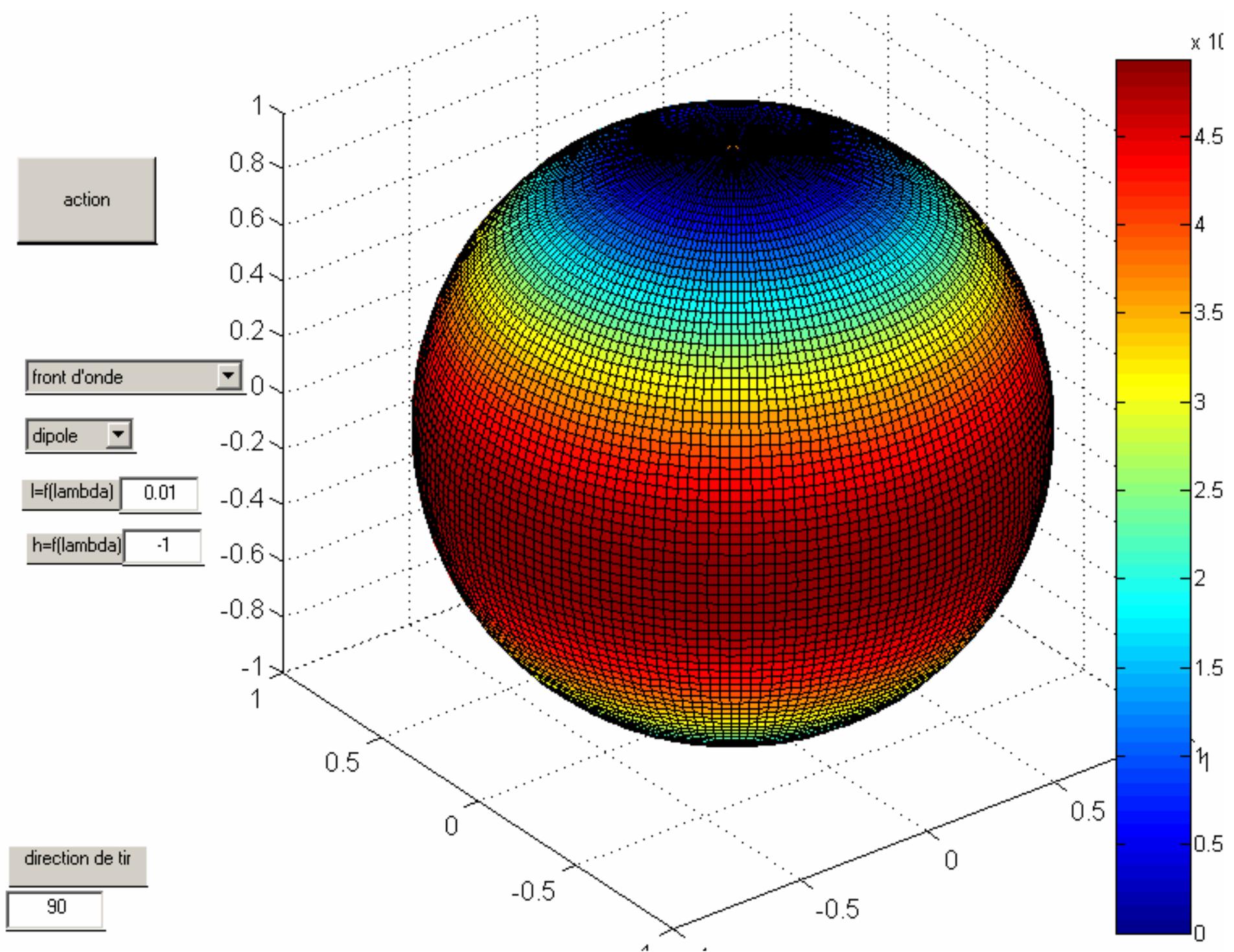
$$P_r = \frac{30}{\pi} I_{\text{eff}}^2 \cdot \oiint_{\Omega} F^2(\theta, \Psi) \cdot d\Omega$$



$$d\Omega = \frac{1}{r^2} dS = \sin \theta d\theta d\psi$$



$$P_r = \oiint_{\Omega} U(\theta, \Psi) \cdot d\Omega \quad \longrightarrow \quad U(\theta, \Psi) = \frac{30I_{\text{eff}}^2}{\pi} F^2(\theta, \Psi) \quad \text{Watt / stéradian}$$



action

front d'onde

dipole

l=f(lambda) 0.01

h=f(lambda) -1

direction de tir

90

$\times 10$

4.5

4

3.5

3

2.5

2

1.5

1

0.5

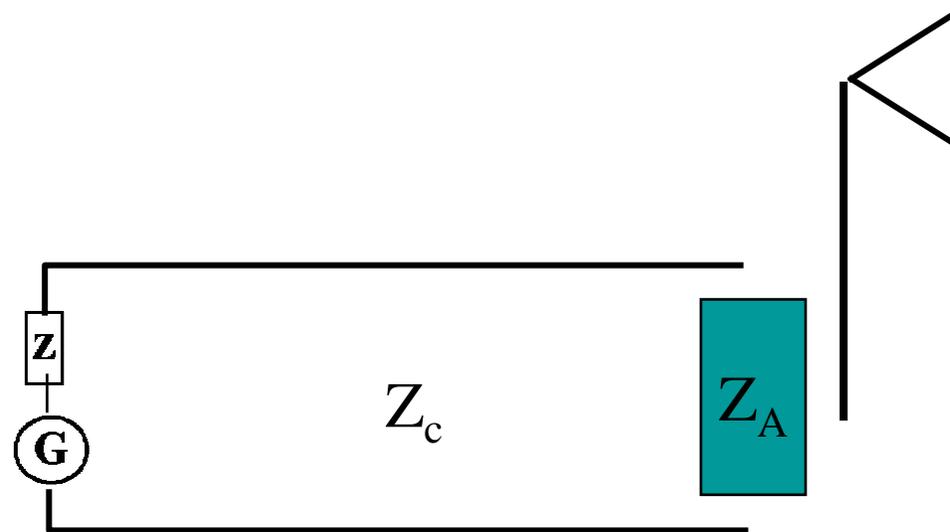
0

η

3- Résistance de rayonnement

La partie résistive est celle qui consomme. C'est aussi celle qui est productive

$$R_r = \frac{P_r}{I_{\text{eff}}^2} = \frac{30}{\pi} \cdot \iint_{\Omega} F^2(\theta, \Psi) d\Omega$$



4- Directivité

- La directivité est un rapport de puissance
- C'est le rapport entre l'intensité de rayonnement dans une direction donnée, et l'intensité moyenne:

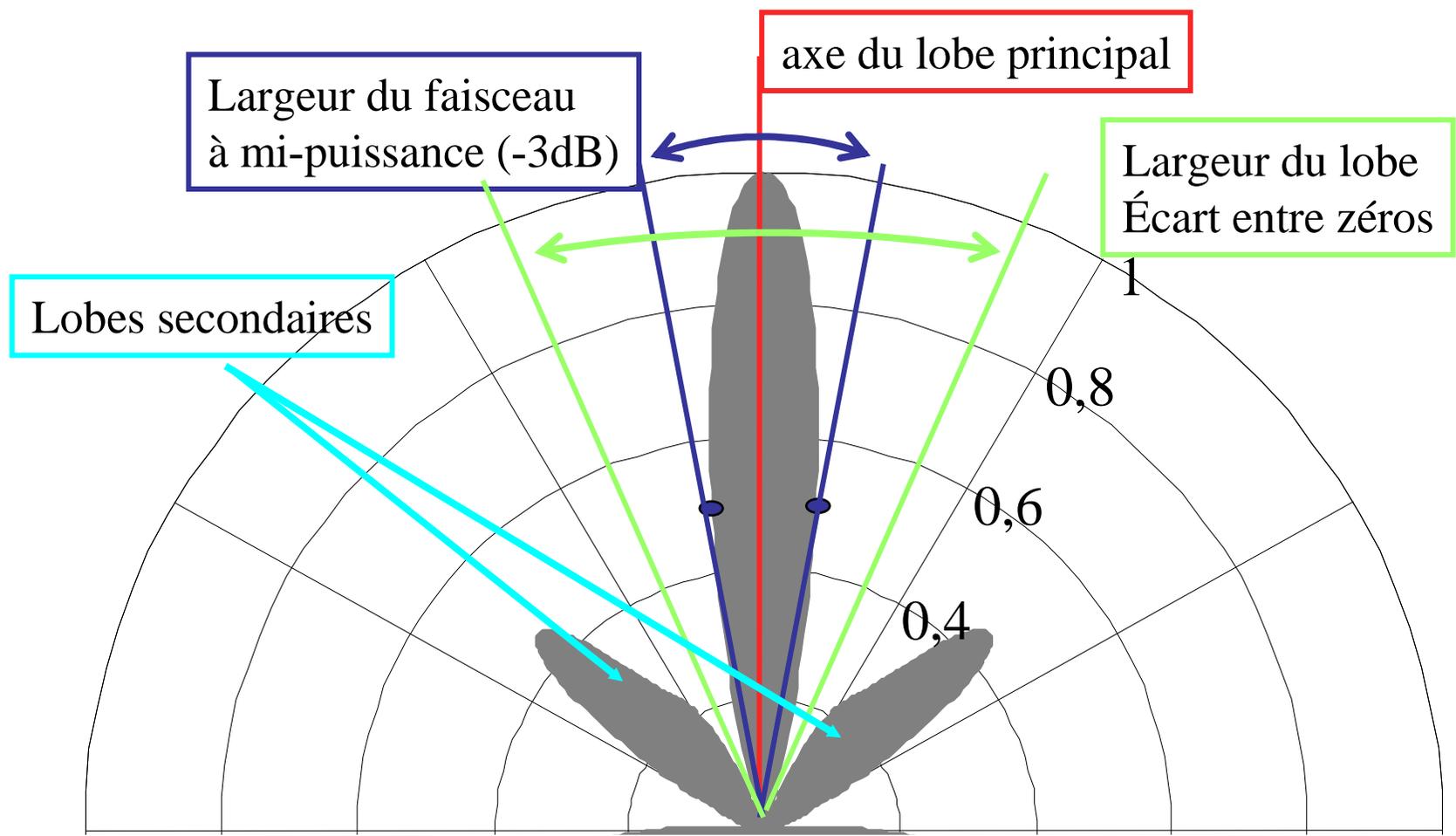
$$D(\theta_0, \psi_0) = \frac{U^2(\theta_0, \psi_0)}{\frac{1}{4\pi} \int_{\Omega} U^2(\theta, \psi) d\Omega}$$

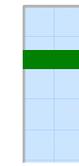
- Ce qui s'écrit aussi: $D(\theta_0, \psi_0) = \frac{F^2(\theta_0, \psi_0)}{\frac{1}{4\pi} \int_{\Omega} F^2(\theta, \psi) d\Omega}$

- Pour l'antenne isotrope ??

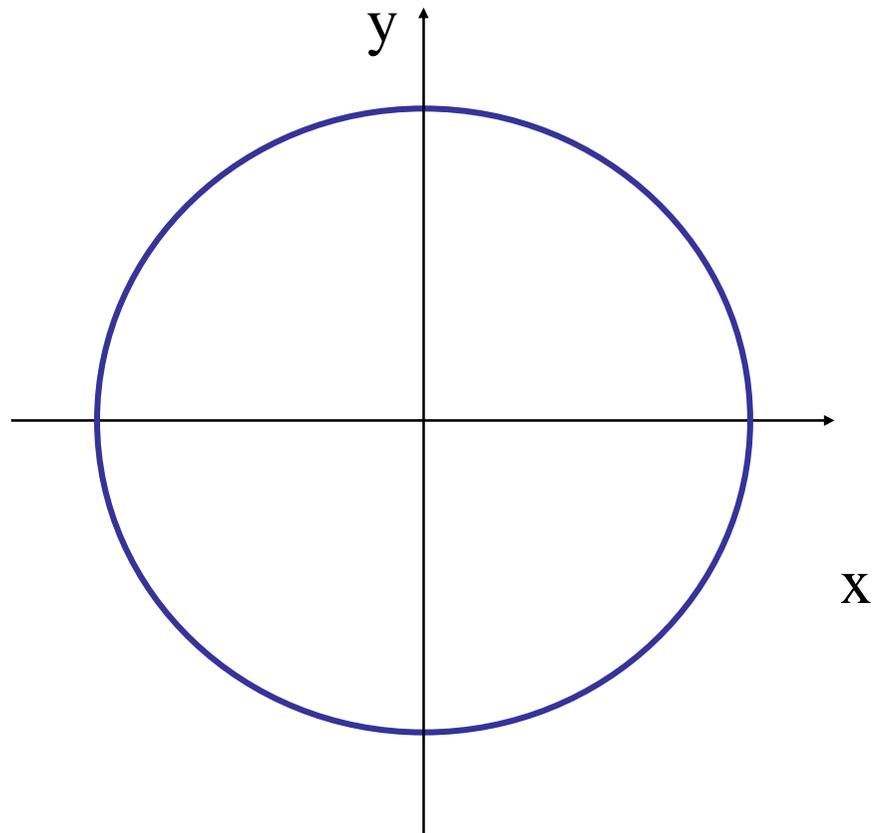
C'est un rapport, exprimé souvent en dBi.

Diagramme de rayonnement

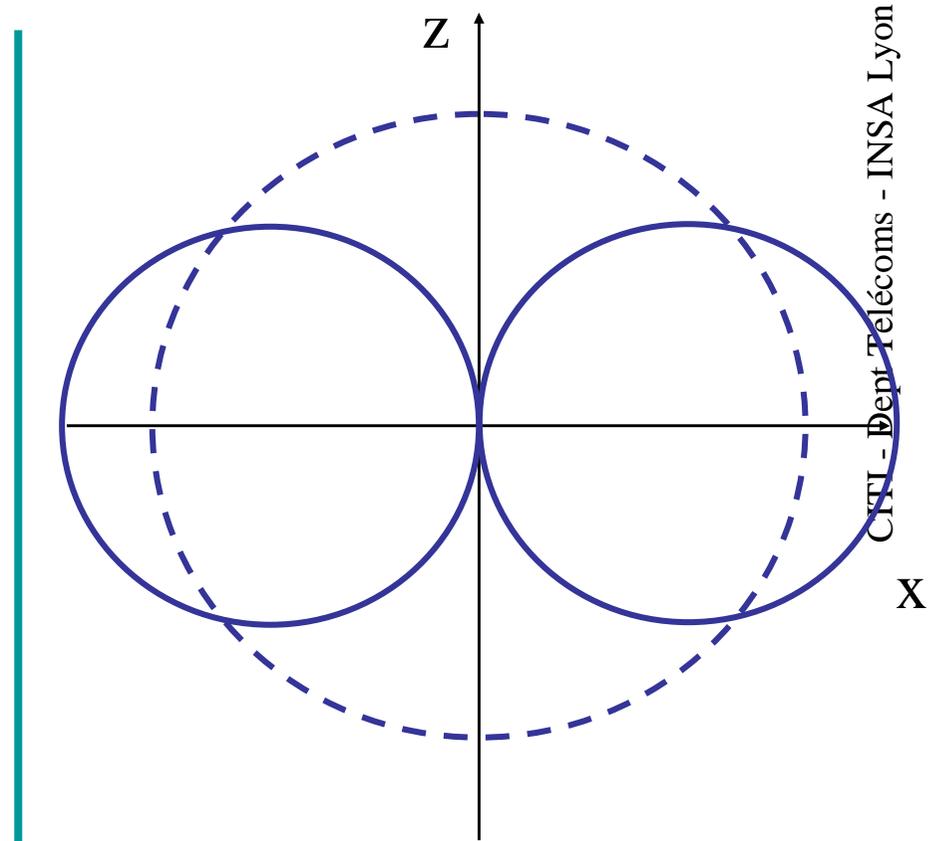




- Exemple du doublet élémentaire



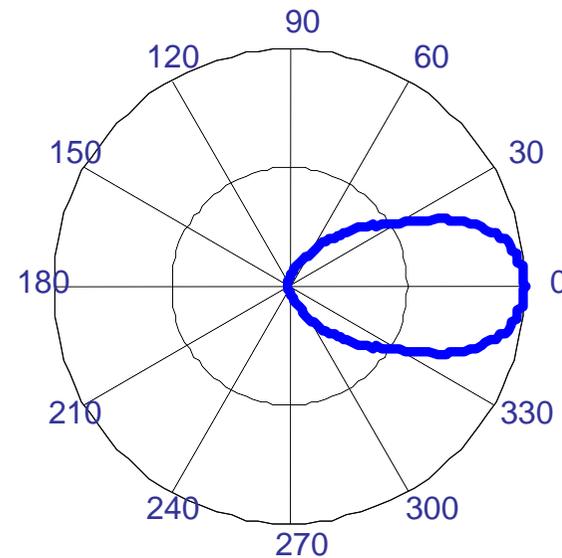
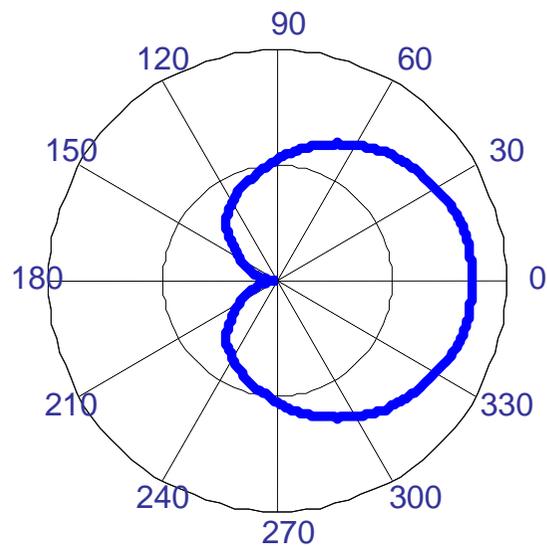
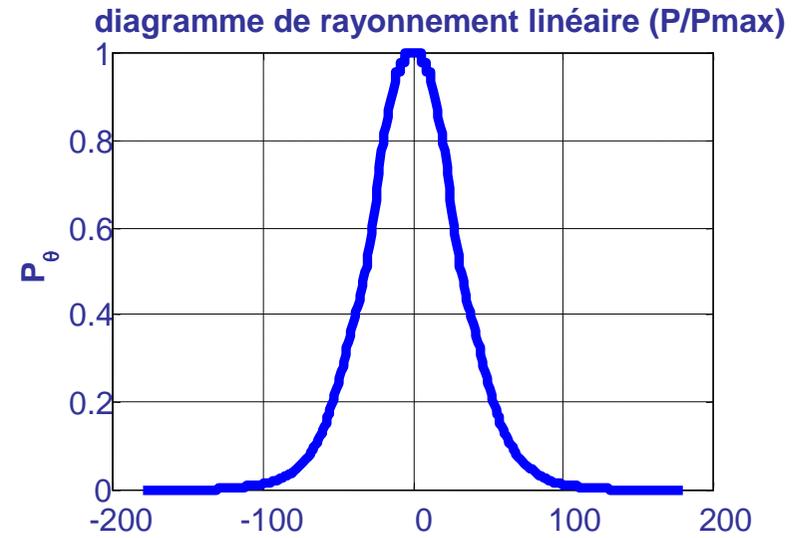
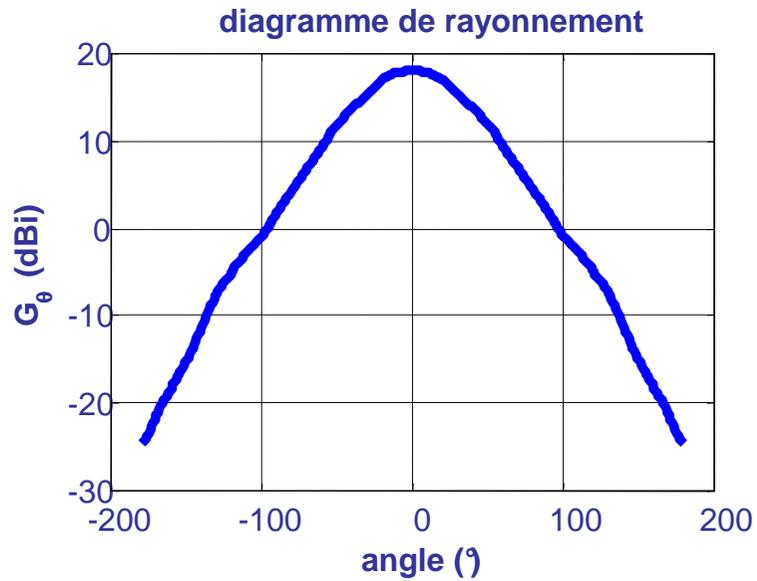
Plan horizontal



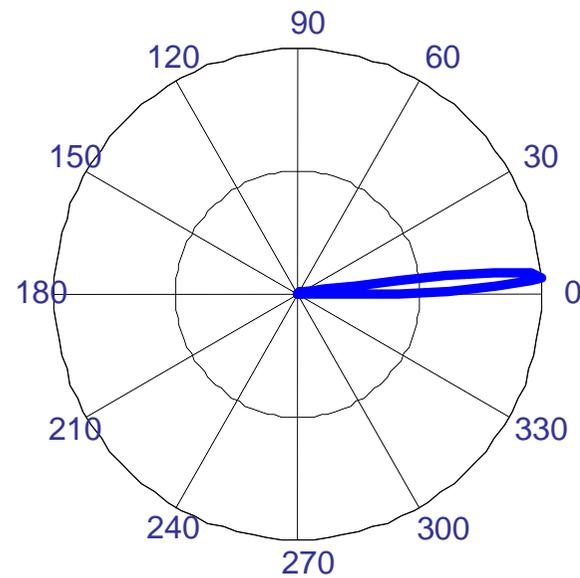
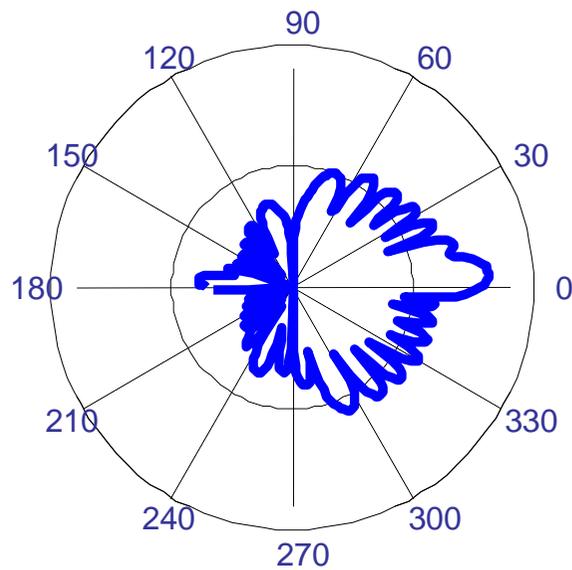
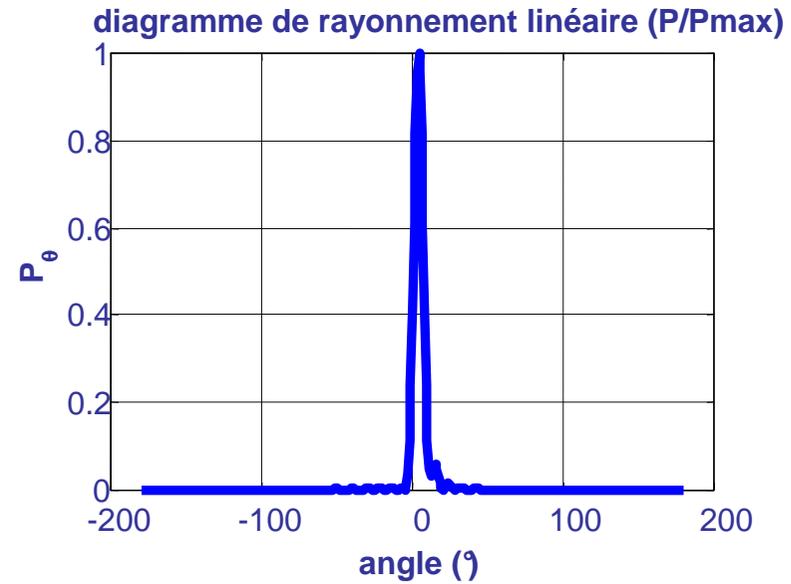
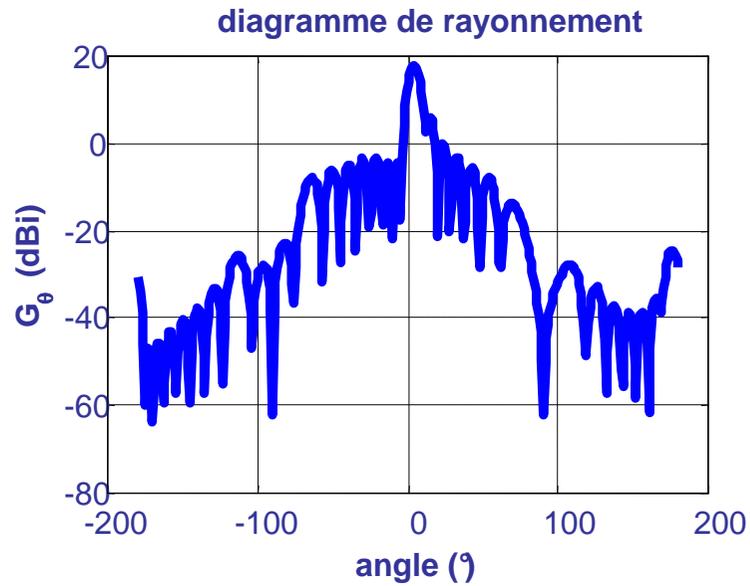
Plan vertical

CITL - Dept Télécoms - INSA Lyon

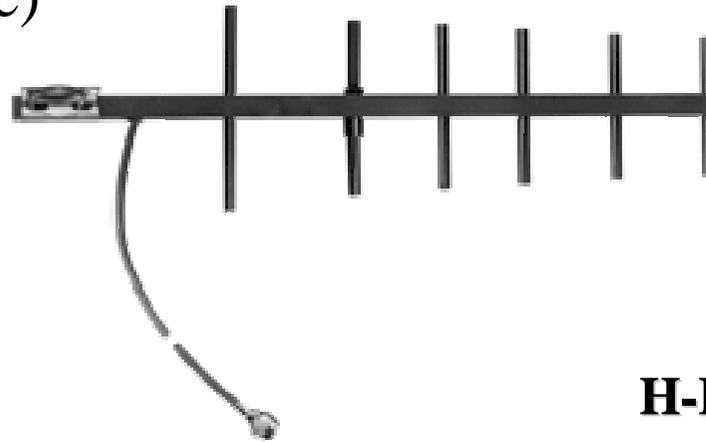
Exemple d'une antenne GSM sectorielle, dans le plan horizontal



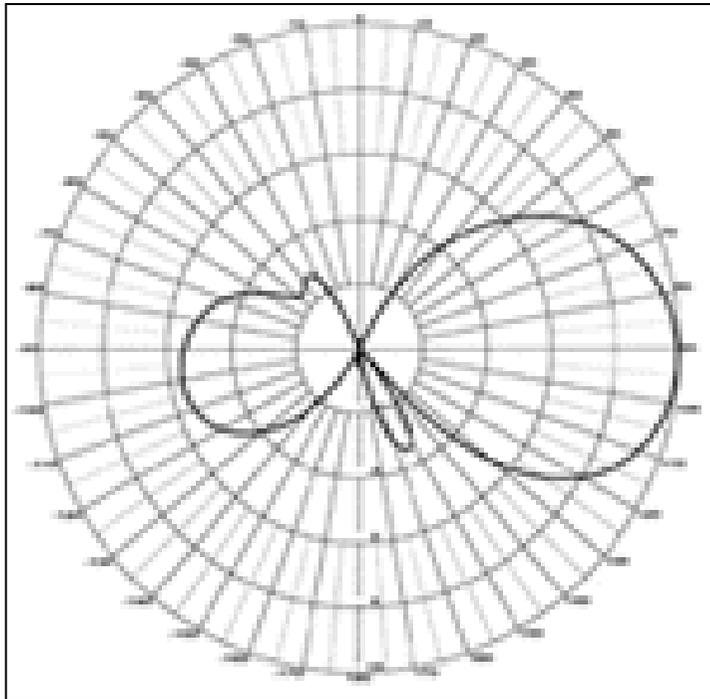
Exemple d'une antenne pour faisceaux hertziens



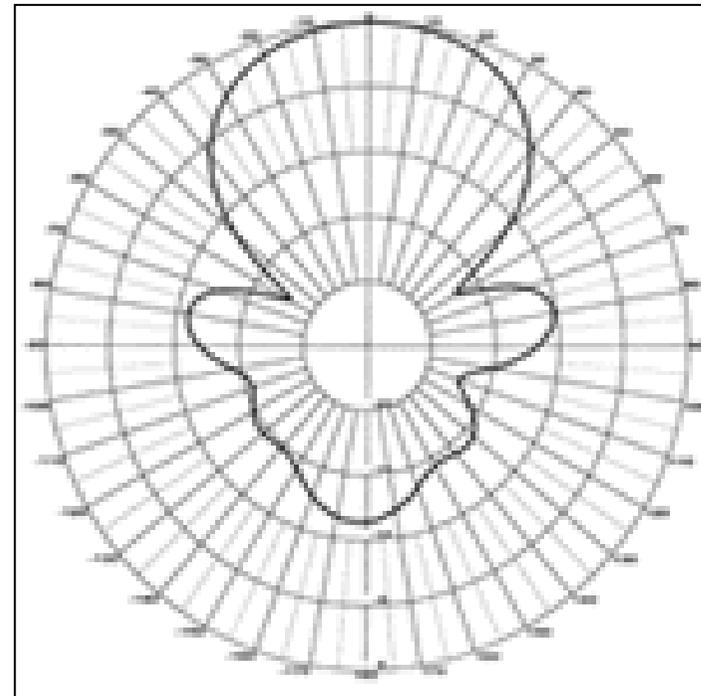
Exemple d'une antenne Yaggi (à polarisation verticale)

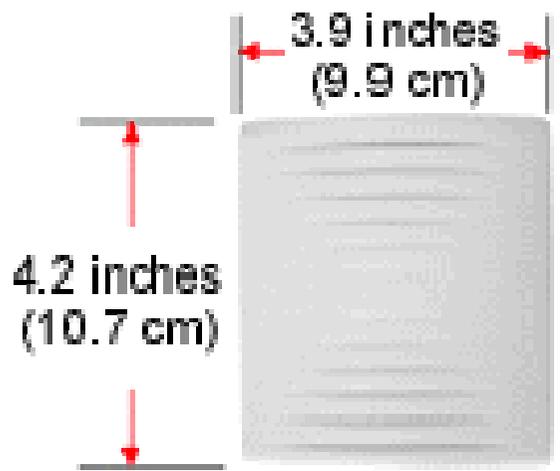


E-Plane

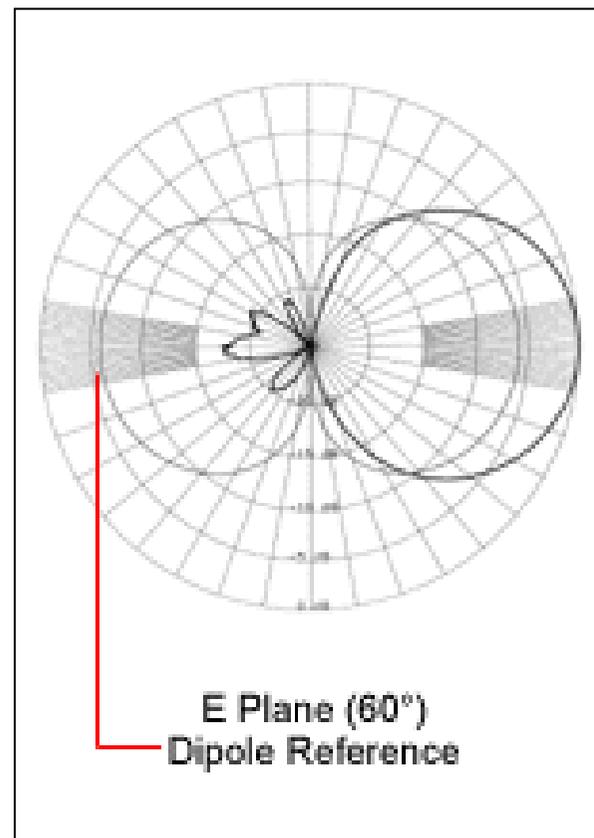
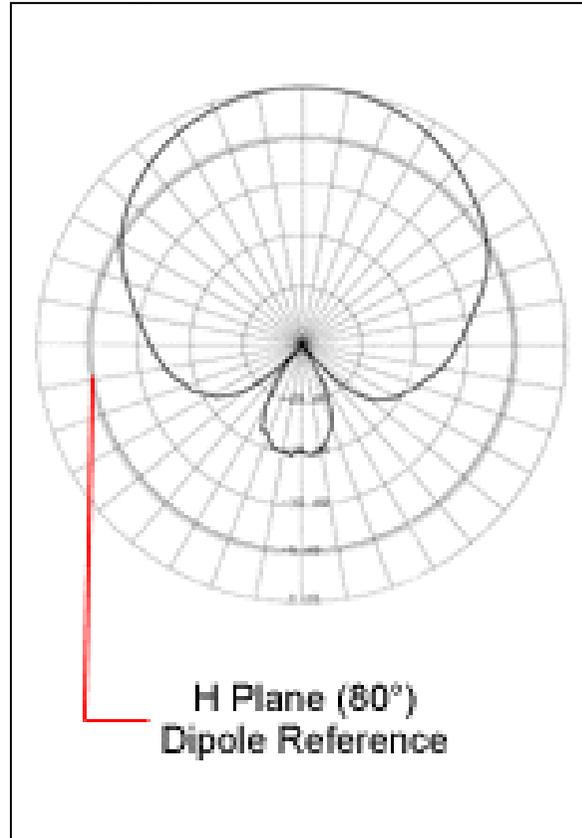


H-Plane

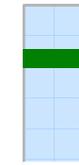




Exemple d'1 antenne patch (WiFi)



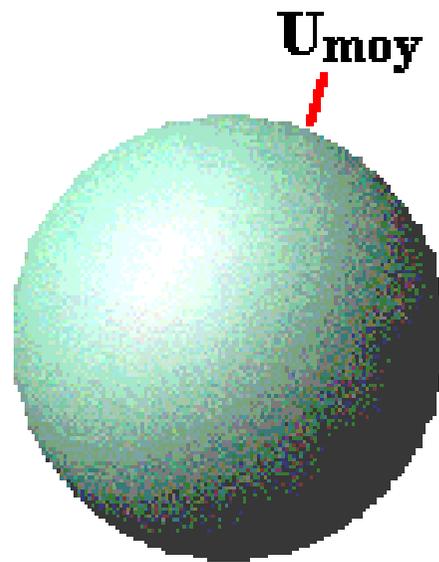
Surface caractéristique de rayonnement



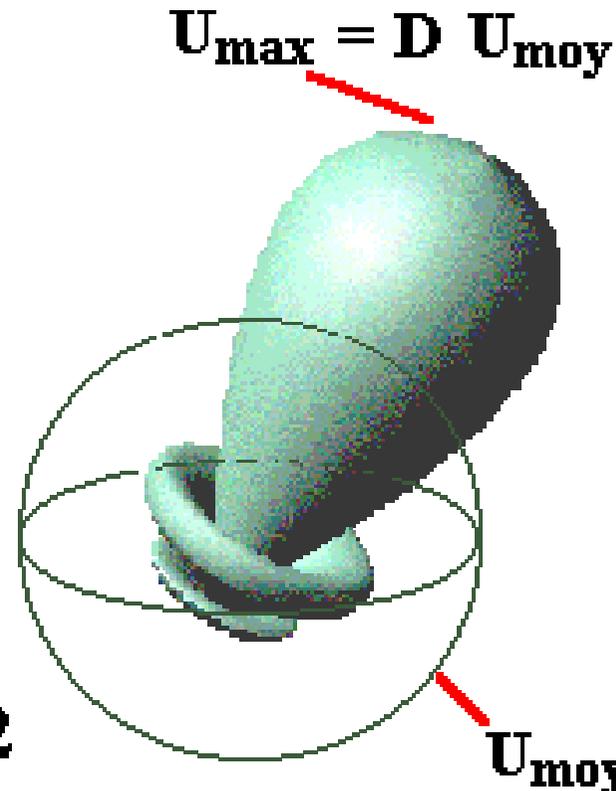
Chapitre 4

Directivité

- on appelle "Surface Caractéristique de Rayonnement" la surface fermée obtenue en portant, à partir d'un point pris comme origine, un vecteur dont la longueur est une fonction simple du champ créé à une distance constante de l'antenne, dans la direction du vecteur
- **NE PAS CONFONDRE AVEC SURFACE d'ONDE !!!!**

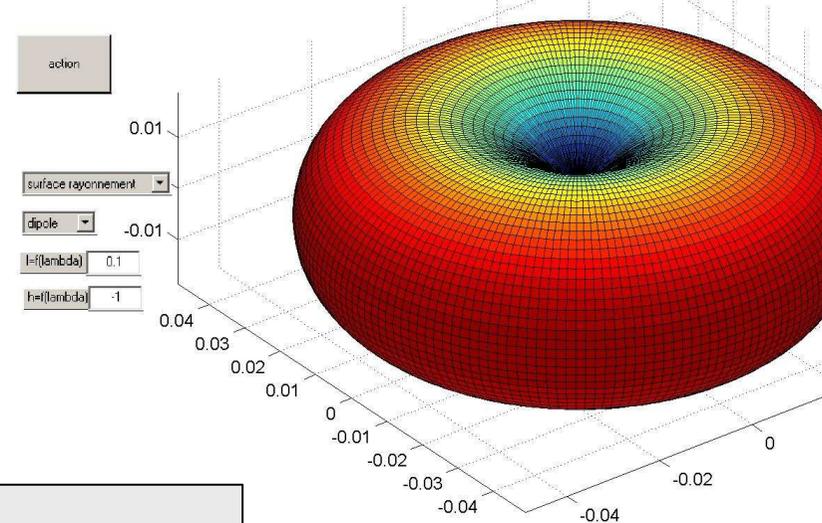


1



2

- Exemple du doublet + autres exemples => démo en TDs
- Exos sous logiciel

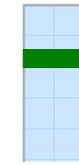


Exercices

🖱 Calcul de la puissance rayonnée
par le doublet électrique

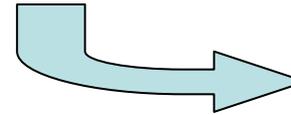
🖱 Calcul de l'intensité de
rayonnement
Calcul de la résistance de
rayonnement

5-Gain absolu



- 1 antenne de référence : isotrope

Le gain absolu d'une antenne, est défini comme le rapport entre les intensités de rayonnement dans une direction donnée, correspondant respectivement à l'antenne étudiée et à l'antenne isotrope, à puissance consommée équivalente :

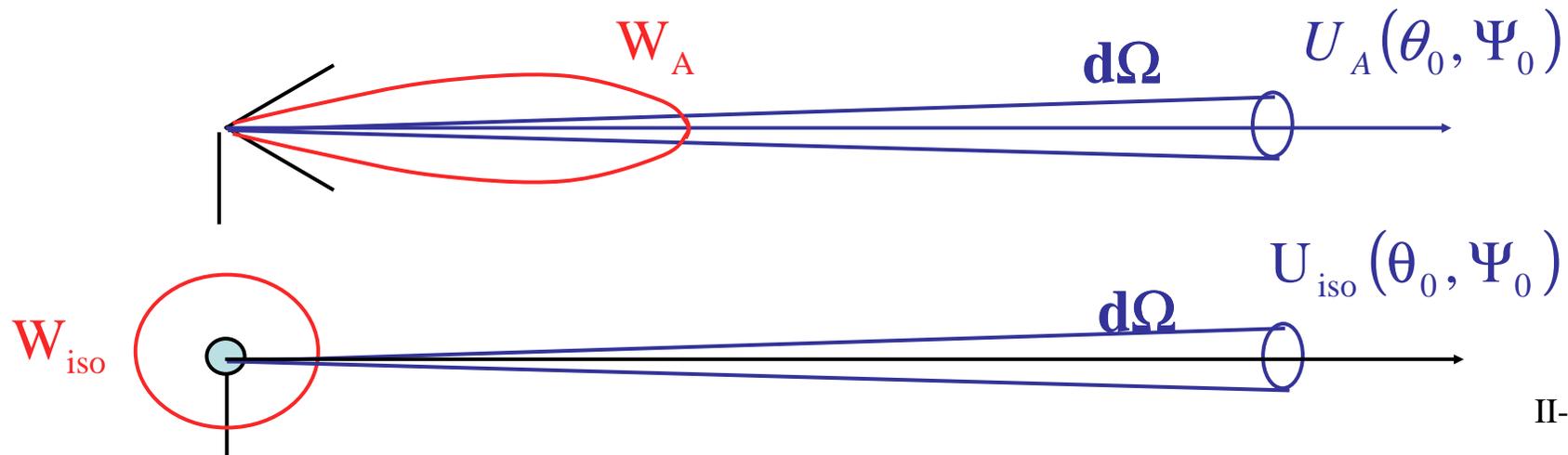


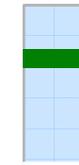
$$F(\theta, \Psi) = 1$$

$$E_{\text{eff}}(r) = \frac{60 \cdot I_{\text{eff}}}{r}$$

$$P_r = 120 \cdot I_{\text{eff}}^2$$

$$G(\theta_0, \Psi_0) = \rho \cdot D(\theta_0, \Psi_0)$$



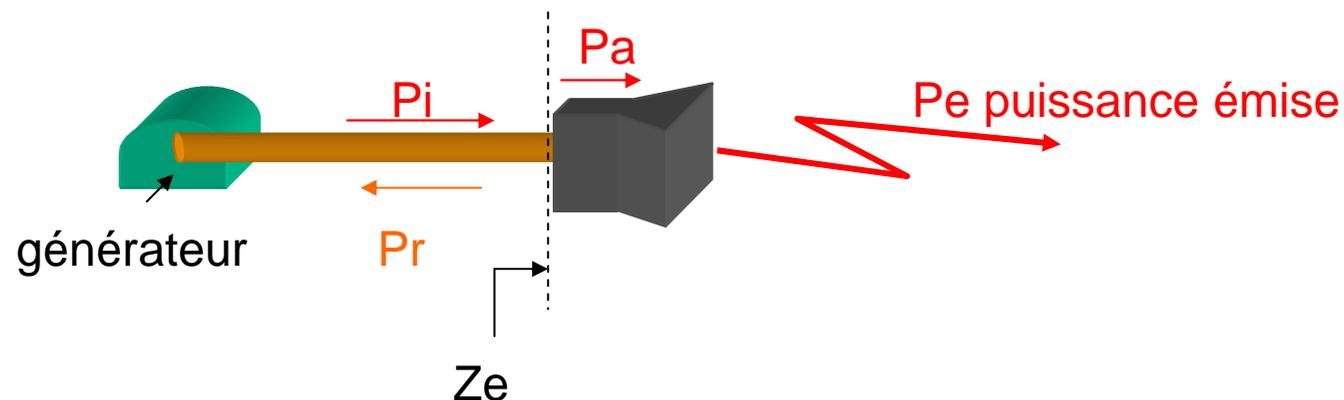


Exercices

- ☞ Calculez le gain absolu (en linéaire et en dB) pour le d.e.e.
- ☞ Donnez la PIRE du d.e.e. en W, en dBW, en dBm et en dBi, pour 1 puissance émise de 10W.
- ☞ Vérifiez la définition suivante :
 - le gain absolu d '1 antenne est égal au rapport des puissances fournies resp. par cette antenne et par l 'antenne iso, pour fournir un même champ E à 1 distance r en champ lointain.
- ☞ Expliquez pourquoi les normes définissent la puissance max autorisée à partir de la PIRE.

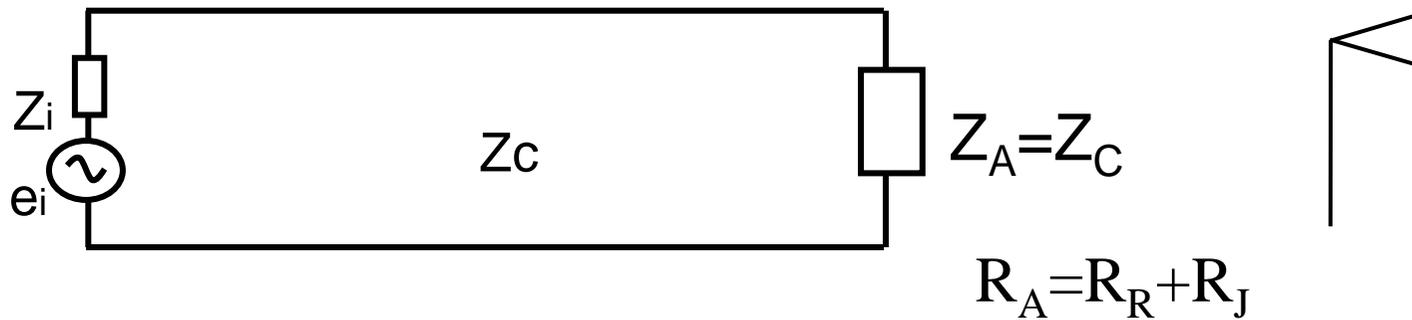
Chap 5 : Caractéristiques électriques

- Impédance équivalente
- F.e.m. : conversion libre/guidé
- Surface équivalente, hauteur équivalente
- Gain
- Bilan de liaison



1- Impédance d'entrée

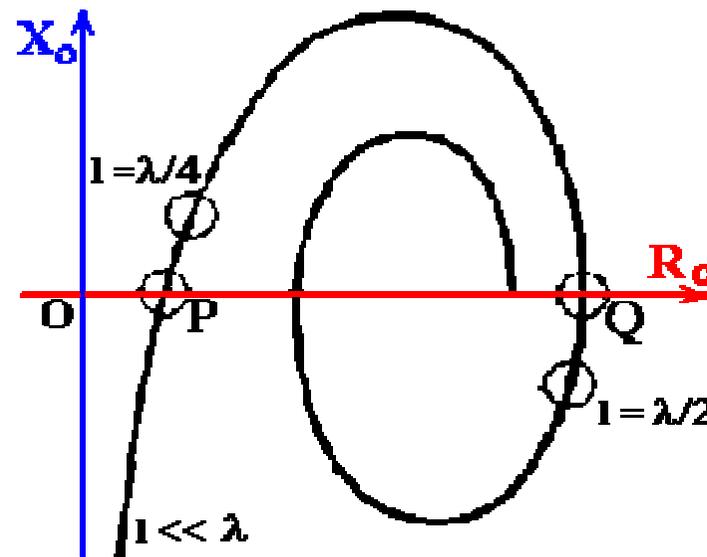
- Impédance d'antenne : $Z_A = R_A + j.X_A$



Antenne accordée : $X_A = 0$

Techniques d'adaptation

Puissance rayonnée $P_r = P_E - P_J$



2- Coefficient de réflexion



Une antenne est définie :

soit en donnant son impédance caractéristique (souvent 50 ohms)

soit en donnant son niveau de coefficient de réflexion sur 50 ohms.

coefficient de réflexion en puissance : $|S_{11}|^2 = \frac{P_r}{P_i}$

$|S_{11}|$ est le coefficient de réflexion en tension

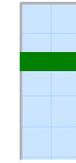
Impédance déduite d'une mesure de réflexion : $Z_e = Z_c \cdot \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}$

Expression en dB: $|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}|$ return loss

On parle aussi beaucoup en terme de VSWR : $VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}$

souvent exprimé sous la forme n:1

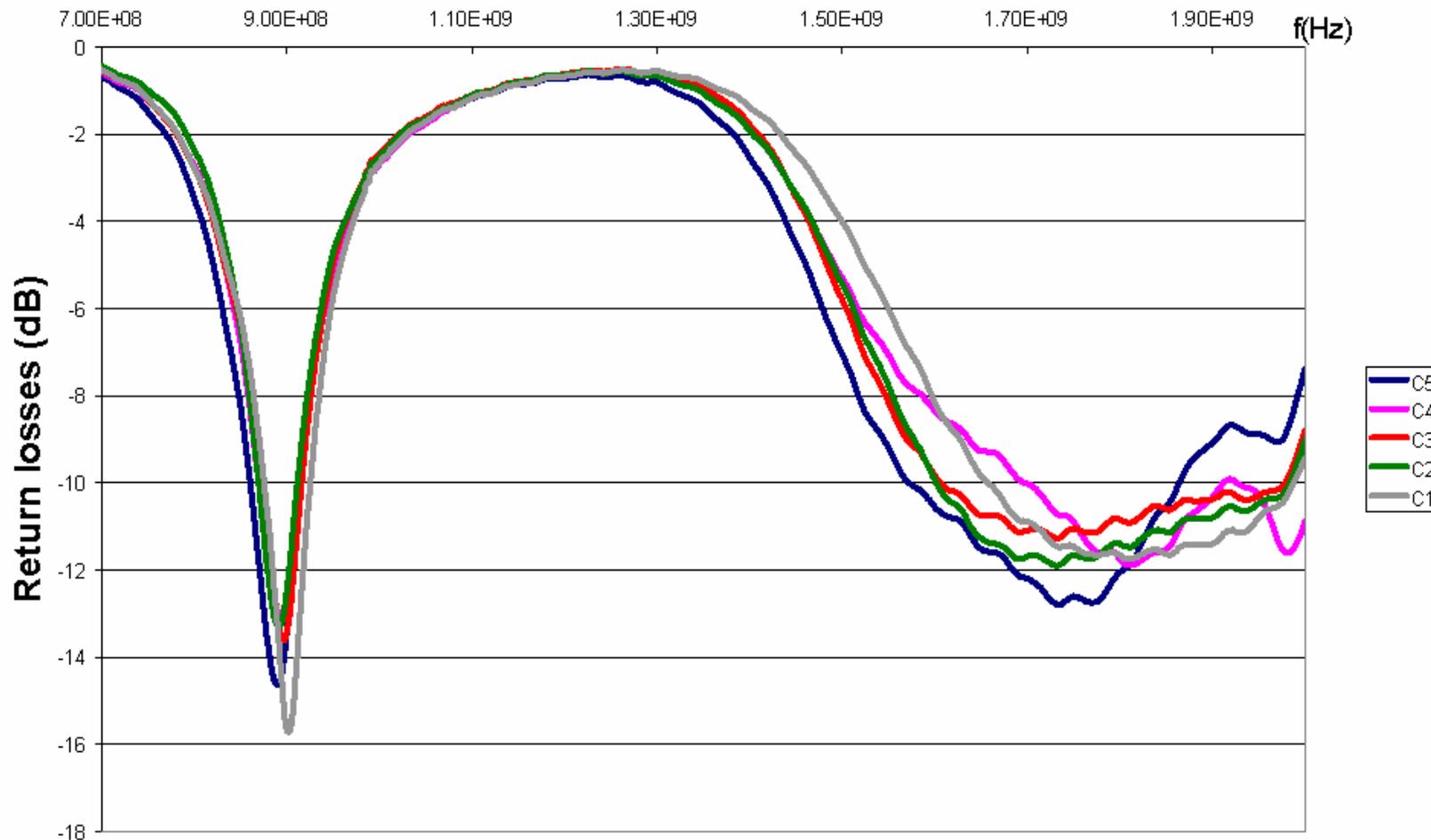
3- Bande passante

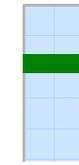


Chapitre 5

- Une antenne ne fonctionne pas à toutes les fréquences. La BP est limitée par :
 - le TOS maximal admissible, par exemple $TOS < 2$.
 - la variation du gain de l'antenne
 - la déformation du diagramme de rayonnement
- Antennes à faible BP :
 - éléments rayonnants résonants (dipôles, microstrip)
 - largeur de bande: % par rapport à la fréquence centrale
 $B\% = 100 \cdot (F_s - F_i) / F_c$ (typiquement $B\% = 10$ à 20%)
- Antennes à grande largeur de bande :
 - Antennes à ouverture, (bde limitée par les dispositifs associés)
 - largeur de bande: $Boct = F_s / F_i$, exprimée en octave.
En général, une antenne avec une largeur de bande supérieure ou égale à un octave est considérée comme étant à large bande.

Il existe de nombreuses définitions de bandes passantes. La plus commune est la bande passante en adaptation où le coefficient de réflexion de l'antenne respecte un certain niveau.





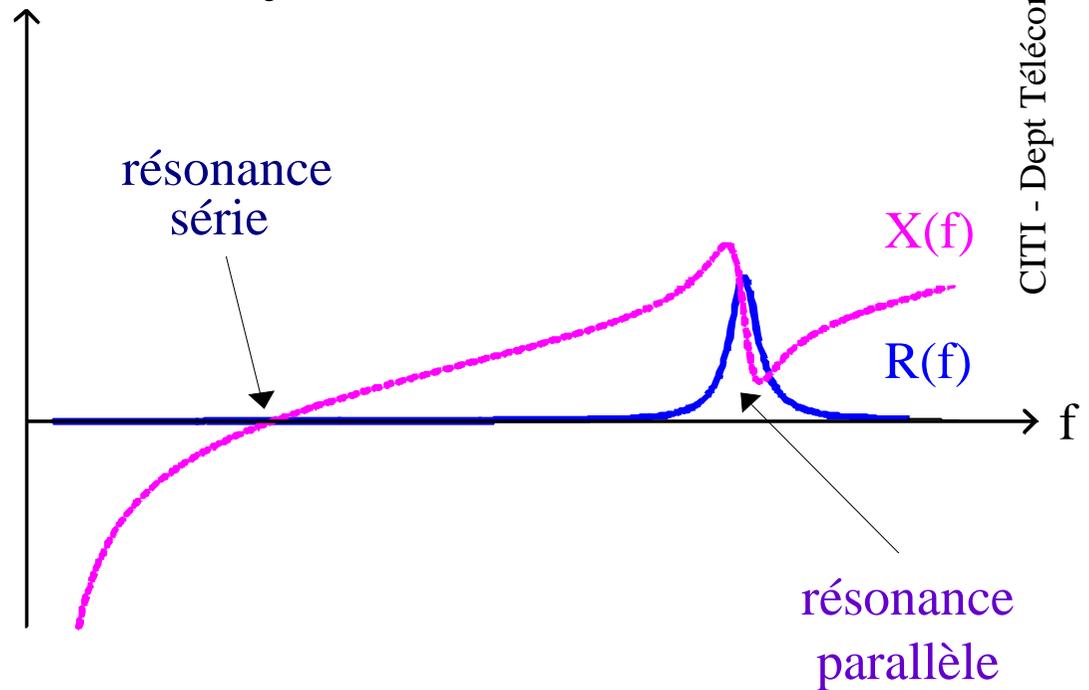
Chapitre 5

Bande
passante

L'impédance complexe d'une antenne varie en fonction de la fréquence. Cela correspond aux variations de répartition des courants à sa surface.

On cherche à faire correspondre la fréquence de fonctionnement avec un point d'impédance purement réel proche de celle du système (50 ohms en général).

$$Z(f) = R(f) + j X(f)$$



4- Antenne en réception

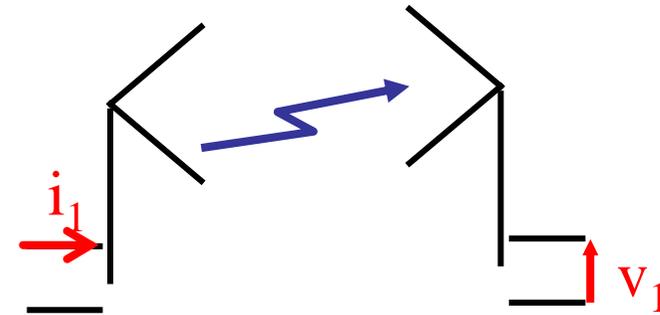


- Théorème de réciprocité

$$\begin{array}{ccc} \dot{i}_2 = \dot{i}_1 & \longrightarrow & v_2 = v_1 \\ & & Z_{12} = Z_{21} \end{array}$$

- F.e.m. en réception :

- application de la réciprocité avec une antenne quelconque et un doublet bien orienté



$$e_A = \frac{\lambda}{\pi} \cdot F_A(\theta, \psi) \cdot E$$

- Puissance utile en réception :

- adaptation et accord de l'antenne
- Si oui :

$$P_U = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_A(\theta, \psi) \cdot \bar{P}(r)$$

- Surface de captation (aperture area)
 - rapport entre puissance max. disponible aux bornes de l'antenne et densité surfacique moyenne de puissance de l'OEM au point de réflexion

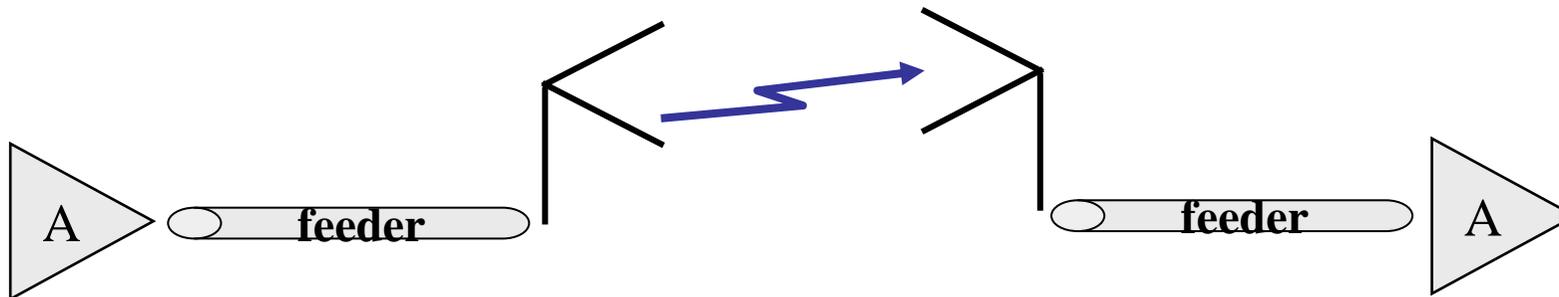
$$S(\theta, \psi) = \frac{P_U}{\overline{P}(\vec{r})} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_A(\theta, \psi)$$

- Hauteur effective
 - hauteur qu'aurait un doublet électrique élémentaire, bien orienté et parcouru par un courant identique, pour produire un même champ électrique que celui produit par l'antenne étudiée dans la direction de « tir ».

$$h_E = \frac{\lambda}{\pi} \cdot F(\theta_0, \psi_0)$$

6- Bilan de liaison

- Le bilan de liaison inclus l'ensemble des pertes de transmission :

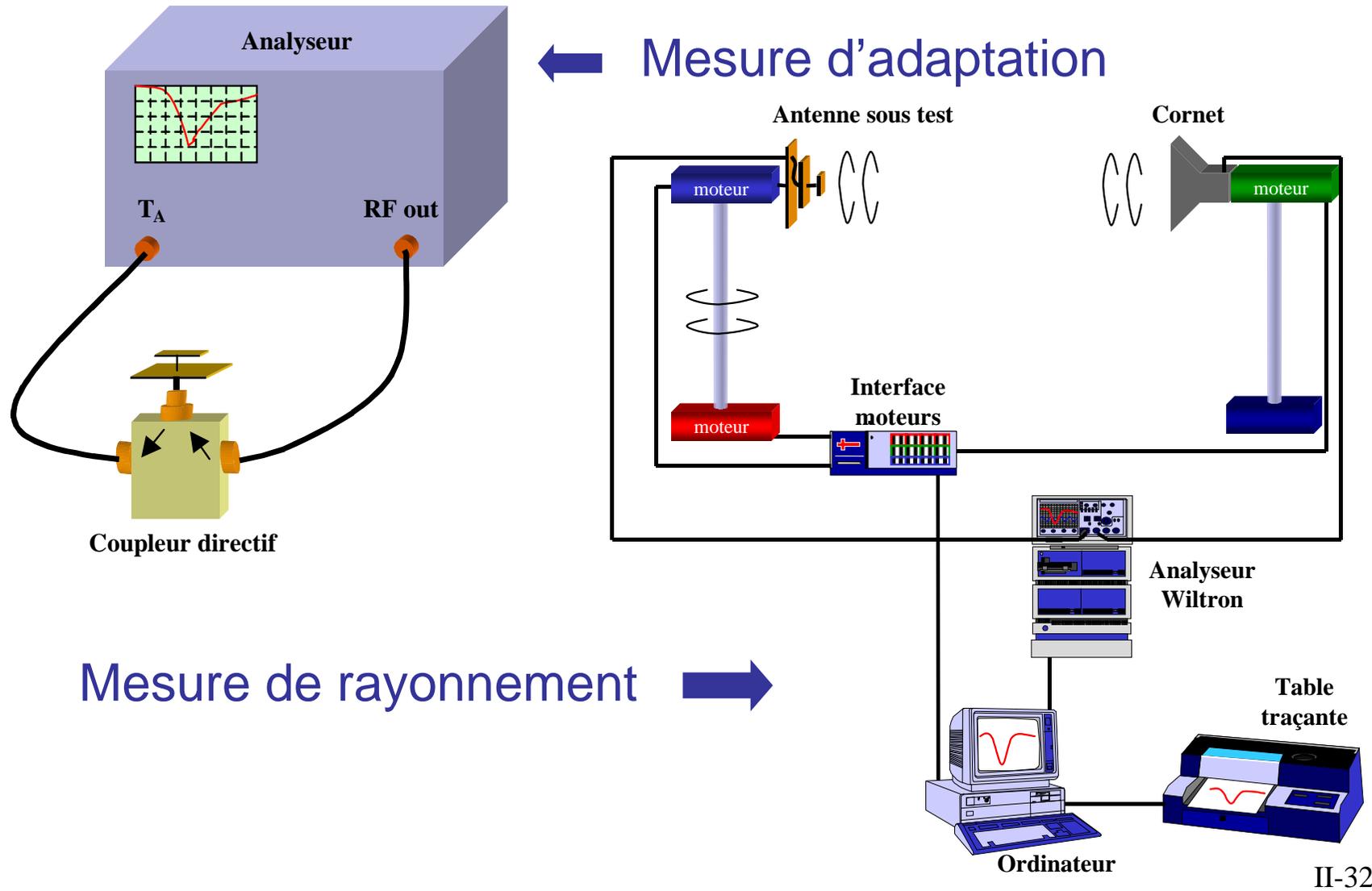


$$P_U = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \cdot F_A \cdot G_A(\theta_A, \psi_A) \cdot F_B \cdot G_B(\theta_B, \psi_B) \cdot L \cdot P_E$$

Facteur de pertes
par dépolarisation

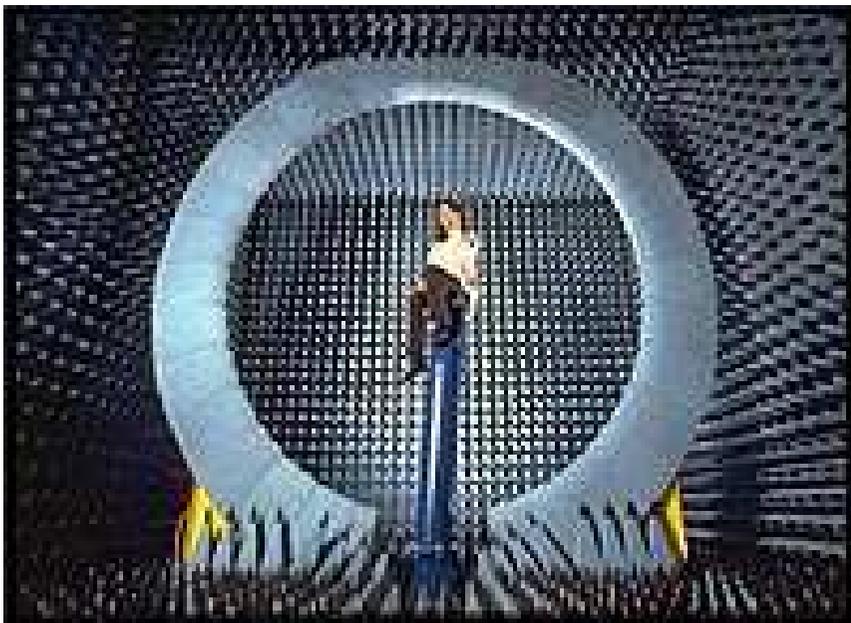
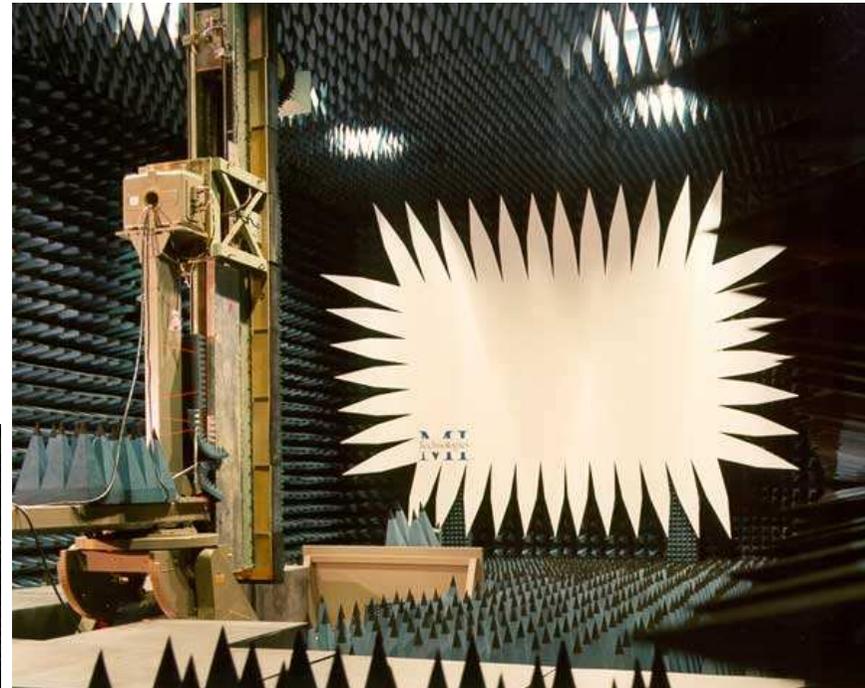
$$L = \frac{P_r}{P_{alignés}} = \left| \frac{\langle \vec{p}_A, \vec{p}_B \rangle}{|\vec{p}_A| \cdot |\vec{p}_B|} \right|^2$$

7- Mesures



Chambres de mesure

Chapitre 5



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

Chap 6 : Les antennes filaires

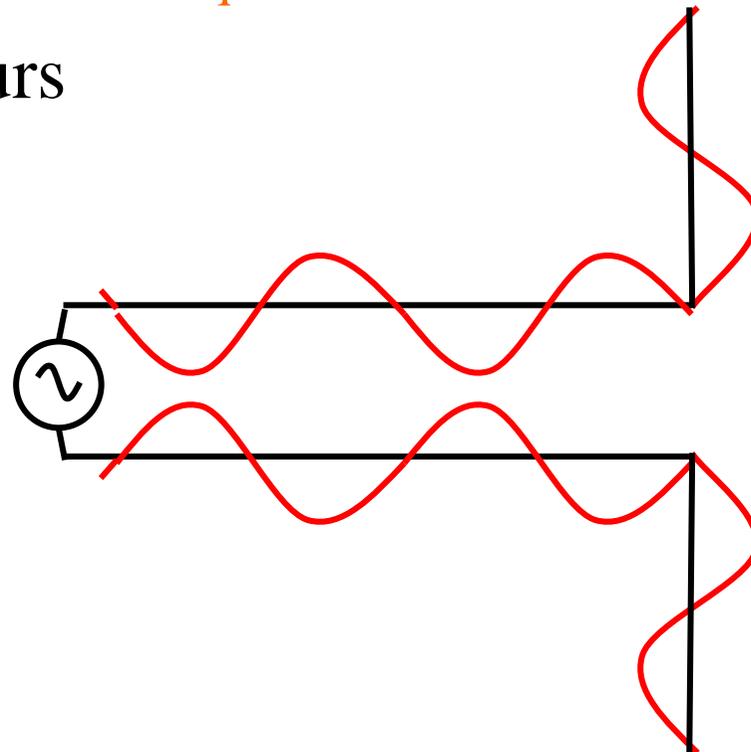
■ Caractérisation et propriétés

Par définition, la catégorie des antennes filaires regroupe l'ensemble des antennes formées d'une structure de câble conducteur de diamètre faible où l'on considérera des densités linéiques de courant.

■ Effets du sol et réflecteurs

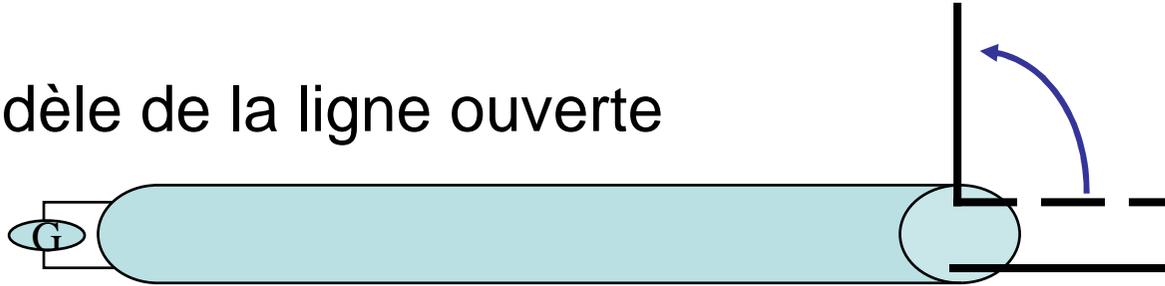
■ Quelques antennes type

- antenne fouet
- trombone
- antenne Yagi

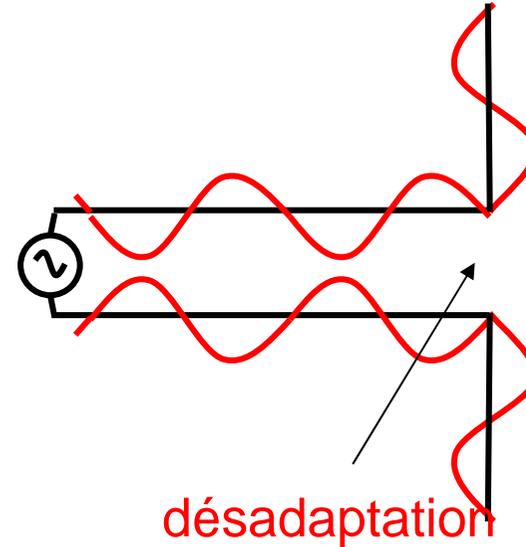


1- principes

- Modèle de la ligne ouverte



- Hypothèse de la répartition sinusoïdale
 - description....
 - L'antenne filaire est considérée comme un ensemble de petits éléments rayonnants de longueur dz

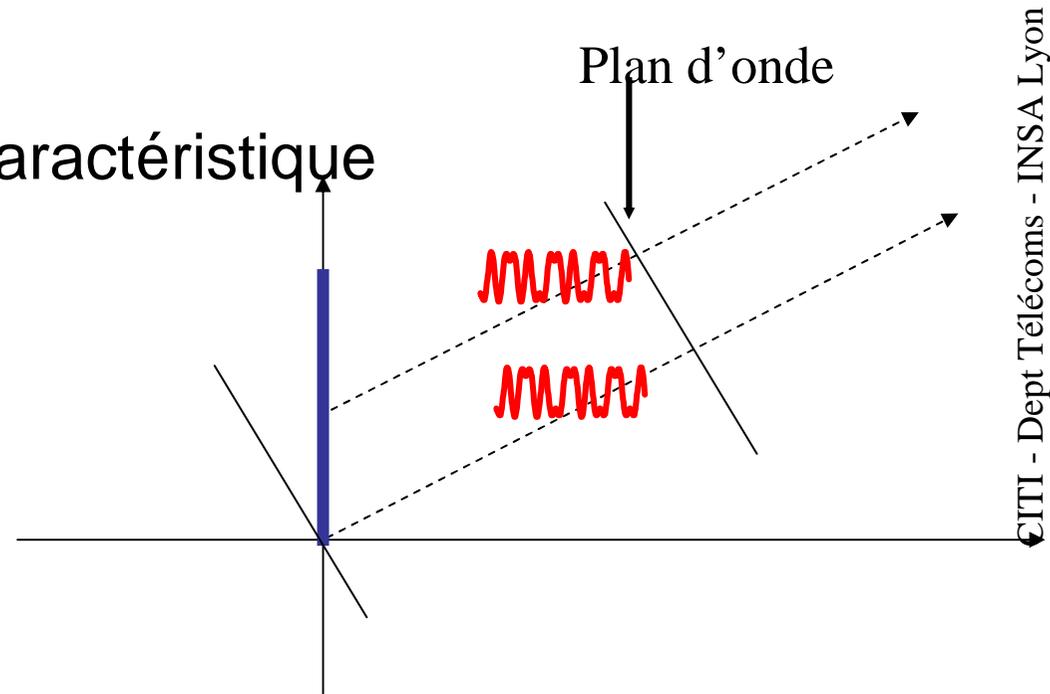
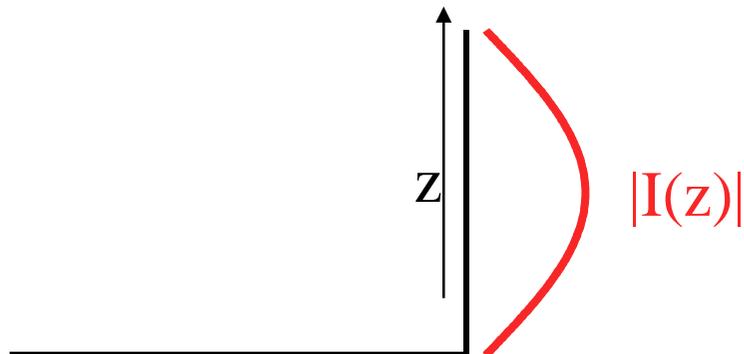


- Calcul approché en champ lointain :

$$r(z) = r - z \cdot \cos(\theta)$$

- Calcul de la fonction caractéristique

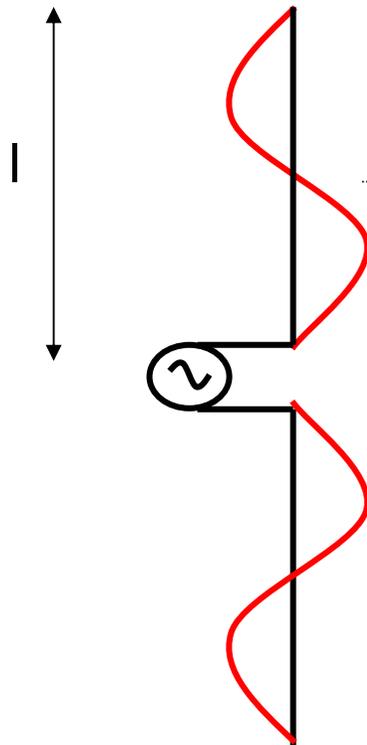
il suffit de connaître
la répartition du courant



$$E(r, \theta, \psi) = -\frac{j60\pi}{\lambda r} \sin \theta \cdot e^{j(\omega t - \beta r)} \int_0^1 I(z) e^{j\beta z \cos \theta} \cdot dz$$

2- le dipôle rayonnant

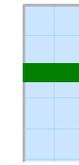
Le dipôle est une antenne filaire composé de deux brins conducteurs écartés en directions opposés. L'alimentation est le plus souvent présentée au centre de la structure ce qui donne un système symétrique.



Répartition de courant :

$$I(z) = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(l-z)\right)$$

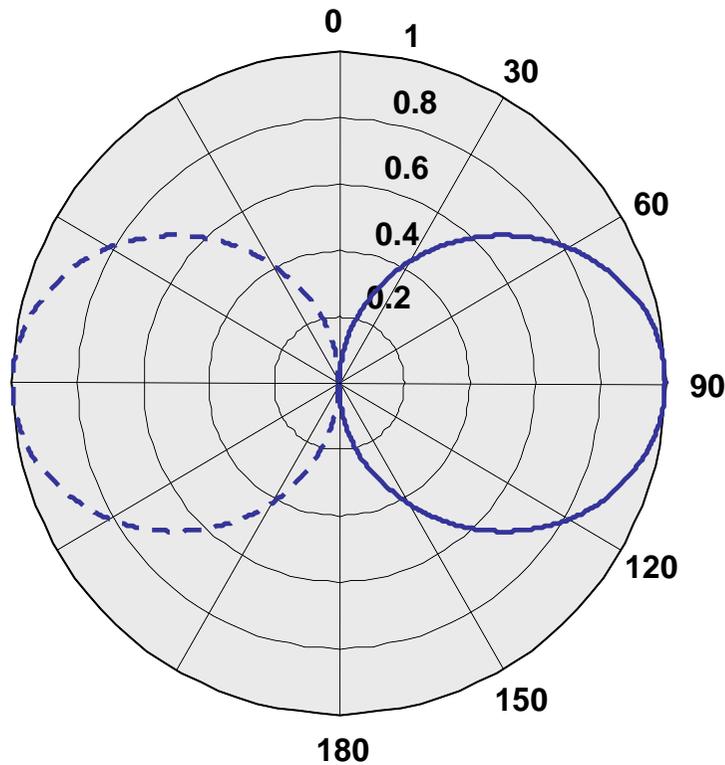
On peut calculer le champ rayonné comme la somme des contributions de doublets élémentaires parcourus par une intensité $I(z)$



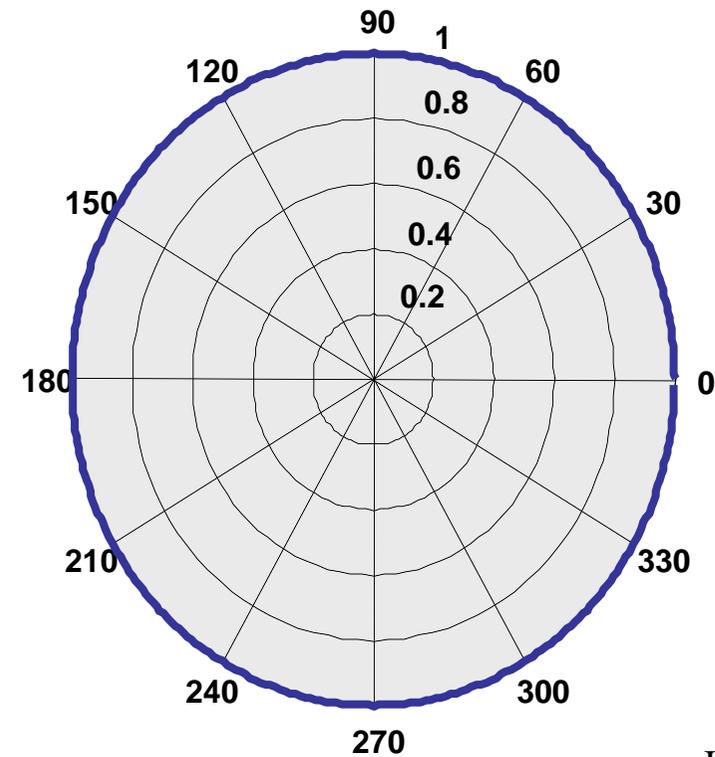
- Diagramme de rayonnement

$$F(\theta) = \frac{2\pi}{\lambda} |\sin \theta| \left| \int_0^l \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} (l-z) \right) \cos(\beta z \cos \theta) dz \right|$$

Plan E



Plan H

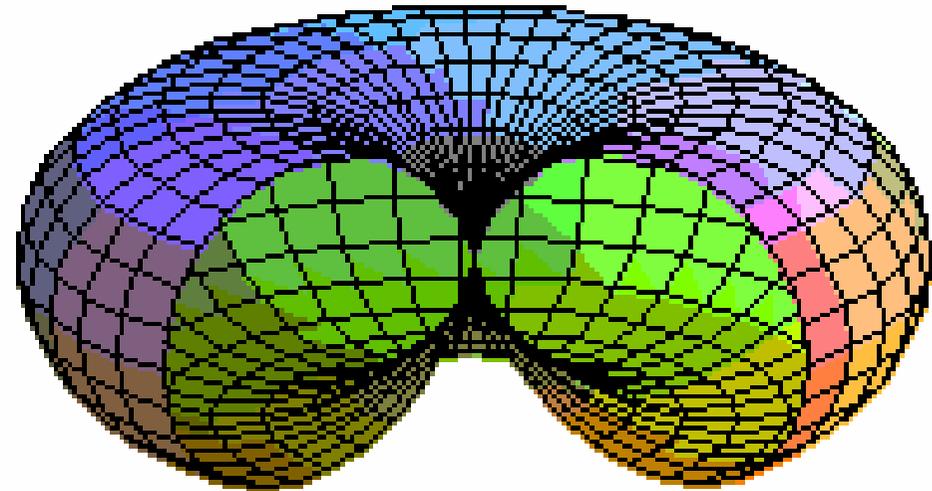
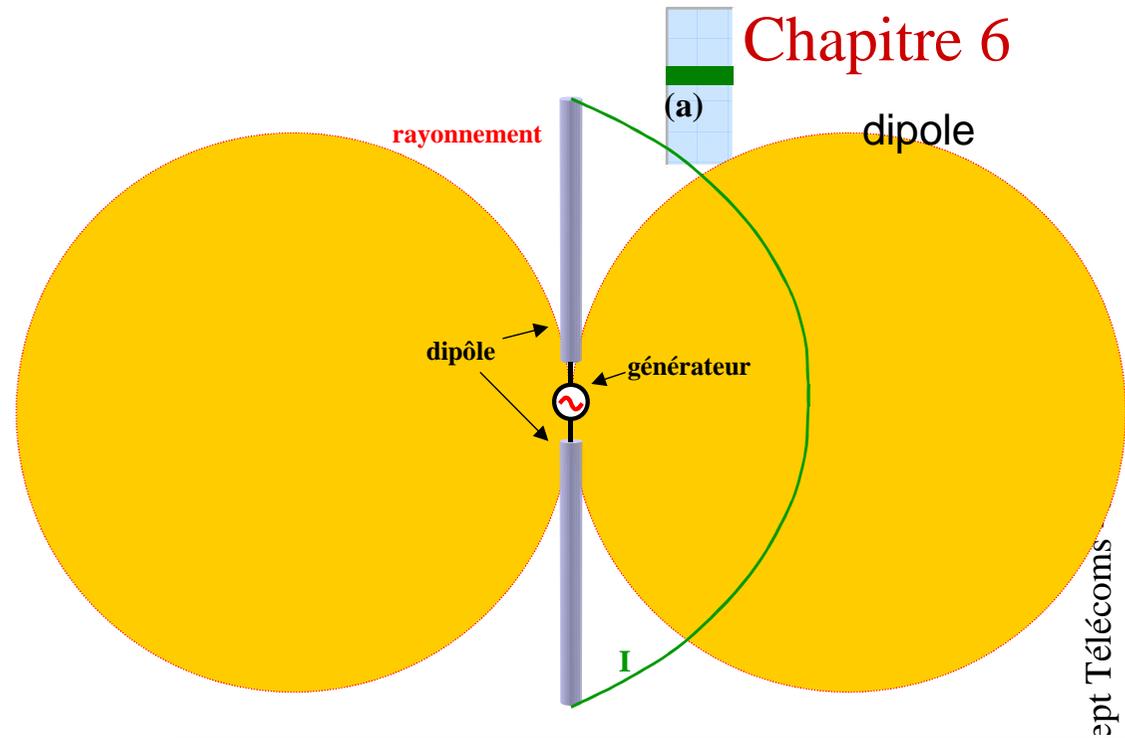


Le dipôle ½ onde

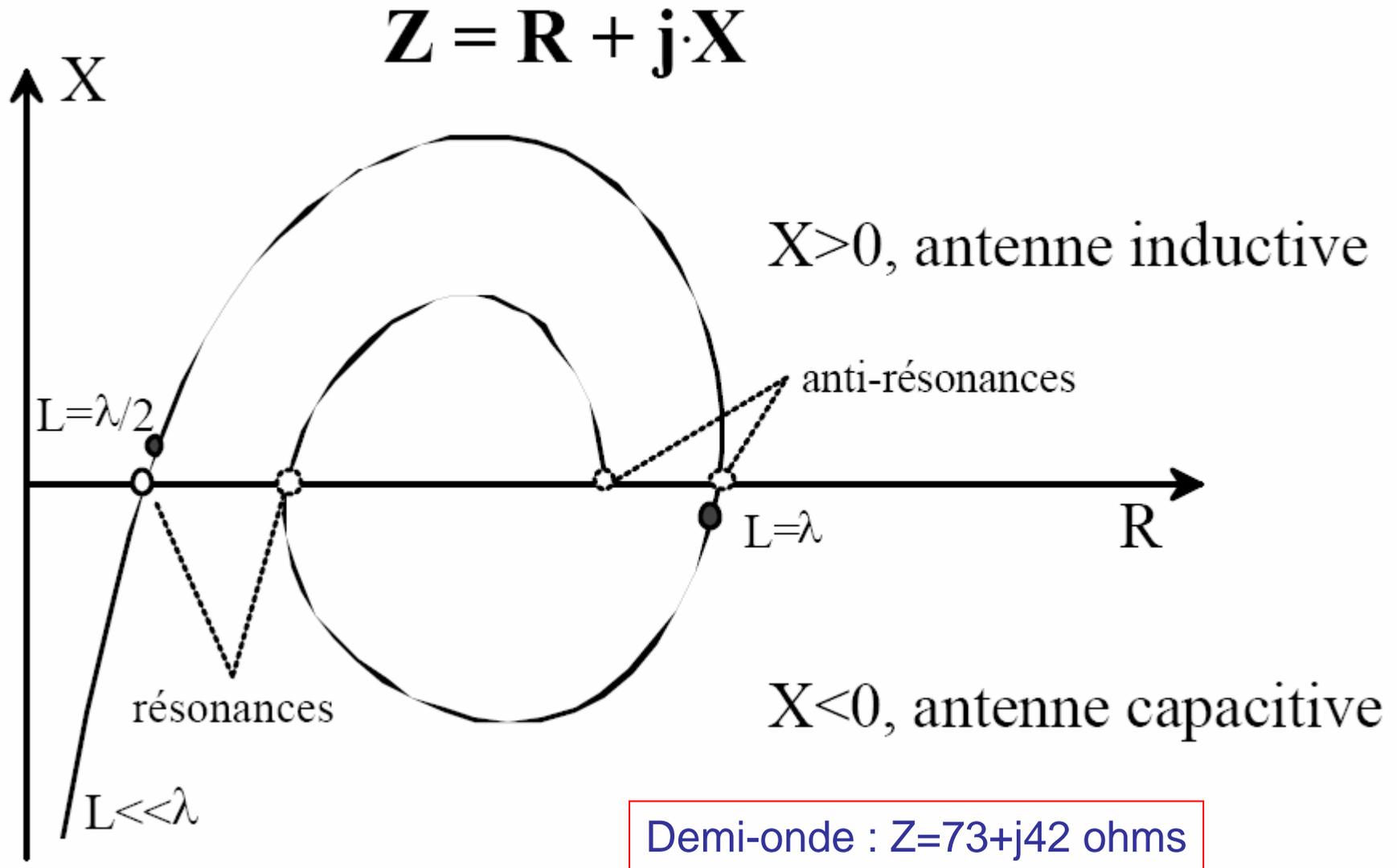
La forme la plus simple de dipôle résonant est une antenne de taille totale $\lambda/2$, autrement appelée dipôle demi-onde.

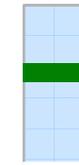
$$F(\theta) = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right|$$

La directivité max obtenue est de 1,64 soit 2,15 dBi ou 0 dBd



Impédance du dipôle

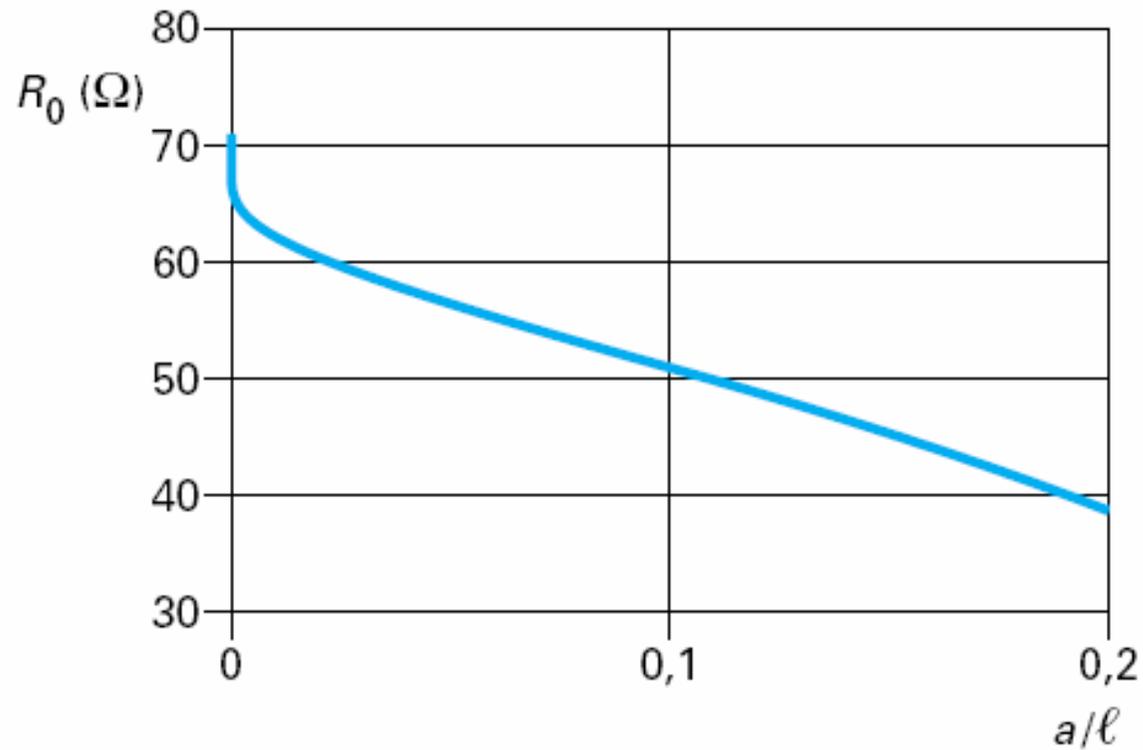




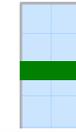
Chapitre 6

dipole

Pour adapter un dipôle, on joue sur le diamètre des conducteurs
(a) par rapport à la longueur des brins (l).

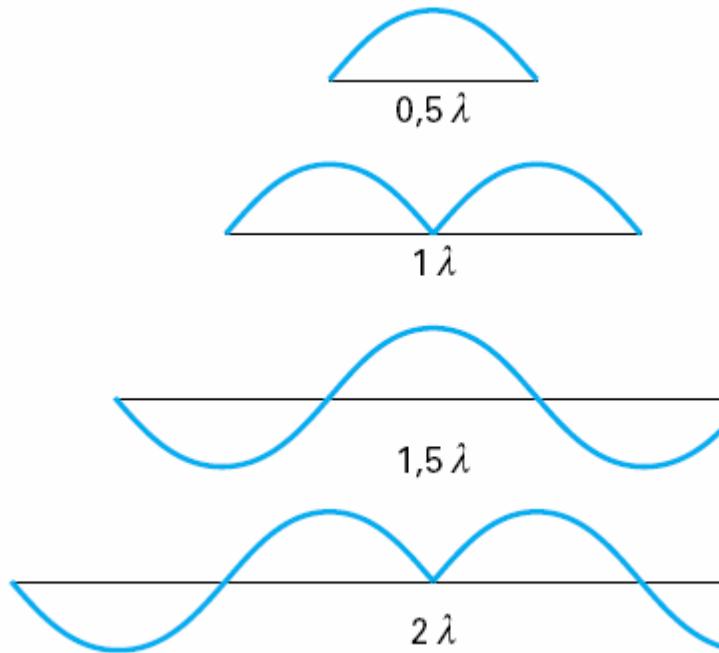


Et la taille



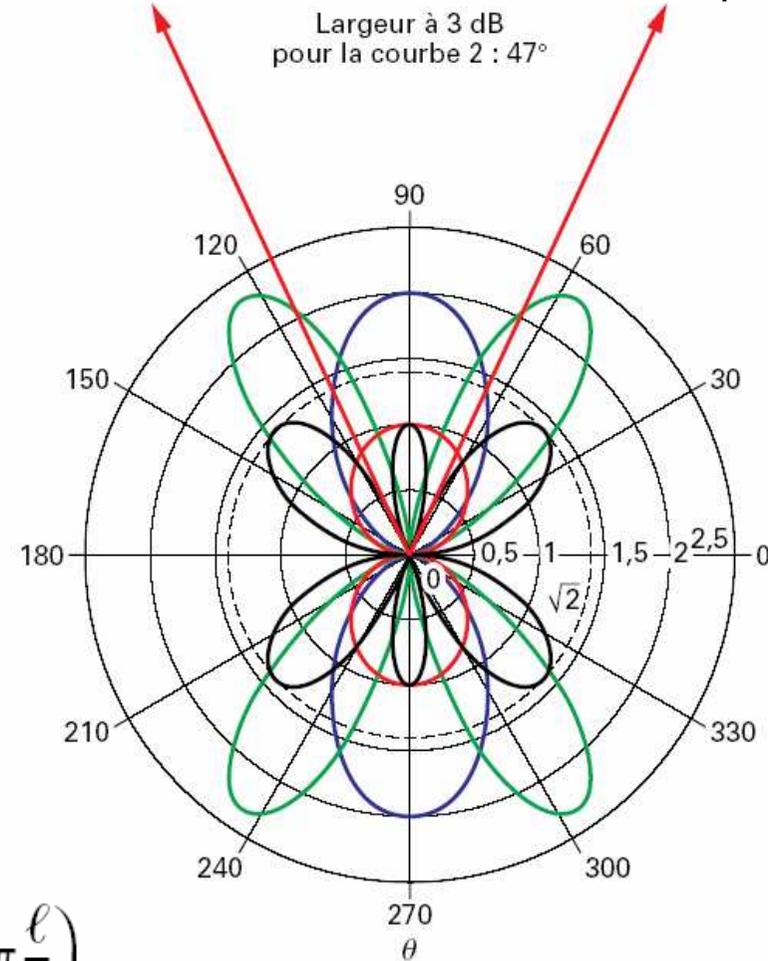
Chapitre 6

dipole



Fonction caractéristique générale

$$f\left(\theta, \frac{\ell}{\lambda}\right) = \frac{\cos\left(2\pi\frac{\ell}{\lambda}\cos\theta\right) - \cos\left(2\pi\frac{\ell}{\lambda}\right)}{\sin\theta}$$

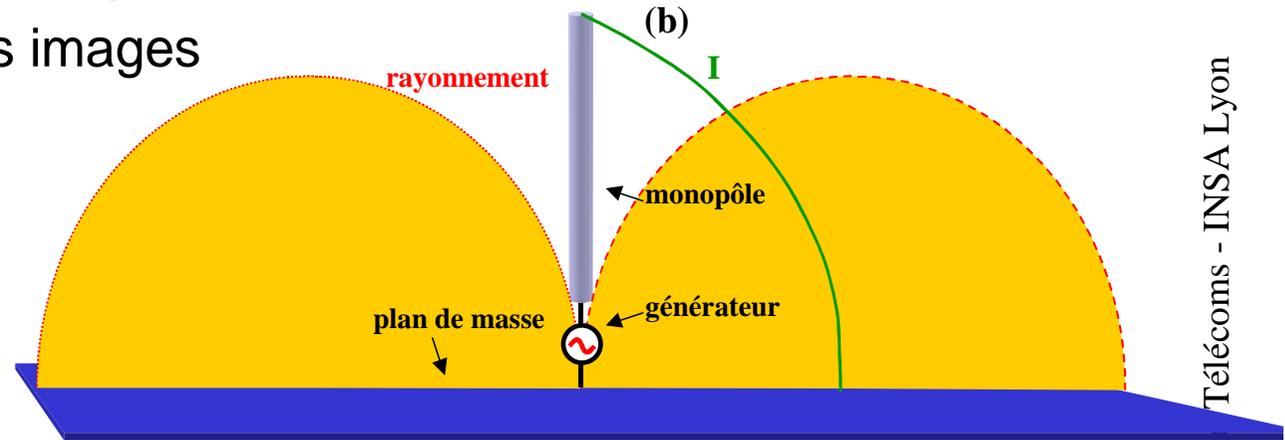


- courbe 1 ($\ell = 0,25 \lambda$)
- courbe 2 ($\ell = 0,5 \lambda$)
- courbe 3 ($\ell = 0,75 \lambda$)
- courbe 4 ($\ell = \lambda$)

Largeur à 3 dB pour la courbe 2 : 47°

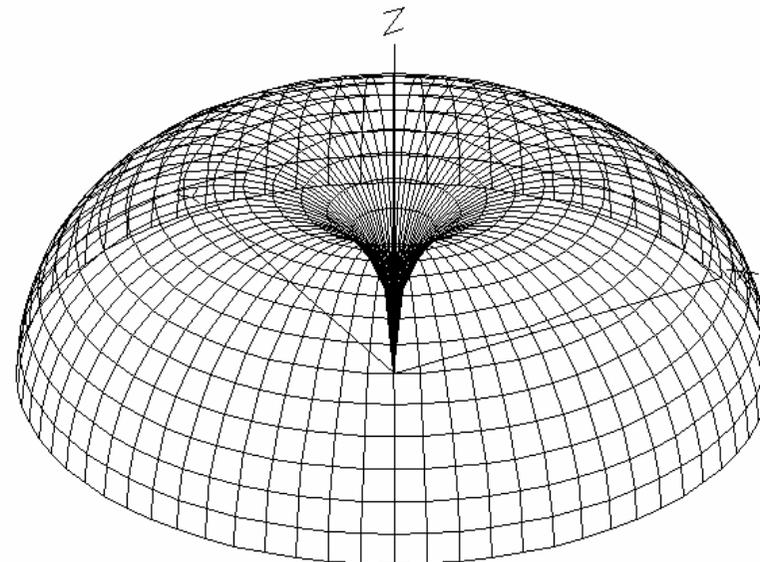
3- le monopole

- Généré avec un plan de masse.
 - Principe des images

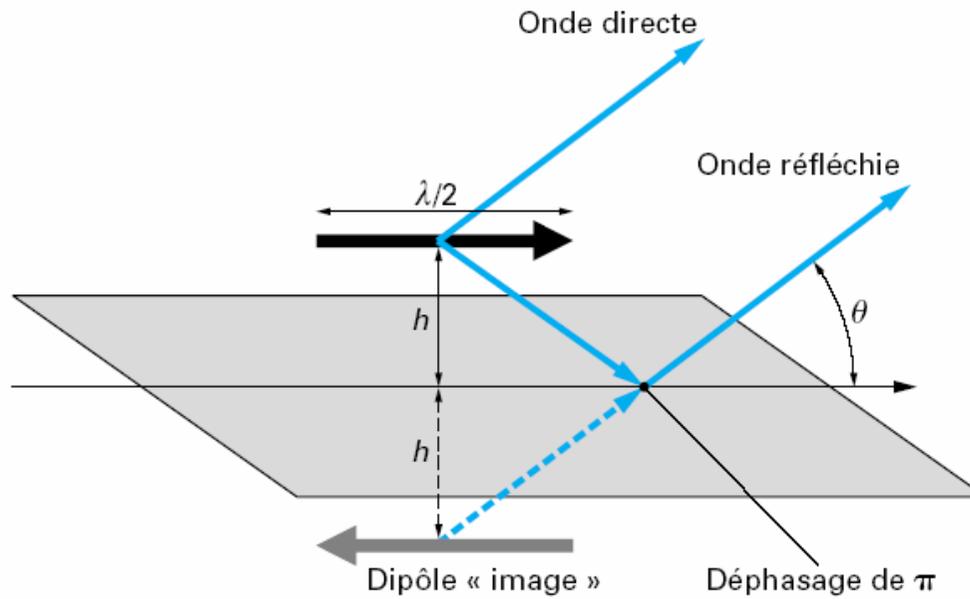


- Gain supérieur de 3dB

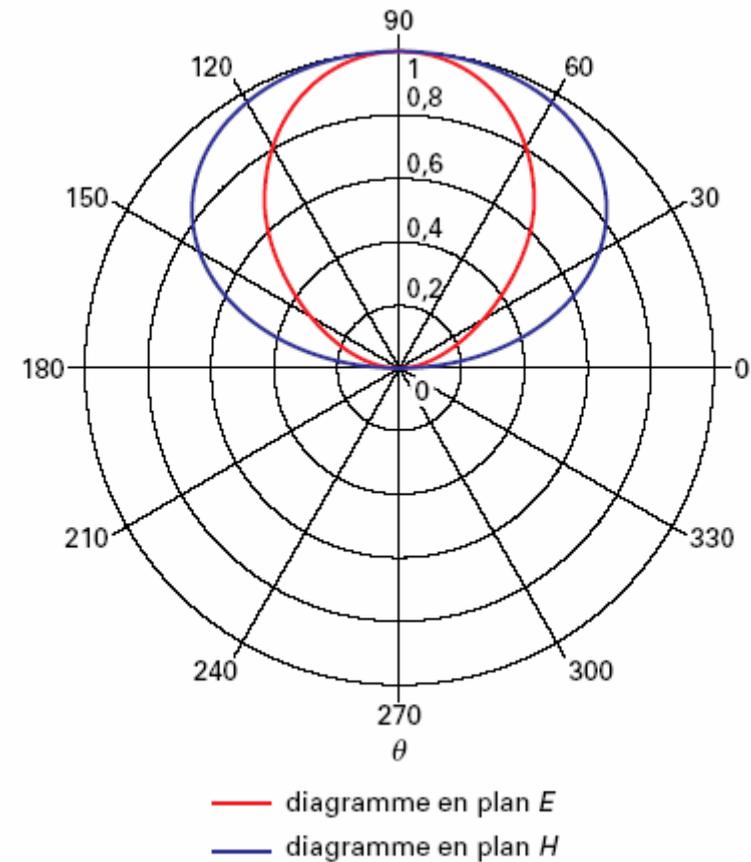
Quart d'onde : $Z=36,5+j21$ ohms



4- le plan réflecteur

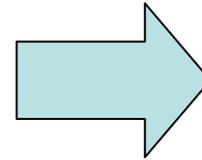


$$f(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \sin\left(2\frac{\pi}{\lambda} h \cos \theta\right)$$

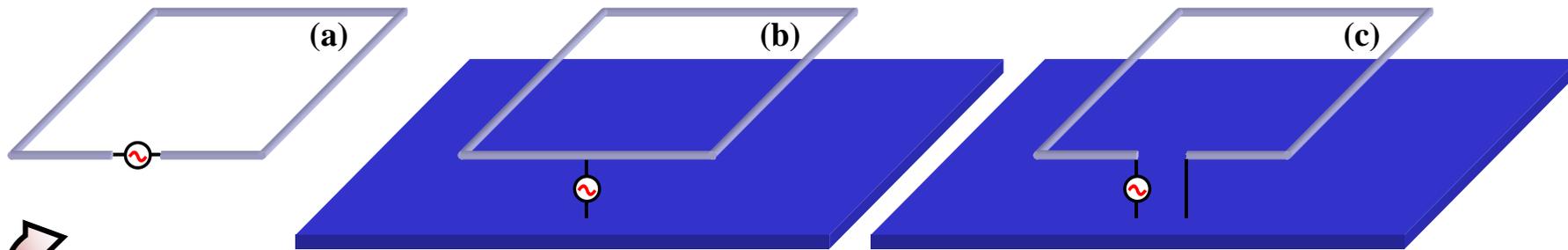


5- autres antennes...

- Dipole replié
- Éléments parasites



Cf. Cours
de Guillaume



Antenne boucle résonante

Antenne hélice

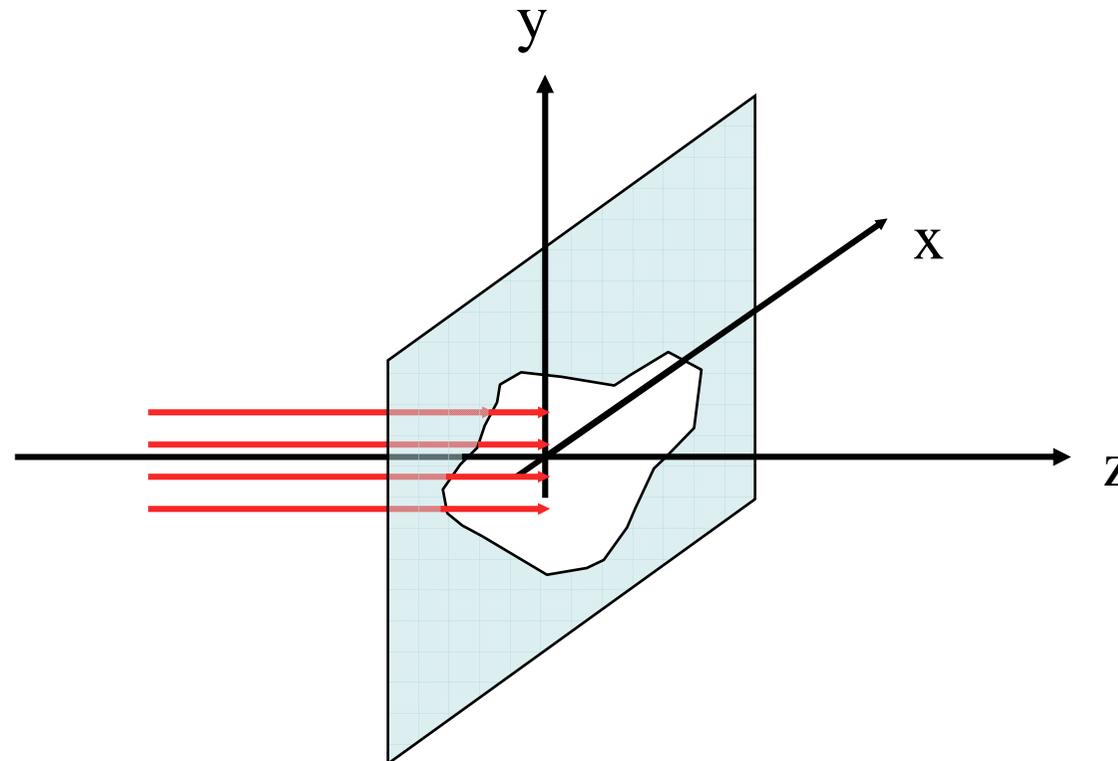


Chap 7. Autres types d'antennes

- Antennes à ouverture rayonnante
- Antennes à réflecteurs (parabole....)
- Antennes à éléments imprimés

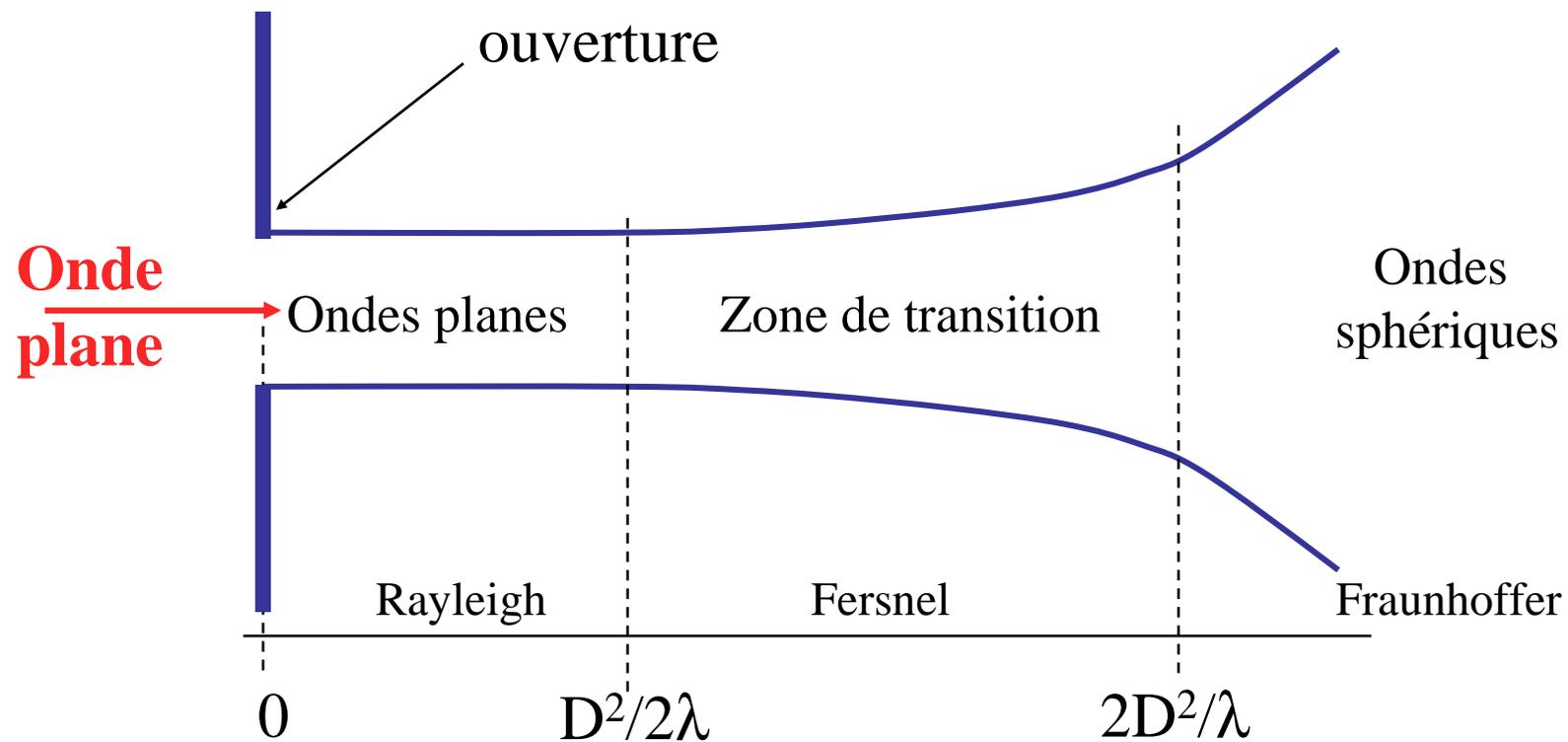
1- ouvertures

- L'ouverture rayonnante est caractérisée par une ouverture dans une surface séparant 2 milieux, sur laquelle arrive une onde.





- On distingue 3 zones de rayonnement pour une ouverture.





- Rayonnement en champ lointain
 - comme pour les antennes filaires, on cherche à caractériser le rayonnement en champ lointain
 - le principe d 'Huygens permet de calculer le rayonnement comme la somme des contributions de chaque élément de surface de l 'ouverture rayonnante (approximation)

$$\underline{E}(P) = je^{-jkR} \cdot \frac{1 + \cos \theta}{2\lambda R} \iint_A \underline{E}(x, y) \cdot e^{jk \sin \theta [x \cos \varphi + y \sin \varphi]} dx dy$$



- Exemple : cas d'une ouverture équiphase et équiampitude (onde plane)

$$\underline{E}(P) = j e^{-jkR} \cdot \frac{1 + \cos \theta}{2\lambda R} E_0 \iint_A e^{jk \sin \theta [x \cos \varphi + y \sin \varphi]} dx dy$$

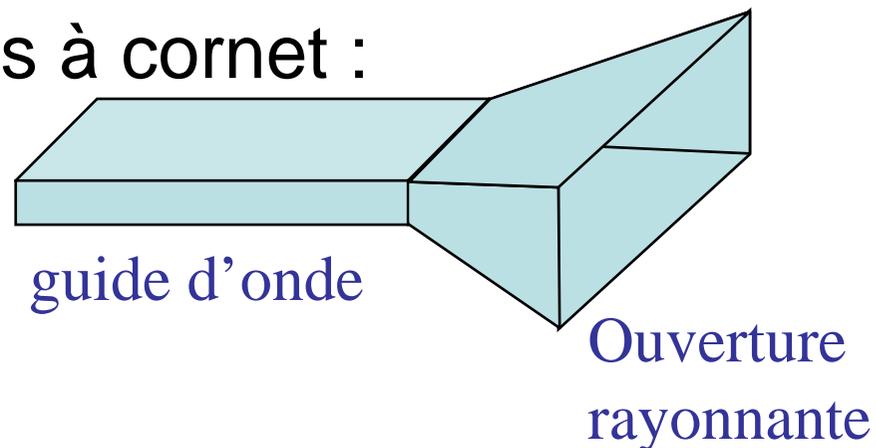
$$F(\theta, \varphi) = \frac{1 + \cos \theta}{2} \cdot \text{sinc } u_1 \cdot \text{sinc } u_2$$

$$u_1 = \frac{a}{\lambda} \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi$$

$$u_2 = \frac{b}{\lambda} \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi$$



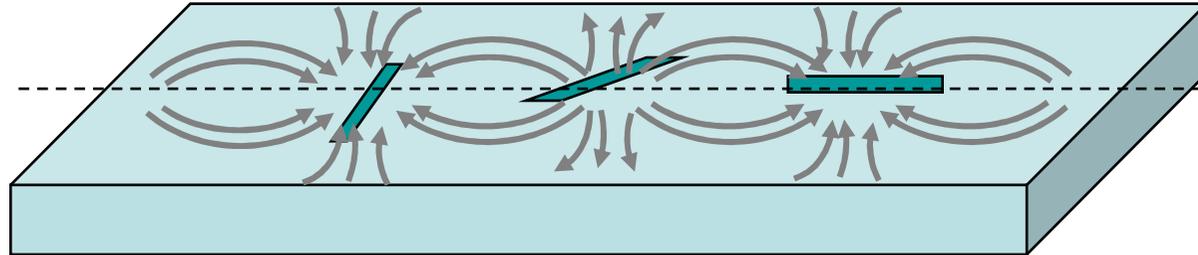
- Applications
 - antennes à forte focalisation (présence de lobes secondaires), à forte puissance, utilisées pour les communications spatiales.
 - Antennes à cornet :



2- guide d'ondes à fentes



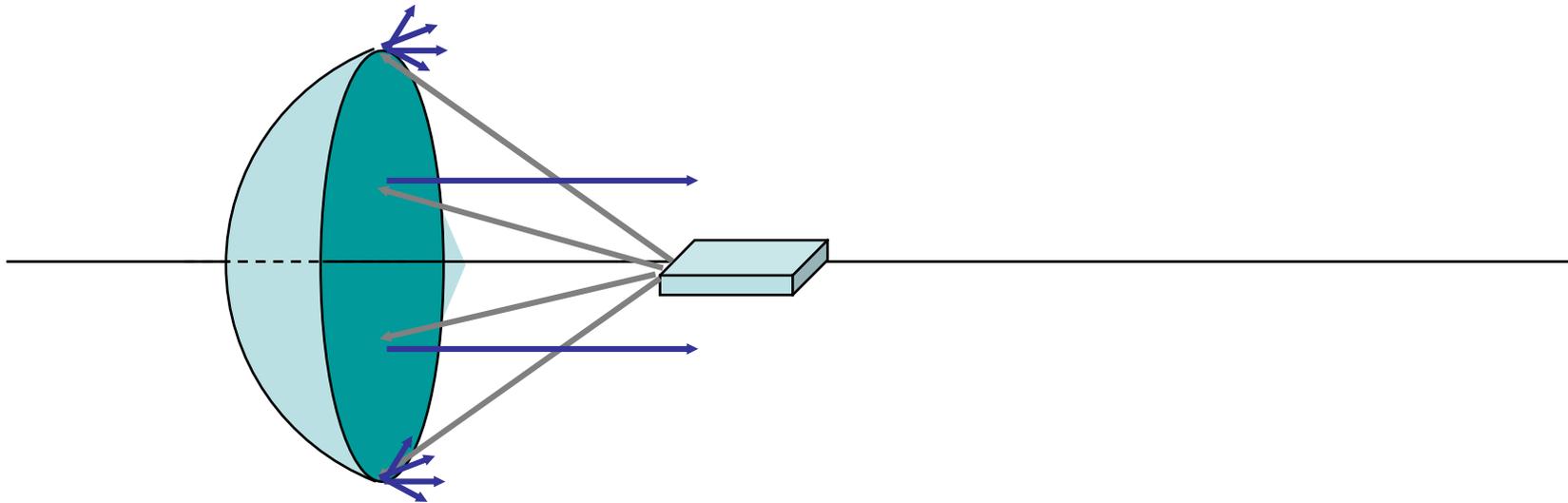
- présence de trous ou fente sur un guide d'onde



- Principes
 - chaque fente constitue une source, alimentée par les courants induits à la surface du guide d'onde.
 - Le choix approprié d'un ensemble de fente permet de réaliser des antennes à polarisation circulaire, ou polarisation croisée, ou encore un rayonnement spécifique.
- Applications
 - Très bonne intégration (éléments embarqués)
 - Antennes fonctionnant à très haute fréquences (>GHz)
 - Très intéressant pour la mise en œuvre d'antennes réseau (ou groupement)

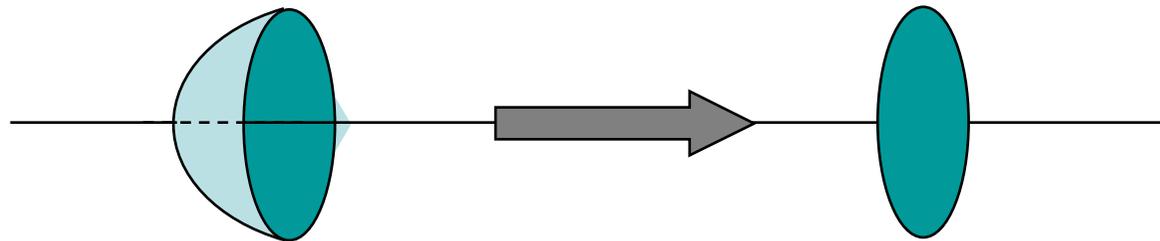
3- antenne à réflecteurs

- C'est l'antenne parabolique, utilisée en télécommunications :
 - faisceaux hertziens (4 à 12 GHz)
 - stations terrestres pour les télécommunications spatiales
 - antennes de satellites
- Caractéristiques
 - angle d'ouverture à 3dB $< 1^\circ$
 - très bon gain : 40 à 50 dB





- Ouverture équivalente



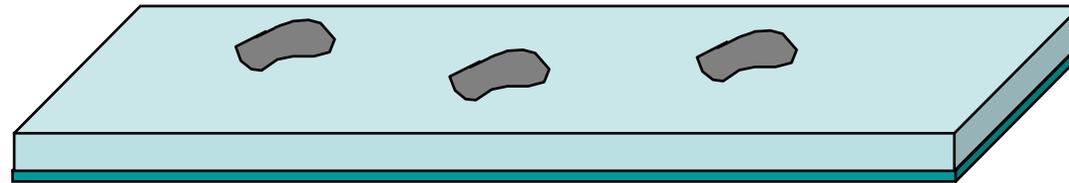
Attention, la loi d'éclairement dépend de la loi d'éclairement de la source

- Evolutions

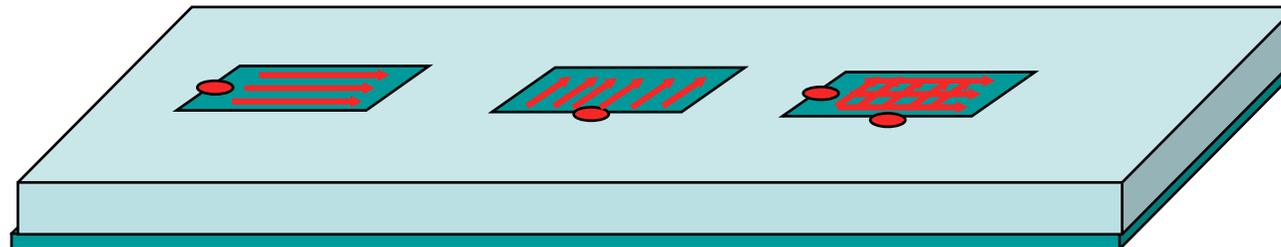
- antenne périscopique pour faisceau hertzien
- antenne Cassegrain (doubles réflecteurs)
- antennes multi-bandes
- antennes multi-faisceaux
 - rayonnement par faisceaux multiples (sources incohérentes)
 - rayonnement par faisceau conformé (sources cohérentes)

4- éléments imprimés

- Antenne constituée d'un plan de masse et d'un substrat diélectrique, portant un ou plusieurs patch (élément conducteur)



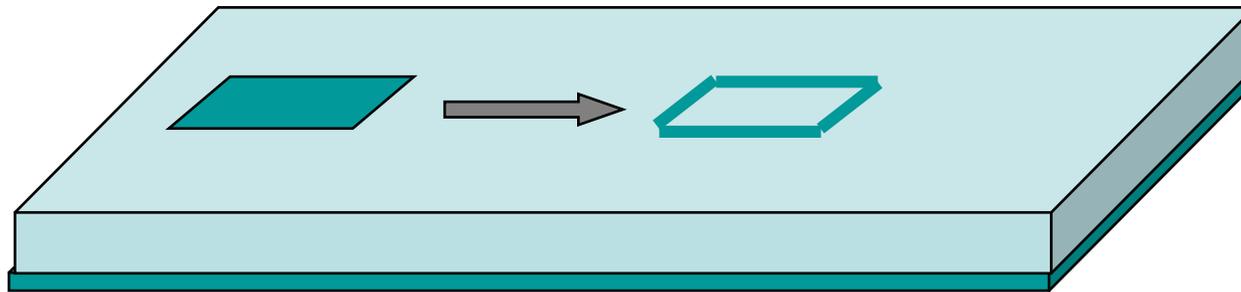
- Principe :
 - On détermine la polarisation et le rayonnement en fonction de la forme du patch et de son alimentation





- Principe de calcul

- un patch rayonne comme les 4 fentes qui le délimitent :



- Applications

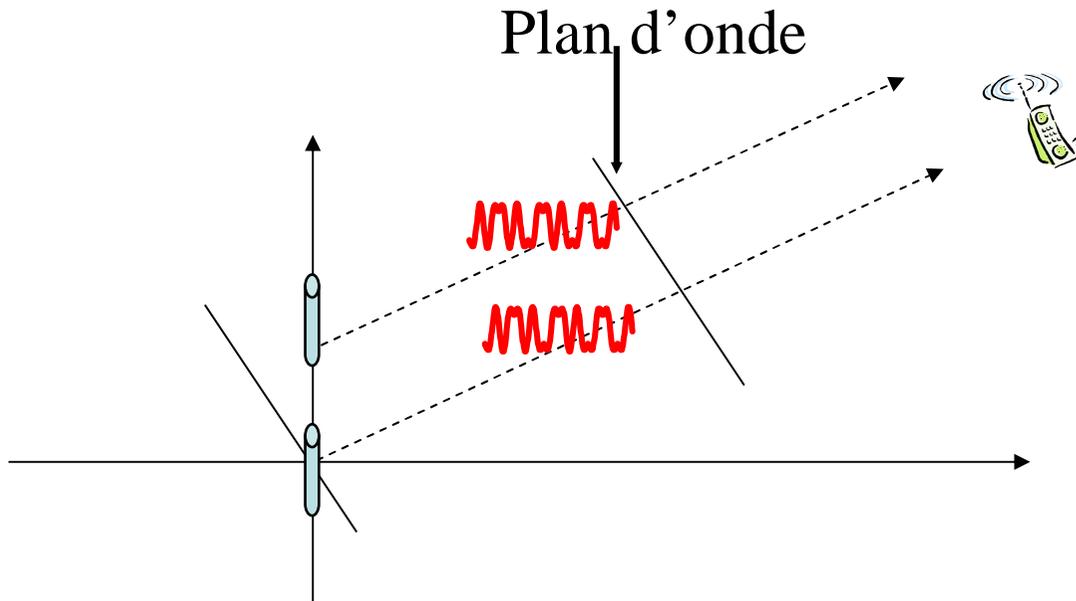
- antennes à faible encombrement et faible masse
- structure planaire (intégration)
- peuvent être plaquées sur des véhicules ou missiles
- mise en réseau facile



Chap-8. Groupements d'antennes

- Groupement d'antennes
 - superposition des champs
 - facteur de regroupement
- Interactions entre antennes
 - impédances mutuelles
- Antennes intelligentes
 - principes

1- groupement d'antennes



Facteur de regroupement

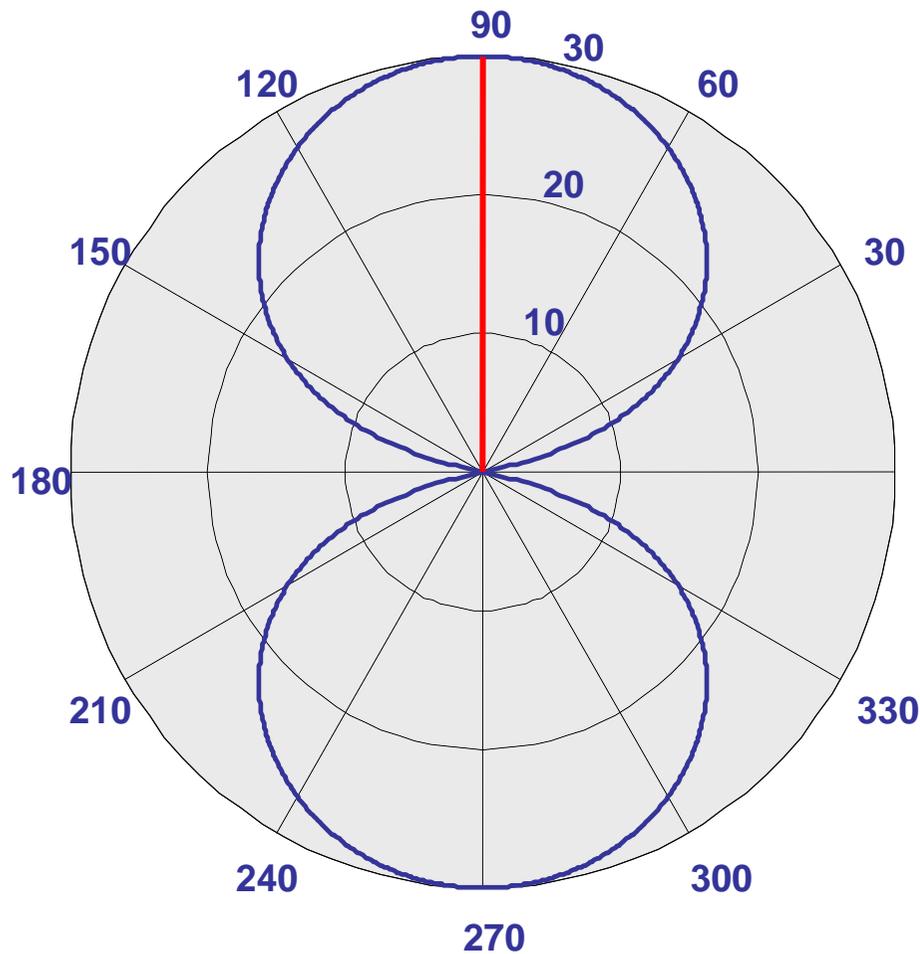
Pour un alignement d'antennes identiques, on peut déterminer le facteur de regroupement :

$$F_G(\theta, \psi) = F(\theta, \psi) \cdot R(\theta, \psi)$$

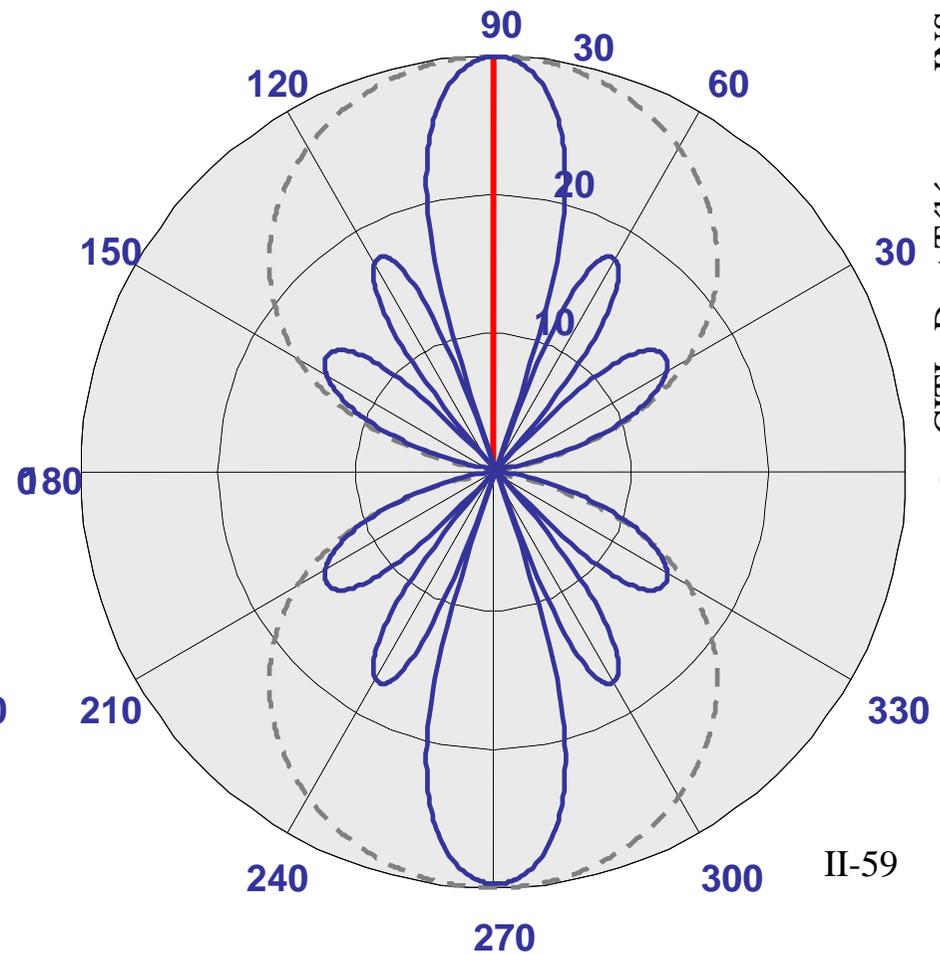
Démonstration ...

- Focalisation par réseau d'antennes

Avec 2 capteurs

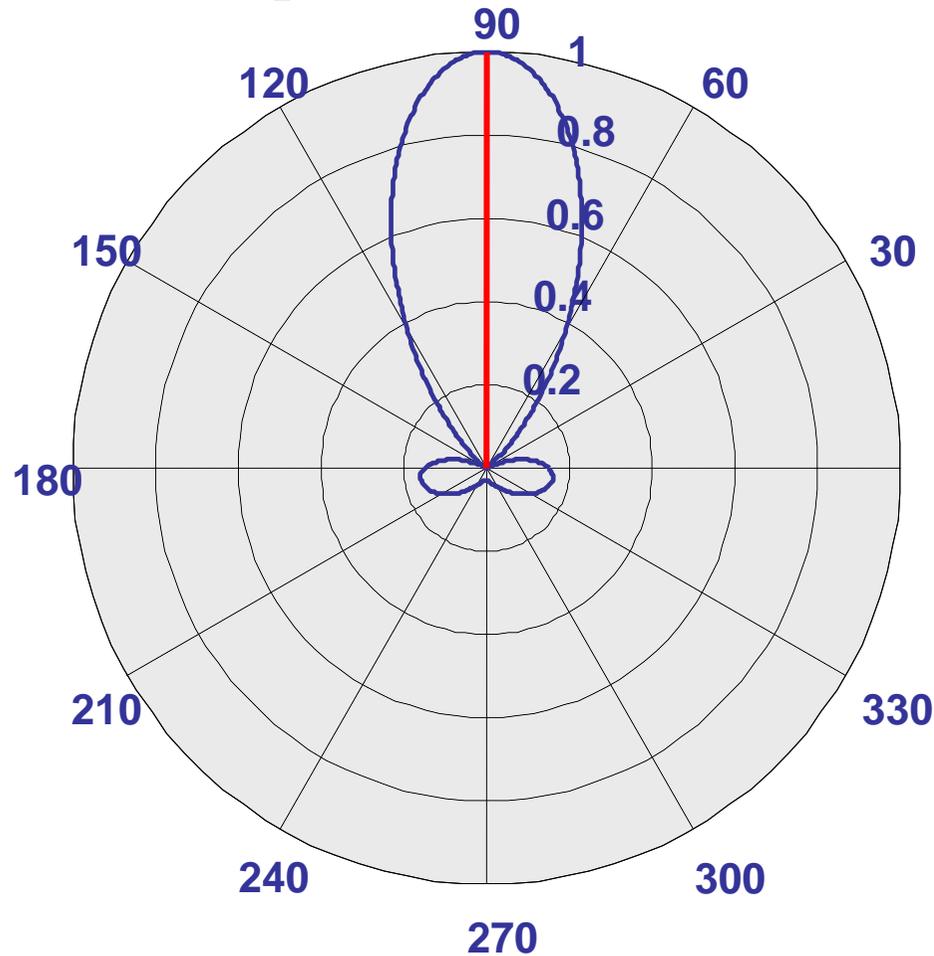


Avec 6 capteurs

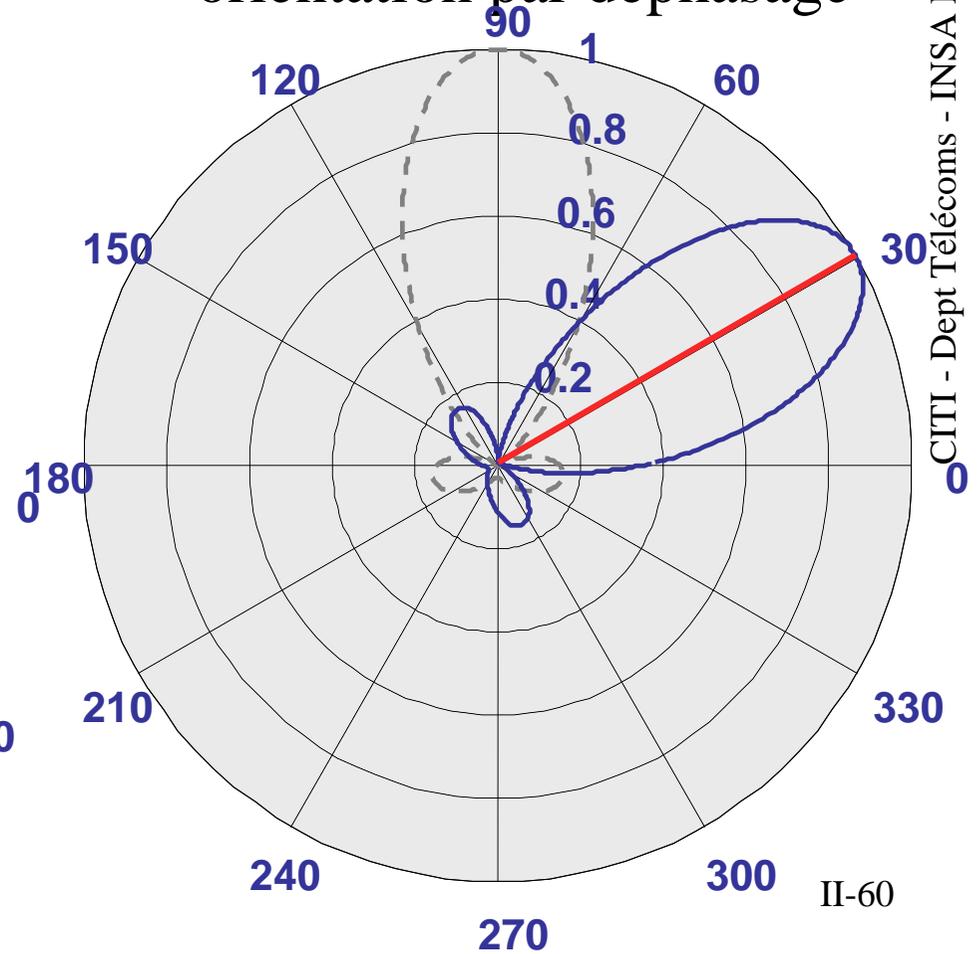


- Focalisation par réseau d'antennes

Avec 10 capteurs répartis sur un cercle



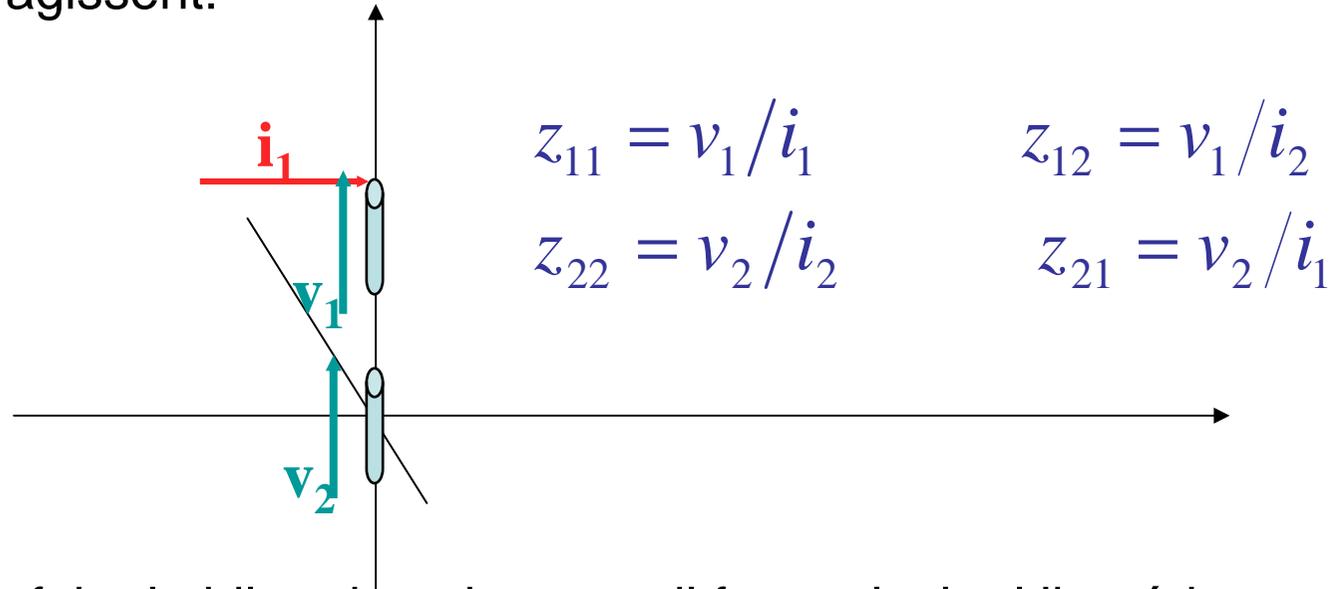
orientation par déphasage



2- couplage mutuel



- Dans un groupement d'antennes, les éléments interagissent:

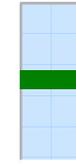


- Pour faire le bilan de puissance, il faut calculer l'impédance d'entrée équivalente de chaque antenne :

$$U_1 = z_{11} \cdot I_1 + z_{12} \cdot I_2; \quad I_2 = \alpha \cdot I_1 e^{j\phi}$$

$$Z_1 = z_{11} + z_{12} \cdot \alpha \cdot e^{j\phi}$$

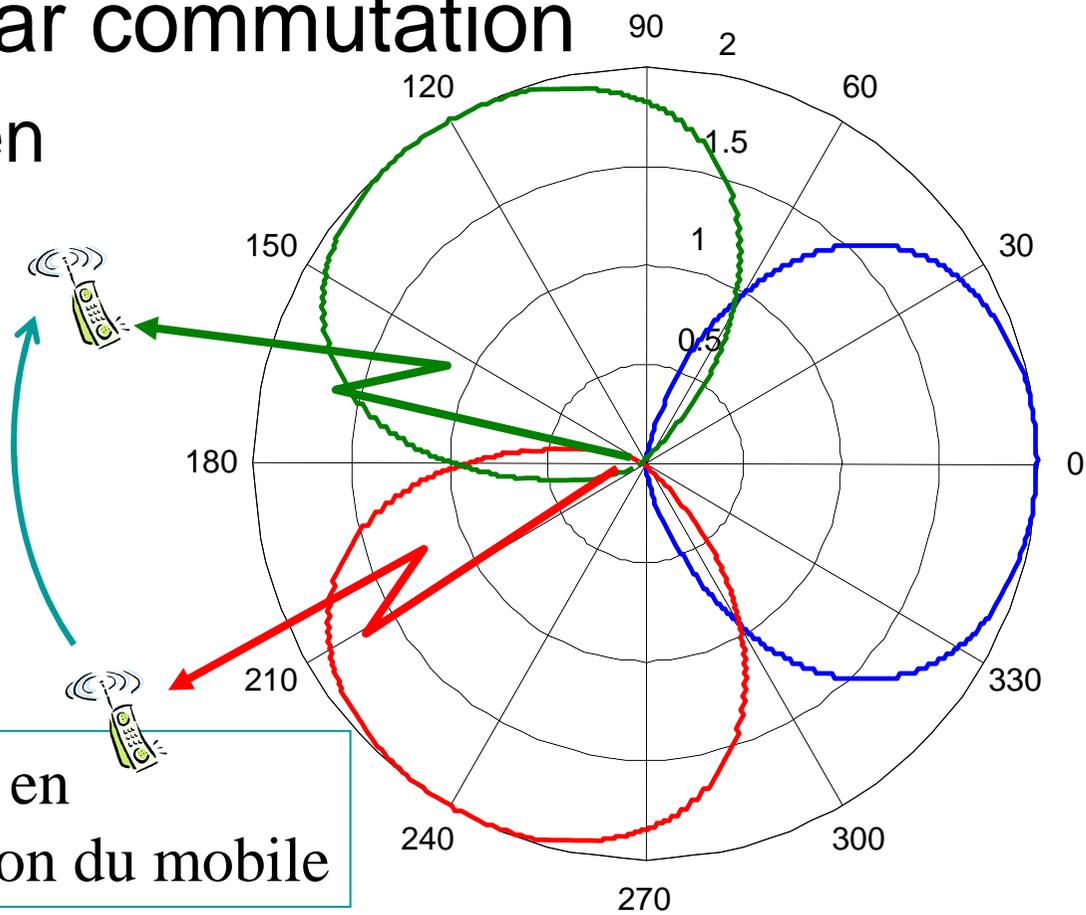
2- smart antennas



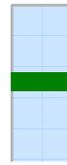
Chapitre 8

- Diversité par commutation ou par combinaison
- Principe de focalisation dynamique
 - antennes adaptatives à la réception
 - antennes adaptatives à l'émission
- Traitement de signal adapté
 - traitement d'antennes

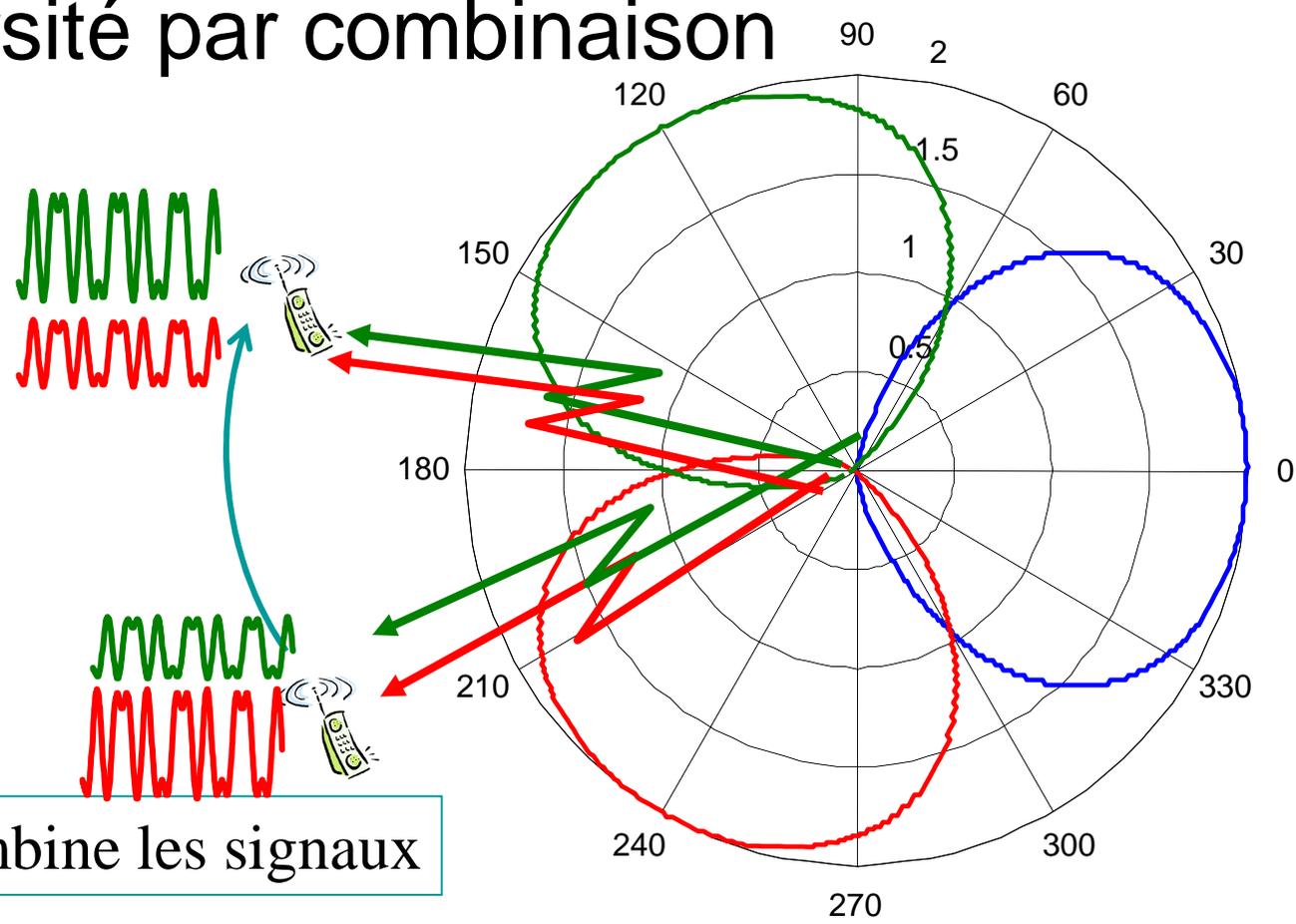
- Diversité par commutation
– tout ou rien



On choisi 1 antenne en fonction de la position du mobile



- Diversité par combinaison



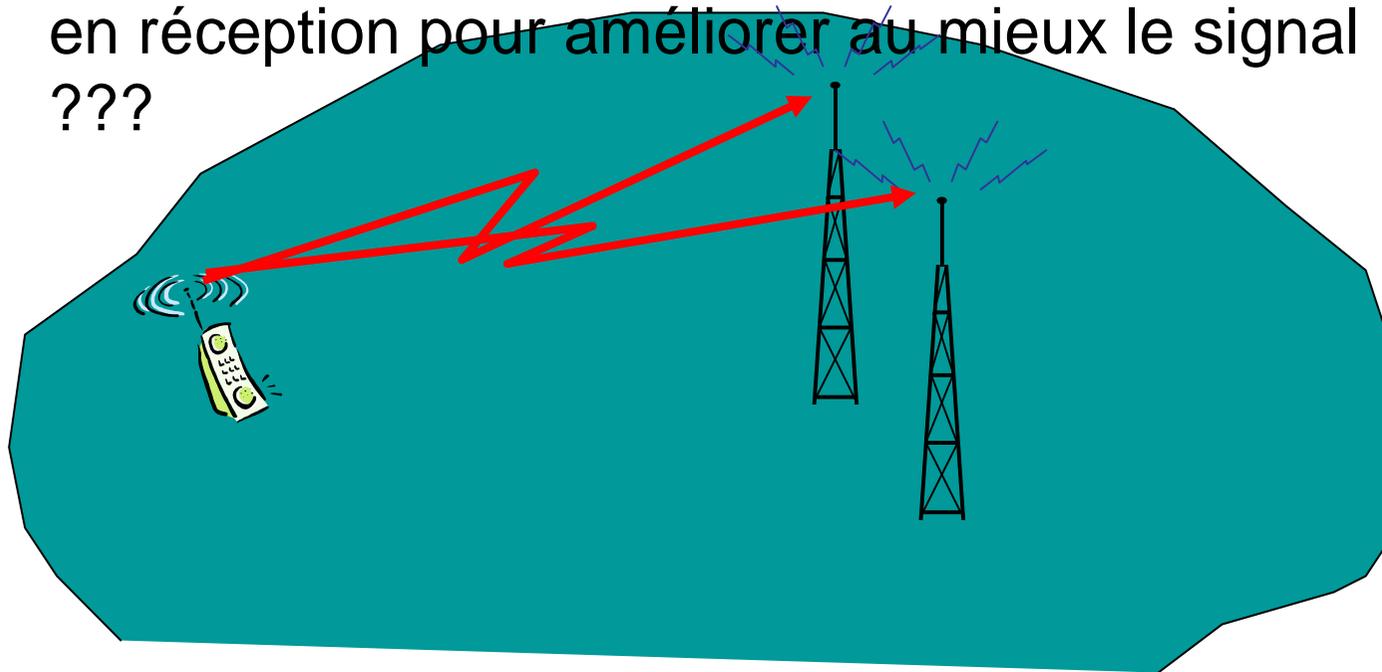
On combine les signaux



- Intérêt :
 - Eviter le problème des zones latérales
 - optimisation de la puissance émise dans les zones latérales.
 - Réduction des interférences
 - diminution du niveau d'interférences inter-cellules
 - diminution des interférences entre utilisateurs de la même cellule (augmente la décorrélation des voix multiplexées par codes).

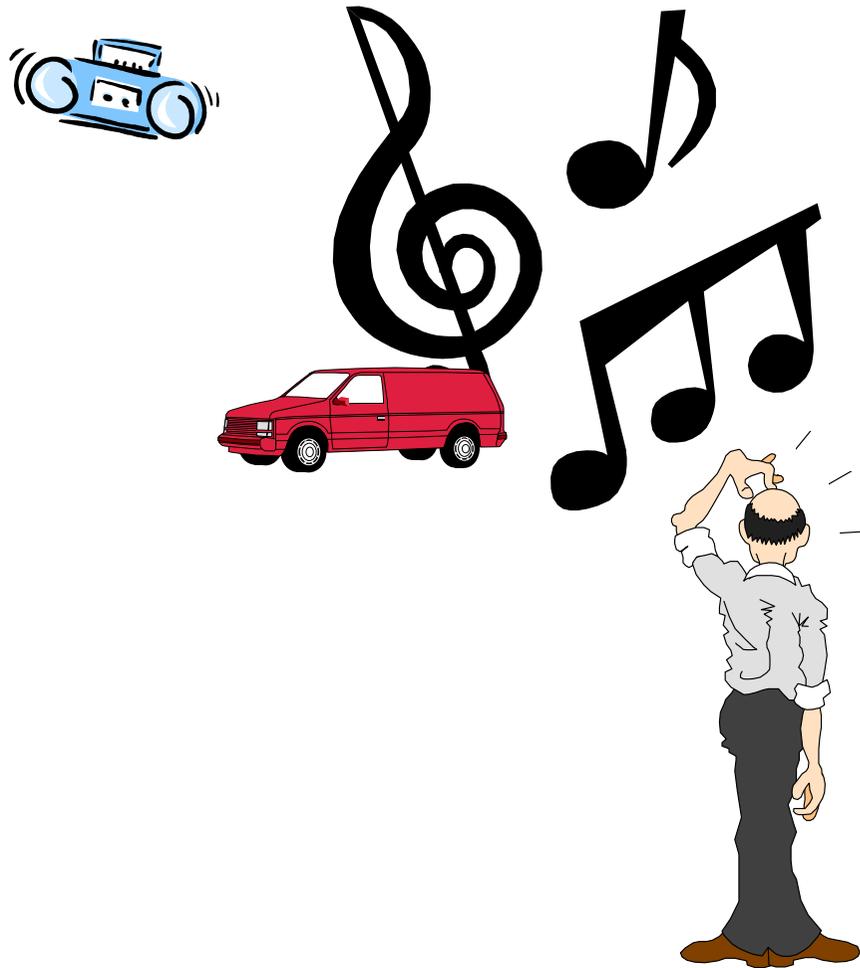
- Problématique des antennes adaptatives

- Comment peut-on combiner plusieurs antennes en réception pour améliorer au mieux le signal ???





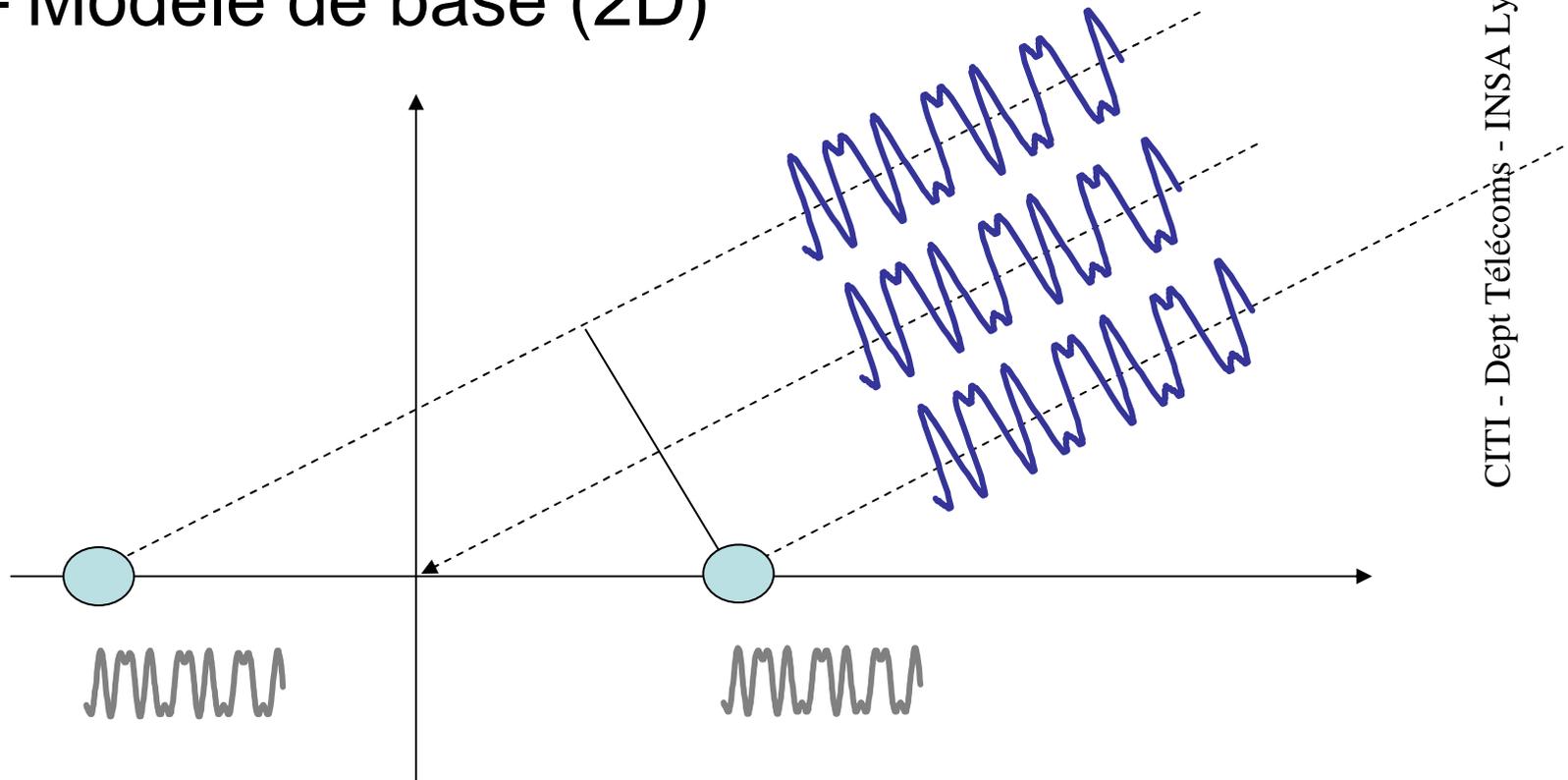
Chapitre 8



Analogie



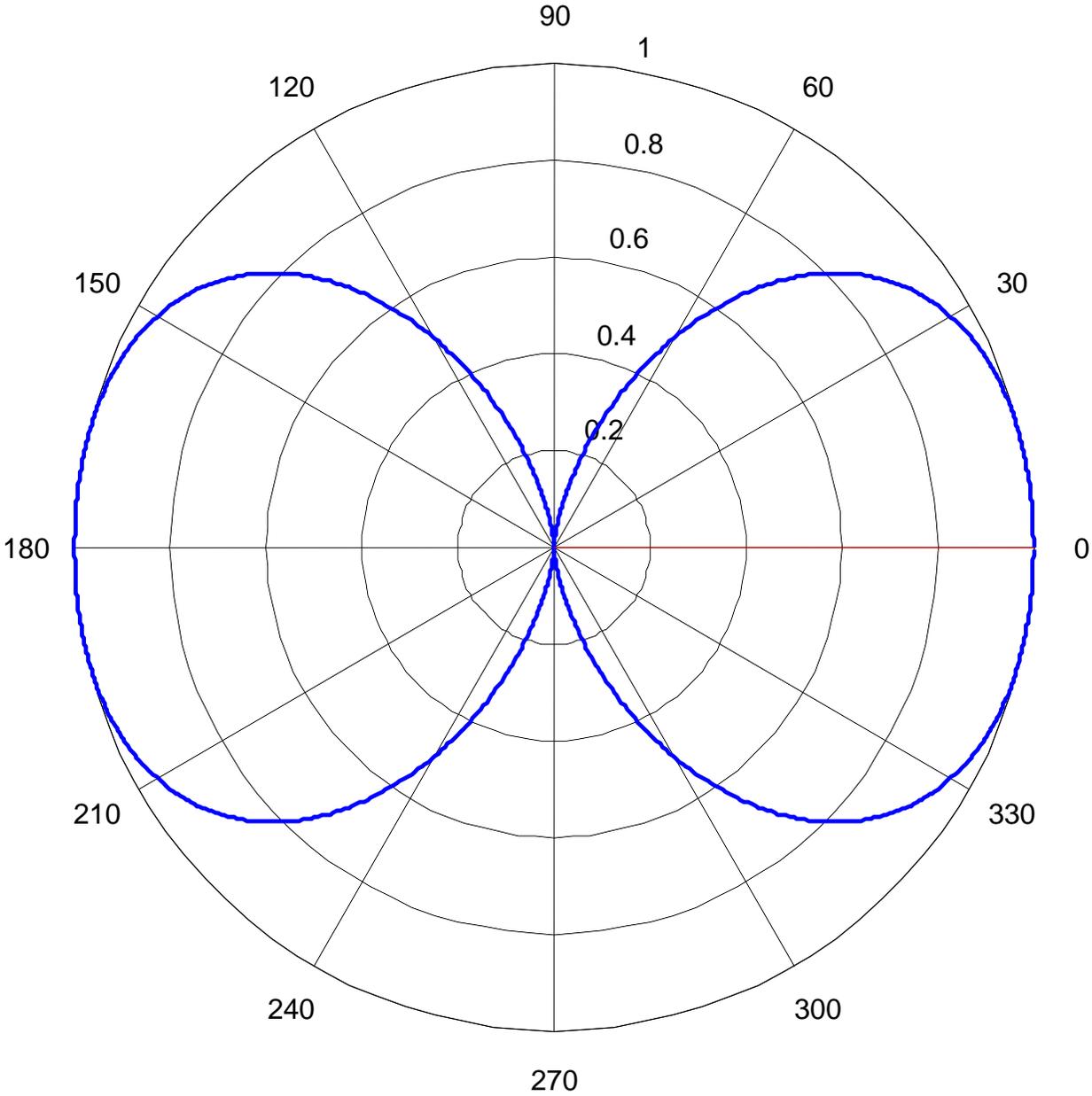
– Modèle de base (2D)



Deux signaux reçus, décalés (déphasés)

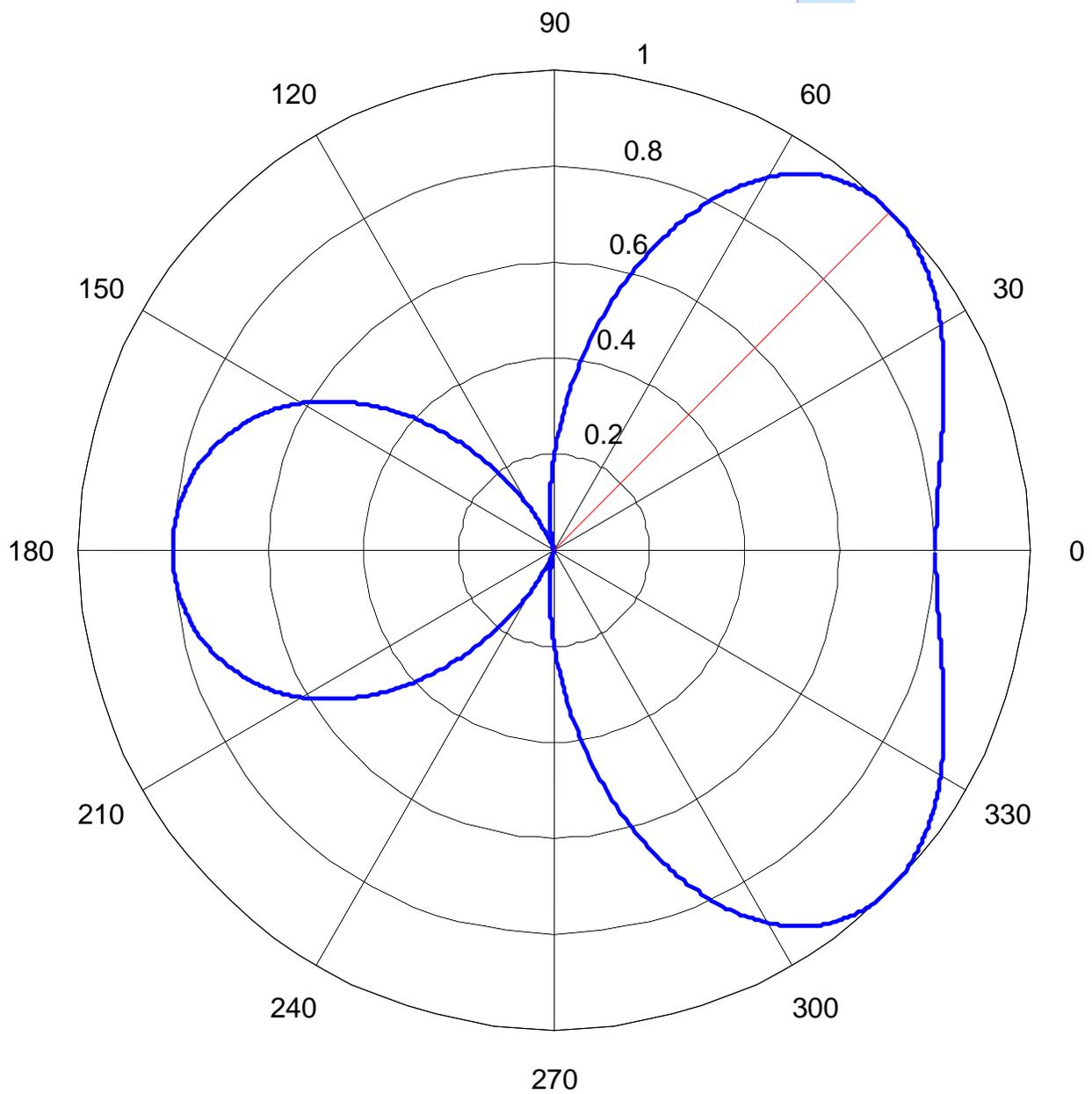


$$\Psi_0 = 0$$



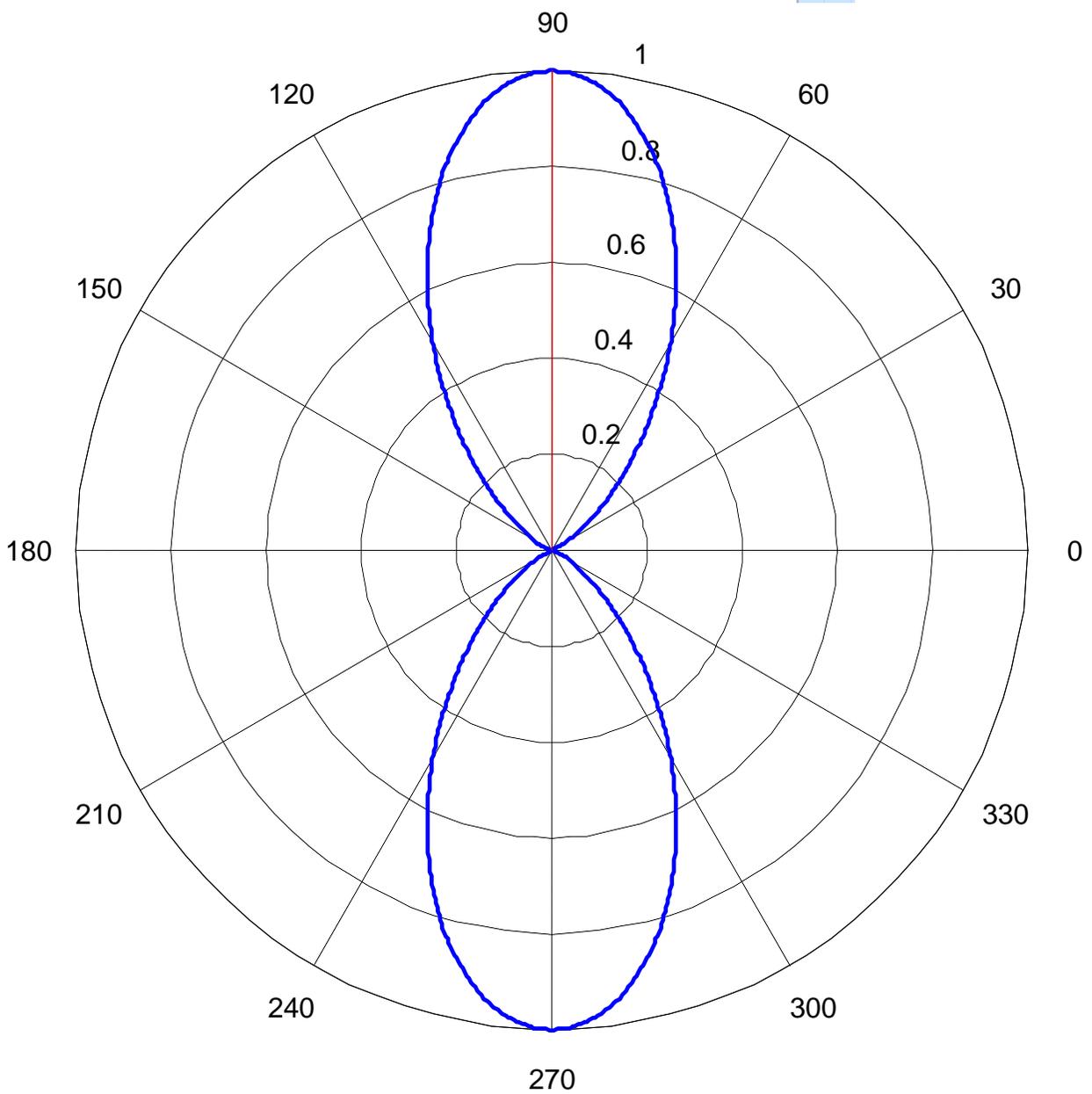


$$\Psi_0 = \pi/4$$





$$\Psi_0 = \pi/2$$



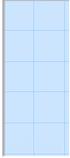


Résumé de la 2ième partie (à savoir 😊)

■ Chap 4-5 : Antennes

L'antenne est caractérisée par :

- impédance (Ω)
- directivité (diagramme)
 - gain, aire équivalente, ...
 - attention au champ proche
- Puissance, PIRE (dB, dBm, dBi)
- fréquence, bande passante



Résumé de la 2ième partie (à savoir 😊)

- **Chap 6 : Antennes filaires**

 - À partir du doublet, on peut calculer les propriétés de toutes les antennes filaires

 - Principe de calcul , Simulations

- **Chap 7 : les différents types d'antennes**

 - Antennes à réflecteurs, ouvertures synthétiques, ...

- **Chap 8 : Antennes en réseau**

 - Couplage mutuel

 - Calcul de rayonnement combiné : attention au repère ... et à la polarisation