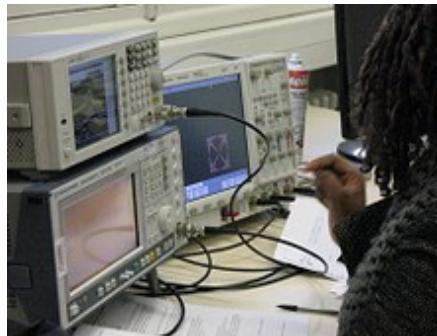


Mesures hyperfréquence



***Notions sur les antennes
Différents types d'antennes***

Franck Daout
fdaout@parisnanterre.fr

<https://cva-geii.parisnanterre.fr/>

CFD - Bourges

Plan de la présentation

- Définition et éléments de spécification pour une antenne
 - Rôle d'une antenne
 - Diagramme de rayonnement, lobes, largeur de faisceau
 - Polarisation
 - Champ lointain
 - Impédance, ROS
- Les différents types d'antennes

Qu'est-ce qu'une antenne

- **La taille des antennes dépend de la longueur d'onde**
 - Émetteur France inter d'Allouis :
 - $f=162\text{kHz}$, $\lambda=1852\text{m}$
 - Pylônes : 350m
 - Puissance de l'émetteur : 2 MW
- **Fréquence élevée = Dimensions réduites**
- Bruit de fond très élevé en basse fréquence
 - Bruit de fond diminue avec la fréquence jusqu'à $\sim 1 \text{ GHz}$
 - Puissances élevées des émetteurs



Définition (Wikipedia)

"En radioélectricité, une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques.

L'antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique, et ses caractéristiques de rendement, gain, diagramme de rayonnement influencent directement les performances de qualité et de portée du système. "

Qu'est-ce qu'une antenne

L'information est transportée par une onde électromagnétique

Qu'est-ce qu'une onde :

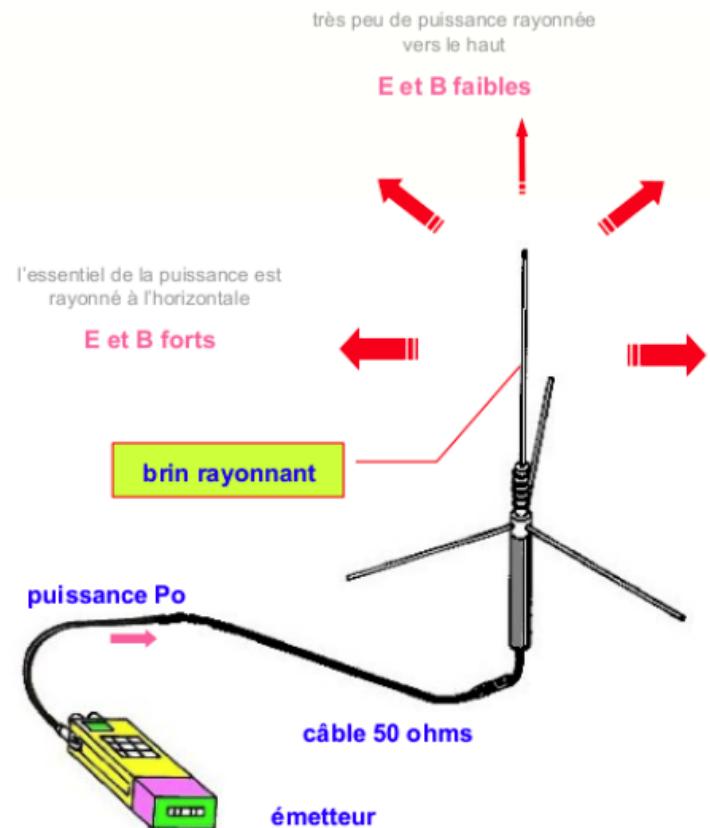
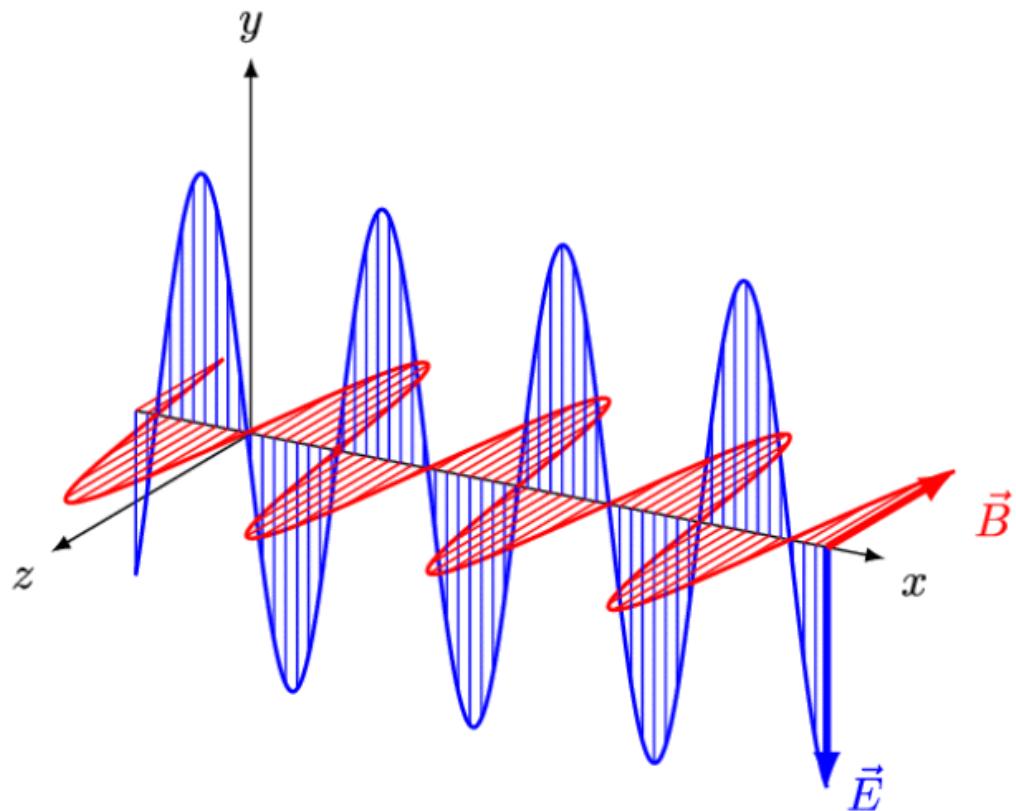
- Propagation d'une perturbation au sein d'un milieu

Onde électromagnétique :

- Association d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui oscillent à une certaine fréquence
- Présents à proximité des conducteurs parcourus par un courant électrique
- La lumière est aussi une onde électromagnétique (de longueur d'onde très petite 0.4 – 0.7 µm)

Qu'est-ce qu'une antenne

Onde électromagnétique et antenne



Qu'est-ce qu'une antenne

Rôle de l'antenne

Rôle de l'antenne à l'émission

- Reçoit le signal électrique de la ligne de propagation
- Produit l'onde électromagnétique : La puissance fournie par l'émetteur se disperse dans l'espace

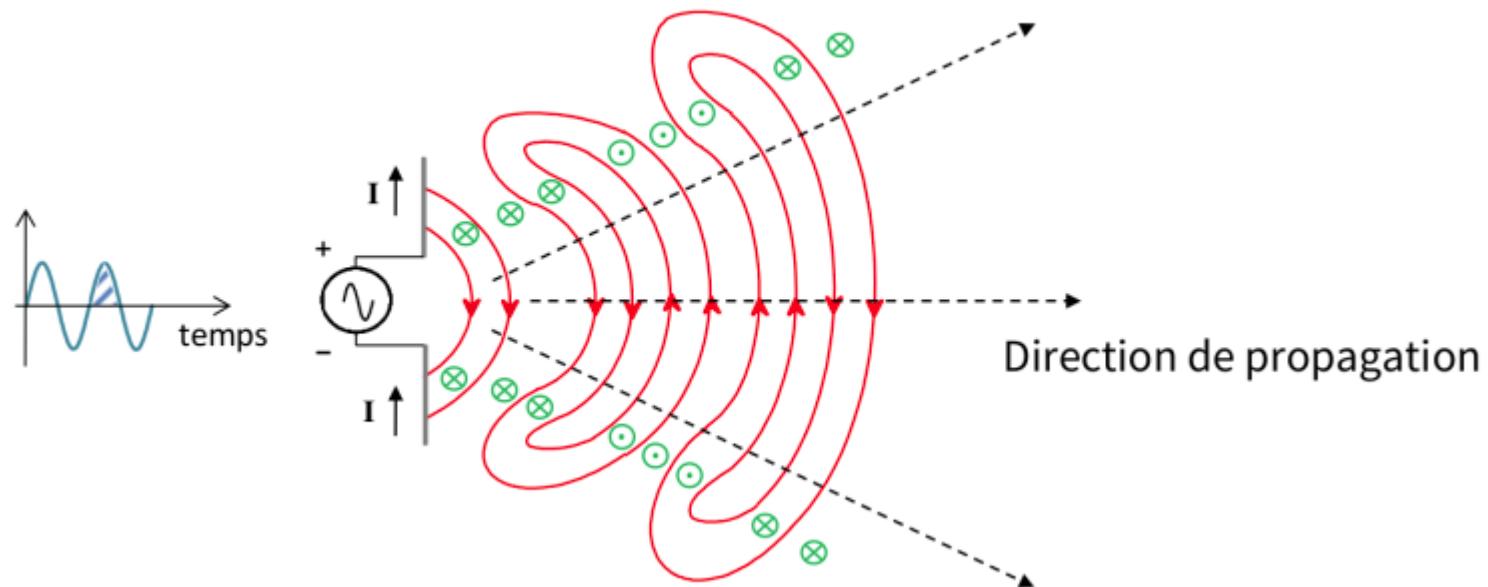
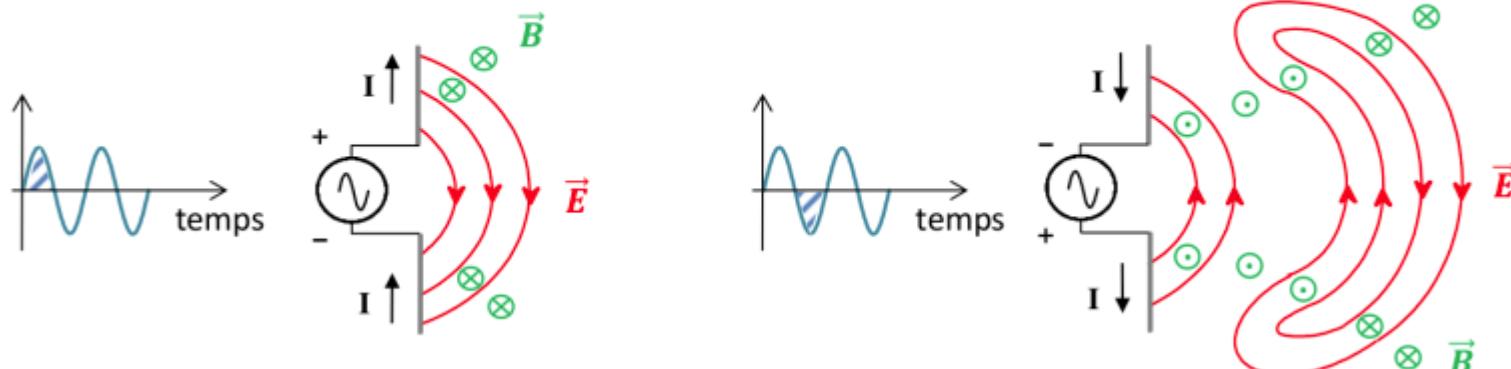
Rôle de l'antenne à la réception

- Capte l'onde électromagnétique
- Transforme l'onde en signal électrique : Le signal transmis au récepteur

Les phénomènes physiques mis en jeu dans l'antenne étant réversibles, **le même dispositif peut servir pour l'émission et pour la réception**, sauf dans le cas des émissions de forte puissance.

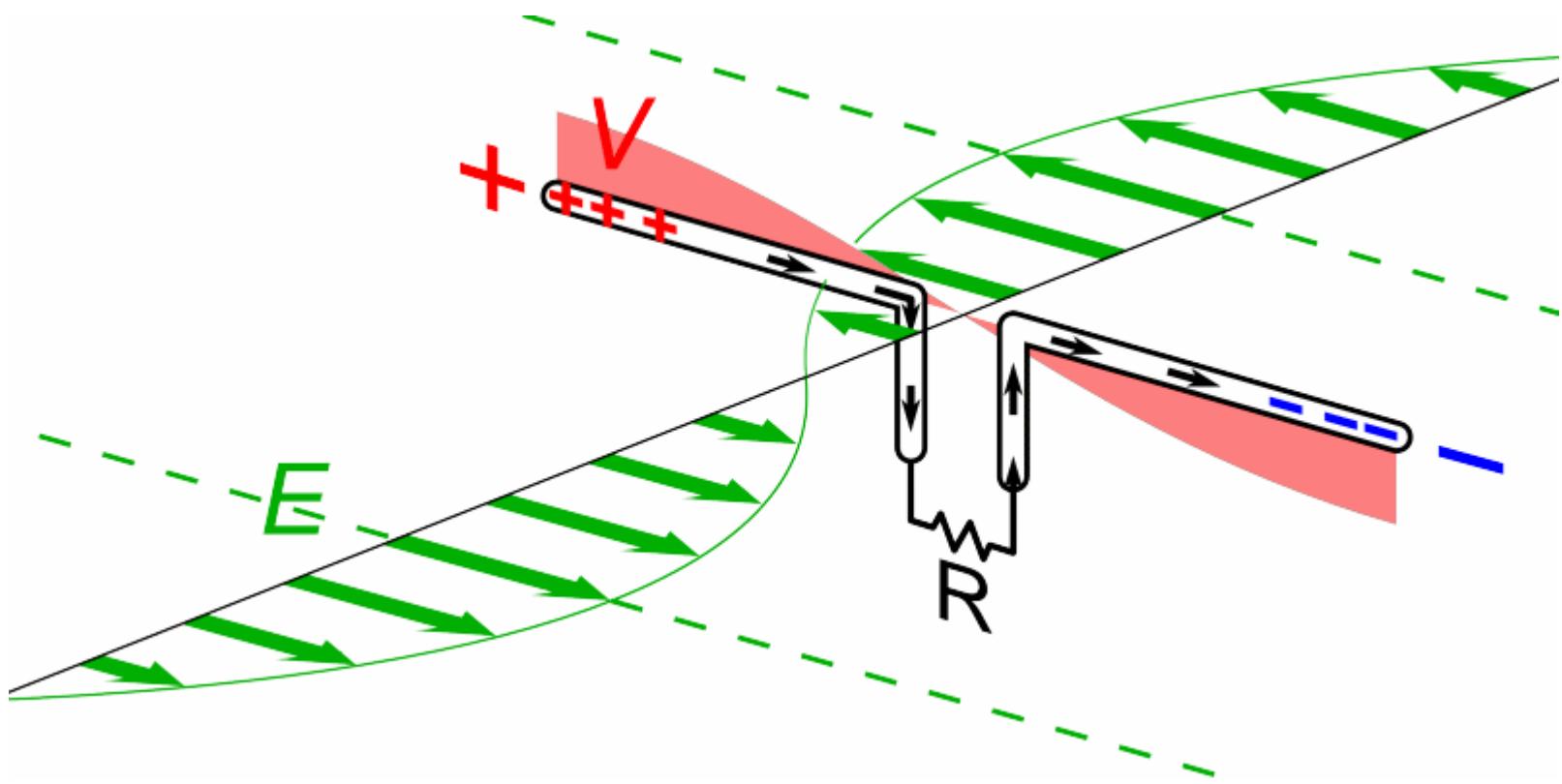
Qu'est-ce qu'une antenne

Production de l'onde électromagnétique



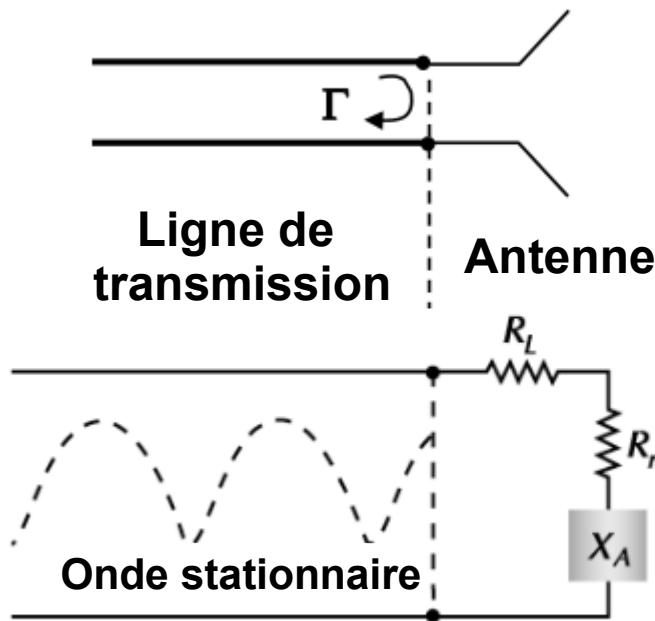
Qu'est-ce qu'une antenne

Antenne en réception



Qu'est-ce qu'une antenne

Impédance d'une antenne



$$\Gamma = 0$$

Toute la puissance est transmise à la charge

$$\Gamma = 1$$

Toute la puissance est réfléchie

Adapté

∞ dB

1

RL

VSWR

Désadapté

0 dB

∞

Qu'est-ce qu'une antenne

Champ proche et champ lointain



D : plus grande dimension de l'antenne

Antenne demi-onde à 868 MHz  17 cm

Zone Proche

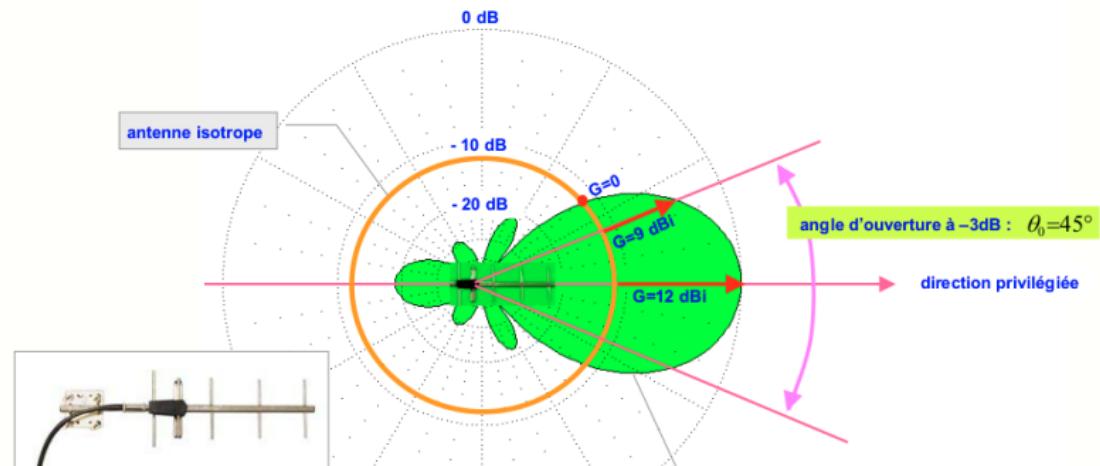
- Pas de relation simple entre E et H

Zone lointaine

- Onde sphérique -> localement : onde plane
- $E/H = 377 \Omega$: impédance d'onde
- Puissance varie en $1/r^2$

Diagramme de rayonnement

Définition du gain



Antenne isotrope

→ Puissance rayonnée identique dans toutes les directions de l'espace

Gain d'une Antenne

Rapport entre

- Puissance rayonnée par l'antenne dans une direction (P_a)
- Puissance rayonnée si l'antenne était isotrope (P_i)

$$G = 10 \log (P_a/P_i) \quad \text{en dBi}$$

Diagramme de rayonnement

Paramètres caractéristiques d'un diagramme de rayonnement



Antenne Yagi-Uda
9 éléments

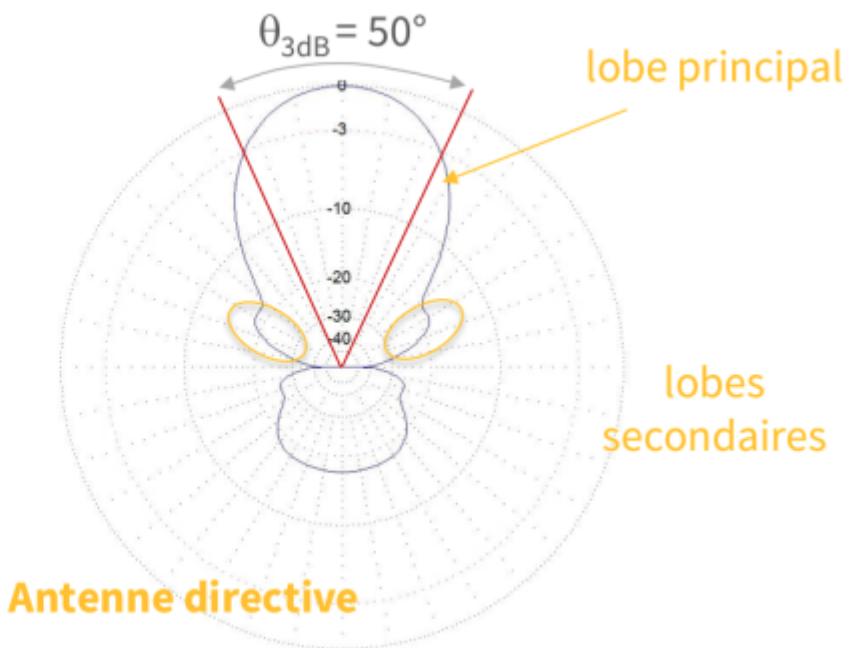


Diagramme de rayonnement

Ex : Antenne dipôle

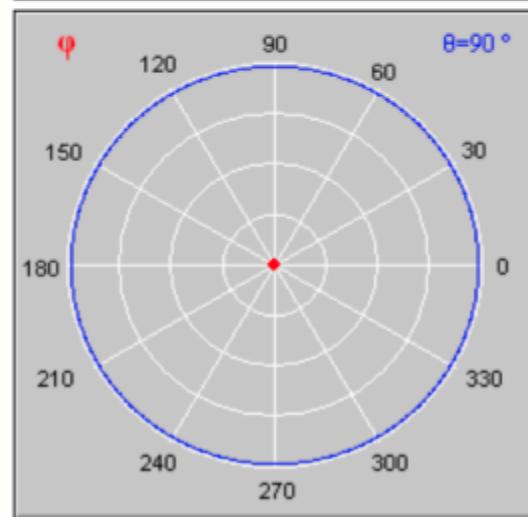
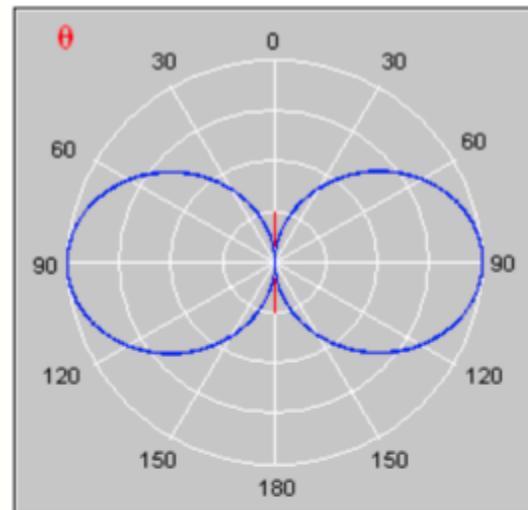
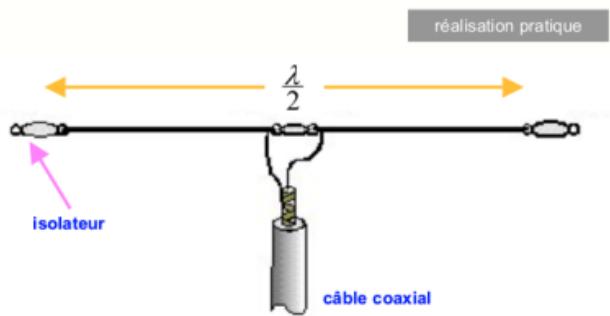


Diagramme de rayonnement

Ex : Antenne Yagi

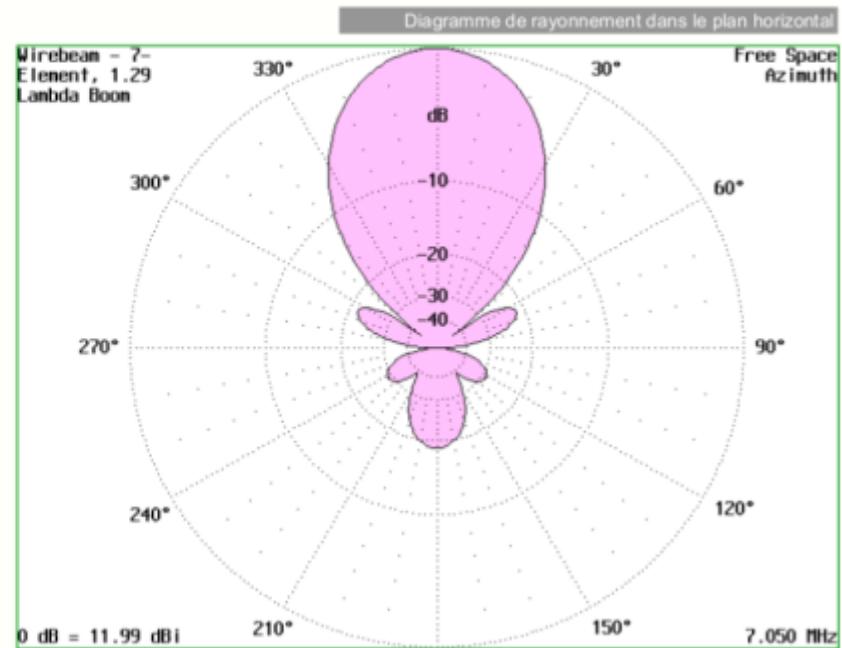
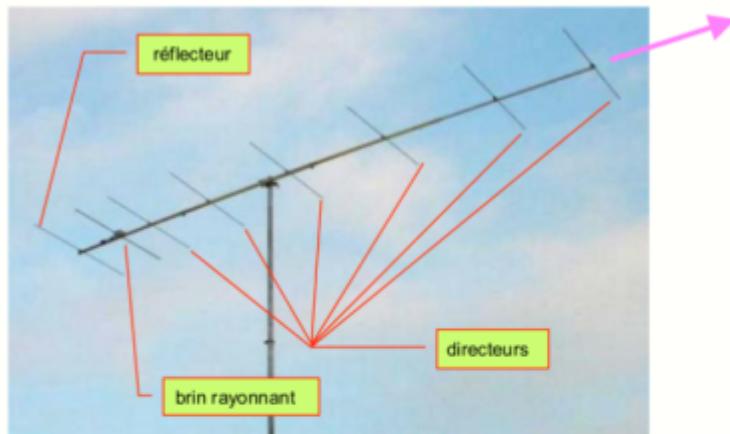
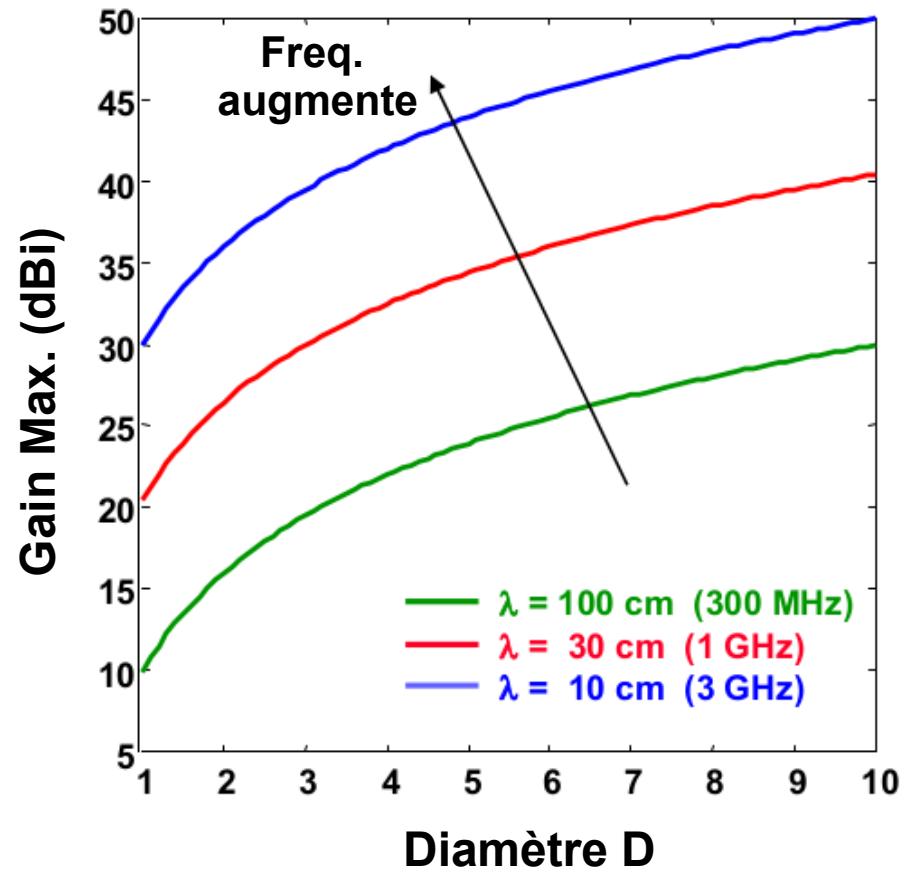
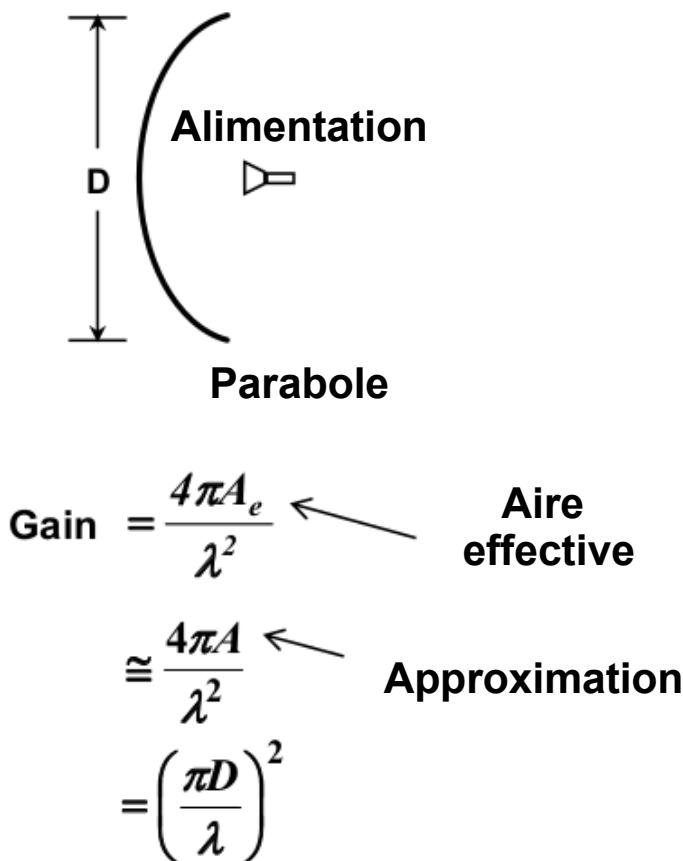


Diagramme de rayonnement

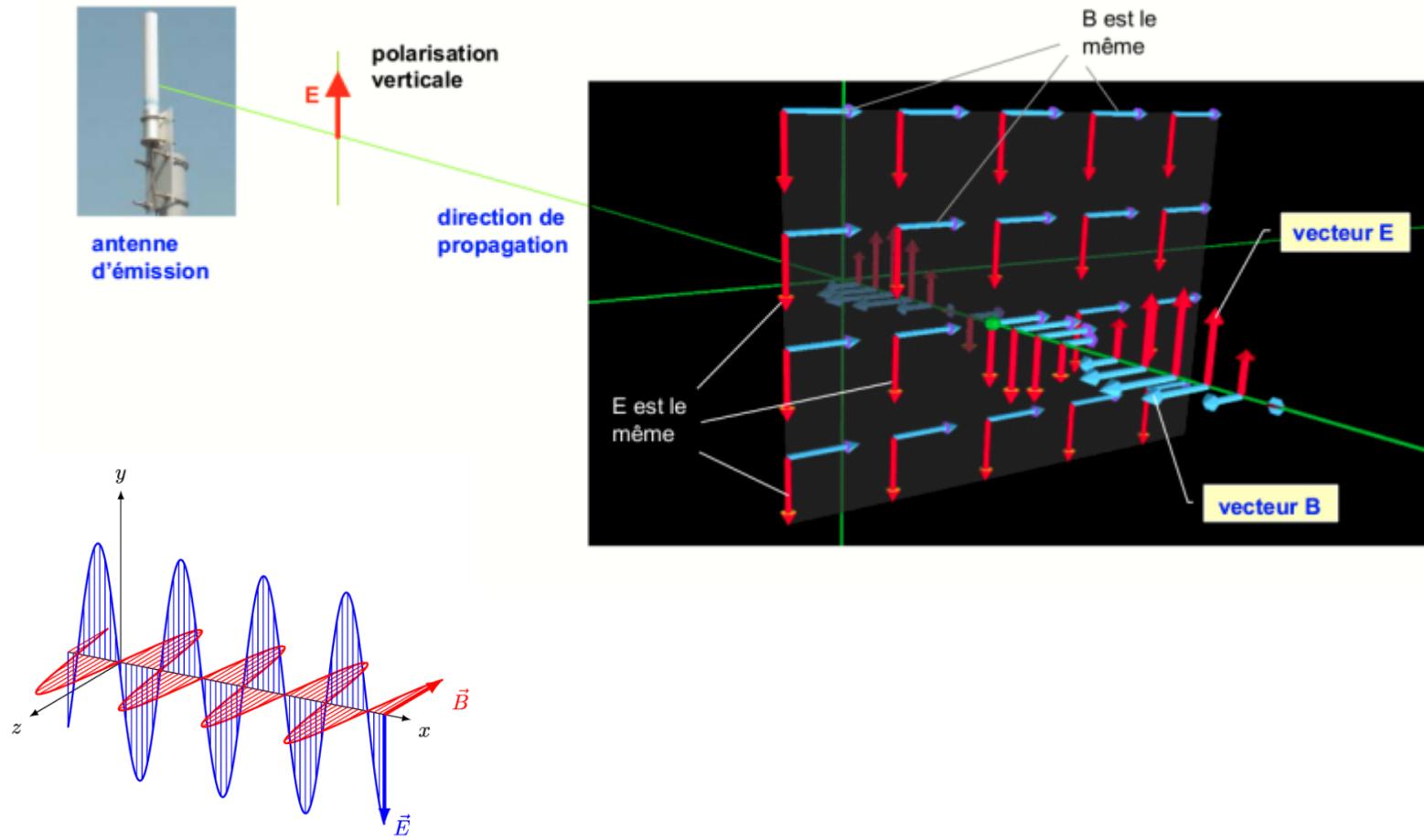
Relation taille - Gain d'une antenne

Antenne parabolique



Polarisation d'une antenne

Caractéristiques d'une onde plane



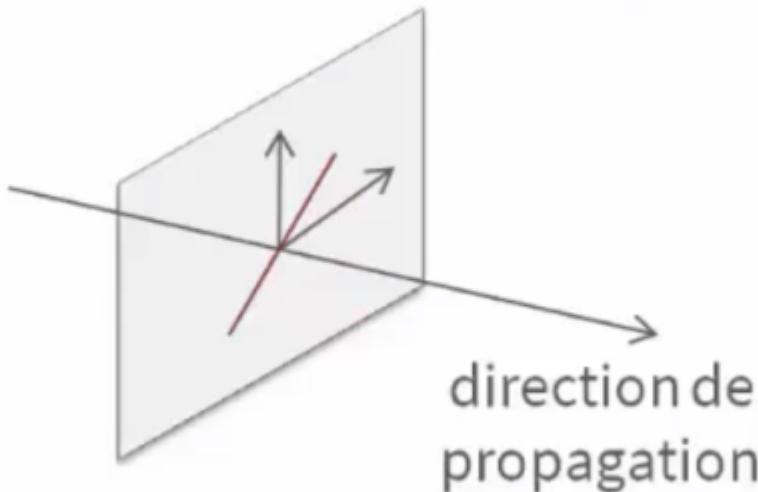
Polarisation d'une antenne

Polarisation de l'onde

Polarisation de l'onde



Orientation du champ électrique



- Circulaire
- Rectiligne

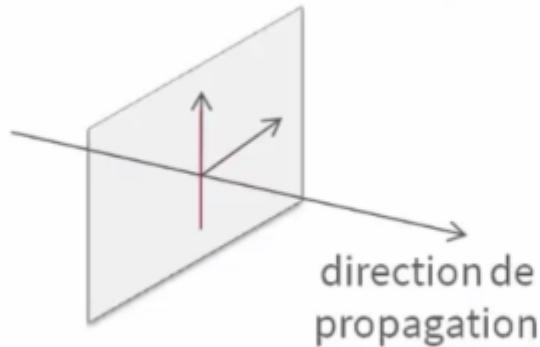
Polarisation d'une antenne

Polarisation de l'émetteur et du récepteur

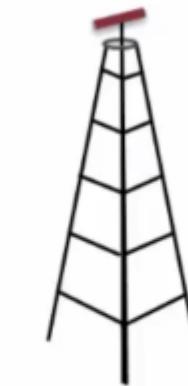
Polarisation de l'onde



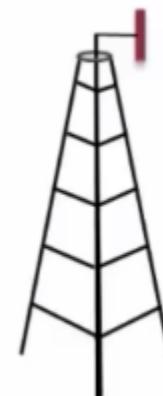
Orientation du champ électrique



- Circulaire
- Rectiligne



polarisation horizontale



polarisation verticale

Spécification d'une antenne

Caractéristiques principales d'une antenne

- fréquences d'utilisation
- Diagramme de rayonnement
- Impédance (ROS)
- Polarisation
- Puissance maximale tolérée en émission
- Encombrement mécanique

Spécification d'une antenne

Exemple : antenne Flann DP240

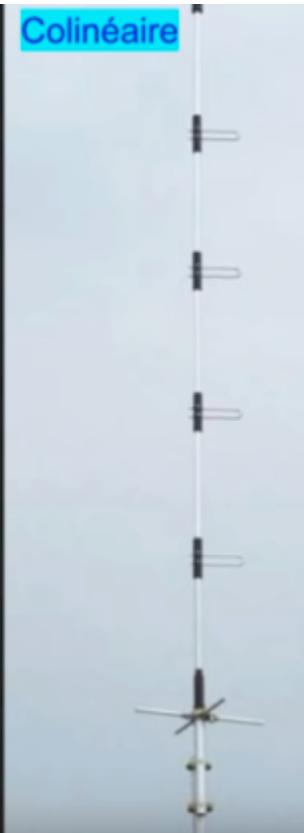
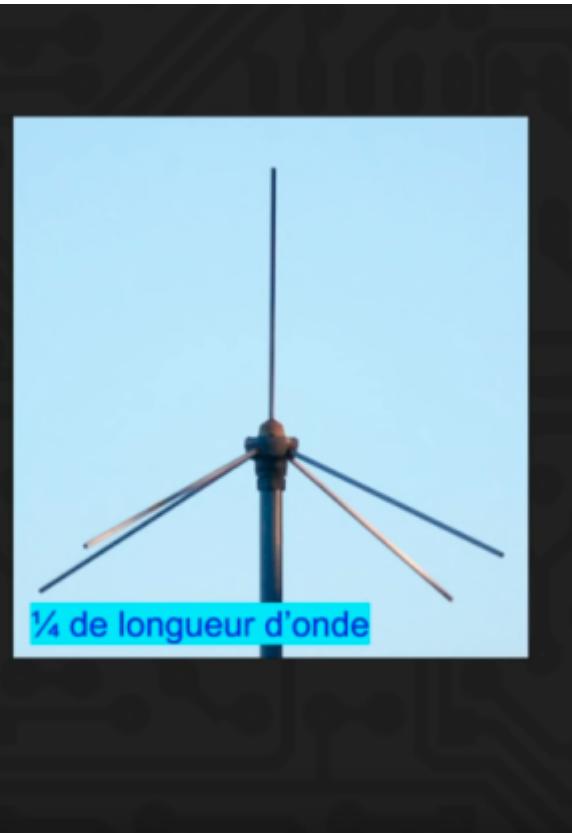
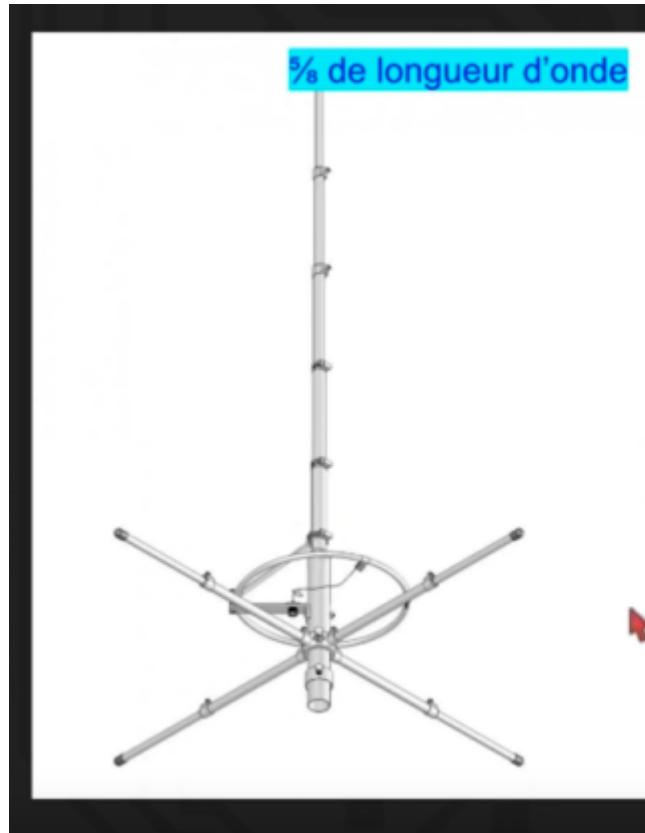


Model DP240-AB

Frequency Range	2 GHz to 18 GHz
Gain	5 dBi to 18 dBi
Polarization	Simultaneous Horizontal & Vertical
3 dB Beamwidth	60° to 10° Nominal
Typical VSWR Better than	2.5:1
Cross Polarization	-20 dB Maximum
Isolation Between Ports	25 dB Typical
Maximum Power CW	10 Watts
Phase Tracking Between Ports	± 17° Maximum
Amplitude Tracking Between Ports	± 1.3 dB Maximum
SMA Female	
Aperture Diameter	135 mm
Overall Length	300 mm
Weight	2.75 kg (3.2 kg DP240-AB)

Les différents types d'antennes

Les antennes verticales



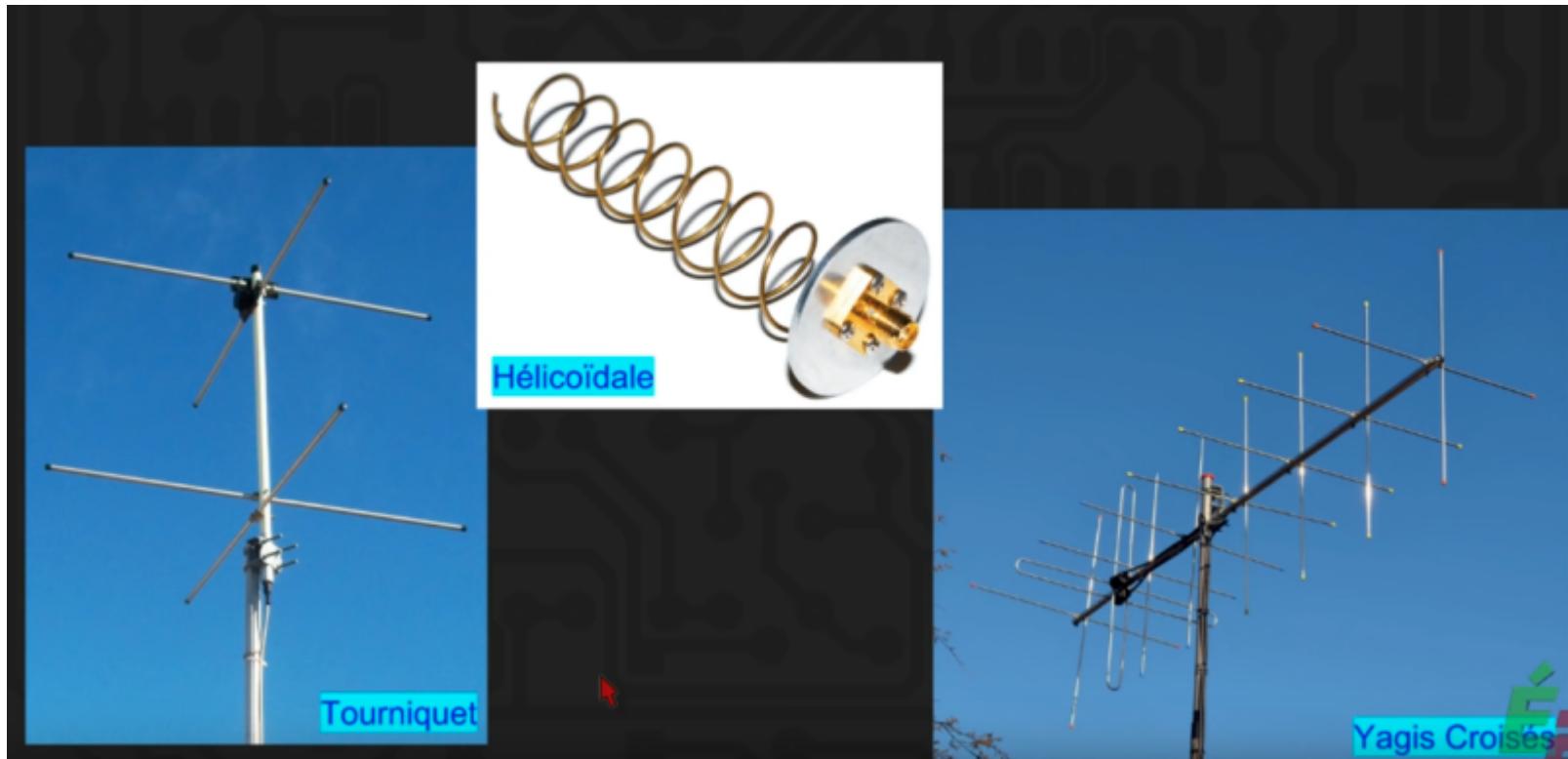
Les différents types d'antennes

Antennes larges bandes



Les différents types d'antennes

Antennes à polarisation circulaire



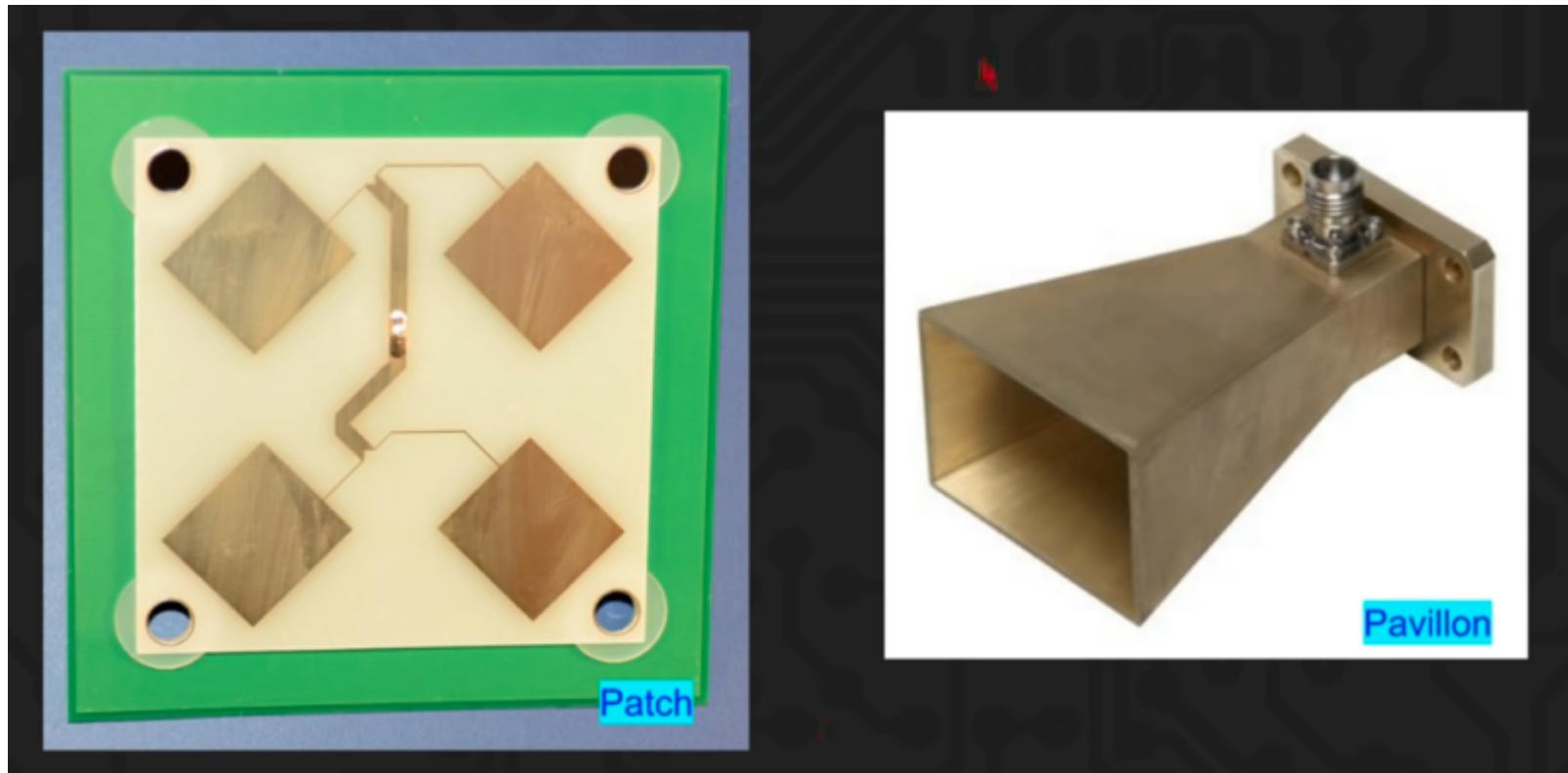
Les différents types d'antennes

Antennes à réflecteur



Les différents types d'antennes

Antennes "micro-ondes"



Les différents types d'antennes

Le cas des antennes radar



- Antenne à gain important
- Antenne directive



Les différents types d'antennes

Antennes Cassegrain

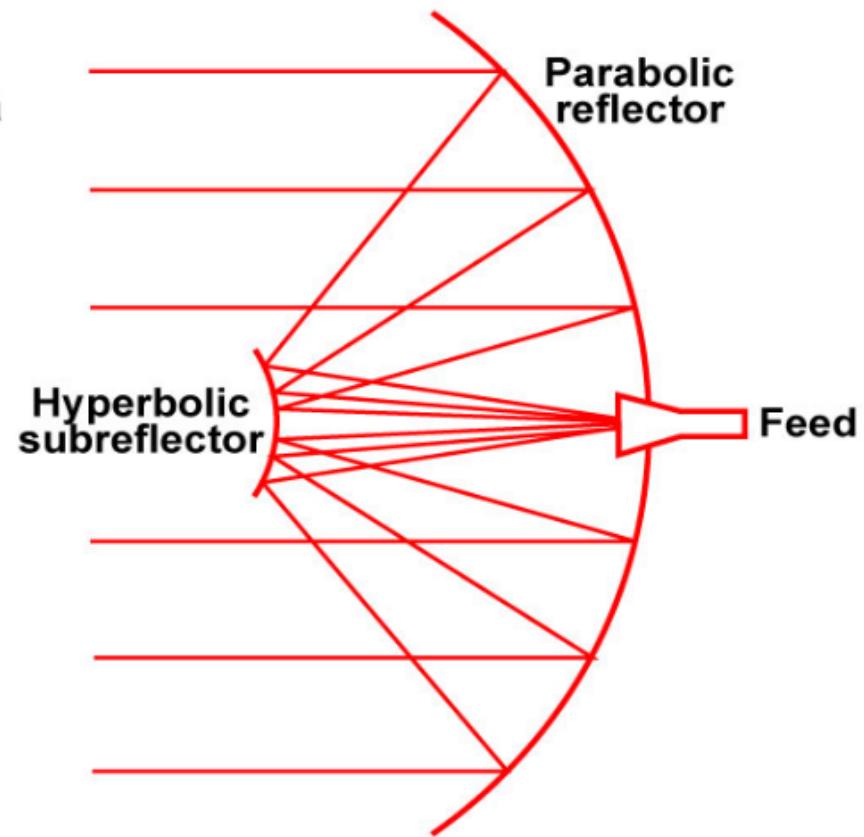
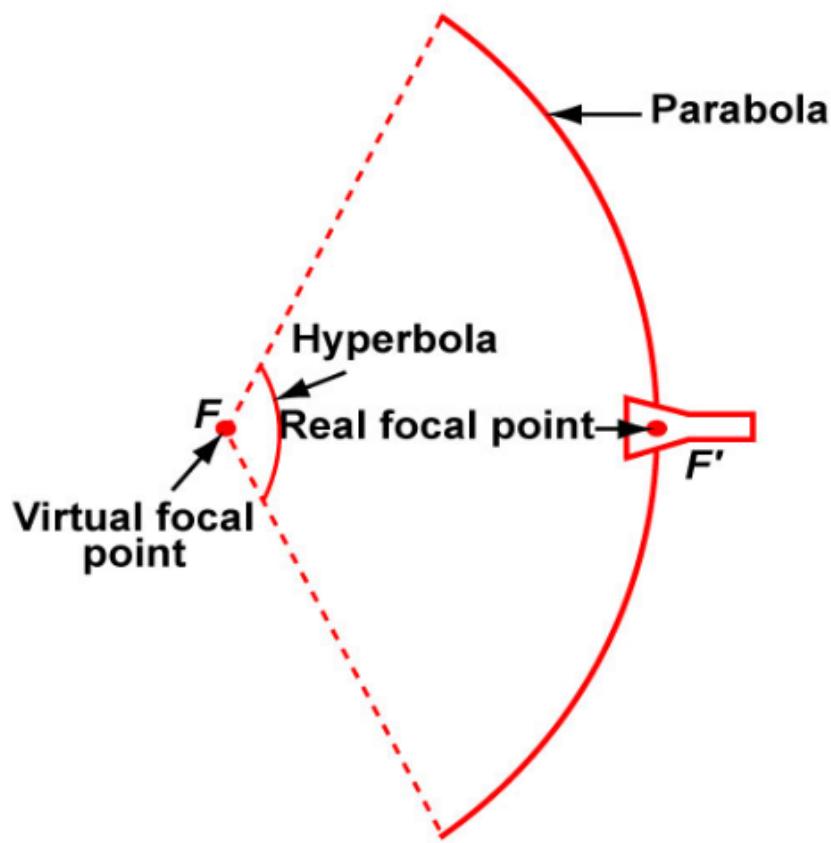


Figure by MIT OCW.

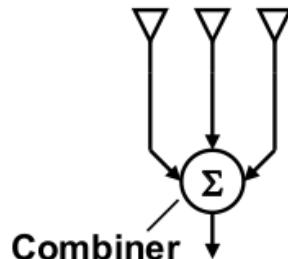
Les différents types d'antennes

Réseaux d'antennes

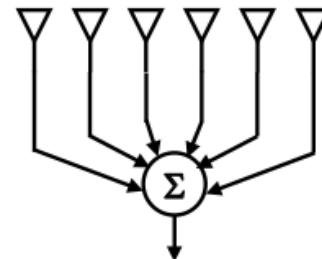
Isotropic Element



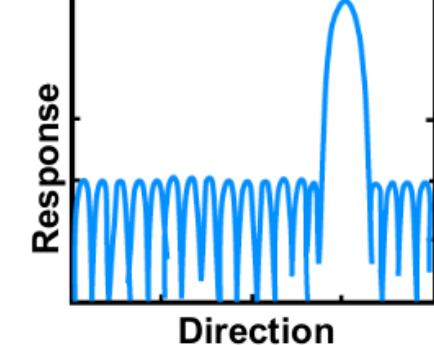
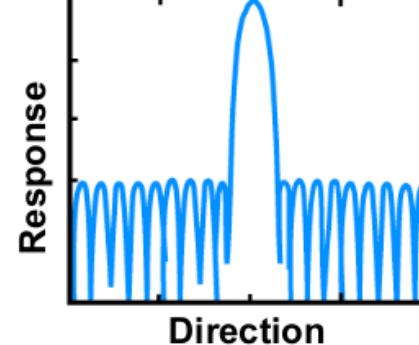
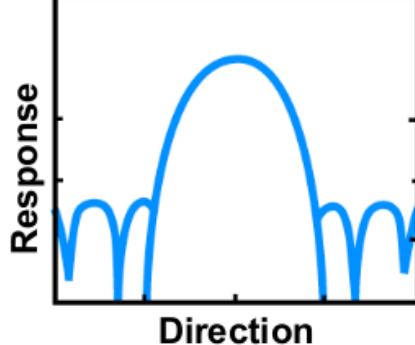
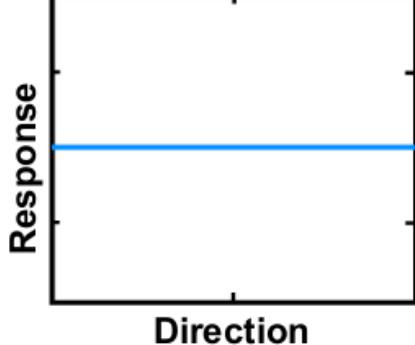
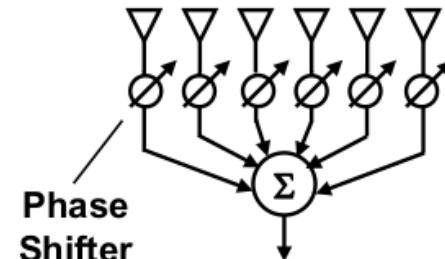
Array



Array



Phased Array



Les différents types d'antennes

Réseaux d'antennes

Linear Broadside Array

Isotropic Elements

$\lambda/2$ Separation

No Phase Shifting

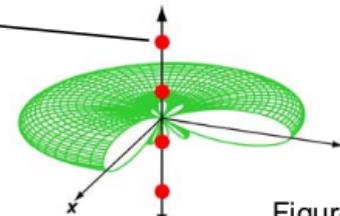
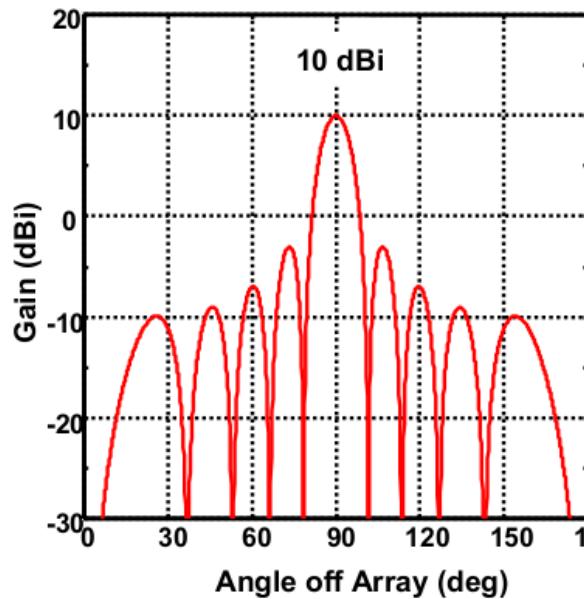
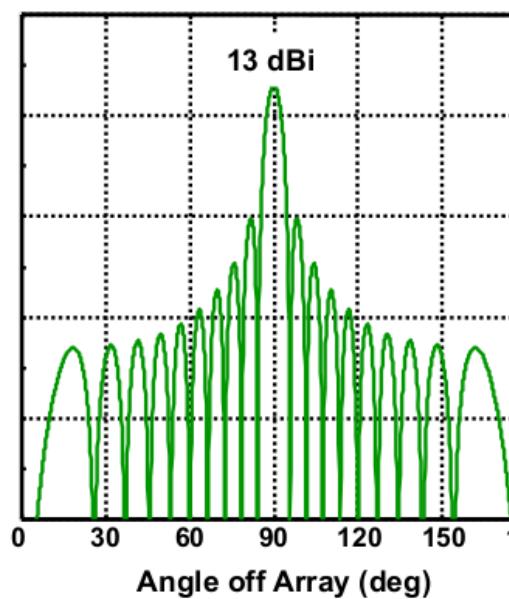


Figure by MIT OCW.

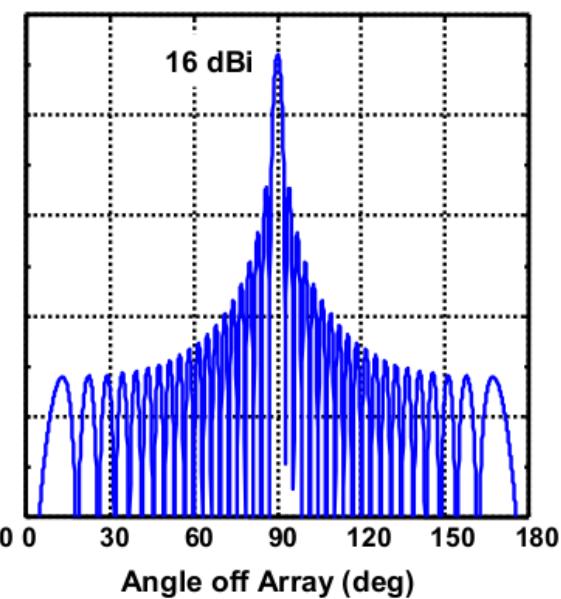
N = 10 Elements



N = 20 Elements



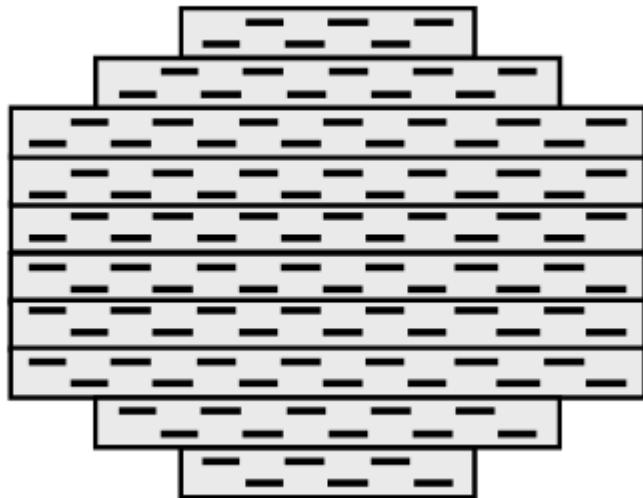
N = 40 Elements



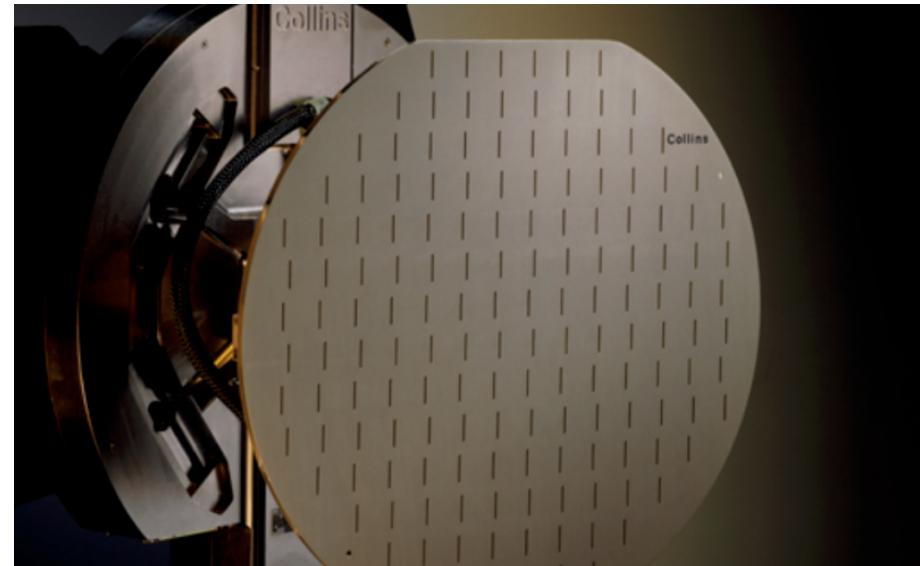
- Gain $\sim 2N(d / \lambda)$ for long broadside array

Les différents types d'antennes

Antennes plate à fente

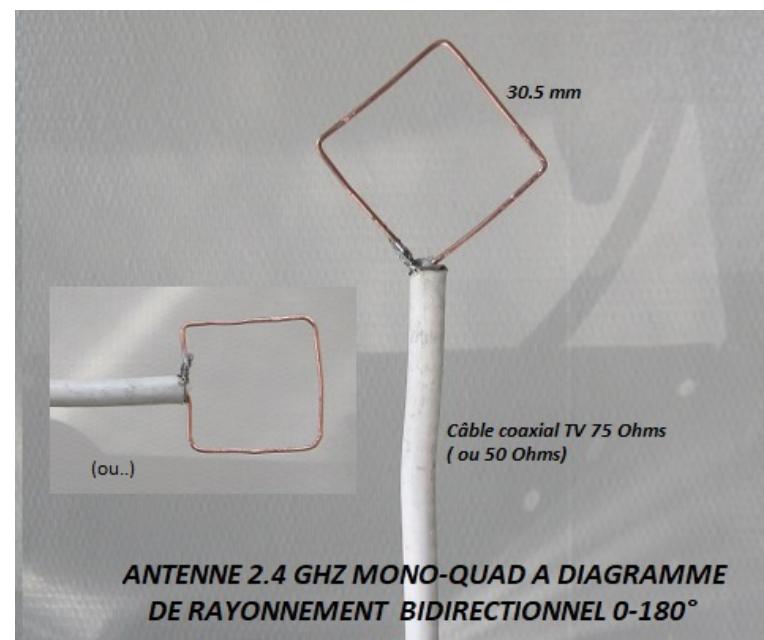
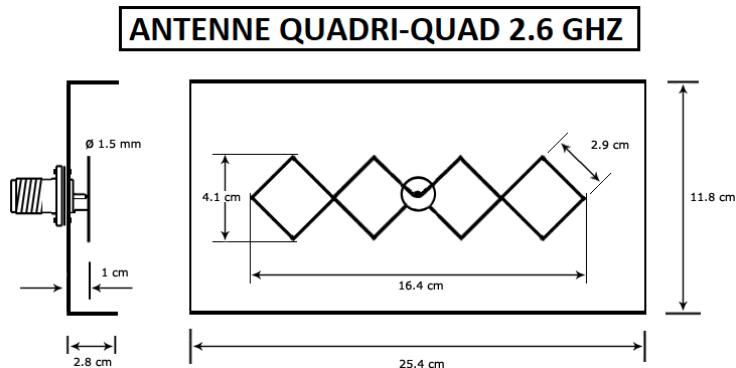


Chaque fente joue le rôle d'une source primaire d'un réseau plan.



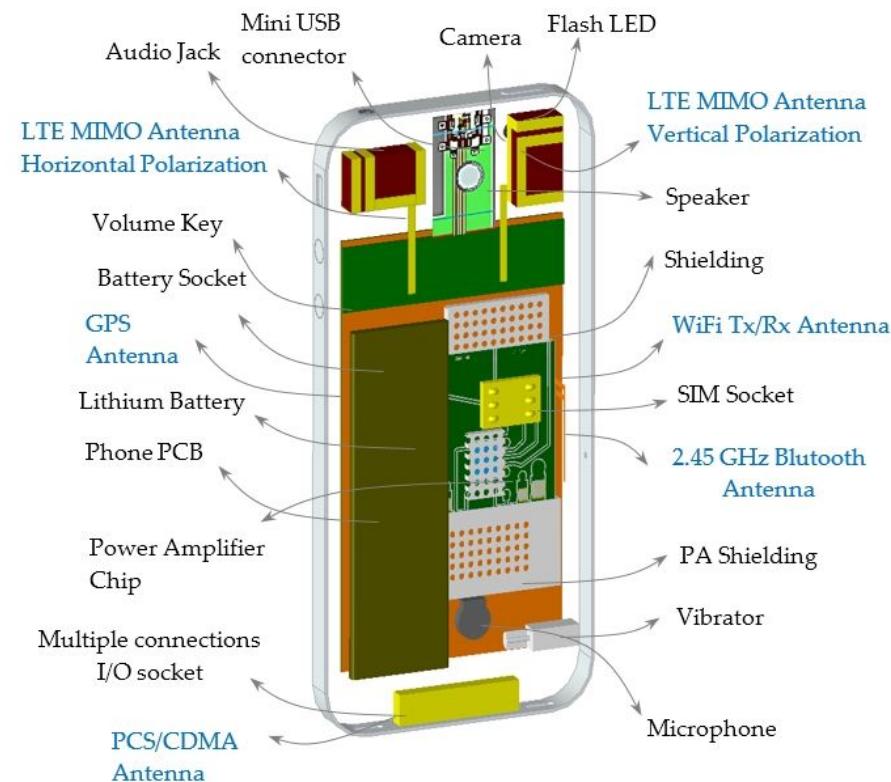
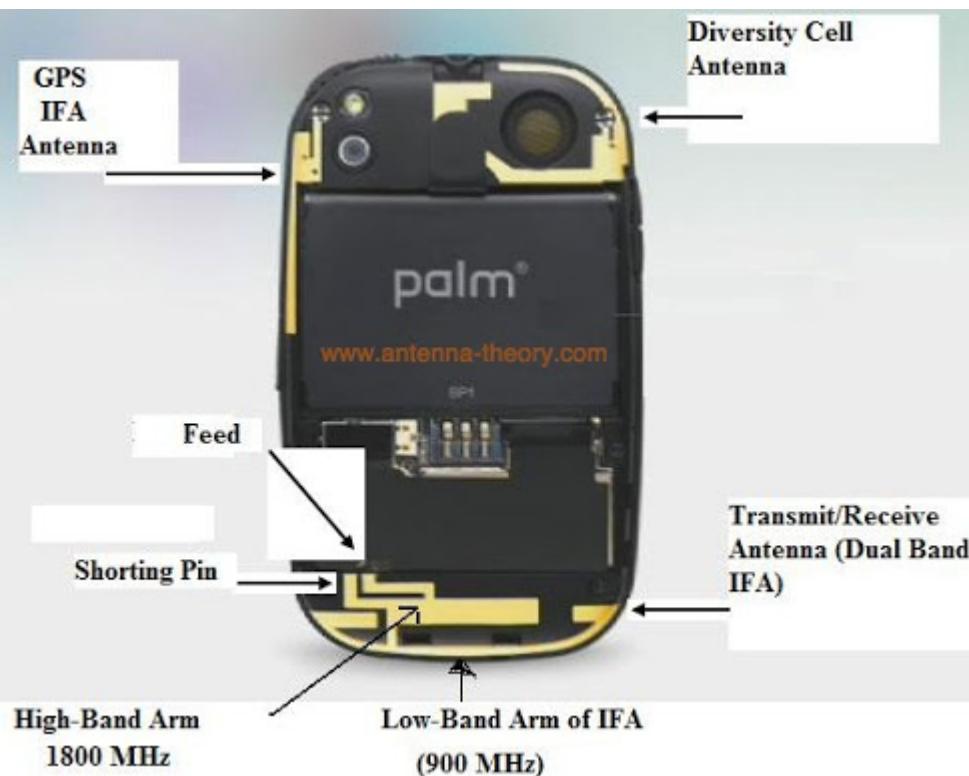
Les différents types d'antennes

Antennes « Homemade »



Les différents types d'antennes

Et sur mon téléphone



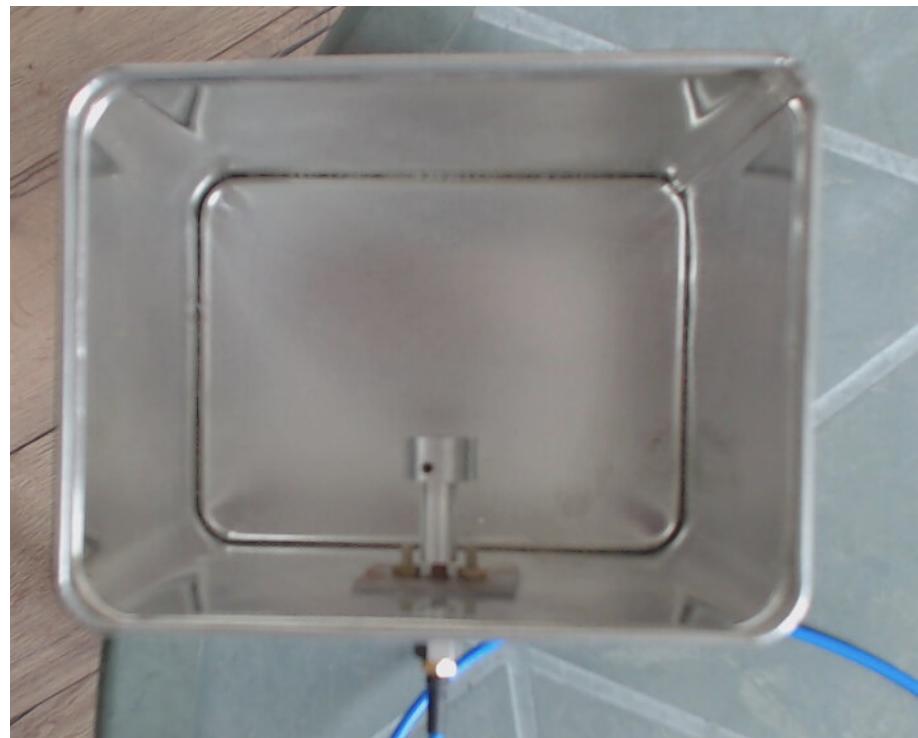
Les différents types d'antennes



Antennes DIY : Boite à « T »

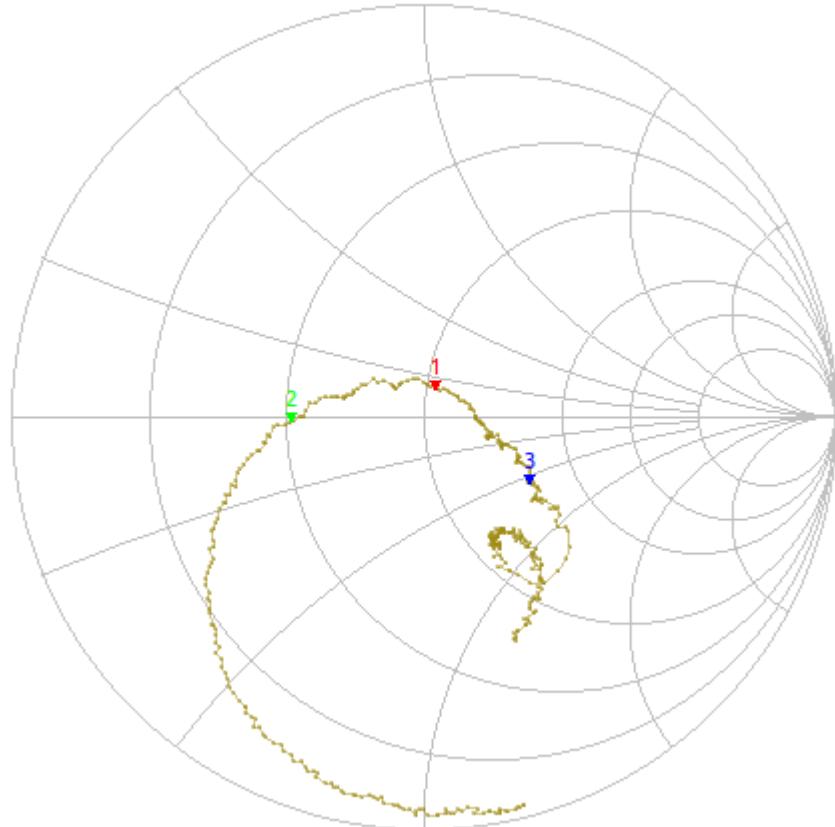
Fréquence :

- 1600 MHz – 2200 MHz
- $B = 600 \text{ MHz}$



Antenne boite à « T »

S11 Smith Chart



Marker 1

Frequency: 1.81886 GHz
VSWR: 1.172
Return loss: 22.045 dB

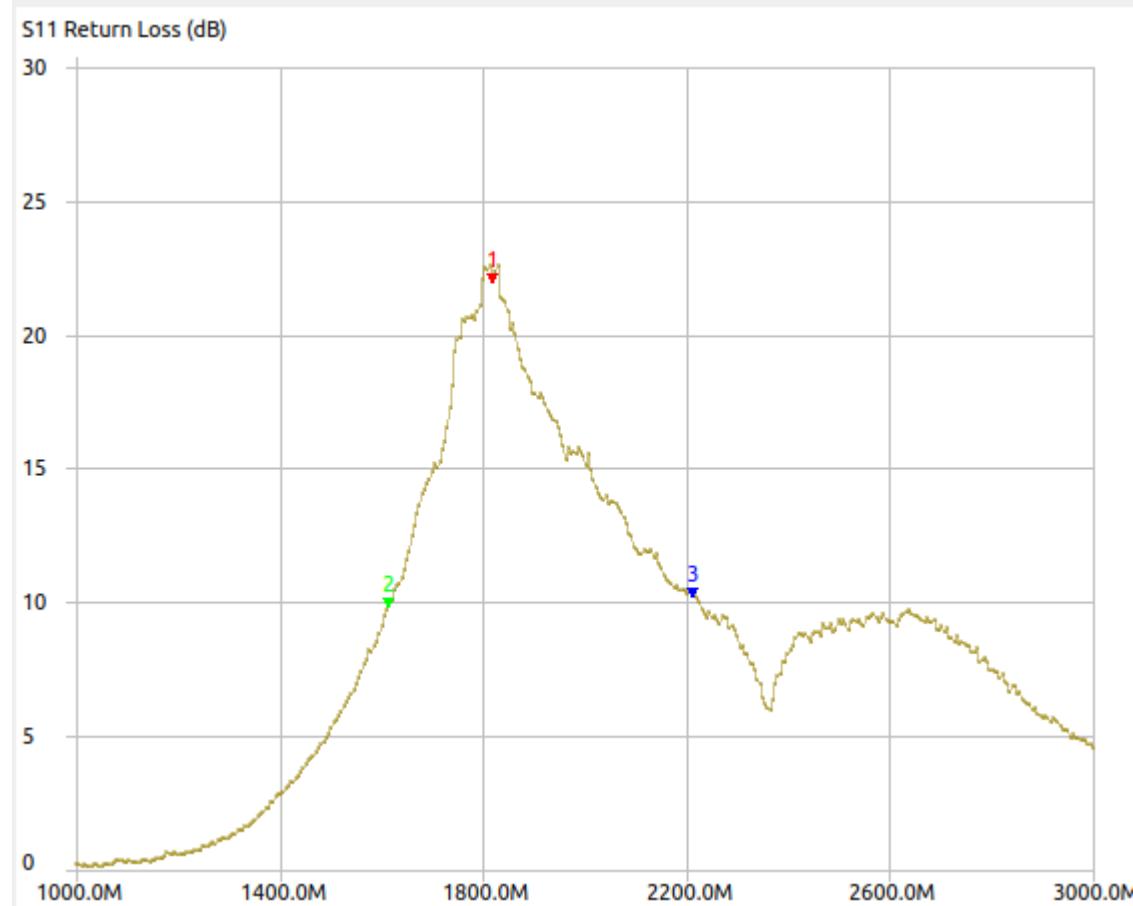
Marker 2

Frequency: 1.61538 GHz
VSWR: 1.929
Return loss: -9.972 dB

Marker 3

Frequency: 2.21092 GHz
VSWR: 1.873
Return loss: -10.350 dB

Antenne boite à « T »



Marker 1

Frequency: 1.81886 GHz
VSWR: 1.172
Return loss: 22.045 dB

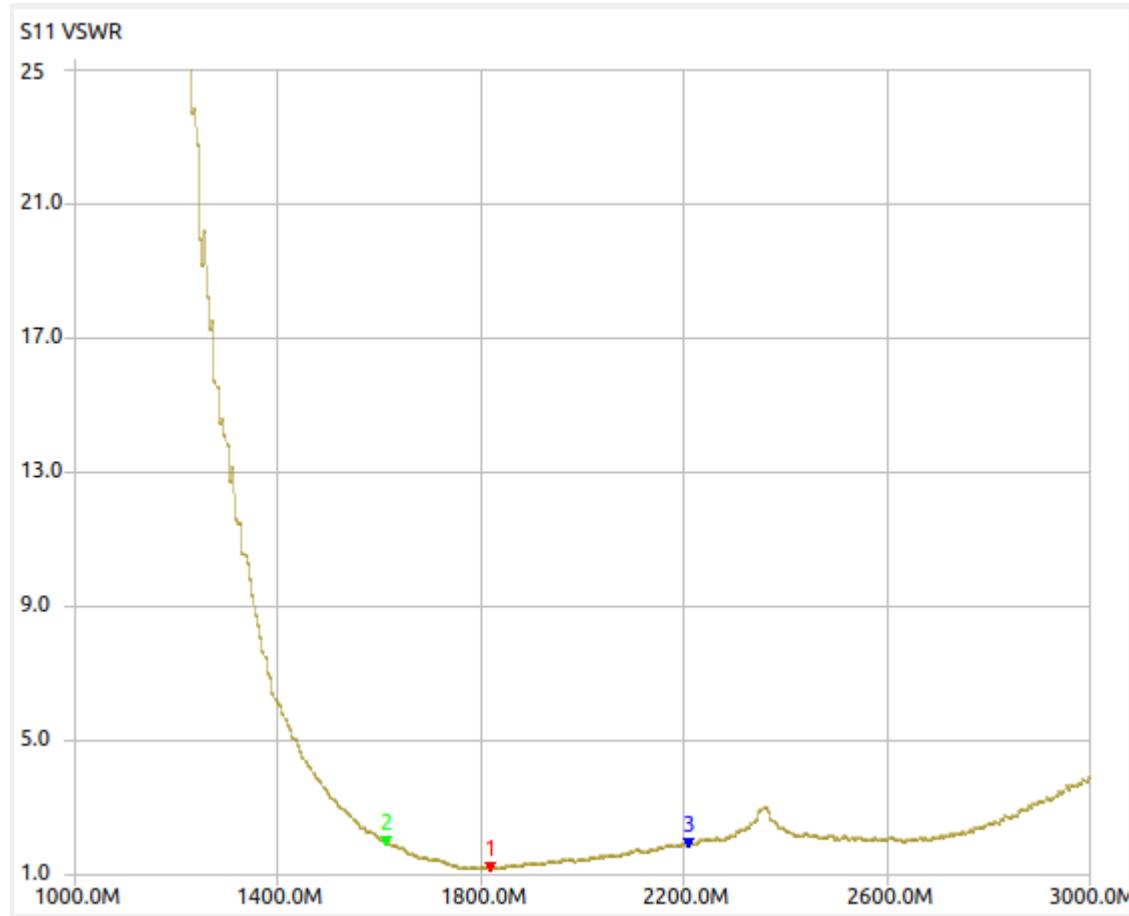
Marker 2

Frequency: 1.61538 GHz
VSWR: 1.929
Return loss: -9.972 dB

Marker 3

Frequency: 2.21092 GHz
VSWR: 1.873
Return loss: -10.350 dB

Antenne boite à « T »



Marker 1

Frequency: 1.81886 GHz
VSWR: 1.172
Return loss: 22.045 dB

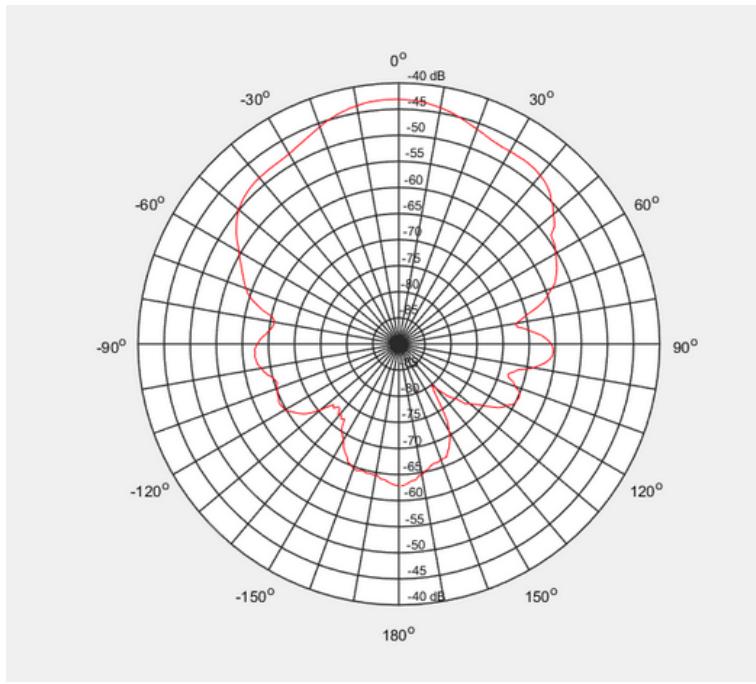
Marker 2

Frequency: 1.61538 GHz
VSWR: 1.929
Return loss: -9.972 dB

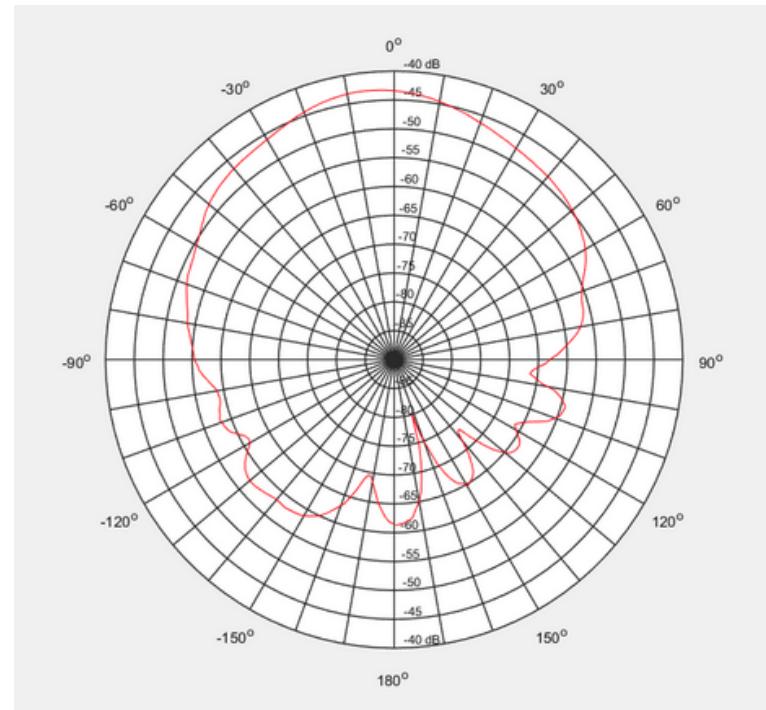
Marker 3

Frequency: 2.21092 GHz
VSWR: 1.873
Return loss: -10.350 dB

Antenne boîte à « T »



Polarisation verticale



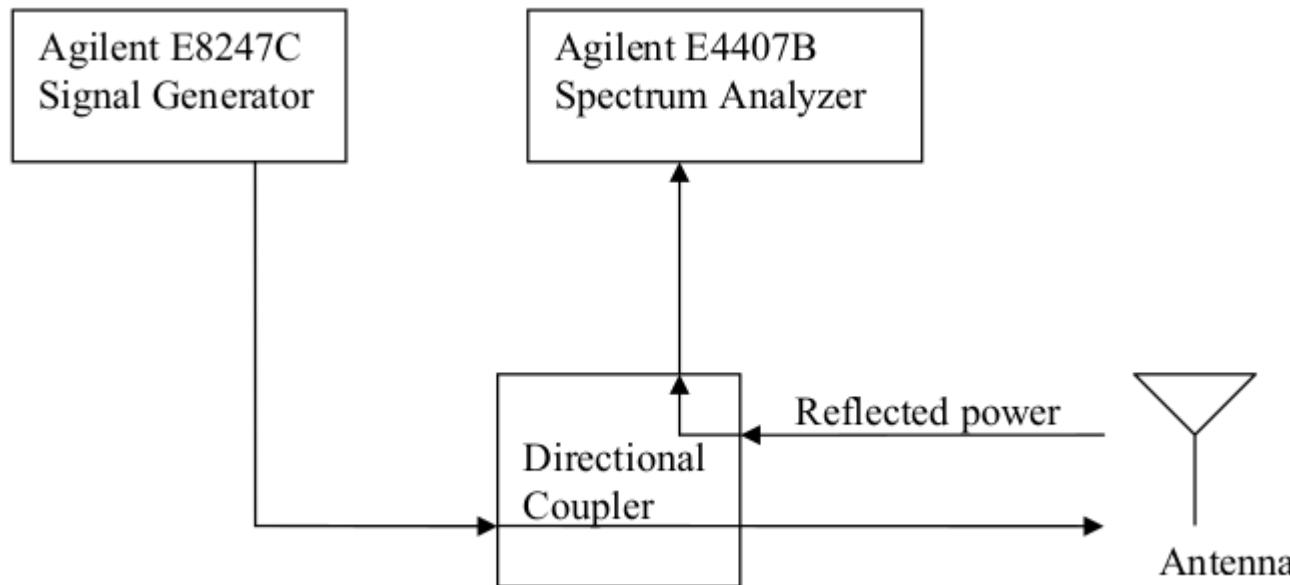
Polarisation horizontale

Gain estimé : 5dBi

Fréquence de mesure : 2400MHz

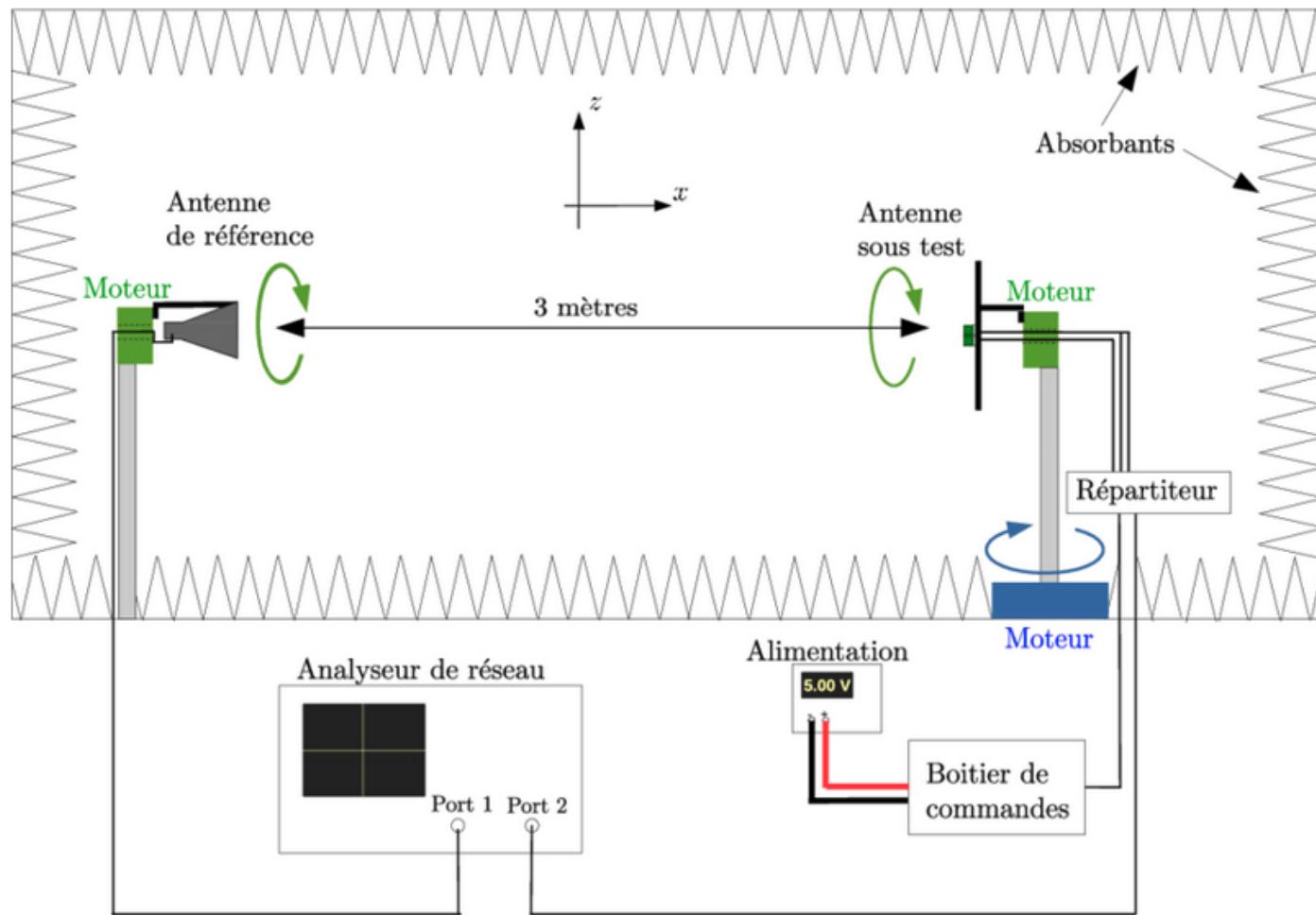
Antenne boîte à T

Mesurer le S11 avec un coupleur directif



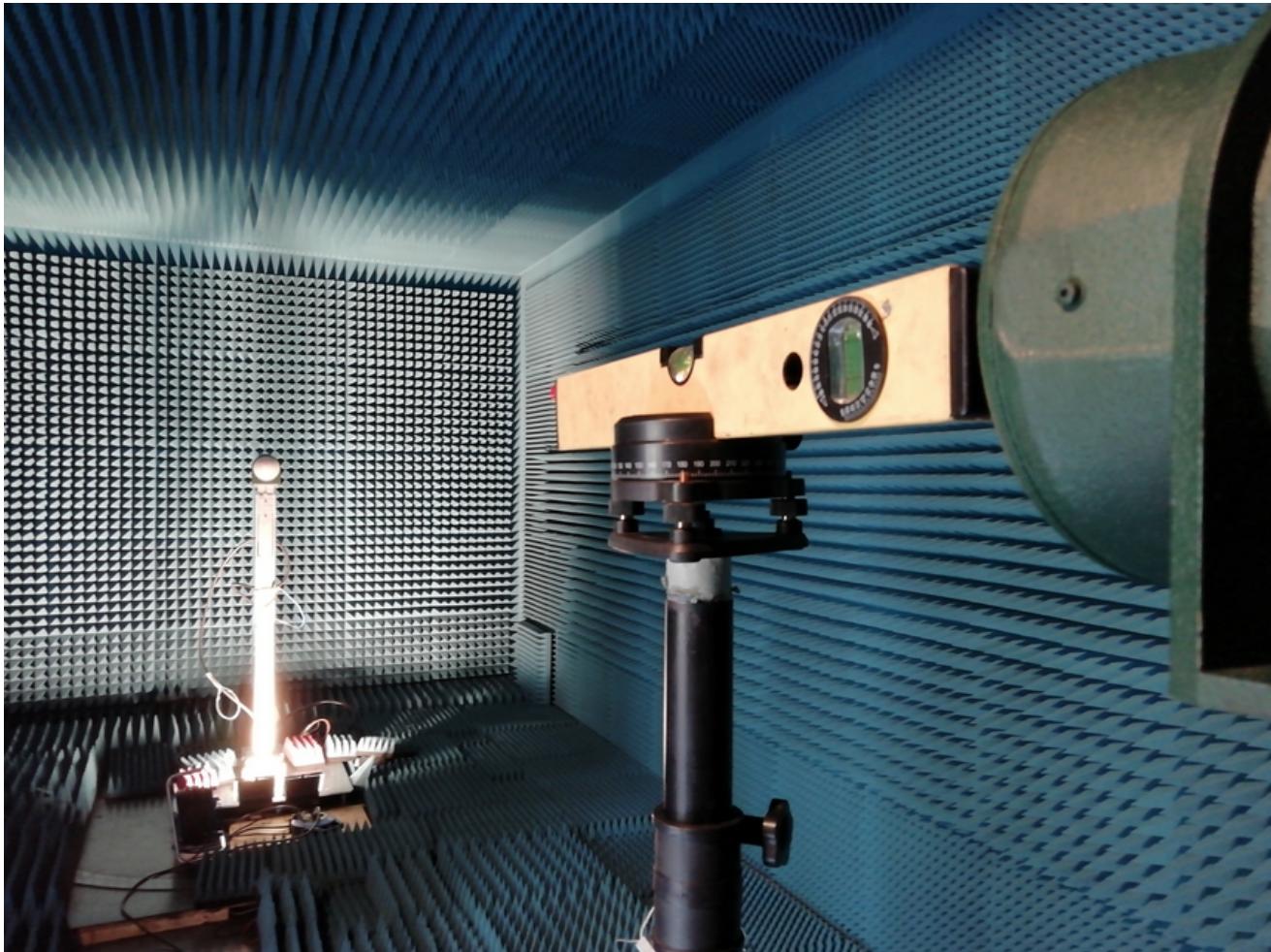
Antenne boîte à T

Comment mesurer un diagramme d'antenne



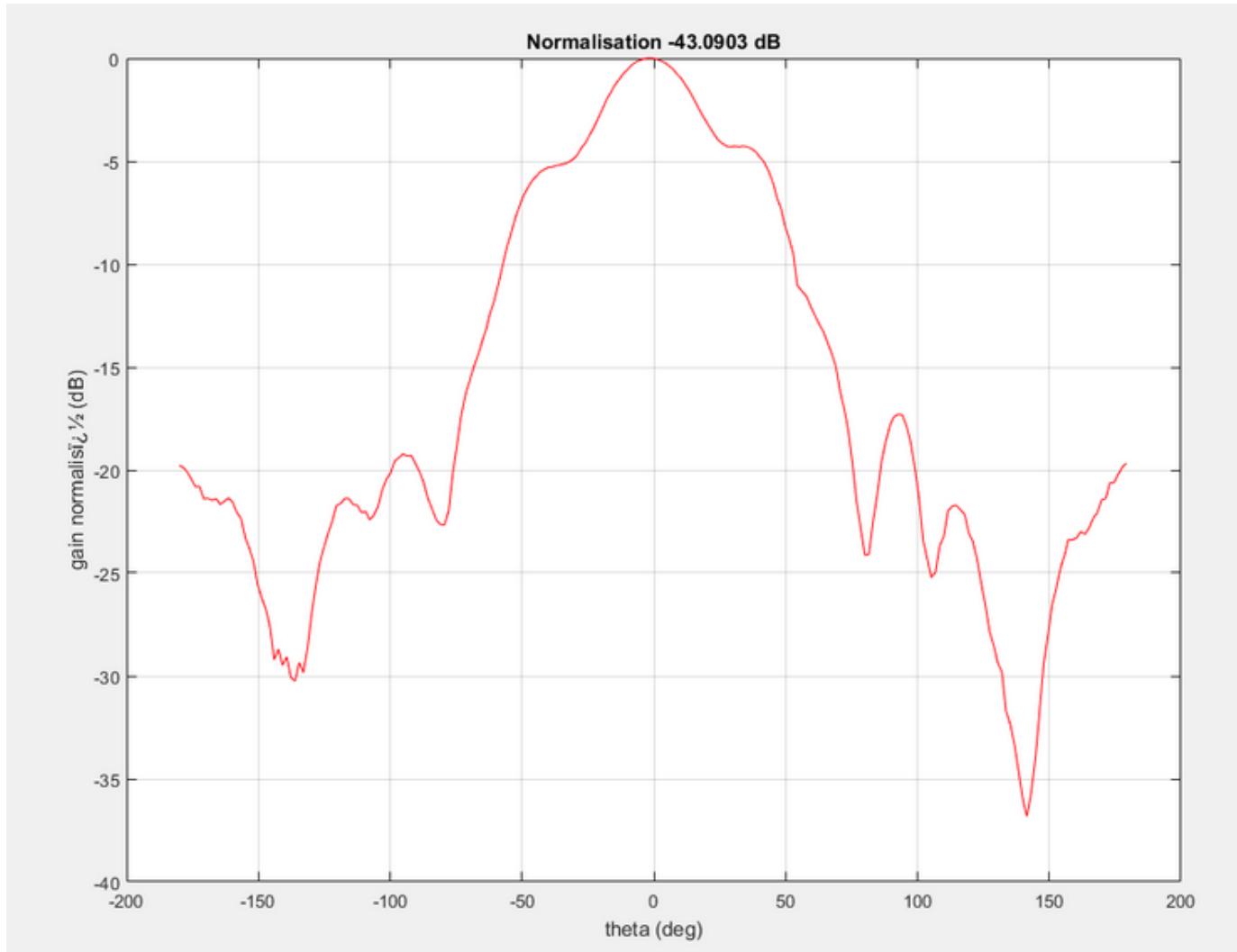
Antenne boîte à T

Chambre anéchoïque Boris Vian



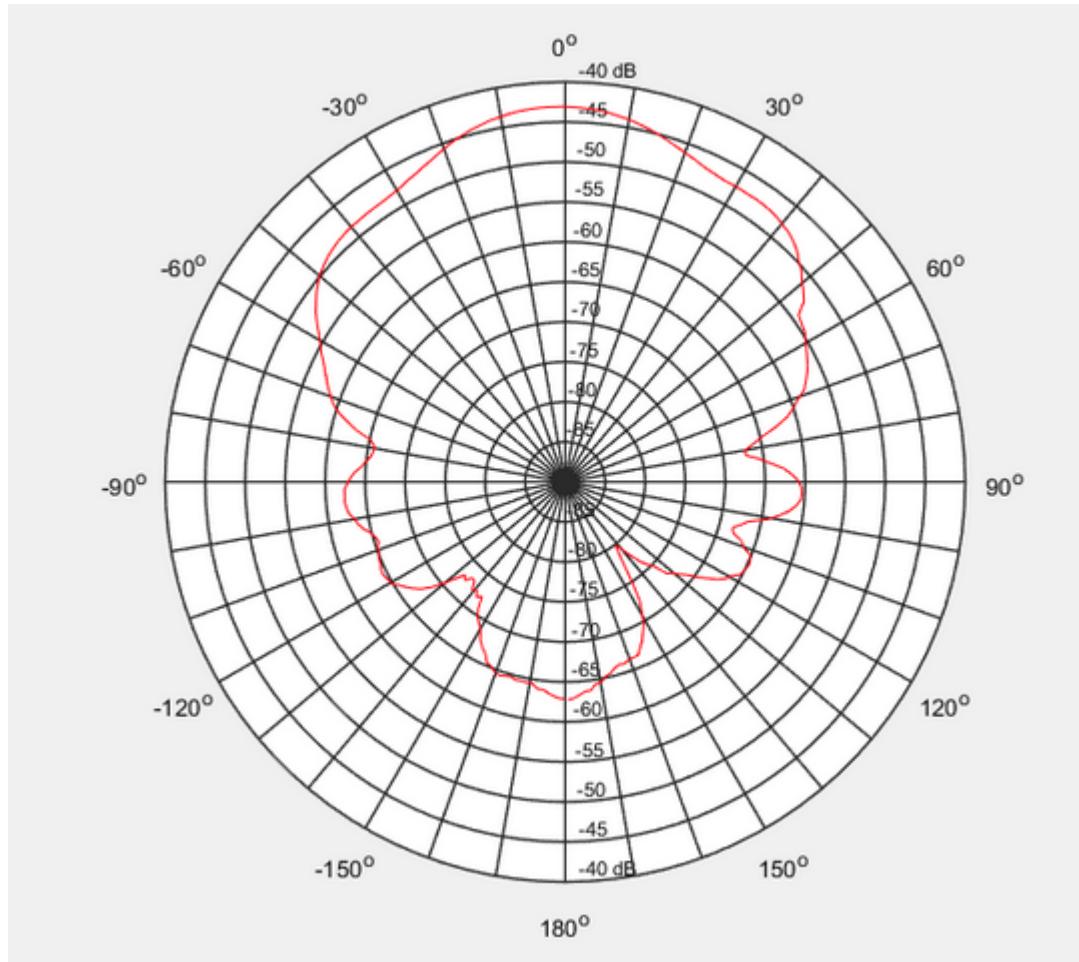
Antenne boite à T

Polarisation V



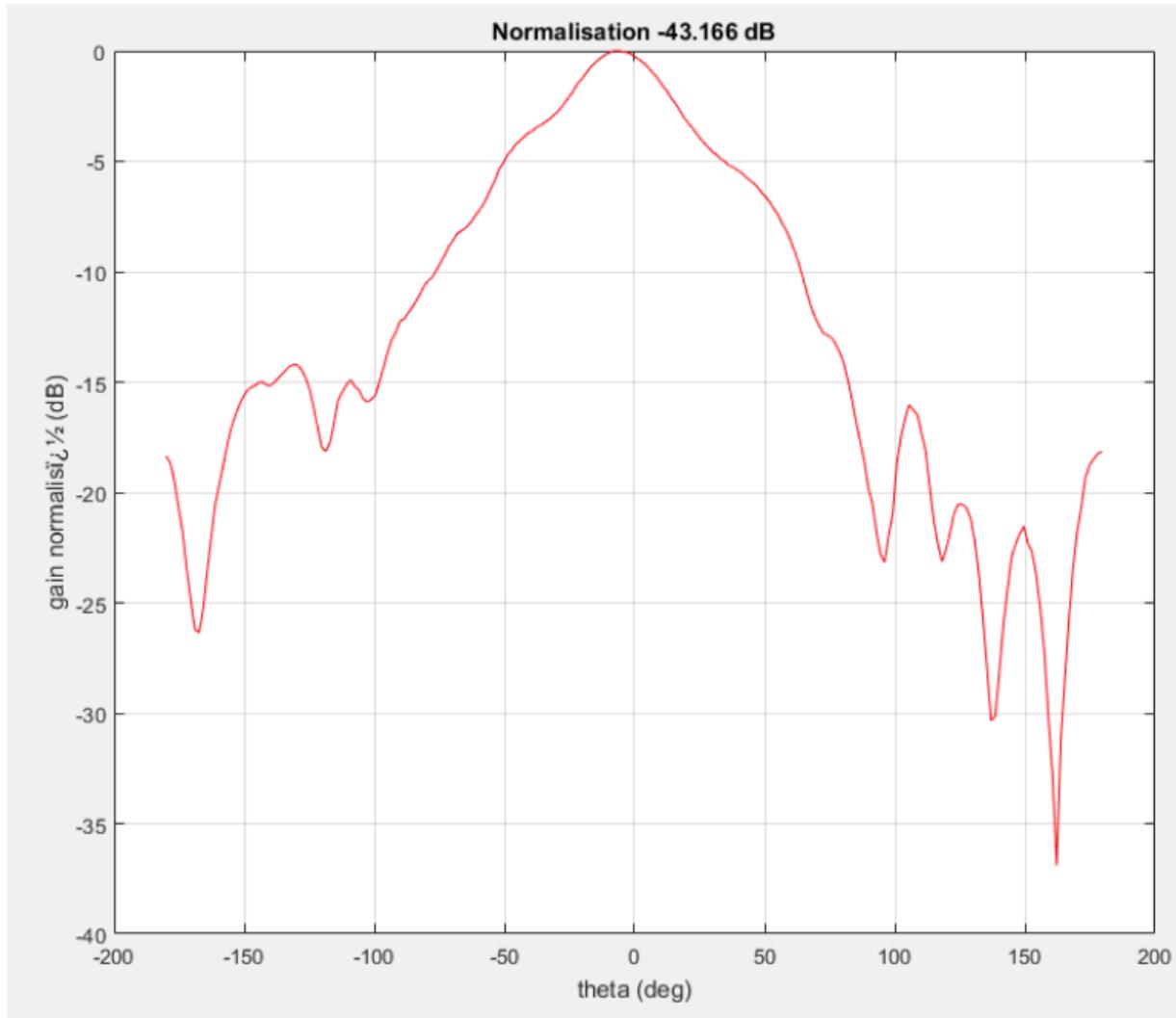
Antenne boîte à T

Polarisation V



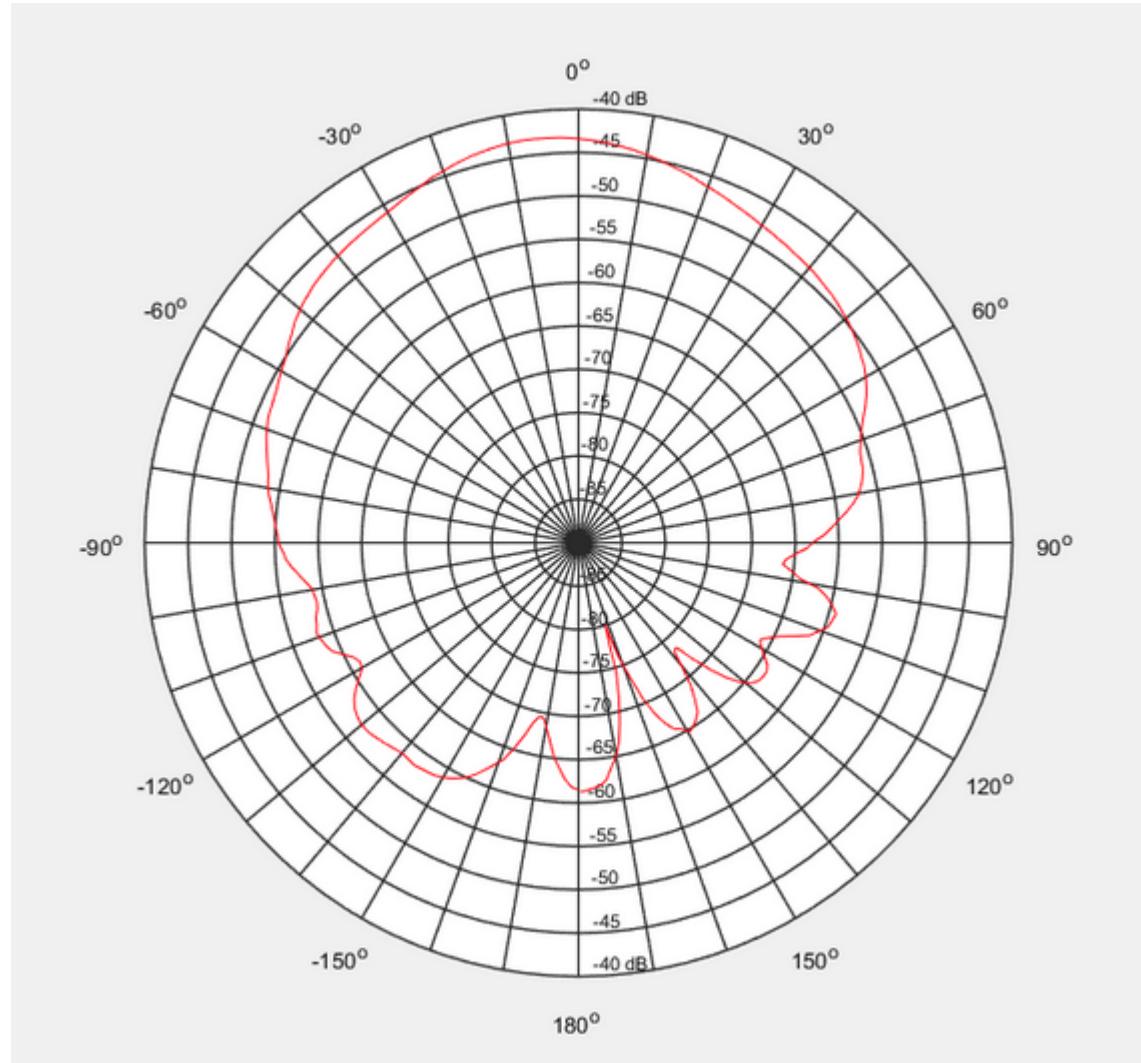
Antenne boite à T

Polarisation H



Antenne boîte à T

Polarisation H



Un exemple de documentation

SENCITY® Spot-S WiFi 2.4 GHz



Features:

- Directional, planar, linear vertical polarized WiFi antenna with 8.5 dBi gain
- WLAN IEEE 802.11 b/g - WiFi band 2.4 to 2.485 GHz
- Approved acc. to EN 50155 (2007) and EN 45545-2 (2012) for railway rolling stock and EN 50125-3 (2003) for railway signalling and telecommunications on track-side
- For outdoor and indoor applications
- Ingress protection IP66 and IP67
- Wall mounting material included

Specifications

Electrical data	
Frequency [MHz]	2400 to 2485
VSWR	1.5
Gain [dBi]	8.5
3 dB beamwidth [h] [°]	75
3 dB beamwidth [v] [°]	75
Front to back ratio [dB]	12

General data	
Nominal impedance [Ω]	50
Polarisation	vertical
Composite power max. [W]	10

Un exemple de documentation (suite)

Mechanical data

Dimensions (height × width × depth)	101 × 81 × 36 mm (3.98 × 3.19 × 1.42 in)
Weight	0.11 kg (0.24 lbs)
Connector	N (female) or SMA (female) or QMA (female)



Environmental data

Environment	outdoor
Operation temperature (°C)	-40 to 85
RoHS 2011/65/EU	compliant

Material data

Radome colour	RAL 7044 (grey)
Radome material	PC (Polycarbonate)

Déterminer :

- La bande de fréquence et la fréquence centrale et la longueur d'onde associée, le gain
- La distance de champ lointains
- La valeur du VSWR et son gabarit, la valeur du Return Loss et la puissance réfléchie si la puissance incidente est de 100mW, le gabarit du S11
- La polarisation, l'ouverture du diagramme d'antenne plan H et V, le rapport lobe principal – lobe arrière
- Le type du connecteur et le poids de l'antenne

Un exemple de documentation

CORRECTION

Déterminer :

- La bande de fréquence et la fréquence centrale et la longueur d'onde associée, le gain
 - Bande de fréquence : 85MHz, fréquence centrale : 2442.5MHz, longueur d'onde correspondante : 12.3cm, gain : 8.5dBi (7 en linéaire)
- La distance de champ lointains
 - $D = 0.101\text{m} \rightarrow R > 16.6\text{cm}$
- La valeur du VSWR et son gabarit, la valeur du Return Loss et la puissance réfléchie si la puissance incidente est de 100mW, le gabarit du S11
 - VSWR : 1.5 (Gabarit VSWR < 1.5 pour $2400 < f(\text{MHz}) < 2485$), RL= 14dB, $P_r = -14 + 20 = 6\text{dBm}$ (4mW), Gabarit S11 < -14dB pour $2400 \text{M} < f (\text{MHz}) < 2485$
- La polarisation, l'ouverture du diagramme d'antenne plan H et V, le rapport lobe principal – lobe arrière
 - Polarisation verticale, $\theta_H = 75^\circ$, $\theta_V = 75^\circ$, Rapport lobe principal – lobe arrière = 12dB
- Le type du connecteur et le poids de l'antenne
 - Connecteur N ou SMA ou QMA type F, poids : 0.11kg

Un autre type d'antenne

SENCITY® Omni Stick WiFi



Features:

- Omni-directional WiFi stick antenna
- IEEE 802.11 b/g, frequency band 2.4 to 2.5 GHz
- WiFi wireless LAN/ WLAN
- Gain 6 dBi, vertical polarized antenna
- Ingress protection IP67 (IEC 60529)
- For outdoor and indoor applications
- Pole or wall mount

Specifications

Electrical data

Frequency [MHz]	2400 to 2500
VSWR	1.8
Gain [dBi]	6
3 dB beamwidth [h] [°]	360
3 dB beamwidth [v] [°]	30

General data

Nominal impedance (Ω)	50
Polarisation	vertical
Composite power max. [W]	25

Un autre type d'antenne (suite)

Mechanical data

Dimensions (height × diameter)	250 × 19 mm (9.84 × 0.75 in)
Weight	0.3 kg (0.66 lbs)
Connector	N (female)



Environmental data

Environment	outdoor
Operation temperature (°C)	-40 to 85
RoHS 2011/65/EU	compliant
IP rating	IP67

Material data

Radome colour	RAL 9003 (signal white)
Radome material	Glass Fibre

Déterminer :

- La bande de fréquence et la fréquence centrale et la longueur d'onde associée, le gain
- La distance de champ lointains
- La valeur du VSWR et son gabarit, la valeur du Return Loss et la puissance réfléchie si la puissance incidente est de 100mW, le gabarit du S11
- La polarisation, l'ouverture du diagramme d'antenne plan H et V
- Le type du connecteur et le poids de l'antenne

Un autre type d'antenne

CORRECTION

Déterminer :

- La bande de fréquence et la fréquence centrale et la longueur d'onde associée, le gain
 - Bande de fréquence : 100MHz, Fréquence centrale : 2450 MHz , Longueur d'onde associée : 12.2cm , Gain : 6dBi (4 en linéaire)
- La distance de champ lointains
 - $D = 0.25m$, $R > 1.02m$
- La valeur du VSWR et son gabarit, la valeur du Return Loss et la puissance réfléchie si la puissance incidente est de 100mW, le gabarit du S11
 - VSWR : 1.8 (Gabarit VSWR < 1.8 pour $2400 < f(\text{MHz}) < 2500$), RL= 10.9dB, $P_r = -10.9 + 20 = 9.1\text{dBm}$ (8.1mW), Gabarit S11 < -10.9dB pour $2400 \text{MHz} < f (\text{MHz}) < 2500$
- La polarisation, l'ouverture du diagramme d'antenne plan H et V
 - Polarisation verticale, $\theta_H = 360^\circ$ (isotrope) , $\theta_V = 30^\circ$
- Le type du connecteur et le poids de l'antenne
 - Connecteur N (F), poids : 0.3kg

Antenne large bande

Exemple : antenne Flann DP240



Model DP240-AB

Frequency Range	2 GHz to 18 GHz
Gain	5 dBi to 18 dBi
Polarization	Simultaneous Horizontal & Vertical
3 dB Beamwidth	60° to 10° Nominal
Typical VSWR Better than	2.5:1
Cross Polarization	-20 dB Maximum
Isolation Between Ports	25 dB Typical
Maximum Power CW	10 Watts
Phase Tracking Between Ports	± 17° Maximum
Amplitude Tracking Between Ports	± 1.3 dB Maximum
SMA Female	
Aperture Diameter	135 mm
Overall Length	300 mm
Weight	2.75 kg (3.2 kg DP240-AB)

Antenne large bande

Exemple : antenne Flann DP240

- Déterminer la bande de fréquence
- Déterminer le gain en fonction de la fréquence
- Déterminer l'ouverture à -3dB en fonction de la fréquence
- La polarisation et la valeur de la cross-polarisation
- La puissance maximum en dBm
- La distance champ lointains (cas le plus défavorable)
- Le type de connecteur



Antenne large bande

CORRECTION

- Déterminer la bande de fréquence
 - Bande de fréquence : 16GHz , fréquence centrale : 10GHz
- Déterminer le gain en fonction de la fréquence
 - Gain : $G \text{ (dBi)} = 0.8125*f(\text{GHz}) + 3.375$ (approximation linéaire)
- Déterminer l'ouverture a -3dB en fonction de la fréquence
 - Ouverture à -3dB : $\theta(\circ) = -3.125*f(\text{GHz}) + 66.25$ (approximation linéaire)
- La polarisation et la valeur de la cross-polarisation
 - Polarisation : H et V , cross-polarisation < -20dB
- La puissance maximum en dBm
 - $P_{\max} < 40\text{dBm}$
- La distance champ lointains (cas le plus défavorable)
 - $D = 135\text{mm} \rightarrow \text{longueur d'onde } @F=18\text{GHz} = 1.77\text{cm} : R < 2\text{m}$
- Le type de connecteur
 - SMA (F)

Antenne large bande

CORRECTION

- Déterminer la bande de fréquence
 - Bande de fréquence : 16GHz , fréquence centrale : 10GHz
- Déterminer le gain en fonction de la fréquence
 - Gain : $G \text{ (dBi)} = 0.8125*f(\text{GHz}) + 3.375$ (approximation linéaire)
- Déterminer l'ouverture a -3dB en fonction de la fréquence
 - Ouverture à -3dB : $\theta(\circ) = -3.125*f(\text{GHz}) + 66.25$ (approximation linéaire)
- La polarisation et la valeur de la cross-polarisation
 - Polarisation : H et V , cross-polarisation < -20dB
- La puissance maximum en dBm
 - $P_{\max} < 40\text{dBm}$
- La distance champ lointains (cas le plus défavorable)
 - $D = 135\text{mm} \rightarrow \text{longueur d'onde } @F=18\text{GHz} = 1.77\text{cm} : R < 2\text{m}$
- Le type de connecteur
 - SMA (F)

Un mot sur l'ANFR



- L'Agence nationale des fréquences (ANFR) est un établissement public administratif créé en 1997. Elle dépend du ministre chargé des communications électroniques.
- L'ANFR est en charge de :
 - La planification, la prospective et les négociations internationales dans le domaine des fréquences
 - La gestion des sites radioélectriques et des assignations
 - Le contrôle des installations, des émissions et le traitement des brouillages

Complément : Équation radar

Équation Radar

$$P_R = \frac{P_E \cdot G_E \cdot G_R \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot D^4} \text{ où}$$

- P_R est la puissance reçue (en Watts)
■ P_E est la puissance émise (en Watts)
■ G_E est le gain de l'antenne émission (sans unité)
■ G_R est le gain de l'antenne réception (sans unité)
■ λ est la longueur d'onde du signal (en mètres)
■ σ est le coefficient de rétro diffusion de la cible (en m^2)
■ D est la distance antennes - cible

NB : il est très intéressant « en pratique » de prendre ou de convertir les valeurs de tous ces paramètres en [dB]



$$P_{R(dBm)} = P_{E(dBm)} + G_{E(dBi)} + G_{R(dBi)} + \sigma_{dBm^2} + 20 \log(\lambda) - 40 \log(D) - 33$$

Rappel : $R = \frac{P_1}{P_2} \Rightarrow R_{dB} = 10 \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$

Complément : Équation radar

Mise en œuvre

- $P_E = 10\text{ kW}$
- $G_E = G_R = 40\text{ dBi}$
- $f = 3\text{ GHz}$
- $\sigma = 3\text{ m}^2$
- $D = 50\text{ Km}$



	+	-
$P_E = 10\text{ kW} \rightarrow P_E = 70\text{ dBm}$	70	
$G_E=40\text{ dB}$	40	
$G_R=40\text{ dB}$	40	
$f = 3\text{ GHz} \rightarrow \lambda = 0.1\text{ m}$		20
$\sigma = 3\text{ m}^2 \rightarrow 4.78\text{ dBm}^2$	5	
$D = 50\text{ Km}$		188
		33
Bilan	155	241
$P_R (\text{dBm}) \rightarrow 2.51\text{ pW}$	-86 dBm	

Critère de champ lointain

- Condition front d'onde plan
 - Distance cible-radar
 - Dimension de la cible

$$\rightarrow R \geq \frac{2L^2}{\lambda}$$

Complément : Équation radar

Atelier : Utilisation de l'équation radar



Radar de contrôle de trafic aérien

Déterminer la puissance d'émission d'un radar TRACS ayant les caractéristiques suivante

- $P_{rmin} = 10^{-13}$ Watts
- $G=2000$
- $F=1.3\text{GHz}$
- $\text{PRF}=520\text{Hz}$
- $\sigma=2.0\text{m}^2$

- 1) Calculer λ
- 2) Exprimer les grandeurs en dB, dB_i, dB_m
- 3) Déterminer la portée du radar
- 4) Déterminer la puissance d'émission en dB_m
- 5) En déduire la puissance en W

Complément : Équation radar

Atelier



Problème : Déterminer la puissance reçue par le système radar décrit ci-dessous :

- Fréquence : 2800MHz
- Bande de fréquence : 1.67MHz
- PRF : 1200 Hz
- Largeur de l'impulsion : 0.6 μ s
- Puissance d'émission : 1.4MW (puissance peak)
- Gain de l'antenne : 33dBi
- Distance de la cible : 110 km (60 Mille marin)
- SER de cible : 1m²

Complément : Équation radar

Analyse de l'équation Radar

$$P_{R(dBm)} = P_{E(dBm)} + G_{E(dBi)} + G_{R(dBi)} + \sigma_{dBm^2} + 20 \log(\lambda) - 40 \log(D) - 33$$

Question : Comment augmenter la portée du radar. Par exemple multiplier la distance par 2 (110km → 220km) ?

- D x 2 → -12dB
- Augmenter la puissance d'émission : + 12dB (x16)
- Augmenter le gain des antennes : + 6dB (x4)
- Augmenter la SER de la cible : +12dB (x16)
- Diminuer la fréquence d'émission : +12dB (Fréquence/4)

Complément : Équation radar

Radar Doppler bande X

X-Band Doppler Motion Detector Units
Model Numbers MDU1100/20/30



Model	Country	Frequency
MDU 1100	UK	10.587 GHz
	UK Ceiling Mount	10.587 GHz
MDU 1120	Belgium, Holland, Italy	10.525 GHz
	Ceiling mount version	10.525 GHz
MDU 1130	Italy, France	9.90 GHz

Complément : Équation radar

MDU 1130

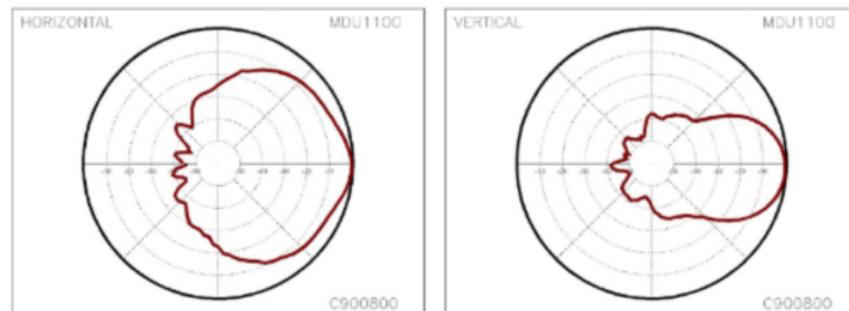
Transmitter

Frequency	See table over
Frequency Setting Accuracy	3 MHz
Power Output (Min.)	13 dBm EIRP
Operating Voltage	+5 V ± 0.25 V
Operating Current (CW)	60mA (max)
	40mA (typ)
Harmonic Emissions	<30dBm

Pulse Mode Operation

Average Current (5% DC)	2 mA typ.
Pulse Width (Min.)	5 µsecs
Duty Cycle (Min)	1%

Coverage Pattern



Receiver (3Hz to 80Hz bandwidth)

Sensitivity (10 dB S/N ratio)	-86 dBm
Noise	< 10 µV

Antenna : standard

Gain	8 dBi
-3 dB Beamwidth	
E Plane	72°
H Plane	36°

Antenna : ceiling mount

Gain	5 dBi
------	-------



Complément : Équation radar

MDU 1130 : Étude de la datasheet

- A partir des descriptions constructeurs, déterminer :
 - La fréquence d'émission, en déduire la longueur d'onde
 - Le gain des antennes
 - La puissance émise