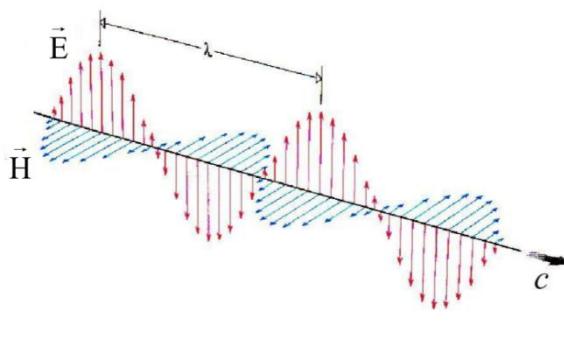


ANTENNES

Le dispositif de base pour transmettre ou recevoir un signal à travers le canal radioélectrique ou hertzien est une antenne. L'antenne, est un collecteur d'ondes, mais également un créateur d'ondes, l'antenne est donc réversible.

1. Grandeurs caractéristiques des ondes et antennes

1.1. L'onde électromagnétique



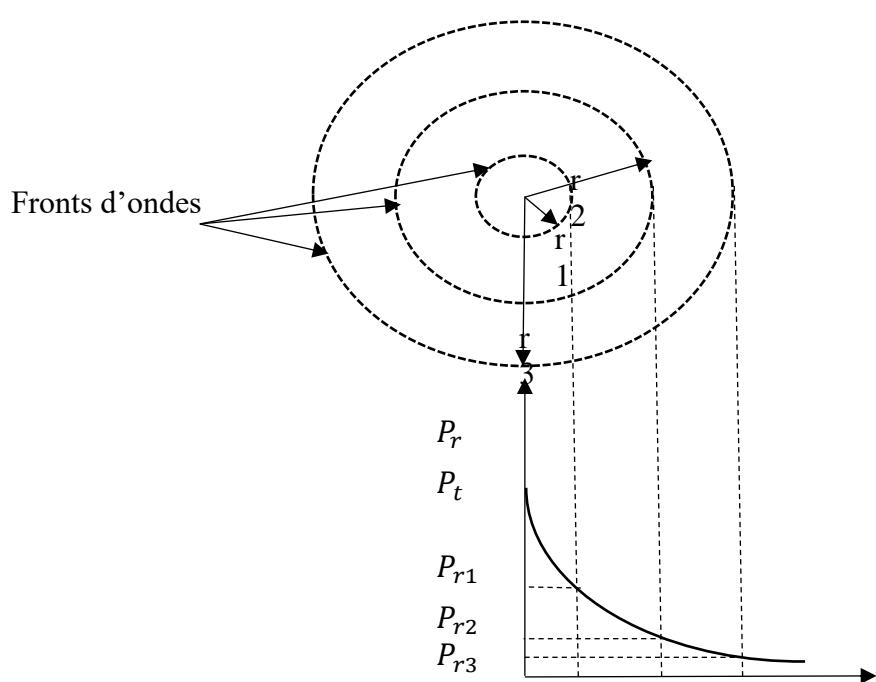
L'onde électromagnétique se propage en ligne droite dans l'air à la vitesse de la lumière $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

La longueur d'onde est définie comme le trajet parcouru par une onde après une période d'oscillation T .

$$\lambda = \frac{c}{f} = c \cdot T$$

1.2. Puissance et densité de puissance

Puissance de rayonnement : une source S, de puissance de rayonnement P_t émettant uniformément dans toutes les directions de l'espace, distribuera à une distance r une densité de puissance P_r : $P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2}$



$$P_{r1} = \frac{P_t}{4\pi r_1^2}$$

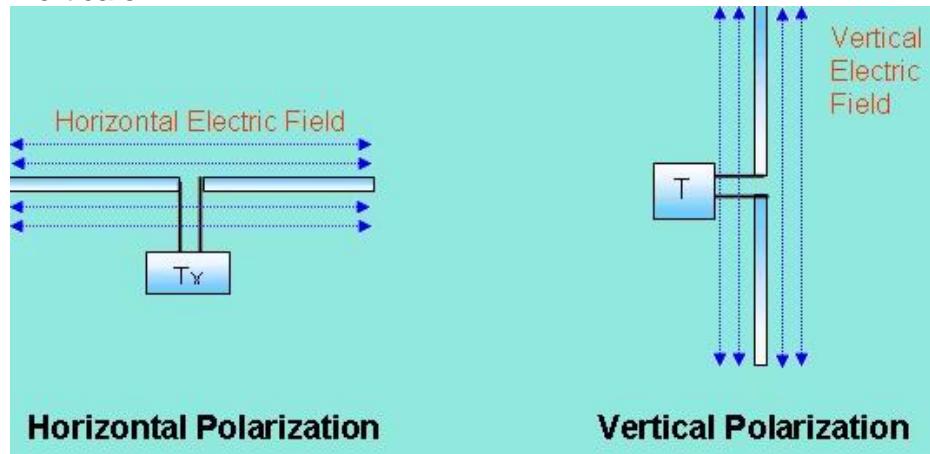
$$P_{r2} = \frac{P_t}{4\pi r_2^2}$$

$$P_{r3} = \frac{P_t}{4\pi r_3^2}$$

1.3. Polarisation

Une antenne d'émission est un conducteur qui transforme une énergie électrique en énergie de rayonnement électromagnétique.

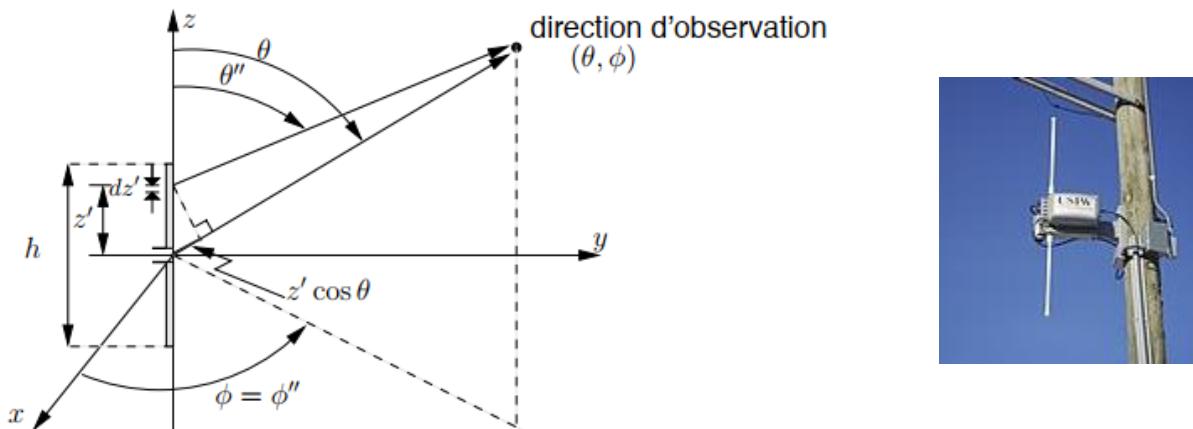
La polarisation d'une onde est le plan dans lequel varie le champ électrique. Par conséquent, une antenne horizontale propage une onde électromagnétique à polarisation horizontale tandis qu'une antenne verticale propage une onde électromagnétique à polarisation verticale.



1.4. Diagramme de rayonnement

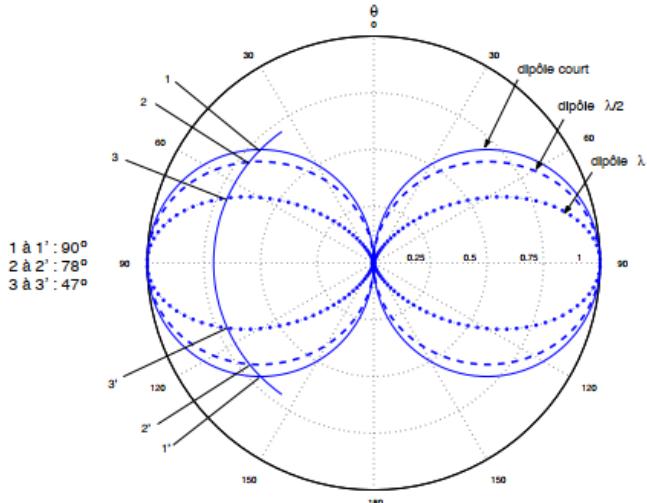
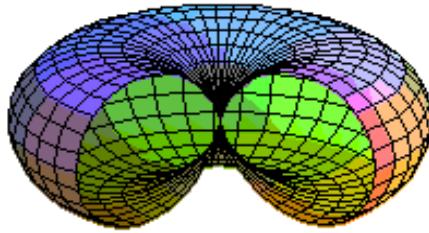
Selon la forme de l'antenne, la distribution de courant va changer entraînant une modification du champ électrique rayonnée. Il en résulte des formes de diagrammes de rayonnement, largeurs de faisceau ou gain de directivités différents.

Une forme simple d'antenne est obtenue par un dipôle constitué de 2 brins métalliques, alimenté en son milieu, (Heinrich Rudolph Hertz vers 1886) comme illustré ci-dessous :



Cette antenne est généralement de longueur totale $L=\lambda/2$, soit un dipôle demi-onde, pour faciliter l'adaptation d'impédance.

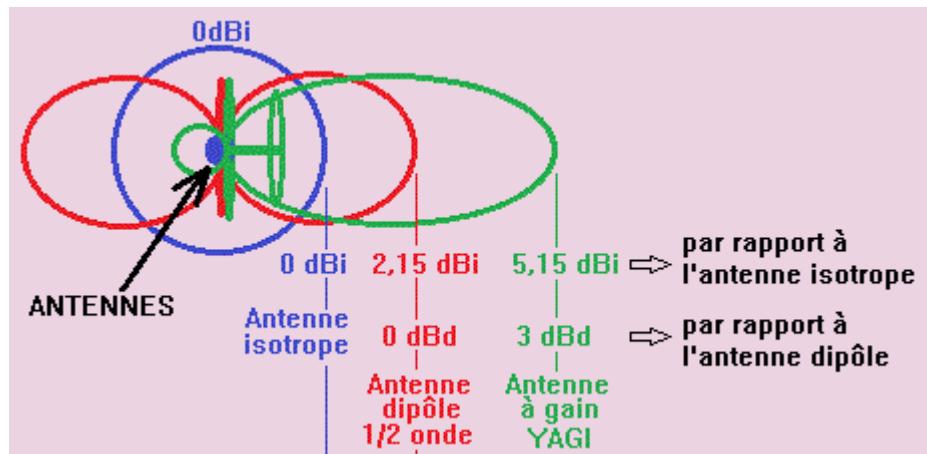
Les diagrammes de rayonnement représentent les lieux géométriques des puissances de rayonnement égales autour de l'antenne. Pour l'antenne « dipole », suivant l'angle θ , les diagrammes suivants sont obtenus :



1.5. Gain de directivité

Une antenne isotrope émet des puissances égales dans toutes les directions, soient un diagramme de rayonnement sphérique.

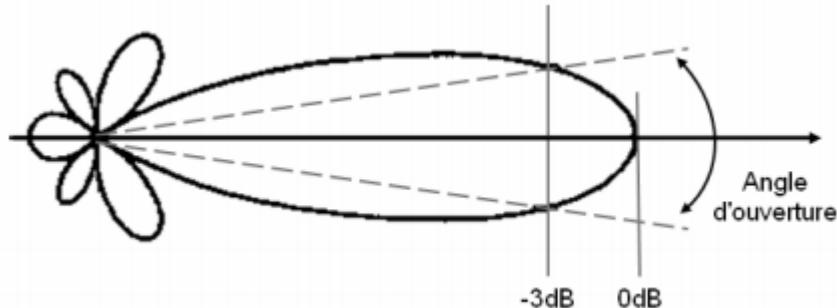
La directivité D permet de comparer la densité de puissance dans l'axe de l'antenne par rapport à celle qui aurait été obtenue pour une antenne isotrope de diagramme de rayonnement sphérique. Elle s'exprime en dBi, soit en dB par rapport à l'antenne isotrope.



Elle est utilisée pour calculer le gain directif utilisé dans les bilans de puissance : $G = \epsilon \cdot D$
avec l'efficacité $\epsilon = \text{Puissance électrique fournie} / \text{puissance rayonnée}$

1.6. Largeur de faisceau

La largeur de faisceau est définie par la séparation angulaire correspondant à une atténuation de 3 dB du lobe principal du diagramme de rayonnement.



2. Etude de l'antenne dipole de type demi-onde

2.1. Procédure de lancement du programme

- Vérifier que l'antenne est déconnectée de la tour d'émission
- Mettre la tour sous tension (Switch Power)
- Mettre le moteur sous tension (Switch motor on).
- Lancer le programme ESPIAL
- Sélectionner le programme 57-200 AntenneLAB → Launch
- Cliquer sur l'icône « The dipole in Free Space » et menu « practical1 » :
- Dans le menu « Rotor/Generator » :
- Vérifier les valeurs de calibration suivantes :
 - 3 = counts/dB
 - 0=Noise floor
 - 506/5=Serial Number
- Cliquer sur l'icône « Antenna to zero »

2.2. Dipôle seul

2.2.1. Etude de la polarisation :

- Monter horizontalement un dipôle alimenté sur le support de la tour émission et choisir la fréquence **Set Frequency** $f=f_0=1.3$ GHz
- Entrer dans le menu « *Real Time* » qui permet de mesurer le niveau du signal reçu, orienter les antennes "émission" et "réception" de façon à obtenir le niveau optimal.
- Tourner manuellement l'antenne de réception dans le plan vertical, d'un angle variant de 0° à 90° et mesurer le niveau du signal reçu.

- Conclure sur la nécessité de respecter la polarisation de l'onde émise.

2.2.2. Diagramme de rayonnement

- A l'aide de l'option « Radiation pattern » dans laquelle vous aurez validé les options suivantes : Polar, Normalise et Overlay, relever les diagrammes de rayonnement horizontal et vertical sur une même feuille, (Attention les antennes d'émission et de réception doivent être placées toutes les deux deux horizontalement puis verticalement).
- Commentez les résultats obtenus.

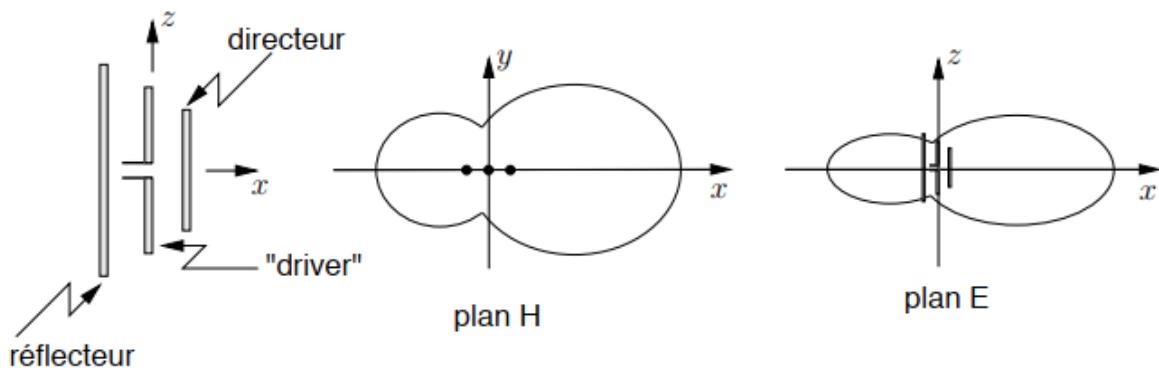
3. Antenne Yagi

3.1. Présentation

Dans l'antenne Yagi-Uda, des éléments passifs sont rajoutés pour modifier le diagramme de rayonnement et le rendre plus directif. Ces antennes sont très populaires car elles permettent d'obtenir des directivités élevées de façon simple et à faible cout. Les premières recherches sur ce type d'antenne ont été menées par Uda au Japon en 1926 et Yagi la présenta en 1928.

Elles sont composées :

- D'un élément actif, généralement un dipôle $L=\lambda/2$
- D'un ou plusieurs éléments passifs plus long, appelés réflecteurs
- D'un ou plusieurs éléments passifs plus court, appelés directeurs



3.2. Influence d'un réflecteur

- Placer un réflecteur à l'arrière du dipôle. Il faut que la longueur du réflecteur soit supérieure à la longueur du dipôle. Pour différentes distances d entre les deux éléments (ex: 1cm, 2cm,...), mesurer le gain relatif « signal-level » et tracer la courbe de gain $G(\text{dB})$ en fonction de la distance pour la fréquence $f_0=1.3 \text{ GHz}$

- Relever sur la même feuille : les diagrammes de rayonnement obtenus sans réflecteur et avec le réflecteur à la distance optimale d_{opt} . Commentez-vos résultats.
- Quel est le gain en dB apporté dans l'axe, entre l'antenne avec réflecteur et le dipôle seul ? Sachant que le dipôle $\frac{1}{2}$ onde a un gain de directivité de 2.15 dBi par rapport à l'antenne isotropique, quel sera le gain de directivité en dBi de l'antenne avec 1 réflecteur ? (voir la partie théorique 1.5).

3.3. Influence d'un directeur :

- Enlever l'élément réflecteur et placer un élément directeur devant le dipôle, de longueur plus courte que le dipôle alimenté.
- Refaire les manipulations précédentes. C'est à dire déterminer une distance $d_{opt'}$ telle que la puissance reçue par le récepteur soit maximale.
- relever sur la même feuille les diagrammes de rayonnement obtenus sans directeur et avec le directeur à la distance optimale $d_{opt'}$. Commentez-vos résultats. Quel est le gain en dB apporté dans l'axe ? et le gain de directivité en dBi par rapport à l'antenne isotropique ?

3.4. Étude de l'ensemble directeur + réflecteur et antenne YAGI

- Sur une même feuille, tracer le diagramme de rayonnement avec les antennes suivantes :
 - Le dipôle seul
 - Le dipôle avec 1 réflecteur et 1 directeur.
 - Une antenne YAGI constituée au moins de 1 réflecteur et 4 directeurs

Les distances entre les éléments et la fréquence seront les mêmes que celles utilisées dans les questions précédentes.

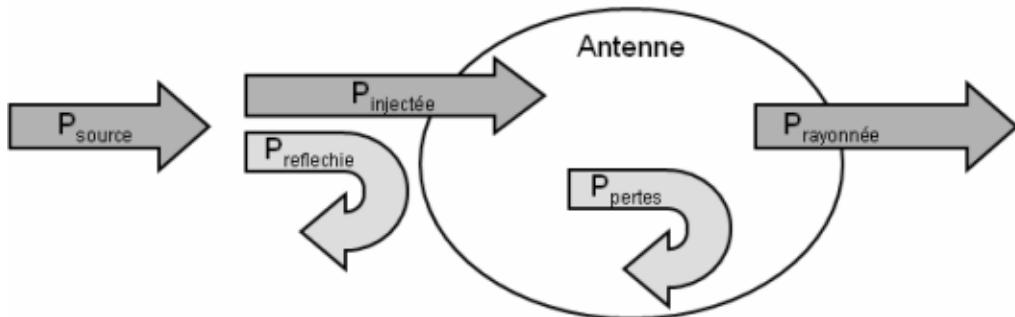
- A partir de vos relevés, comparer les 3 antennes en termes de largeur du faisceau et de gain de directivité (voir 2.3 dans la partie théorique).

4. Adaptation d'impédance et paramètre S_{11}

4.1. Présentation

L'antenne d'un point de vue électrique est représentée par une simple impédance complexe.

Pour que l'antenne puisse émettre un maximum de puissance, elle doit être adaptée en impédance afin d'absorber la puissance issue du générateur et limiter la puissance réfléchie vers la source.



Un système adapté est obtenu si l'impédance de la source, l'impédance caractéristique de la ligne et la charge, donc ici l'antenne, ont la même impédance, soit 50Ω .

Plusieurs grandeurs peuvent être utilisées pour vérifier que la charge est adaptée et notamment le coefficient de réflexion qui s'exprime par :

$$\Gamma = S_{11} = \frac{V_{réfléchie}}{V_{incidente}} = \frac{Z - Z_c}{Z + Z_c}$$

$$|S_{11}|^2 = \frac{P_{réfléchie}}{P_{incidente}}$$

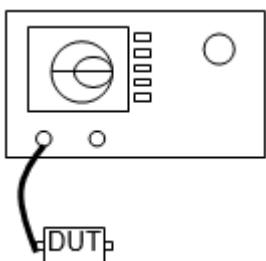
Ou en puissance :

Le paramètre S_{11} représente donc le coefficient de réflexion, il doit être le plus faible possible, inférieur à 1, ou en dB inférieur à -15 ou -20 dB.

4.2. Mesure de l'adaptation

4.2.1. Procédure de calibration

L'adaptation d'entrée, caractérisée par S_{11} , est déduite de mesures à l'analyseur de réseau vectoriel en utilisant un seul accès ou « port » de l'appareil.



Avant de réaliser les mesures, il est nécessaire d'effectuer la calibration qui sert à prendre en compte les câbles et connecteurs indispensables pour relier l'appareil à l'antenne à mesurer, notée DUT (Device Under Test).

- Connecter sur l'AVectoriel les câbles qui seront utilisés lors des mesures.
- Préciser la bande de fréquence utile
- Sélectionner le répertoire CAL puis le menu CALIBRATE MENU

calibration pour la mesure de S11 1-PORT

- Valider l'option **S11 1-PORT**

Utiliser le circuit de calibration comportant un court circuit CC, un circuit ouvert CO et une charge $50\ \Omega$

- Connecter le CC sur la voie 1 et presser la touche **SHORT**, attendre que les mesures soient effectuées.
 - Connecter le CO et laisser la voie 1 en l'air et presser la touche **OPEN**.
 - Connecter la charge $50\ \Omega$ sur la voie 1 et presser la touche **LOAD**.
- Une fois la procédure terminée presser la touche **DONE 1-PORT CAL**.

4.2.2. Mesures d'adaptation

Pour une antenne constituée d'un dipôle et pour l'antenne YAGI constituée au moins de 1 réflecteur et 4 directeurs :

- Brancher les câbles et connecteurs nécessaires à la mesure
- Fixer la bande de fréquence (START-STOP) entre 750 MHz et 1500 MHz
- Faire la procédure de calibration
- Vérification de la calibration : en utilisant la voie 1 (CH1), mesurer S_{11} (MEAS: S_{11}) et localiser sur l'abaque de SMITH (FORMAT: SMITH CHART) les points correspondants aux charges suivantes : Court Circuit CC, Circuit Ouvert CO et $50\ \Omega$.
- Tracer l'impédance de l'antenne sur l'abaque de SMITH et à l'aide d'un marqueur, donner la fréquence f_0 du point qui vous semble le plus proche de $50\ \Omega$.
- Mesurer le coefficient de réflexion $\rho=S_{11}$ (MEAS: S_{11} , FORMAT: LOG MAG) de l'antenne. En déduire les fréquences ou bandes de fréquences possibles d'utilisation de chaque antenne testée. On choisira par exemple les fréquences pour lesquelles S_{11} est inférieur à -15 dB.
- Pour le dipôle, mesurer la longueur L de l'antenne et calculer la fréquence $f_{0\text{theo}}$ telle que $L=\lambda/2$. Comparer $f_{0\text{theo}}$ à la fréquence f_0 et en déduire que l'adaptation est obtenue pour une longueur légèrement plus faible que $\lambda/2$.