

Chapitre 3 : Rayonnement des antennes

1. Définition et Paramètres caractéristiques d'une antenne

1.1. Définition d'une antenne

Une antenne est un transducteur entre la ligne de transmission connectée à un générateur et le milieu où l'onde rayonne. Ainsi on peut définir une antenne en émission ou en réception selon son mode de fonctionnement. Une antenne reliée à une ligne de transmission et rayonnant en espace libre peut être considérée comme un dispositif de couplage entre une onde guidée le long de la ligne et une onde rayonnée dans l'espace.

Par conséquent, une antenne est un dispositif qui permet de recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques. Elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée et vice versa. Ce dispositif est en général réciproque. Lorsqu'il est utilisé pour transmettre l'énergie électromagnétique d'une source radioélectrique vers le milieu de propagation, on l'appelle antenne d'émission. Par contre, lorsqu'il est utilisé en sens inverse, on l'appelle antenne de réception.

L'antenne a plusieurs rôles, dont les principaux sont les suivants :

- ✓ Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation,
- ✓ Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées,
- ✓ Transmettre le plus fidèlement possible une information.

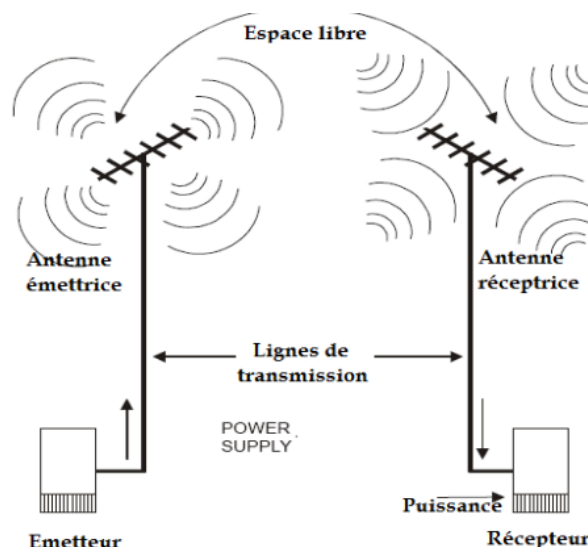
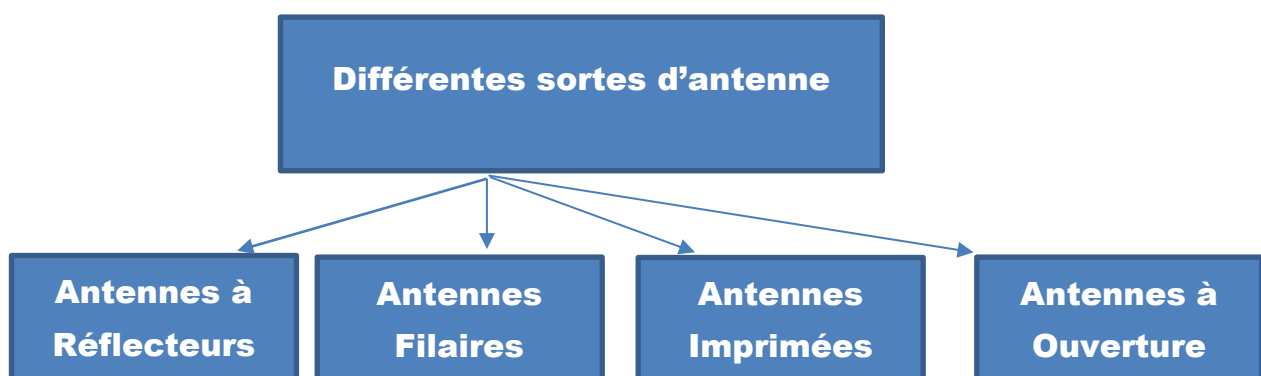


Figure .1: Système sans fil comportant une antenne émettrice et une antenne réceptrice

Par ailleurs, afin de décrire les caractéristiques et les performances des antennes, divers paramètres sont utilisés. Ces paramètres sont classés en deux groupes. Le premier groupe caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique (impédance d'entrée et coefficient de réflexion) et le second groupe s'intéresse à ses propriétés de rayonnement, tel que le diagramme de rayonnement, la directivité et le gain...

1.2. Les différents types d'antennes

Il existe plusieurs types d'antennes qui diffèrent par leur fonctionnement, leur géométrie, et leur technologie. Il est possible d'identifier plusieurs familles à l'origine de l'ensemble des structures rayonnantes : les antennes filaires (comme le dipôle, le monopôle, l'antenne Yagi), les antennes patchs (antennes à structures planaires), les antennes à ouverture (comme le cornet), et les antennes à réflecteurs (comme les paraboles).

**Figure 2.** Différentes sortes d'antennes.

1.2.1. Antennes filaires

Les antennes filaires sont l'un des types d'antennes les plus simples et les plus anciens et les plus courantes. Elles sont constituées d'un ou de plusieurs fils conducteurs, généralement en cuivre ou en aluminium. Les antennes filaires sont populaires car elles sont peu coûteuses, faciles à construire et efficaces dans une large gamme de fréquences.

Elles sont utilisées pour des types de transmissions très différents : sur les véhicules, les bâtiments, les bateaux, les avions... etc. Il existe nombreux types d'antennes filaires, mais les plus courantes sont de type fil rectiligne dipôle, en boucle ou en hélice, antenne YAGI.

L'antenne dipôle est souvent utilisée comme antenne de référence dans les systèmes radio-mobiles. C'est en effet le type le plus simple.

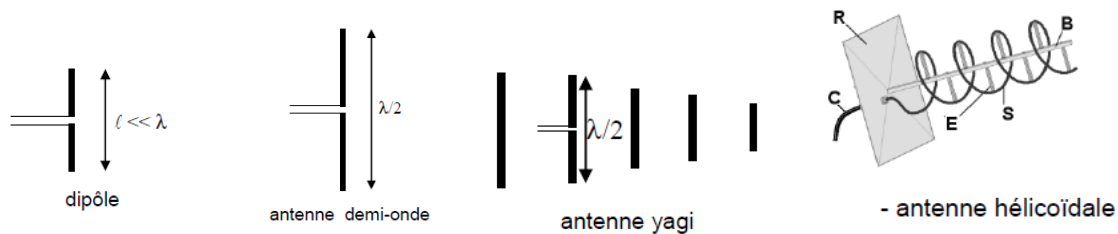


Figure 3. Exemples d'antennes filaires.

1.2.2. Antennes à ouverture rayonnante

Les ouvertures rayonnantes correspondent à un type particulier d'antennes adaptées aux applications nécessitant des faisceaux étroits à fort gain (faisceau hertzien) communications spatiales, radar ... On les retrouve, dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes tels que les radars, les antennes satellites...les antennes cornets sont largement utilisées de nos jours dans le domaine des microondes, en particulier dans les bases de mesures, les sources primaires des réflecteurs paraboliques, mais également dans des applications qui requièrent une large bande passante

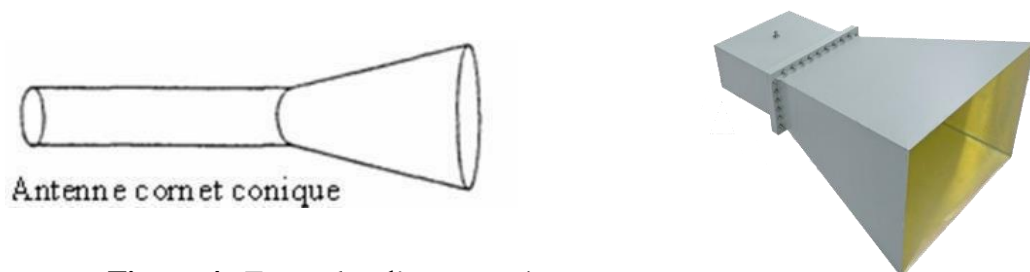


Figure 4. Exemples d'antennes à ouverture rayonnante.

1.2.3. Antennes à réflecteurs

Ces antennes consistent principalement en une source illuminant une surface réfléchissante. Les applications principales de ce type d'antennes se situent dans le domaine des communications spatiales qui nécessitent des antennes capables de communiquer sur des distances importantes de plusieurs millions de kilomètre. Le réflecteur parabolique est la forme la plus connue de ce type d'antennes

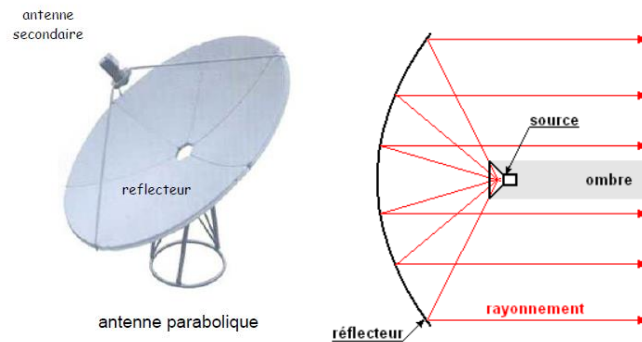


Figure 5. Exemples d'Antennes à réflecteurs.

1.2.4. Les antennes imprimées

L'antenne imprimées ou plaquées appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents.

Une antenne imprimée est constituée d'un plan de masse et d'un substrat diélectrique, dont la surface porte un ou plusieurs éléments métallisés, appelé en anglais « patch ». Les patchs se déclinent suivant différentes formes qui vont influencer sur la nature du rayonnement de l'antenne. On trouve en pratique des éléments rayonnants de la forme d'un rectangle ou d'un carré, d'un disque circulaire ou d'un anneau, d'un triangle ou d'un dipôle. L'élément le plus utilisé est celui de forme rectangulaire.

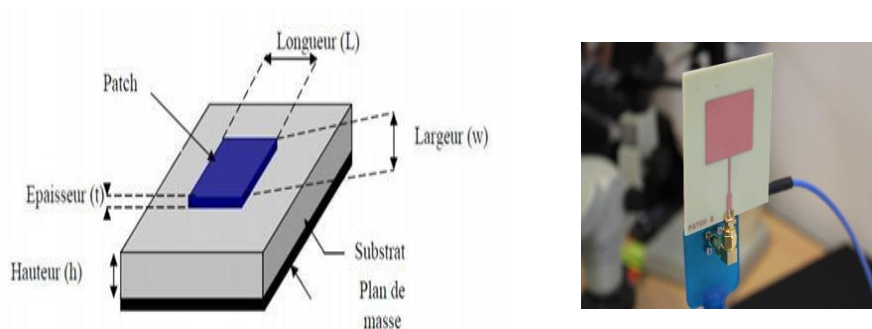


Figure 6. Exemple d'antenne imprimée.

1.3.Caractéristiques des antennes

Une antenne est caractérisée par différents paramètres qu'on peut classer soit en caractéristiques électriques, soit en caractéristiques de rayonnement.

1.3.1. Caractéristiques de rayonnement

1.3.1.1 Différentes zones de rayonnement

On distingue trois zones de rayonnement d'une antenne : zone de Rayleigh, zone de Fresnel et zone de Fraunhofer. La figure 7 montre la variation de la densité de puissance en fonction de la distance r pour les trois zones. D représente le diamètre de la surface équivalente de l'antenne tandis que λ est la longueur d'onde.

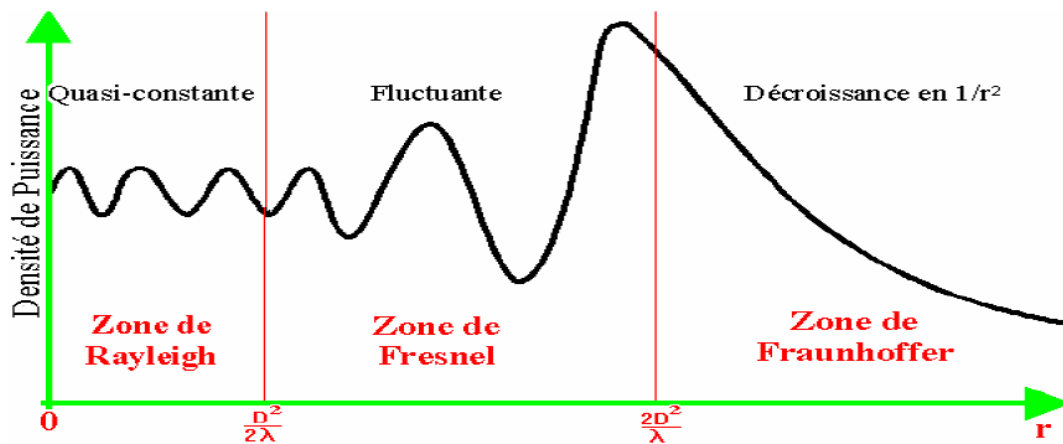


Figure7 : Zone de rayonnement d'une antenne

❖ Zone de Rayleigh

Dans cette zone de champ proche(ou zone de Rayleigh), il y a échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu extérieur. A courte distance (par rapport à la longueur d'onde), $r < \frac{D^2}{2\lambda}$ la densité de puissance est quasi constante.

r est la distance à l'antenne.

❖ Zone de Fresnel

Dans la seconde zone, $\frac{D^2}{2\lambda} < r < \frac{2D^2}{\lambda}$, la densité de puissance est fluctuante.

❖ Zone de Fraunhofer

Dans la zone du champ lointain(ou de Fraunhofer), à grande distance(par rapport à la longueur d'onde), les champs sont rayonnés sous la forme d'onde(quasiment) plane.

Dans cette zone $r > \frac{2D^2}{\lambda}$, la densité de puissance décroît en $\frac{1}{r^2}$.

1.3.1.2 Puissance rayonnée par une antenne

Une antenne sert à convertir une puissance électrique en une puissance rayonnée, c'est-à-dire transportée par une onde électromagnétique, qui peut se propager dans toutes les directions de l'espace. Les directions dans lesquelles cette puissance va dépendre des caractéristiques de l'antenne.

Commençons par exprimer la puissance rayonnée par une antenne quelconque, dont le centre est placé au centre d'un repère sphérique (Fig.7) et connectée à une source qui lui fournit une puissance électrique P_A . La puissance rayonnée dans une direction quelconque (θ, φ) dans un angle solide Ω (exprimé en stéradian sr) est donnée par l'équation 1. La puissance fournie à une surface élémentaire située à une distance R est donnée par l'équation 2. La puissance rayonnée totale correspond à la somme des puissances rayonnées dans toutes les directions de l'espace (équation 3).

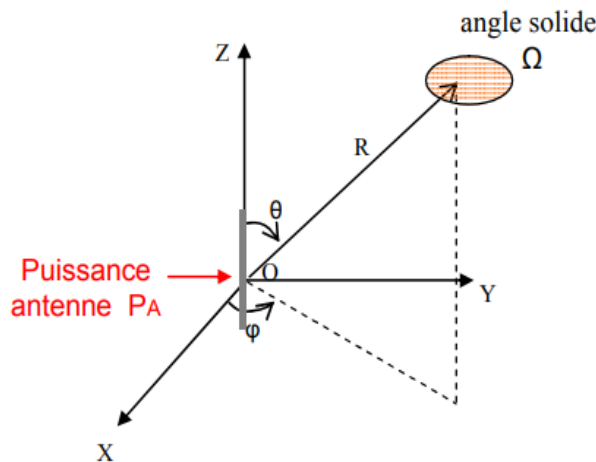


Figure 7 : Puissance rayonnée par une antenne dans une direction de l'espace

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P_A}{\Omega} \text{ (W ou W / sr)} \quad \text{Eq.1}$$

$$p(\theta, \varphi) = \frac{P_A}{\Omega \cdot R^2} \text{ (W / m}^2\text{)} \quad \text{Eq.2}$$

$$P_{tot} = \int \int_{\theta \varphi} P(\theta, \varphi) d\varphi d\theta \text{ (W / m}^2\text{)} \quad \text{Eq.3}$$

1.3.1.2. Antenne omnidirectionnelle ou isotrope

Dans le cas d'une antenne sans pertes et d'une propagation dans un milieu homogène et isotrope, une antenne isotrope est une source ponctuelle qui rayonne une onde sphérique, c'est-à-dire de manière constante dans toutes les directions de l'espace

Bien qu'elle soit **idéale** et physiquement **irréalisable**, elle est souvent prise comme référence pour exprimer les propriétés directives des antennes réelles

Puissance rayonnée par unité d'angle solide :

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P_A}{4\pi} \quad \text{Eq.4}$$

Puissance rayonnée par unité de surface :

$$p(R, \theta, \varphi) = \frac{P_A}{4\pi R^2} \quad \text{Eq.5}$$

Apartir de la mesure de la puissance rayonnée, il est possible de déterminer la valeur du champ électrique. En espace libre et en champ lointain, la puissance transportée par l'onde est donnée par le vecteur de Poynting $\vec{P} = \frac{1}{2} (\vec{E} \times \vec{H}^*)$ et les champs E et H sont perpendiculaires, en phase et reliés par l'impédance d'onde. De plus, les amplitudes E et H sont liées par la relation $E/H=120\pi$, On peut en déduire la relation suivante :

$$p = \frac{1}{2} E \cdot H = \frac{1}{2} \frac{E^2}{120\pi}$$

$$\frac{P_A}{4\pi R^2} = \frac{E^2}{240\pi}$$

On déduit la valeur du champ électrique rayonné :

$$E \text{ (V/m)} = \frac{\sqrt{60P_A}}{R} \quad \text{Eq.6}$$

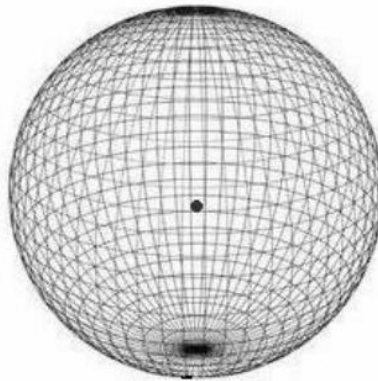


Figure .8: Antenne isotrope et son diagramme de rayonnement.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne isotrope se présente sous forme d'une sphère

1.3.1.3. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace.

Il indique les **directions de l'espace** (θ_0, φ_0) dans lesquelles la **puissance rayonnée est maximale**. Il est important de noter que le diagramme de rayonnement n'a de sens que si l'onde est sphérique.

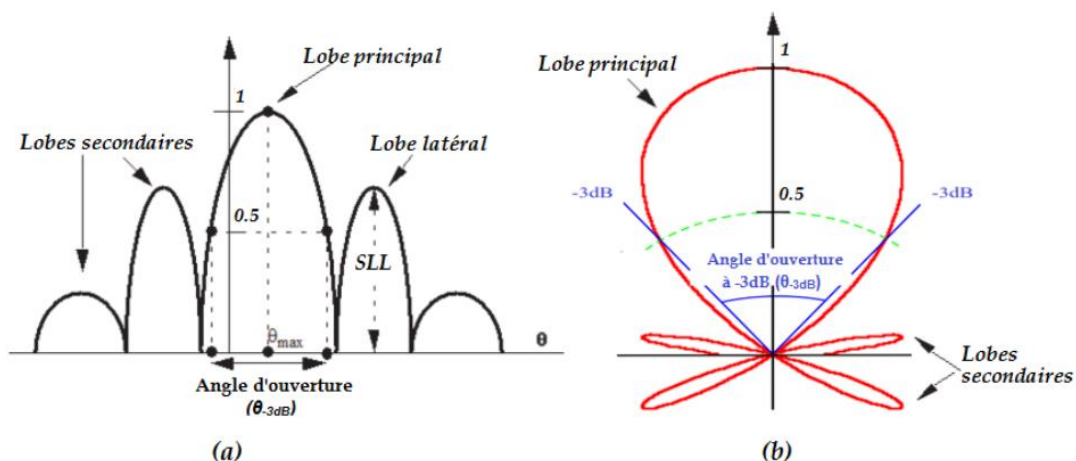
On trace dans le diagramme de rayonnement la fonction caractéristique de rayonnement $r(\theta, \varphi)$, qui varie entre 0 et 1 selon la direction. Celui-ci peut se représenter sous différentes formes (Fig. 3).

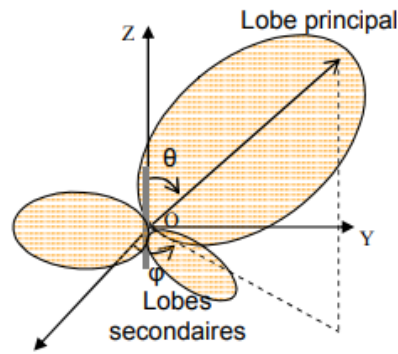
En général, le diagramme de rayonnement d'une antenne est représenté dans les plans horizontaux ($\theta = 90^\circ$) et verticaux ($\varphi = \text{constante}$), ou bien dans les plans E et H.

$$r(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta_0, \varphi_0)} \quad \text{Eq.7}$$

← Puissance rayonnée dans une direction quelconque
← Puissance rayonnée max

Le diagramme de rayonnement peut se faire en **trois dimensions** (3D) dont des diagrammes polaires représentant plusieurs plans, ou en deux dimensions dont des diagrammes de rayonnement représentés dans deux plans de coupe: horizontal (vu de dessus) et vertical (vu de côté). Les diagrammes en 2 dimensions peuvent être représentés en coordonnées **cartésiennes** ou en coordonnées **polaires** (voir l'exemple de la figure ci-dessous).





(c)

Figure 3: Diagrammes de rayonnement en 2D: (a) représentation cartésienne, (b) représentation polaire, (c) représentation en 3D

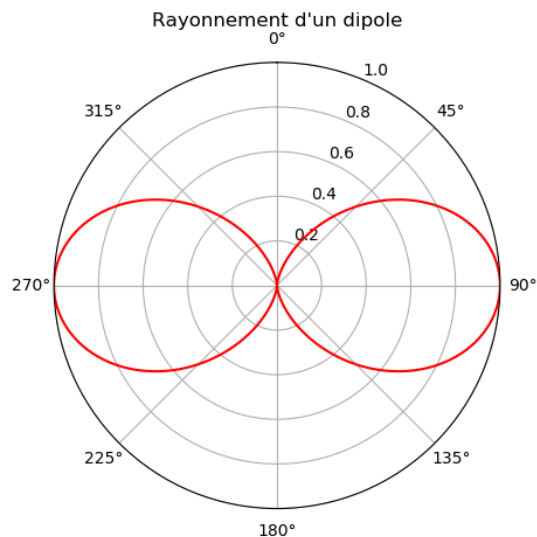


Figure 4: Exemple de diagramme de rayonnement pour un dipôle élémentaire

Ces diagrammes sont caractérisés par un lobe principal et des lobes secondaires.

Un lobe principal: C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement.

Des lobes secondaires: Tous les autres lobes sont appelés lobes secondaires. Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables.

Un lobe arrière (rayonnement arrière): C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à 180° du lobe principal.

Dans la plupart des systèmes antenaires, les lobes secondaires sont indésirables. Une bonne conception d'antenne doit permettre de minimiser les lobes secondaires

Lorsque l'on désire établir une liaison directe entre deux points A et B, il faut que la direction de rayonnement maximal coïncide avec la direction AB. Par conséquent, la puissance rayonnée hors de cette direction est inutile. Elle peut même perturber des liaisons situées dans d'autres directions. Il est donc nécessaire d'affiner le lobe de rayonnement principal et de réduire au minimum le niveau des lobes secondaires.

Modèles de rayonnement

Il existe trois modèles de rayonnement couramment utilisés pour décrire la propriété du rayonnement d'une antenne :

□ **Isotrope** : L'antenne isotrope qui rayonne d'une façon équivalente (omnidirectionnelle) dans toutes les directions de l'espace est une antenne hypothétique qui sert comme antenne de référence pour l'étude d'autres types d'antennes. Son diagramme de rayonnement se présente sous forme d'une sphère.

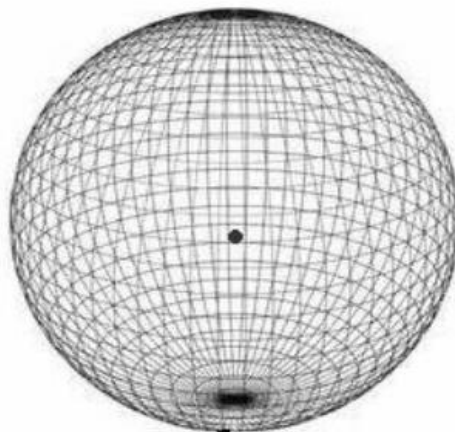


Figure : Antenne isotrope.

□ **Directionnel** : Les diagrammes dits directifs où la plus grande partie de la puissance rayonnée est concentrée dans un lobe appelé lobe principal. Le reste de la puissance est distribuée dans de multiples lobes.

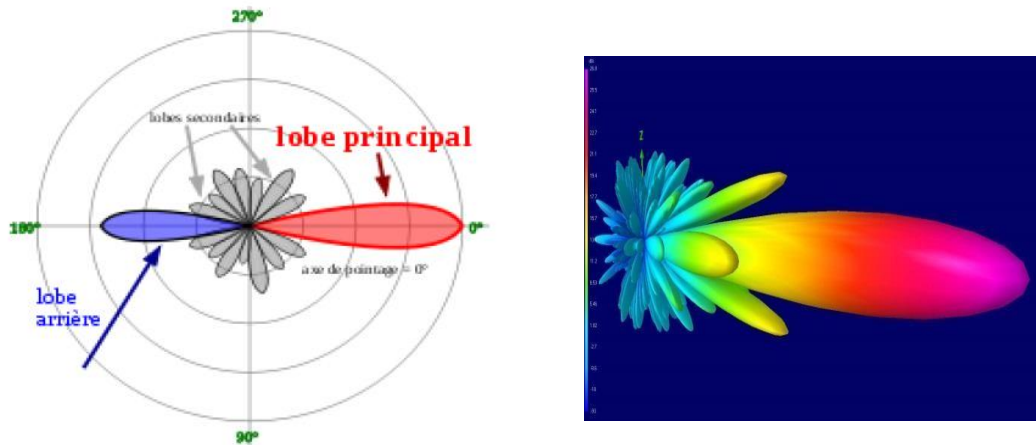


Figure : Diagramme de rayonnement classique d'une antenne directive.

□ **Omnidirectionnel** : Les diagrammes dits omnidirectionnels pour lesquels le rayonnement s'effectue dans de manière isotrope mais dans un seul plan de l'espace. Il existe des directions dans lesquelles l'antenne rayonne avec moins d'énergie. Pour certaines antennes omnidirectionnelles il existe des directions dans lesquelles l'antenne ne rayonne pas. Ces directions sont dites aveugles.

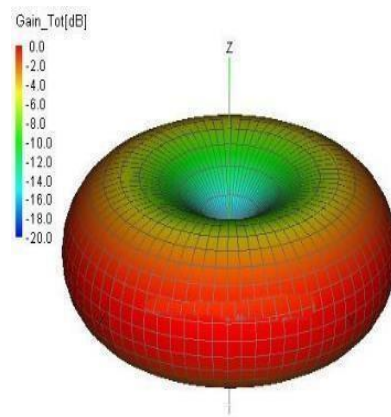


Figure : Diagramme omnidirectionnel dans le plan xOy.

1.3.1.4. Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture (beamwidth) caractérise la largeur du lobe principal(Le lobe principal est la direction dans laquelle l'antenne émet ou reçoit la majorité de sa puissance) de son diagramme de rayonnement. L'angle d'ouverture à 3 dB représente la portion de l'espace dans lequel la majeure partie de la puissance est rayonnée. Il s'agit de l'angle entre les 2 directions autour du lobe principal où la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance

rayonnée dans la direction de rayonnement maximal.

L'angle d'ouverture d'une antenne est un paramètre fondamental qui détermine sa directivité, son gain, sa zone de couverture.

Un angle d'ouverture **plus étroit** indique généralement **une directivité et un gain plus élevés**, ce qui signifie que l'antenne concentre sa puissance plus étroitement dans une direction spécifique. Cela est avantageux pour la communication longue portée et la réduction des interférences.

Un angle d'ouverture plus large offre une couverture **plus large**, permettant à l'antenne de transmettre ou de recevoir des signaux sur une **plage angulaire plus large**. Ceci est utile pour des applications telles que la diffusion ou la communication omnidirectionnelle.

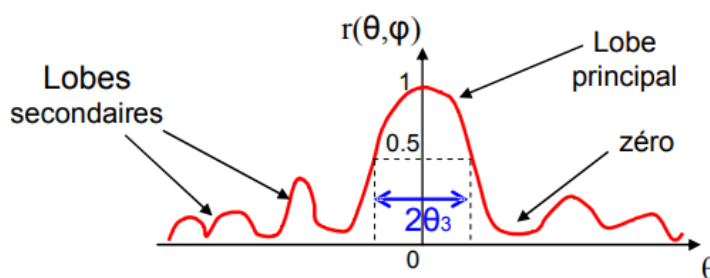
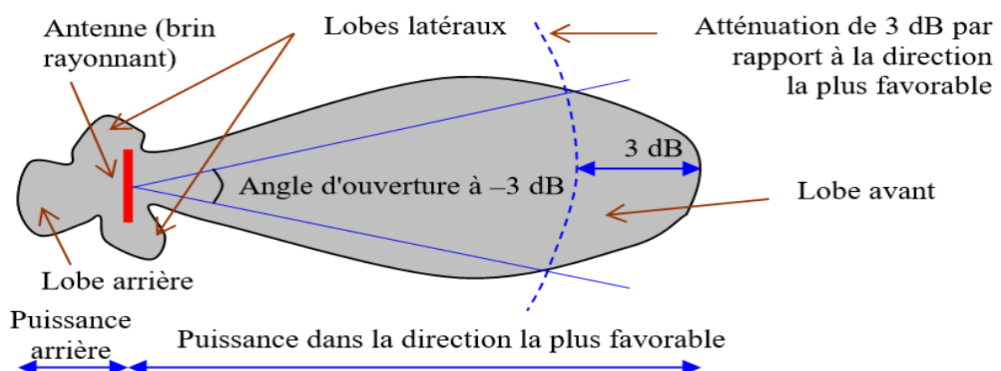


Figure 5 : Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture



1.3.1.5. Directivité, gain et rendement d'une antenne

Ces 3 grandeurs permettent de caractériser la façon dont une antenne convertit la puissance électrique incidente en puissance électromagnétique rayonnée dans une direction

particulière.

Le gain et la directivité permettent de comparer les performances d'une antenne par rapport à l'antenne de référence qu'est l'antenne isotrope.

4.1. Directivité

La directivité d'une antenne $D(\theta, \varphi)$ est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ, φ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée.

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_R} \quad \text{Eq.8}$$

$P(\theta, \varphi)$: La puissance rayonnée par unité d'angle solide (θ, φ)

P_R : La puissance totale rayonnée.

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope

Quand on donne la directivité d'une antenne sans préciser de direction, il s'agit de la valeur maximale de la fonction $D(\theta, \varphi)$.

4.2. Gain

Le gain d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport de la puissance rayonnée dans cette direction $P(\theta, \varphi)$ à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation

Cette propriété caractérise **la capacité d'une antenne à focaliser** la puissance rayonnée dans une direction.

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A} \Rightarrow G = 4\pi \frac{P(\theta_0, \varphi_0)}{P_A} \quad \text{Eq9}$$

Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans pertes, son gain vaut 1 ou 0 dB.

Le gain est généralement exprimé en dB ou en dB_i car une antenne isotrope est utilisée comme référence. On trouve aussi parfois le gain exprimé en dB_d, lorsqu'une antenne dipôle est utilisée comme référence.

Remarques :

- Le Gain est inférieur à la directivité car les pertes diminuent la puissance totale rayonnée. Le gain tient compte des pertes alors que la directivité non.

- Lorsque l'antenne est sans perte, le gain et la directivité ont la même valeur : $D(\theta, \varphi) = G(\theta, \varphi)$

- Quand on donne le gain d'une antenne sans préciser de direction, il s'agit de la valeur maximale de la fonction $G(\theta, \varphi)$

- Plus la directivité ou le gain d'une antenne est grand plus le lobe principal est étroit et donc l'ouverture à -3dB est faible.

4.3. Rendement

Le rendement η d'une antenne traduit sa capacité à transmettre la puissance électrique en entrée P_A sous forme de puissance rayonnée P_R . On le définit comme le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie. Le rendement est lié aux pertes dans le réseau de polarisation et dans les éléments rayonnants. En comparant les équations 8 et 9, on voit que le rendement relie le gain et la directivité.

$$P_R = \eta \cdot P_A \Rightarrow G = \eta \cdot D \quad \text{Eq10}$$

4.4. Lien entre gain et angle d'ouverture

Intuitivement, on voit que le gain est dépendant de l'ouverture d'une antenne. Plus le gain d'une antenne est grand, plus l'angle d'ouverture du lobe principal est faible, ce que montre le résultat suivant.

$$G = \eta \cdot 4\pi \frac{P(\theta_0, \varphi_0)}{P_R} \quad \text{et} \quad P_R = \int_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega = \int_0^{4\pi} r(\theta, \varphi) P(\theta_0, \varphi_0) d\Omega$$

$$G = \eta \cdot \frac{4\pi}{\int_0^{4\pi} r(\theta, \varphi) d\Omega}$$

Eq11

5. Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE)

La puissance isotrope rayonnée équivalente d'une antenne (PIRE ou EIRP en anglais) est un terme souvent utilisé en télécommunications (principalement dans les bilans de liaison) qui définit, dans la direction de rayonnement maximal, la puissance électrique qu'il faudrait apporter à une antenne isotrope pour obtenir la même puissance rayonnée dans cette direction. Elle se calcule selon l'équation 12.

$$PIRE = G . P_A$$

Eq.12

1.2.2. Caractéristiques électriques des antennes

1.2.2.1. Modèle électrique et comportement fréquentiel

Une antenne rayonne efficacement sur une bande étroite de fréquence qui correspond à sa fréquence de résonance. Lorsqu'un signal excite une antenne, des charges sont mis en mouvement le long de l'antenne donnant naissance à un rayonnement. Tout cela peut être représenté par un circuit passif RLC équivalent montrant le comportement résonant qui varie avec la fréquence.

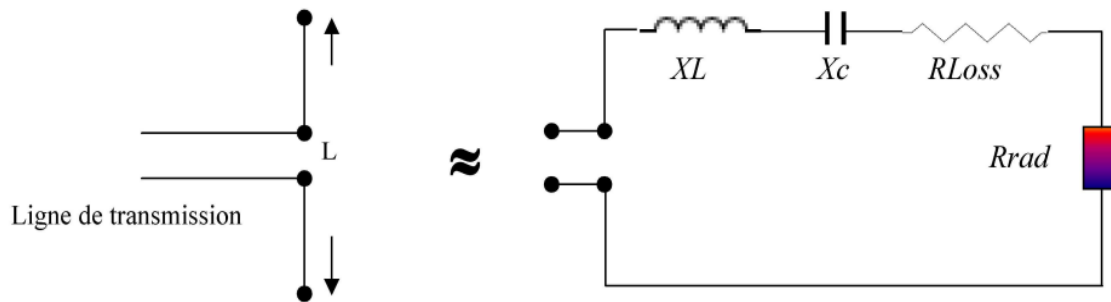
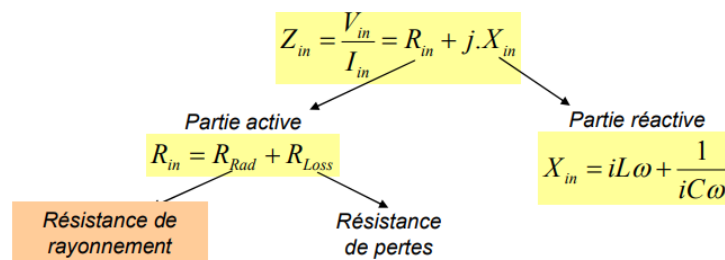


Figure 5. Modèle d'impédance complexe d'une antenne



eq.13

Par exemple, prenons le cas d'une antenne dipôle. L'inductance et la capacité sont liées à la longueur de l'antenne.

En basse fréquence, l'inductance est négligeable et l'antenne se contente de stocker des charges.

Lorsque la fréquence augmente, l'effet de la capacité diminue alors que celui de l'inductance s'accroît et une partie de l'énergie est stockée sous forme d'énergie magnétique.

A une fréquence particulière appelée fréquence de résonance, l'inductance et la capacité sont égales en magnitude et leurs effets s'annulent. **L'antenne est alors équivalente à une résistance pure.**

Si les pertes ohmiques sont négligeables, la puissance fournie à l'antenne est alors entièrement rayonnée. Sa capacité à rayonner est alors liée à la résistance de rayonnement.

1. Résistance de rayonnement

Il ne s'agit pas de la résistance liée aux pertes ohmiques de l'antenne, mais de la perte de puissance liée à l'onde électromagnétique rayonnée par l'antenne. Il s'agit donc d'une puissance active

Une grande résistance de rayonnement indique une forte capacité à convertir l'énergie électrique incidente (lié au courant qui « passe » dans la résistance de rayonnement) en énergie électromagnétique. En effet, la puissance électrique qui lui est fournie est une puissance égale à :

$$P_{Rad} = \frac{1}{2} R_{Rad} I_{in}^2 \quad \text{Eq.14}$$

A partir de la connaissance du courant en tout point de l'antenne, il est possible de calculer la puissance rayonnée. Cependant, cette définition suppose que le courant soit constant en tout point de l'antenne. En pratique, on considèrera le point où le courant est maximum.

L'efficacité d'une antenne est reliée au rapport entre la puissance rayonnée et la puissance dissipée totale (équation 15).

$$\eta = \frac{P_{Rad}}{P_A} = \frac{R_{Rad}}{R_{Rad} + R_{Loss}} \quad \text{Eq.15}$$

2. Adaptation et condition d'adaptation

Une antenne est reliée à la source par une ligne de transmission d'impédance caractéristique Z_C (en général, $Z_C = 50 \Omega$). Pour assurer un transfert maximal de puissance entre l'alimentation et l'antenne, il est nécessaire d'assurer une adaptation d'impédance. L'adaptation permet d'annuler le coefficient de réflexion Γ_{in} ou S_{11} en entrée de l'antenne.

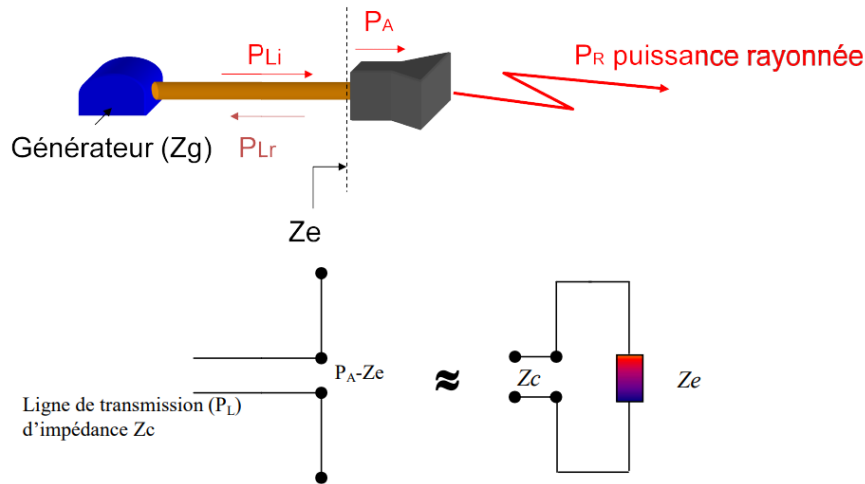


Figure6. Adaptation Ligne- Antenne.

$$P_A = P_L(1 - \Gamma^2)$$

$$S_{11} = \Gamma = (Z_e - Z_c) / (Z_e + Z_c)$$

Eq.16

$$\text{Condition d'adaptation} \Rightarrow S_{11} = 0 \Leftrightarrow Z_{in} = Z_c$$

Le coefficient de réflexion est le rapport entre l'onde réfléchie en entrée de l'antenne et l'onde incidente. Il dépend de l'impédance d'entrée de l'antenne et de l'impédance caractéristique

Dans la pratique, l'adaptation est caractérisée par le module du coefficient de réflexion ou, le plus souvent, par le "Rapport d'Onde Stationnaire" (R.O.S.)

$$ROS = VSWR = \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}} \quad \text{Eq.17}$$

3. Bande passante et facteur de qualité

La bande passante d'une antenne correspond à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximale. La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Un critère typique d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10 dB ou -15 dB sur la bande passante.

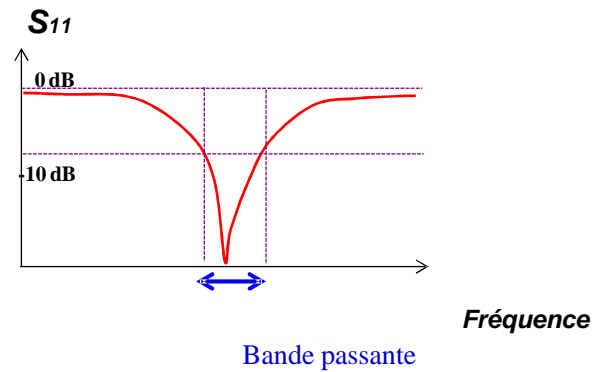


Figure 7 : Bande passante et coefficient de réflexion

D'un point de vue électrique, nous avons vu que l'antenne pouvait être vue comme un circuit résonant RLC. La bande passante BW (bande passante à 3 dB de la valeur du champ) est liée au facteur de qualité Q du circuit RLC à la fréquence de résonance f_{Res} .

Le facteur de qualité représente la quantité de résistance présente lors de la résonance (pour un circuit résonant série équation 18).

$$Q = \frac{BW}{f_{\text{Res}}}$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{R_{\text{ant}}}{2\pi f_{\text{Res}} \cdot L_{\text{ant}}}$$

Eq.18

Une antenne avec un fort facteur de qualité rayonne très efficacement à la fréquence de rayonnement sur une bande de fréquence très étroite.

4. Polarisation

La polarisation d'une antenne est la propriété décrivant la variation temporelle de la direction et du module du champ électrique rayonné par cette antenne. Elle est caractérisée par la courbe décrite dans le temps par l'extrémité du vecteur champ électrique et observée à partir de la direction de propagation. La polarisation peut être linéaire, circulaire ou elliptique. Dans le cas général, le champ électrique décrit une ellipse et la polarisation est alors dite elliptique.

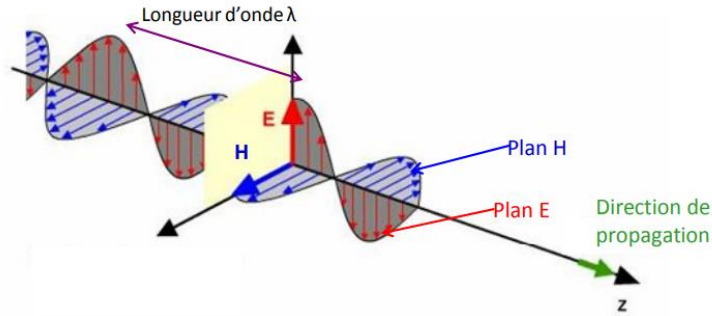


Figure 8 : Représentation d'une onde électromagnétique

On définit la polarisation d'une onde électromagnétique comme la direction du champ électrique. En se plaçant dans un repère sphérique ayant pour origine la source de l'onde avec l'axe r orienté le long de la direction de propagation, on peut décrire la direction du champ E par la relation suivante

$$\vec{E} = E_{\theta} \vec{u}_{\theta} + E_{\varphi} \vec{u}_{\varphi}$$

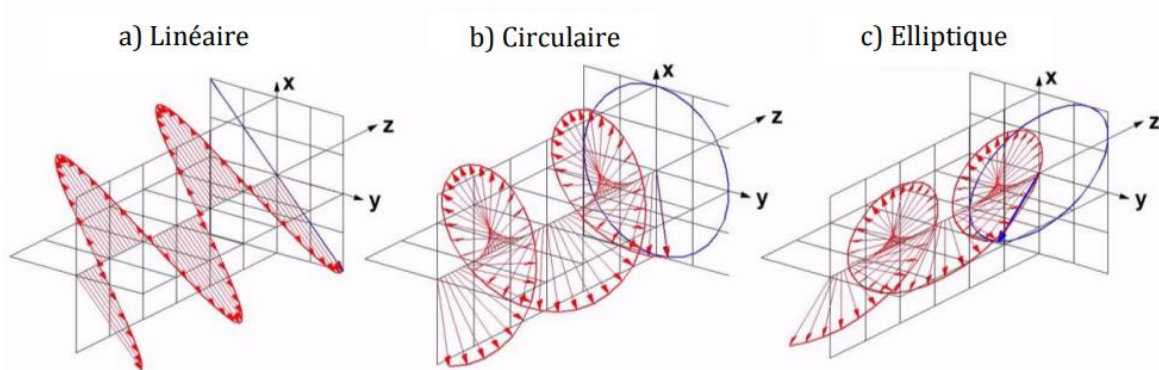


Figure 9 : Les trois types de polarisation d'une antenne.

Polarisation linéaire

Le champ E n'a qu'une composante variant sinusoidalement: sa trajectoire est donc un segment de droite. Un dipôle génère classiquement une onde EM polarisée linéairement.

Polarisation circulaire

Le champ E a deux composantes E_{θ} et E_{φ} de même amplitude et déphasées de 90 degrés, son extrémité décrit un cercle.

Polarisation elliptique

La polarisation elliptique correspond au cas général d'un champ E comprenant deux composantes E_{θ} et E_{φ} d'amplitudes et de phases quelconques.

Le champ électrique décrit une ellipse dans le plan de propagation