

Chapitre 5. Généralités sur les Antennes

1. Définition d'une antenne

Une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques.

Une antenne est un élément passif permettant le transfert de l'énergie électrique (au sens large) vers l'énergie électromagnétique ou vice-versa.

Les antennes servent pour communiquer sur de grandes distances, car les communications sur petites distances sont moins coûteuses avec l'emploi de câbles ou de guides d'ondes. Aujourd'hui cependant, on communique par voie hertzienne entre une station de base et une station mobile très rapprochées e.g. à l'intérieur d'une même pièce pour éviter le filage.



Les antennes font partie intégrante d'un circuit. Du point de vue électrique, une antenne est représentée par une simple impédance $Z = R + jX$ qui joue un rôle essentiel dans le design. Comme présentée par la figure ci-avant, la distribution du courant est le lien entre les deux domaines (circuit et espace) :

- Le courant à l'entrée dépend de l'impédance vue côté circuit ;
- Ce courant se distribuera sur la structure formant l'antenne.

Le champ électromagnétique rayonné sera formé de la contribution provenant de chaque élément de courant.

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.

2. Diagramme de rayonnement

Visualisation du champ ou de la densité de puissance (en module) normalisée à la valeur maximum en fonction des angles θ et φ . C'est la représentation graphique du rayonnement d'une antenne dans l'espace. Ce diagramme est un volume, très souvent pas commode à tracer et à interpréter. Le diagramme de rayonnement ne dépend pas de la distance radiale r qui est maintenue constante lors d'une mesure, mais de l'orientation (θ, φ) . Le diagramme peut être dans le plan horizontal ou vertical. Lobes

d'un diagramme de rayonnement

La fonction caractéristique normalisée en champ

$$F(\theta, \varphi) = \frac{|E|}{|E|_{\max}}$$

Le rayonnement d'une antenne dans l'espace peut aussi être caractérisé par ce qu'on appelle la fonction caractéristique en puissance $P(\theta, \varphi)$.

En effet, la puissance rayonnée étant proportionnelle au carré du champ, la fonction caractéristique d'un tel diagramme peut s'écrire sous la forme :

$$P(\theta, \varphi) = \frac{|E|^2}{|E|_{\max}^2} = F^2(\theta, \varphi)$$

Les diagrammes de rayonnement des antennes à gain élevé sont généralement tracés en décibels, ce qui fait que les diagrammes sont identiques car :

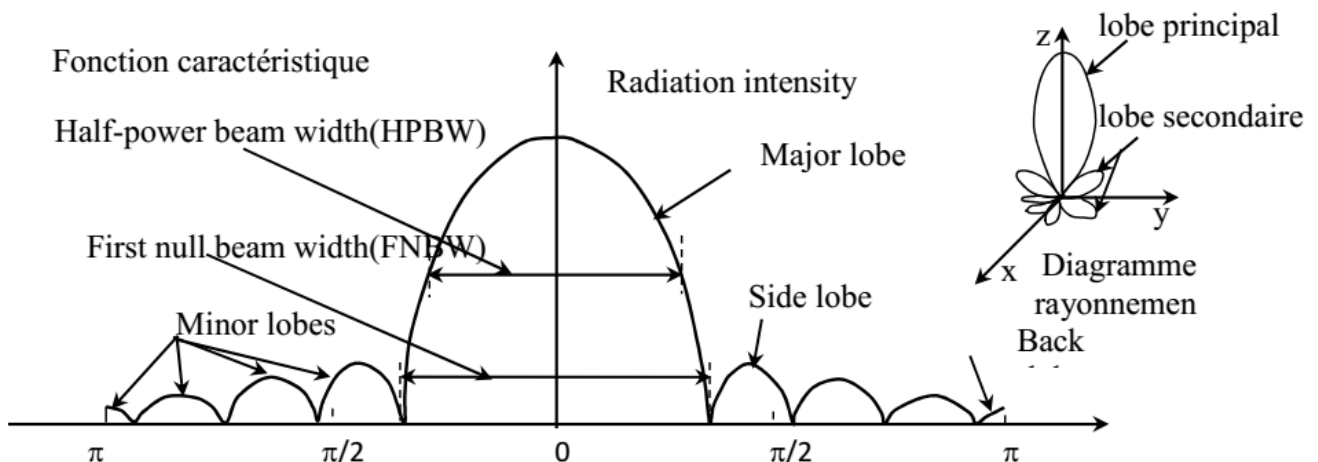
$$F(\theta, \varphi)_{dB} = 20 \log F(\theta, \varphi) \text{ et } P(\theta, \varphi)_{dB} = 10 \log P(\theta, \varphi) = F(\theta, \varphi)_{dB}$$

Les lobes secondaires sont classés en lobes latéraux et lobes arrière ; Les lobes latéraux sont adjacents au lobe principal et occupent le même hémisphère. Les lobes arrière, liés aux imperfections des réalisations sont situés dans l'hémisphère opposé.

Enfin, on dit qu'une antenne est à rayonnement transversal si la direction de rayonnement maximum est perpendiculaire au plan contenant l'antenne et à rayonnement longitudinal si la direction de rayonnement maximum est tangente ou parallèle au plan contenant l'antenne.

Largeur de faisceau d'une antenne

Pour une antenne directionnelle, la largeur de faisceau (ou l'ouverture angulaire) est définie comme l'angle existant entre les points dont la densité de puissance de rayonnement est égale à la moitié de la puissance de rayonnement maximale : c'est aussi la séparation angulaire correspondant à une atténuation de 3 dB sur le diagramme de rayonnement de l'antenne.



Lorsque l'antenne a un lobe principal assez fin, la plus grande partie de la puissance rayonnée est à l'intérieur des deux directions ± 3 dB. D'autres caractéristiques intéressantes d'un diagramme sont l'angle θ_1 du premier zéro par rapport à la direction de rayonnement maximal et le niveau du premier

lobe secondaire. Ce niveau doit être inférieur à - 20 dB par rapport au maximum du lobe principal dont le niveau de référence est de 0 dB. Ce qui correspond à la puissance que rayonnerait une source isotrope alimentée par la même puissance que l'antenne considérée

3. Antenne isotrope

L'antenne isotrope est une antenne fictive, ponctuelle, qui rayonne la même densité de puissance dans toutes les directions de l'espace. Au voisinage de l'antenne, l'onde est sphérique ; loin de l'antenne, les fronts d'onde sont localement plans et l'onde est localement plane.

L'antenne qui rayonne la puissance P_0 de l'émetteur uniformément dans toutes les directions s'appelle antenne isotrope.

On ne sait pas réaliser une telle antenne en pratique, mais elle est commode pour servir d'étalon pour tester les antennes réelles.

la surface S de la sphère de rayon d s'écrit : $S = 4 \pi d^2$

la puissance émise P_0 se répartissant sur cette sphère, une surface S reçoit une densité de puissance :

$$P = \frac{P_0}{S} = \frac{P_0}{4 \pi d^2} \text{ en W/m}^2$$

On montre que la densité de puissance en un point est reliée au module du champ électrique E par :

$$P = \frac{E^2}{120 \pi} .$$

on en déduit donc le champ E au niveau du récepteur :

$$E = \sqrt{120 \pi P} = \frac{\sqrt{30 \cdot 0}}{d} \text{ en V/m.}$$

4. Directivité

C'est le quotient de l'intensité de rayonnement suivant une direction donnée et la valeur moyenne des intensités de rayonnement (est égale à la puissance totale rayonnée divisée par 4π). Autrement dit, la

directivité c'est le quotient de l'intensité de rayonnement suivant une direction donnée et l'intensité de rayonnement de l'antenne isotrope. D'où :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{u(\theta, \varphi)}{u_0} = \frac{4\pi u(\theta, \varphi)}{p_{\text{may}}} \text{ sans unité}$$

$$D(\theta, \varphi) = \frac{u(\theta, \varphi)}{u_0} = \frac{4\pi u(\theta, \varphi)}{\iint_{\Omega} u(\theta, \varphi) d\Omega} = \frac{4\pi u(\theta, \varphi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} u(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi}$$

Pour une antenne isotrope : $u = u_0$ donc $D=1$.

5. Bande passante

C'est la plage de fréquences dans laquelle on peut normalement utiliser l'antenne.

On définit la largeur de bande en pourcentage % comme suit :

$$BP(\%) = 100 \frac{f_s - f_i}{f_c}$$

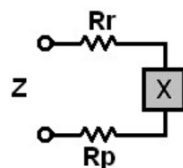
D'où f_c : la fréquence centrale, et f_s, f_i sont les fréquences limites supérieur et inférieur.

Il est fréquent qu'une antenne soit utilisée en réception largement en dehors de sa bande passante, c'est le cas des antennes d'auto-radio dont la fréquence de résonance se situe souvent à plus de 200 MHz et que l'on utilise pour l'écoute de la bande de radiodiffusion "FM" vers 100 MHz.

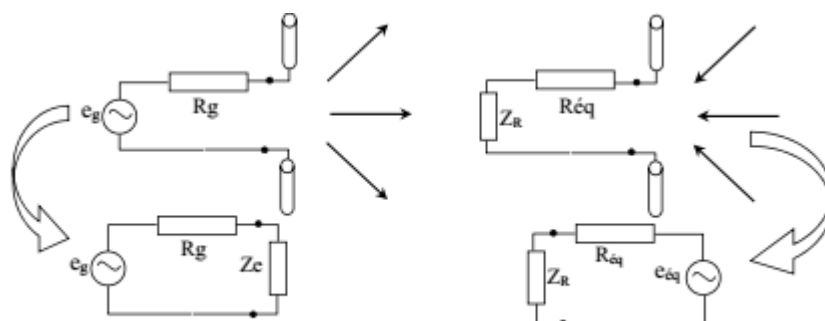
6. Impédance d'entrée

D'un point de vue général, l'impédance mesurée au point d'alimentation d'une antenne s'exprime sous la forme $Z = R + jX$ où R représente la partie résistive et X la composante réactive.

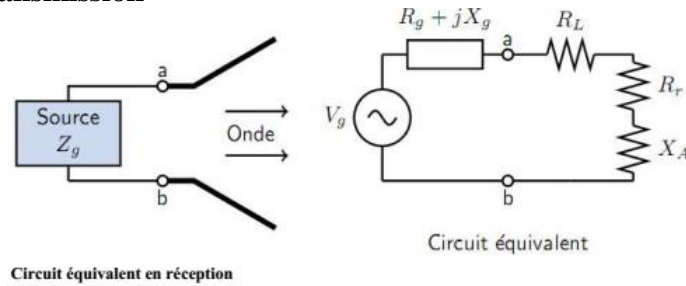
En fait $R = R_p + R_r$, résistances en série avec X comme représenté sur le schéma ci-contre. Si on néglige les pertes, à la fréquence de résonance l'impédance Z de l'antenne est égale à la résistance de rayonnement. Pour un dipôle, R_r est égal dans ce cas à 73 ohms et l'alimentation par un câble coaxial 75 ohms est une situation quasi idéale.



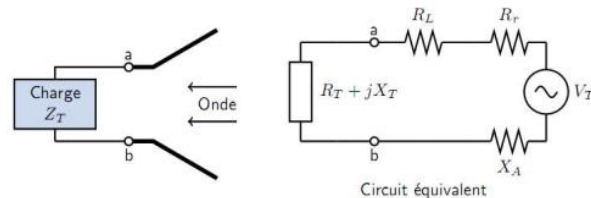
7. Schéma équivalent et adaptation de puissance.



Circuit équivalent en transmission

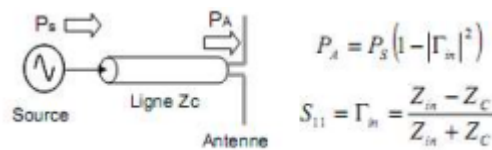


Circuit équivalent en réception



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.



Les recherches actuelles sur les antennes impliquent des métamatériaux (matériaux qui ont construit des constantes diélectriques et magnétiques, qui peuvent être simultanément négatives, ce qui permet des propriétés intéressantes comme un indice négatif de réfraction). D'autres recherches visent à réduire les antennes, en particulier dans les communications pour les appareils de communication sans fil personnels (par exemple, les téléphones cellulaires). Beaucoup de travail est effectué sur la modélisation numérique des antennes, de sorte que leurs propriétés peuvent être prédites avant qu'ils ne soient construits et testés.