

Chapitre II :

ANTENNES FILAIRES

La catégorie des antennes filaires, qui sont appelées aussi les filiformes, représente la catégorie la plus importante car elle regroupe un ensemble important de types d'antennes vus pratiquement partout sur les automobiles, les bâtiments, les navires, les avions, les vaisseaux spatiaux, ... etc. Les filiformes sont des antennes constituées par des fils conducteurs ou des tiges métalliques. La forme, la taille et la fréquence d'emploi font la distinction entre les types de ces antennes.

II.1. Antenne rectiligne isolée dans l'espace

Une antenne rectiligne peut être modélisée par un conducteur filiforme de longueur l , disposée symétriquement par rapport à l'origine de l'axe des z et parcourue par un courant électrique variable exprimé comme suit:

$$I(z) = I_0 \sin\left(k\left(\frac{l}{2} - |z|\right)\right) \quad (\text{II.1})$$

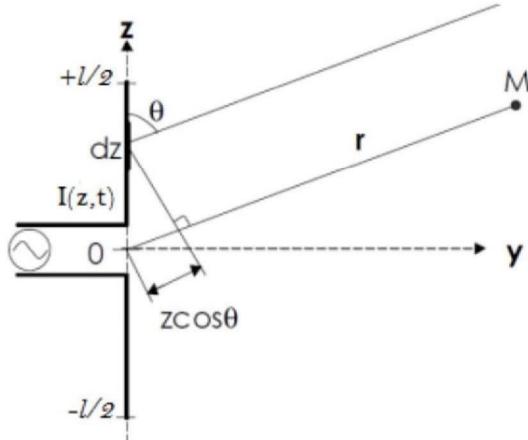


Figure II.1: Antenne rectiligne

II.1.1. Champ rayonné par antenne rectiligne isolée dans l'espace

En utilisant le champ rayonné par un dipôle électrique, on écrit le champ \vec{dE} émis par un élément de longueur dz , situé à l'abscisse z et parcouru par le courant $I(z)$. Le point O étant considéré comme l'origine des phases:

$$\vec{dE} = \frac{z_0 I(z) dz \sin \theta}{2 \lambda r} e^{j \frac{2 \pi z \cos \theta}{\lambda}} e^{j(\omega t - kr)} \vec{u}_\theta \quad (\text{II.2})$$

Le champ rayonné par l'antenne de longueur l allant de $z = -l/2$ à $z = +l/2$ est alors obtenu par intégration:

$$\vec{E} = \int d\vec{E} = \frac{z_0 \sin \theta}{2\lambda r} e^{j(\omega t - kr)} \int_{-l/2}^{+l/2} I(z) e^{j\frac{2\pi z \cos \theta}{\lambda}} dz \vec{u}_\theta \quad (\text{II.3})$$

Il est impossible de poursuivre le calcul du champ rayonné qui est basé sur intégration sans connaître la répartition du courant dans l'antenne.

Il existe cependant des cas particuliers où l'on connaît très bien cette répartition du courant. Donc, le champ électrique devient:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \frac{z_0 I_0 \sin \theta}{2\lambda r} e^{j(\omega t - kr)} \vec{u}_\theta \times A = \frac{z_0 I_0 \sin \theta}{2\lambda r} e^{j(\omega t - kr)} \times \frac{\lambda}{\pi} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin^2 \theta} \\ \vec{E} &= \frac{60 I_0}{r} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \times e^{j(\omega t - kr)} \vec{u}_\theta \end{aligned} \quad (\text{II.9})$$

Et son module est:

$$|\vec{E}| = \frac{60 I_0}{r} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \quad [\text{V/m}] \quad (\text{II.10})$$

II.1.2. Fonction caractéristique et diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle $\lambda/2$

En utilisant les résultats du calcul de champ rayonné par l'antenne dipôle demi-onde, on détermine sa fonction caractéristique qui est:

$$f(\theta) = \frac{E}{E_{max}} = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{E}|_{max}} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \quad (\text{II.11})$$

Le diagramme de rayonnement de cette antenne est représenté par la figure suivante:

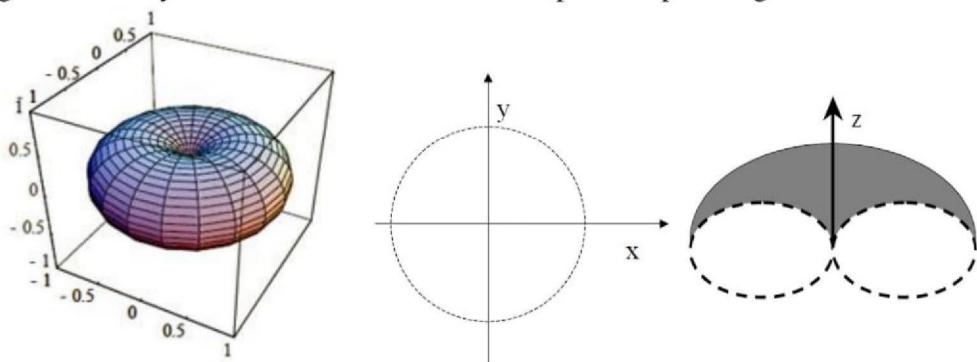


Figure II.2: Diagrammes de rayonnement de dipôle demi-onde en 3D et en 2D

II.1.3. Fonctions caractéristiques de dipôles multiples de demi-onde

Il s'agit là uniquement d'une généralisation de la démonstration précédente aux antennes résonnantes accordées de longueur $\frac{\lambda}{2}$. Des calculs analogues conduisent aux fonctions caractéristiques suivantes pour ces antennes:

$$f_1(\theta) = \frac{\cos\left(m \frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta}, \quad \text{si } m \text{ est impair} \quad (\text{II.12})$$

$$f_2(\theta) = \frac{\sin\left(m \frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta}, \quad \text{si } m \text{ est pair} \quad (\text{II.13})$$

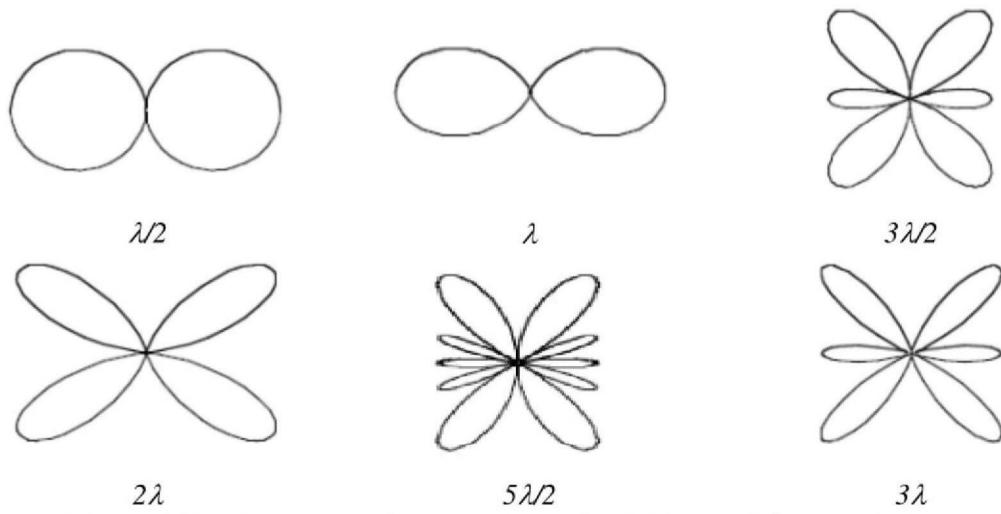


Figure II.3: Diagrammes de rayonnement de dipôles de différentes longueurs

II.2. Distribution du courant sur une antenne filaire

La distribution de courant dépend essentiellement des dimensions de l'antenne qui permettent de distinguer les trois cas suivant:

- Un courant constant circule dans le dipôle élémentaire qui est constitué d'un fil conducteur de longueur dl très petite devant la longueur d'onde λ .
- Un courant de courbe triangulaire circule dans une antenne dipolaire courte qui est formée par deux conducteurs de longueur totale l petite comparée à la longueur d'onde λ .
- Un courant de courbe sinusoïdale circule dans les antennes dipolaires dont la longueur est supérieure ou égale à la demi-longueur d'onde.

II.3. Antenne alimentée en son milieu

La distribution du courant dans les antennes doublets à alimentation centrale n'est pas uniforme. En effet, le courant est toujours nul aux extrémités de l'antenne, et il peut être maximal au centre ou en d'autres points de l'antenne. La forme de la répartition revient donc à la longueur de l'antenne dipôle et la fréquence de travail.

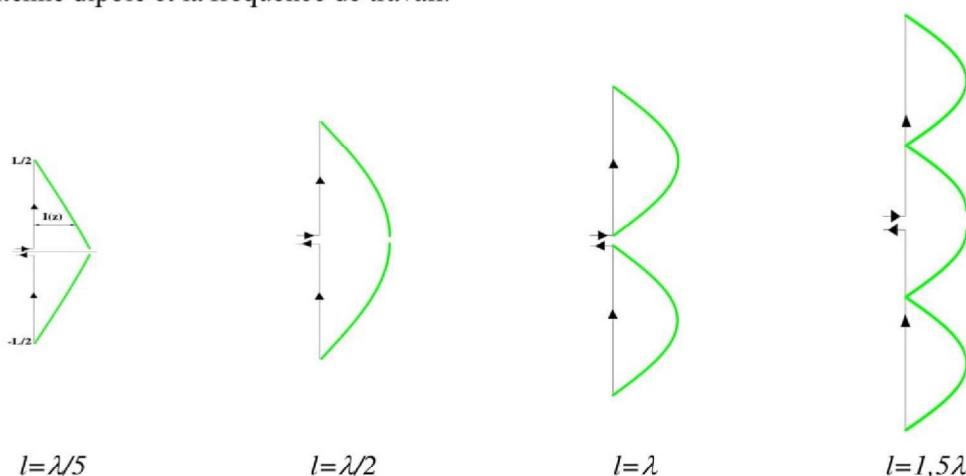


Figure II.4: Représentation de la distribution du courant le long des antennes dipôles de différentes longueurs

Le courant électrique est la somme de deux courants se propageant en sens inverses. Les courants se propageant vers la partie supérieure et vers la partie inférieure de l'antenne sont réfléchis respectivement par les extrémités $l/2$ et $-l/2$ en formant un système d'ondes stationnaires.

II.4. Antenne verticale au-dessus du sol

L'antenne quart d'onde verticale (GP, Ground Plane en anglais) est constituée d'une moitié de dipôle et nécessite un plan de sol (radians fixés à la base de l'antenne) ou une masse (la terre ou la carrosserie d'un véhicule) afin de reconstituer électriquement le deuxième brin de l'antenne.

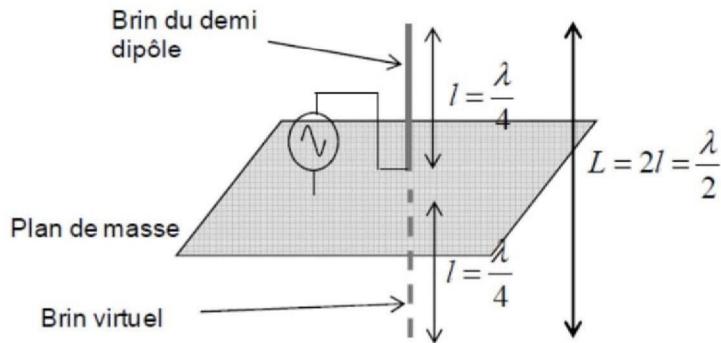


Figure II.5: Antenne monopôle quart d'onde sur un plan conducteur

II.5. Antennes à ondes stationnaires et antennes à ondes progressives

Les antennes filaires peuvent être classées de deux manières qui sont selon la position de leur point d'alimentation, et selon la nature de la charge. La seconde manière conduit à distinguer les antennes à ondes progressives, et les antennes à ondes stationnaires.

- **Les antennes à ondes stationnaires:** dans ce cas où l'antenne est considérée constituée par un ensemble des dipôles élémentaires, tous ces derniers rayonnent en phase, et leur amplitude en chaque point du fil est imposée par le mode qui s'est établi sur le fil.
- **Les antennes à onde progressives:** dans le cas idéal où l'onde se propage sans pertes, tous les dipôles élémentaires ont cette fois la même amplitude, mais c'est leur état de phase qui change en chaque point du fil.

II.6. Antennes à ondes progressives

On trouve deux catégories:

- 1) les antennes terminées par une charge adaptée à l'impédance caractéristique de la ligne pour supprimer toute réflexion d'onde (antennes en V, losange appelée aussi rhombique)
- 2) les antennes en circuit ouvert à leur extrémité mais qui sont soit longues (hélice longue) soit épaisses (dipôle linéaire épais)

II.6.1. Antenne à long fil fonctionnant en ondes progressives

On se base sur la représentation de la figure II.7 afin de calculer le champ rayonné par l'antenne à long fil fonctionnant en ondes progressives.

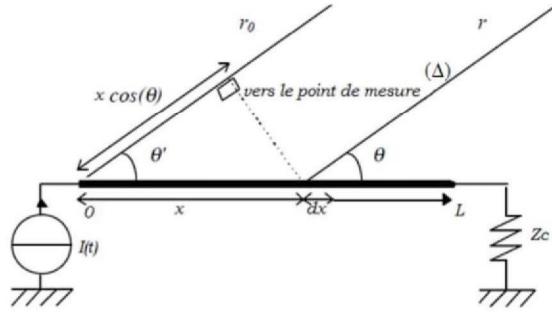


Figure II.7: Antenne filaire horizontale à ondes progressives

La structure se comporte comme un ensemble de doublets électriques. Le champ élémentaire rayonné par celui-ci en x dépend du courant qui le traverse:

$$dE = -j \frac{60\pi I(x)}{\lambda} \sin\theta \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (\text{II. 16})$$

Les deux points A et B de l'antenne, séparés par une distance x , sont distant de r_0 et r du point où l'on mesure le champ. La différence de marche est $xcos\theta = r_0 - r$.

le rayonnement du fil dans une direction (Δ):

$$E(\theta) = -j \frac{60I_0}{\lambda \cdot r} \sin\theta e^{-jkr_0} \int_0^L e^{-jkx(1-\cos\theta)} dx \quad (\text{II. 17})$$

Après intégration, on obtient l'expression du champ suivante:

$$\begin{aligned} E(\theta) &= j \frac{60I_0}{\lambda \cdot r} \sin\theta e^{-jkr_0} \times \frac{e^{-jkl(1-\cos\theta)} - 1}{jk(1 - \cos\theta)} \\ &= j \frac{60I_0}{\lambda \cdot r} \sin\theta e^{-jkr_0} \times \frac{\sin\left(\frac{k}{2}L(1 - \cos\theta)\right)}{j\frac{k}{2}(1 - \cos\theta)} e^{-j\frac{k}{2}L(1-\cos\theta)} \end{aligned} \quad (\text{II. 18})$$

Comme on ne s'intéresse qu'au module de $E(\theta)$, nous avons finalement:

$$|E(\theta)| = \frac{60I_0}{r} \frac{\sin\theta}{1 - \cos\theta} \sin \frac{\pi L}{\lambda} (1 - \cos\theta) \quad (\text{II. 19})$$

Donc la fonction caractéristique est:

$$F(\theta) = \frac{\sin\theta}{1 - \cos\theta} \sin \frac{\pi L}{\lambda} (1 - \cos\theta) \quad (\text{II. 20})$$

Le diagramme de rayonnement est de révolution autour du fil, et il s'incline d'un certain angle par rapport à l'axe de l'antenne.

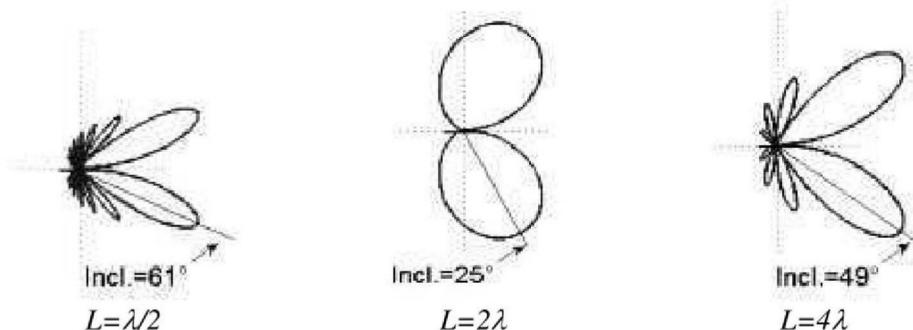


Figure II.8: Diagramme de rayonnement pour différentes longueurs de l'antenne

II.6.2. Antenne en V et antenne losange

Comme il est illustré sur la figure II.10, l'antenne en V est constituée par deux branches, chacune est parcourue par un courant constant afin de rayonner un champ élémentaire correspondant à celui d'un fil long.

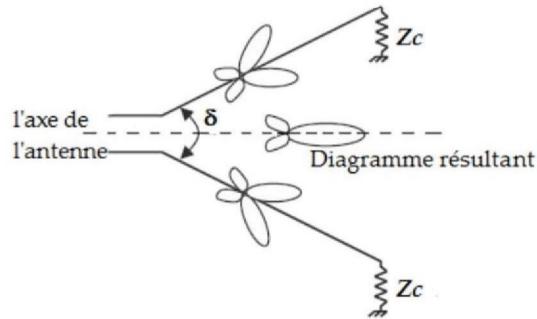


Figure II.10: Géométrie de l'antenne en V et son rayonnement

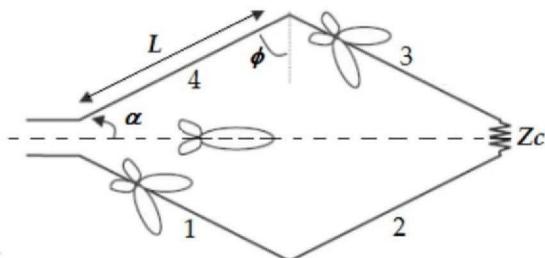


Figure II.11: Géométrie de l'antenne losange

L'antenne losange (appelée aussi antenne rhombique) peut être considérée comme la mise en série de deux antennes en V: l'antenne horizontale est constituée de quatre branches de longueur L et située au-dessus du sol à une hauteur H .

on détermine le champ rayonné dans le plan vertical (en négligeant les impédances mutuelles de couplage):

$$|E_V| = \frac{2\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cos^2 \phi}}{1 - \cos \alpha \sin \phi} \sin\left(\frac{2\pi H}{\lambda} \sin \alpha\right) \left(\sin^2\left(\frac{\pi L}{\lambda} \sin \alpha (1 - \cos \alpha \sin \phi)\right) \right) \quad (\text{II.22})$$

avec α : angle d'élévation au-dessus du sol, ϕ : demi-angle obtus du losange, H : hauteur au-dessus du sol, L : longueur d'une branche du losange.