

Chapitre III :

RESEAUX D'ANTENNES

III.1. Réseaux d'antennes

Habituellement, une antenne à élément rayonnant unique a un diagramme de rayonnement relativement large, c'est-à-dire qu'elle a une directivité (un gain) relativement faible. De plus, les communications à longue distance requièrent des antennes ayant une forte directivité. De telles antennes peuvent être construites en agrandissant les dimensions de l'ouverture rayonnante (taille maximale beaucoup plus grande que la longueur d'onde). Cette façon peut généralement conduire à l'apparition de multiples lobes secondaires issus d'une antenne grande et difficile à fabriquer. Une autre manière d'augmenter la taille électrique d'une antenne est de la construire sous la forme d'un assemblage d'éléments rayonnants dans une configuration électrique et géométrique appropriée. Un tel dispositif à plusieurs éléments rayonnant est défini comme réseau d'antennes. Habituellement, les éléments du réseau sont identiques pour que la conception et la fabrication soient simples et pratiques.

III.2. Réseau uniforme

Un réseau à alignement linéaire uniforme est un ensemble de N antennes identiques, régulièrement espacées et alimentées par des courants dont les amplitudes sont toutes identiques, et de phase nulle ou linéairement décalée.

III.2.1. Réseau uniforme de 2 antennes

Considérons deux antennes telles celles représentées dans la figure III.1. Ces antennes sont séparées par une distance dy et alimentées par des courants de même intensités mais déphasés l'un par rapport à l'autre.

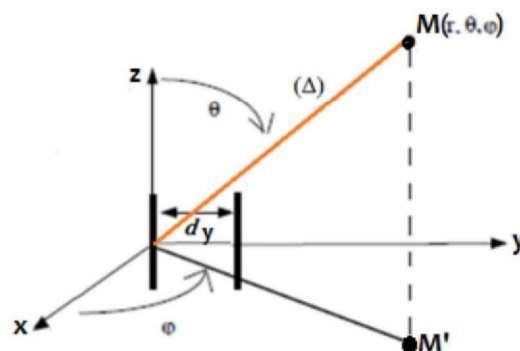


Figure III.1: Réseau uniforme de deux antennes

Supposons que le courant dans la première antenne soit en avance de $\beta_y = 2\pi\xi$ sur celui alimentant la deuxième antenne.

Loin des antennes, dans la direction (Δ) , si l'antenne 1 crée un champ E_1 , l'antenne 2 créera le champ:

$$E_2 = E_1 e^{-j(k\Delta r + 2\pi\xi)} \quad (\text{III.1})$$

avec : $\Delta r = d_y \sin\varphi \sin\theta$; est la différence de marche.

Le champ total s'exprime donc comme:

$$E_T = E_1 + E_2 = E_1 (1 + e^{-jS}) \quad (\text{III.2})$$

avec : $S = kd_y \sin\varphi \sin\theta + 2\pi\xi$; déphasage géométrique + déphasage électrique.

Si E_1 est le champ créé par une antenne isolée, le champ total du réseau s'écrit:

$$E_T = 2E_1 e^{-jS/2} \cos(S/2) \quad (\text{III.3})$$

La fonction caractéristique de ce réseau est alors:

$$f(\theta, \varphi) = 2\cos(S/2) = 2\cos\left(\frac{kd_y}{2} \sin\varphi \sin\theta + \pi\xi\right) \quad (\text{III.4})$$

III.2.2. Réseau uniforme de N antennes

On considère le réseau d'antennes de la figure III.2. Il contient N éléments verticaux parallèlement les uns aux autres et espacés de d_y .

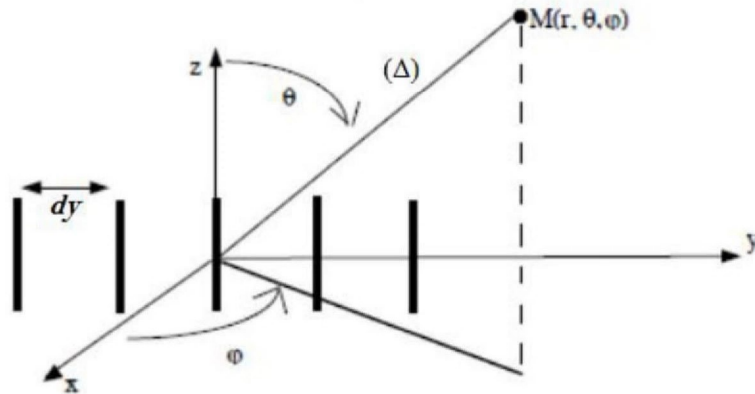


Figure III.2: réseau uniforme d'antennes

En généralisant le calcul fait pour le groupement de 2 antennes, le champ total s'exprime comme suit:

$$E_T = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (\text{III.5})$$

c'est-à-dire:

$$E_T = E_1 (1 + e^{-jS} + e^{-2jS} + \dots + e^{-(n-1)jS}) \quad (\text{III.6})$$

c'est une somme d'une progression géométrique de raison e^{-jS} avec $S = kd_y \sin\varphi \sin\theta + 2\pi\xi$.

Le champ total pouvant être développé au moyen de la relation mathématique suivante:

$$\sum_{n=0}^{N-1} q^n = \frac{q^N - 1}{q - 1} \quad \text{pour } q \neq 1 \quad (\text{III.7})$$

Nous avons donc:

$$E_T = E_1 \cdot \frac{1 - e^{-NjS}}{1 - e^{-jS}} \quad (\text{III.8})$$

Nous en déduisons la fonction caractéristique de l'alignement (en module):

$$|E_T| = |E_1| \cdot \left| \frac{\sin(NS/2)}{\sin(S/2)} \right| \quad (\text{III.9})$$

L'expression du facteur du réseau (AF: Array Factor) pour un réseau de N éléments équidistant et alimentés par des amplitudes uniformes est la suivante:

$$AF = \frac{\sin\left(\frac{N}{2}S\right)}{\sin\left(\frac{S}{2}\right)} \quad (\text{III.10})$$

En utilisant la formule du facteur du réseau, un diagramme de rayonnement universel d'un réseau contenant de 2 à 10 éléments peut être représenté (figure III.3).

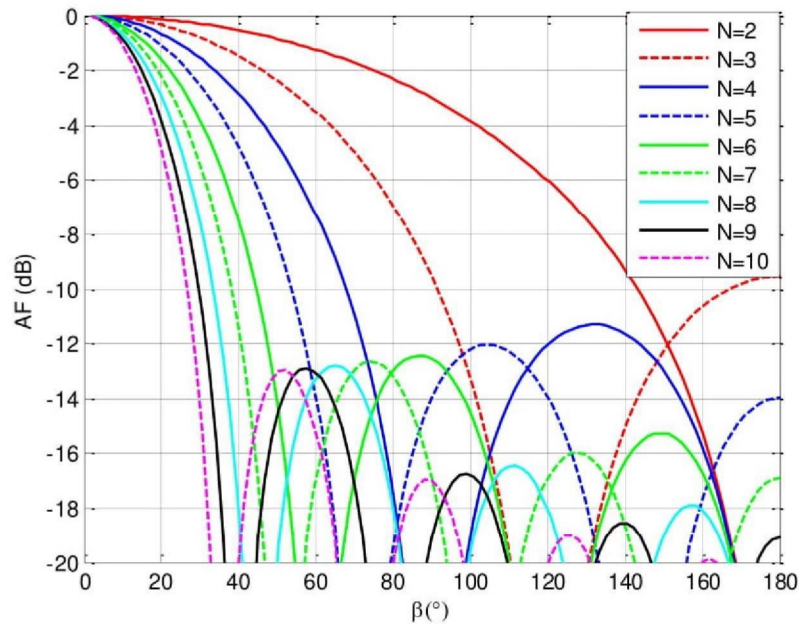


Figure III.3: Diagramme de rayonnement de réseaux linéaires ayant une distribution d'amplitude uniforme

III.2.3. Différentes configurations du réseau linéaire

Le réseau linéaire, de N éléments régulièrement espacés, peut prendre l'une des trois configurations principales comme montre la figure suivante.

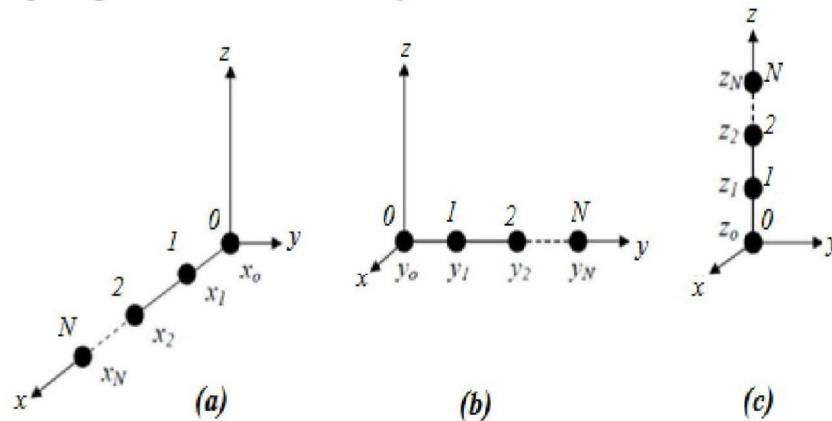


Figure III.4: Les différentes configurations géométriques d'un réseau linéaire

Le champ total rayonné et la forme du facteur du réseau changent selon la configuration de la disposition des éléments du réseau.

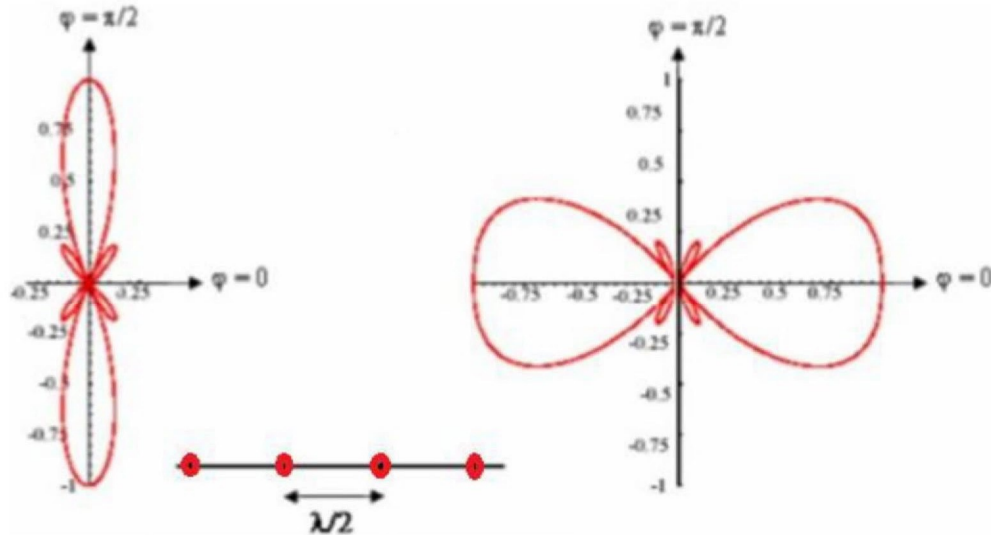
III.2.4. Rayonnement transversal et rayonnement longitudinal

Selon la disposition des antennes l'une par rapport à l'autre et le déphasage entre les courants circulant dans les antennes, on distingue:

- Le réseau linéaire à rayonnement transversal
- Le réseau linéaire à rayonnement longitudinal

Un réseau est dit transversal (broad side array) si le déphasage électrique entre les courants alimentant ses éléments est nul, c'est-à-dire tous ses éléments sont alimentés en phase. Le maximum de rayonnement pour ce réseau est toujours dans la direction perpendiculaire à l'alignement.

Un réseau est dit longitudinal (end fire array) lorsqu'il y a une opposition de phase dans l'alimentation de chaque deux éléments successifs du réseau.



Rayonnement transversal (champ en phase, $\beta = 0$) Rayonnement longitudinal (champ en opposition de phase, $\beta = \pm \pi$)

Figure III.5: Diagramme de rayonnement en champ de 4 sources isotropes distantes de $\lambda/2$

III.3. Réseau non-uniforme

Dans cette section, on va voir que dans un réseau d'antennes non-uniforme la distribution d'amplitude commande le niveau des lobes secondaires. Pour cela, on considère N antennes identiques, équidistantes, disposées linéairement, alimentées avec des amplitudes différentes a_n . La formule (III.11) représente le facteur du réseau associé à ce réseau:

$$\begin{aligned} AF &= \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)\beta} \cdot e^{j(n-1)k\Delta r} \\ &= \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)(\beta+k\Delta r)} = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)S} \end{aligned} \quad (\text{III. 11})$$

III.4. Principe de multiplication des diagrammes de rayonnement

On peut aussi obtenir le diagramme de rayonnement du réseau de manière simple en multipliant les fonctions caractéristiques.

La loi fondamentale des réseaux est la suivante: « Le diagramme de rayonnement d'un réseau est le produit du diagramme de rayonnement d'un élément isolé par le facteur du réseau ». Ce principe est nommé le principe de multiplication de diagrammes.

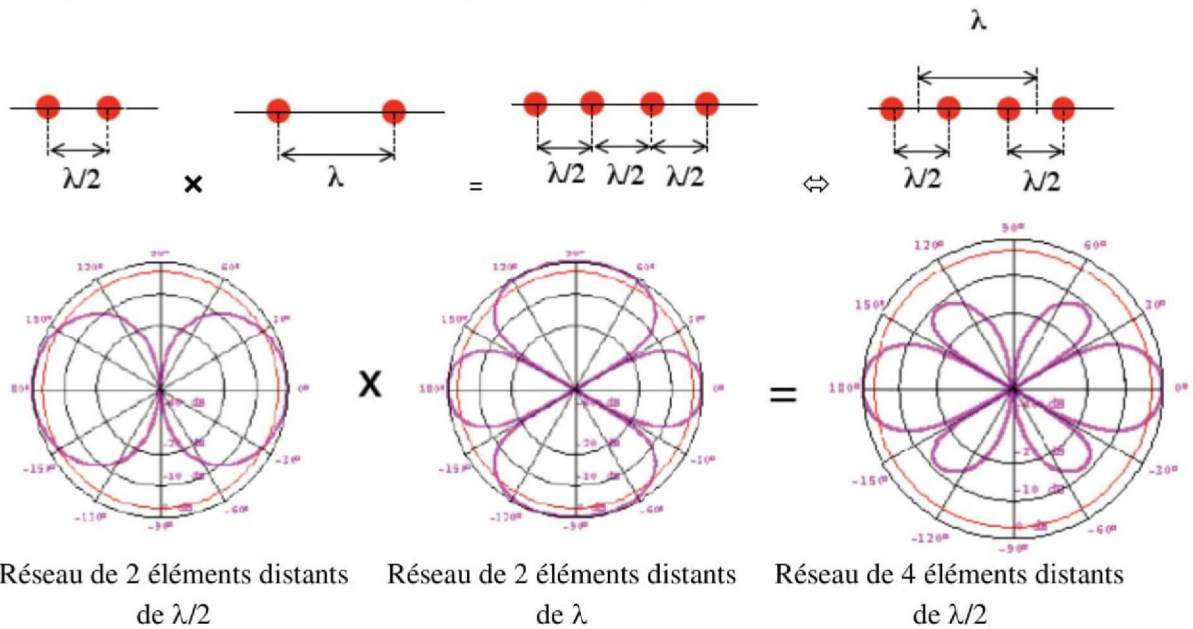


Figure III.8: diagramme de rayonnement par la méthode de la multiplication des fonctions caractéristiques

La fonction caractéristique de deux sources distantes de $\lambda/2$ multipliée par la fonction caractéristique de deux sources distantes de λ donne la fonction caractéristique de quatre sources distantes de $\lambda/2$.