

# Pondération des Sources dans un Réseau d'Antennes de Telecommunications

Ahcene BOUALLEG\*, Salah REDADAA\*, Nadjim MERABTINE<sup>\*,\*\*</sup>,  
Rachid HAMDI\* et Malek BENSLAMA\*\*

\* LAIG, Département de Génie Electrique, Faculté des Sciences & Sciences de l'Ingénierie  
Université de Guelma, B.P 401, Guelma 24000, Algérie

bouadzdz@yahoo.fr  
redasz@yahoo.fr  
rachidahl@yahoo.com

\*\* Laboratory of Electromagnetism and Telecommunications (LET) University of Constantine (Algeria)

merabtinadjim@yahoo.fr  
ma\_benslama@yahoo.fr

**Résumé :** La synthèse du diagramme de rayonnement d'un réseau de sources n'est pas un problème nouveau en électromagnétisme. Les premières réalisations pratiques ont, quand à elles, vu le jour dans les années cinquante. L'article apporte une contribution à l'étude de la synthèse de la puissance rayonnée dans l'espace par un réseau de sources. On donne tout d'abord le cheminement qui permet de retrouver l'expression du diagramme de la puissance rayonnée en fonction des caractéristiques élémentaires de chaque source, de la géométrie des sources dans le réseau et de la loi de pondérations affectée à l'ensemble des éléments rayonnants. Ensuite, on rappelle quelques méthodes classiques de synthèse dans le cas de réseaux plans. L'article est consacré à l'étude du phénomène de rayonnement du réseau d'antennes de télécommunications lorsque les sources sont pondérées, en particulier comment choisir la loi de pondérations pour que la répartition spatiale de la puissance rayonnée par le réseau considéré réponde à des spécifications précises.

**Mots clés:** réseau d'antennes, Diagrammes de réseaux, Polarisation du réseau, pondération des sources

le réseau mécaniquement. Cette application est orientée vers la télécommunication spatiale a savoir antenne embarquée sur satellite.

## INTRODUCTION

L'intérêt de l'utilisation de réseaux, plutôt que d'une seule source est que l'élément isolé a un rayonnement figé dans l'espace (sauf si on le fait tourner mécaniquement) [NHU 1978]. En disposant plusieurs sources dans l'espace (réseau d'antennes embarqué sur satellite), et en pondérant chacun des éléments, on peut jouer sur les retards entre les signaux émis par les différentes sources pour obtenir une répartition spatiale de la puissance rayonnée variable avec la loi de pondération. On peut même, en contrôlant la loi de pondération du réseau, orienter le maximum du rayonnement vers un angle choisi.

En changeant l'orientation de ce maximum, on effectue un balayage de l'espace sans faire tourner

## 1. Diagramme de rayonnement d'un réseau de source

On se place sous les hypothèses suivantes :

- N antennes (sources rayonnantes) identiques ou non, planaires ou non, mais dont on connaît les caractéristiques individuelles : position par rapport à un point dans un repère fixe, dimensions, comportement élémentaire de son champ électrique dans son environnement.

On néglige le phénomène de couplage entre sources.

- chaque source va être par la suite pondérée en amplitude et en phase. On ne supposera pas au départ que les amplificateurs et les déphaseurs réels utilisés pour réaliser ces pondérations obéissent à des contraintes technologiques.

- chaque source rayonne un champ électromagnétique qui se propage avec une longueur d'onde  $\lambda$  reliée à la fréquence du signal par  $\lambda = c / f$ , cette fréquence est commune à toutes les sources.

- les ondes électromagnétiques rayonnées par les différentes antennes se propagent dans l'air, et on repèrera le point courant M par ses coordonnées sphériques  $M(r, \theta, \varphi)$  (Fig. 1).

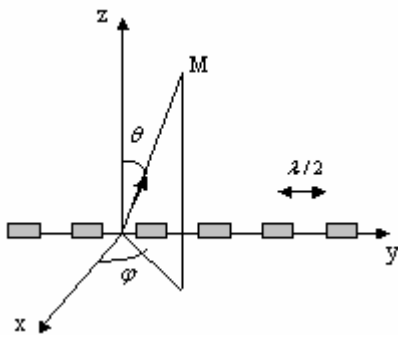


Fig.1. Réseau d'antennes.

De la même façon, on associera à chaque source numérotée p un repère propre de coordonnées sphériques  $(O_p, \vec{u}_{rp}, \vec{u}_{\theta p}, \vec{u}_{\varphi p})$ , où le point M sera repéré par ses coordonnées  $(r_p, \theta_p, \varphi_p)$ .

A priori,  $(r_p, \theta_p, \varphi_p)$  est différent de  $(r_{p+1}, \theta_{p+1}, \varphi_{p+1})$  et  $(\vec{u}_{rp}, \vec{u}_{\theta p}, \vec{u}_{\varphi p})$  est différent de  $(\vec{u}_{rp+1}, \vec{u}_{\theta p+1}, \vec{u}_{\varphi p+1})$ .

Nous cherchons à trouver le diagramme de rayonnement d'un réseau de N dipôles demi-onde alignés sur la droite Oy, et distants de  $\frac{\lambda}{2}$ . On cherchera l'expression de ce diagramme de rayonnement dans le plan des dipôles, c'est à dire  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ .

L'équation fondamentale donnant de manière générale le diagramme de rayonnement d'un réseau d'antenne est [BAL 1997] :

$$P(\theta, \varphi) = \frac{\left| \sum_{p=1}^N E_{\theta p}(\theta_p, \varphi_p) \exp\left(\frac{2j\pi}{\lambda} \vec{u}_r \cdot \vec{OO}_p\right) \right|^2}{P_{\max}} + \frac{\left| \sum_{p=1}^N E_{\varphi p}(\theta_p, \varphi_p) \exp\left(\frac{2j\pi}{\lambda} \vec{u}_r \cdot \vec{OO}_p\right) \right|^2}{P_{\max}} \quad (1)$$

- ♦  $E_{\theta p}$  et  $E_{\varphi p}$  correspondent au champ rayonné a priori complexe de la source seule (ou de la source dans son environnement si on en tient compte) que l'on appellera diagramme élémentaire.

- ♦  $\vec{OO}_p$  représente la position de la source p par rapport à un point fixe O pris comme origine du repère.

- ♦  $\vec{u}_r$  représente la direction de visée  $(\theta, \varphi)$  commune à toutes les sources puisqu'on se trouve en champ lointain.

- ♦  $P_{\max}$  est la valeur de la puissance maximale par unité d'angle solide rayonnée par le réseau.

## 2. Pondérations affectées aux sources

On pondère le signal émis par la source numéro p par un coefficient complexe  $I_p$  correspondant à un amplificateur (amplitude de  $I_p$ ) et à un déphaseur (phase de  $I_p$ ), et on applique un coefficient différent pour chaque source. Le diagramme de rayonnement devient:

$$P(\theta, \varphi) = \frac{\left| \sum_{p=1}^N I_p \cdot E_{\theta p}(\theta_p, \varphi_p) \exp\left(\frac{2j\pi}{\lambda} \vec{u}_r \cdot \vec{OO}_p\right) \right|^2}{P_{\max}} + \frac{\left| \sum_{p=1}^N I_p \cdot E_{\varphi p}(\theta_p, \varphi_p) \exp\left(\frac{2j\pi}{\lambda} \vec{u}_r \cdot \vec{OO}_p\right) \right|^2}{P_{\max}} \quad (2)$$

Si toutes les sources sont identiques, et si elles sont alignées spatialement, on peut écrire le diagramme de rayonnement comme le produit du diagramme élémentaire de la source et d'une quantité qui dépend du réseau, appelé facteur de réseau [FAN 1992] :

$$P(\theta, \varphi) = \frac{\left| \sum_{p=1}^N I_p \cdot \exp\left(\frac{2j\pi}{\lambda} \vec{u}_r \cdot \vec{OO}_p\right) \right|^2}{P_{\max}} \times \left( |E_\theta(\theta, \varphi)|^2 + |E_\varphi(\theta, \varphi)|^2 \right) \quad (3)$$

Nous avons tracé le diagramme de rayonnement pour quatre jeux de pondérations et pour

$$p \in [1, \dots, N]$$

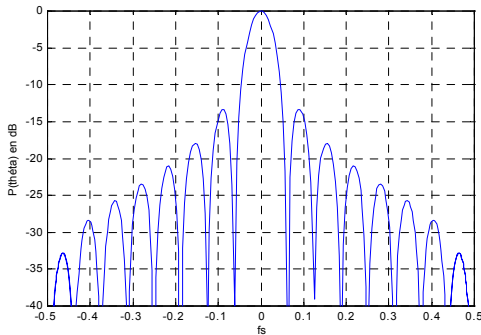
$$a. I_p = 1$$

$$b. I_p = \frac{1}{p}$$

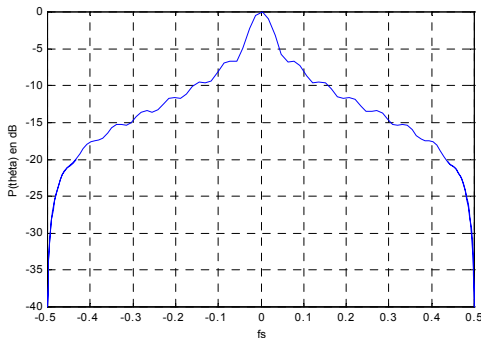
$$c. I_p = \exp\left(2 \cdot j \cdot \pi \cdot p \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}{2}\right) \quad (4)$$

$$d. I_p = \sin\left(\pi \frac{p}{N}\right)$$

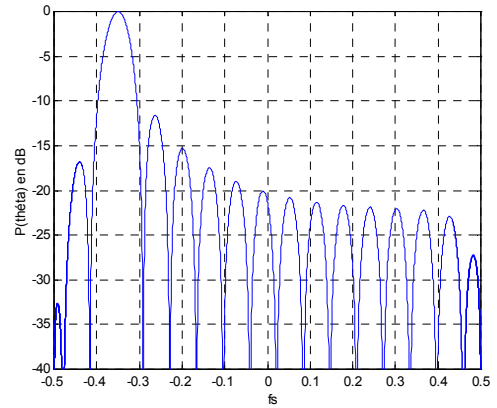
Dans les 4 cas, on a tracé le diagramme de rayonnement en fonction de la variable  $f_s = \sin(\theta) / 2$  qui varie de -0.5 à 0.5.



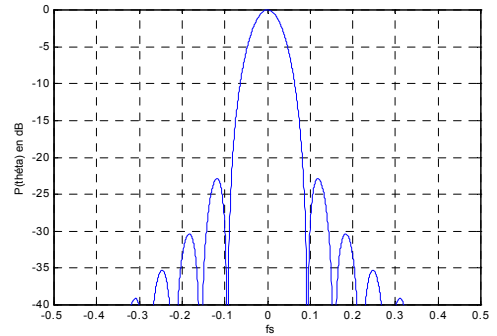
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.2. Tracé de diagrammes pour différents jeux de pondérations.

Le premier cas correspond à un jeu de pondérations unitaires, le second donne un diagramme différent du premier avec des lobes secondaires plus élevés tandis que le troisième est le même diagramme que le premier mais décalé de  $f_s = 0.5 \sin(\pi/4)$ . Alors que le quatrième cas donne un diagramme à lobes secondaires beaucoup plus bas, mais à lobe principal plus large.

### 3. Résultats & discussions

Nous avons trouvé que l'application d'un jeu de pondération de la forme  $I_p = \exp(-j \cdot \pi \cdot p \cdot \theta_0)$  nous donne une position d'orientation différente de  $\theta_0$ . Nous avons pris un angle de  $45^\circ$ , le résultat est un angle de  $51^\circ$  (figure 3.a).

L'application d'un jeu de pondérations  $I_p = \exp(-2 \cdot j \cdot \pi \cdot p \cdot f_0)$  où  $f_0 = \sin(\theta_0) / 2$  nous donne un décalage réel de  $\sin(\pi/4) / 2$  en fréquence spatiale, qui donnerait bien un décalage de  $\pi/4$  en gisement.

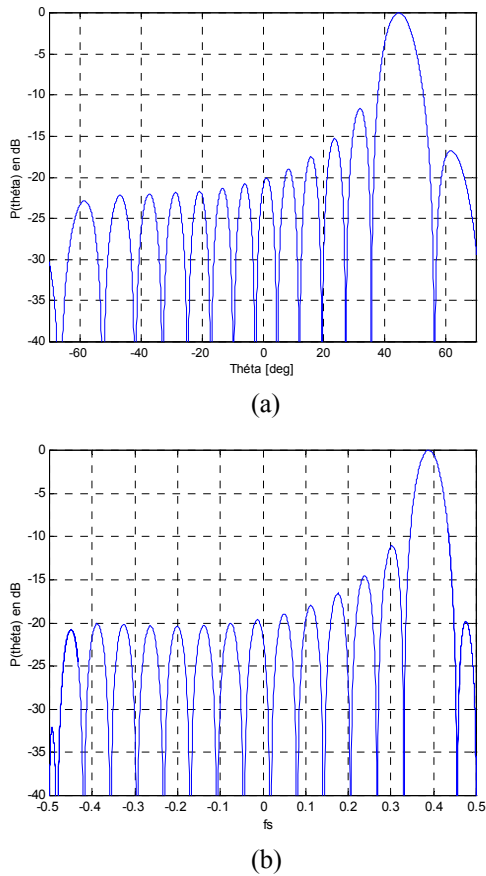


Fig.3. Tracé de diagrammes avec des pondérations de décalage.

#### 4. Conclusion

Dans cet article, on a montré que dans le cas où un dépointage du réseau d'antenne de télécommunication sera nécessaire, il conviendra de paramétrer en fréquence spatiale plutôt qu'en gisement, sous peine de ne pas décaler du bon angle et de voir le diagramme de rayonnement après décalage différent de celui que l'on obtient sans décalage (notamment au niveau de la largeur du lobe principal.)

Quand on dépointe, le diagramme est simplement translaté si l'abscisse est exprimée en fréquence spatiale.

#### REFERENCES

[BAL 1997] C.A. Balanis, "Antenna theory: Analysis and Design" John Wiley & Sons. 2<sup>0</sup> ed., New York. 1997.

[FAN 1992] R.L. Fante, "Maximum possible gain for an arbitrary ideal antenna with specified quality factor" IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.40, pp. 1586-1588, 1992

[NHU 1978] Nhu Bui-Hai, "Antennes Micro-ondes: applications aux faisceaux hertziens" Masson 1978.