

# Synthèse de diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes linéaires par la méthode Dolph-Tchebycheff

GHAYOULA Ridha<sup>\*</sup>, GHARSALLAH Ali<sup>\*</sup>,  
FADLALLAH Najib<sup>\*\*</sup>, RAMMAL Mohamed<sup>\*\*</sup>

*\*Laboratoire de physique de la matière molle, Unité de recherche : Circuits et systèmes électroniques HF*  
Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire Tunis EL-manar, 2092, Tunisie  
[ridha\\_ghayoula\\_fst@yahoo.fr](mailto:ridha_ghayoula_fst@yahoo.fr), [ali.gharsallah@fst.rnu.tn](mailto:ali.gharsallah@fst.rnu.tn)

*\*\* Equipe RADIOCOM, Institut universitaire de Technologie –saida*  
P.O.Box 813 #36 Liban  
[n\\_fadlallah@yahoo.com](mailto:n_fadlallah@yahoo.com), [mframmal@ul.edu.lb](mailto:mframmal@ul.edu.lb)

**Résumé:** L'objectif de cet article est l'étude du phénomène de rayonnement du réseau d'antennes linéaire 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 considère satisfasse à des contraintes que l'on se fixe. La synthèse développée est basée sur la méthode de Dolph-Tchebycheff.

**Mots clés :** Réseaux d'antennes Dolph-Tchebycheff, synthèse, optimisation, diagramme de rayonnement.

## INTRODUCTION

La synthèse du diagramme de rayonnement d'un réseau de sources n'est pas un problème nouveau en électromagnétisme. On peut déjà relever quelques articles traitant du sujet en 1940. Les premières réalisations pratiques ont, quand à elles, vu le jour dans les années cinquante [1].

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). En disposant plusieurs sources dans l'espace, et en pondrant 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. Une image de ce phénomène pourrait être l'utilisation de deux enceintes acoustiques au lieu d'une seule pour obtenir un effet stéréo lors de l'écoute d'un morceau de musique.

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 le réseau mécaniquement [2].

Pour une synthèse de diagramme de rayonnement de réseaux d'antennes, différentes méthodes analytiques et numériques d'optimisation (Fourier, Woodward-Lawson, relaxation, Newton, gradient conjuguée, etc ...) ont été développées et appliquées [3].

Dans cet article, nous allons présenter la méthode de Dolph-Tchebycheff qui sera appliquée à la synthèse de diagramme de rayonnement des réseaux d'antennes linéaires..

## 1. Problème de synthèse

Pour un réseau linéaire, la synthèse se réduit à chercher la loi d'alimentation, d'un certain nombre d'éléments fixé à l'avance, la synthèse consiste en une recherche de la pondération complexe de l'alimentation.

Pour la représentation des diagrammes de rayonnement, il existe deux types de conformations :

□ Une conformation dans un plan, par exemple les deux principaux plans  $E$  et  $H$ . Dans ce cas, la discrétisation se porte seulement sur la direction  $\theta$ , l'autre direction  $\varphi$  est fixée.

□ Une conformation dans tout l'espace  $(\theta, \varphi)$ . Dans ce cas le couple  $(\theta, \varphi)$  est discrétisé.

Considérons un réseau unidimensionnel à  $P_x$  éléments disposés régulièrement dans une direction  $(Ox)$ . Son diagramme de rayonnement s'écrit :

$$F(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) \sum_{n=1}^{P_x} w_n \exp(jk_0 \sin \theta \cdot (x_n \cos \varphi)) \quad (1)$$

Où  $f(\theta, \varphi)$  : diagramme de rayonnement d'un élément rayonnant,  $(X_n)$  : coordonnée de l'élément rayonnant

n.  $W_n$ : coefficient complexe de pondération d'alimentation d'ordre n.  
 $k_0$  : nombre d'onde.  
 Pour un réseau unidimensionnel symétrique à  $(2N_x)$  éléments, le diagramme de rayonnement d'un tel réseau est :

$$F_s(\theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{F_{s\max}}} \sum_{i=1}^{N_x} a_{xi} \cos(k_0 X_i \sin \theta \cos \varphi + \psi_{xi}) \cdot f(\theta, \varphi) \quad (2)$$

Suivant cette expression, nous pouvons remarquer que l'expression du diagramme synthétisé peut se mettre sous la forme :

$$F_s(\theta, \varphi) = F_{RS}(\theta, \varphi) \cdot f(\theta, \varphi) \quad (3)$$

avec  $F_{RS}(\theta, \varphi)$  est le facteur de réseau.

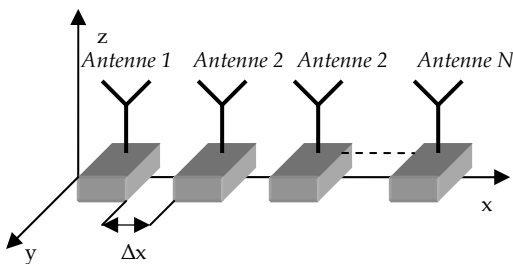


Figure 1. Réseau d'antennes linéaires

Le diagramme de rayonnement désiré  $F_d(\theta, \varphi)$  est spécifié à l'aide d'un gabarit, le diagramme synthétisé doit tenir dans les limites fixées par ce gabarit. Le gabarit peut être défini dans tout l'espace, dans une partie de l'espace ou seulement dans quelques plans. Un exemple de projection de gabarit est donné sur la figure 2, avec les différents paramètres qui permettent de le décrire. Caractérisant le diagramme désiré à partir du demi-gabarit (figure.2.)

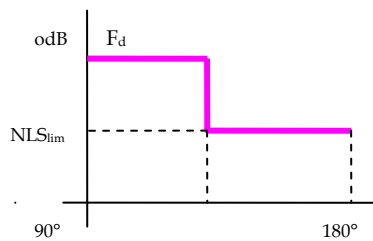


Fig.2. Gabarit caractérisant le diagramme désiré

Comme le réseau est symétrique, il est possible d'optimiser le diagramme de rayonnement en tenant compte exclusivement de la loi d'alimentation des sources du réseau. La loi d'alimentation des autres sources est alors obtenue par symétrie. Afin de limiter le temps de calcul, nous avons défini le gabarit seulement dans le plan  $\theta = 90^\circ$ .

## 2. Méthode de Dolph-Tchebycheff

Dolph a indiqué une méthode basée sur les propriétés des polynômes de Tchebyscheff, qui permet d'obtenir le maximum de gain pour un niveau de lobes

secondaires imposé.

Cette méthode utilise le fait que la répartition optimale des amplitudes des sources est celle qui donne, pour expression du champ rayonné par un alignement de N sources, les polynômes de Tchebyscheff de degré  $(N-1)$ . Ce polynôme présente toujours un maximum de niveau important qui correspond au maximum du lobe principal de rayonnement, et une succession de maxima et de minima, d'amplitudes égales, qui correspondent ici aux lobes secondaires : ainsi par la suite on va présenter la synthèse de diagramme de rayonnement en utilisant le polynôme de Tchebyscheff de degrés 20,  $T_{19}(x_0)$  qui correspondra, dans la méthode de Dolph, au rayonnement d'un alignement de 20 sources [4].

Avec cette méthode, tous les lobes secondaires du diagramme ont un même niveau, ce qui peut présenter des inconvénients si l'on désire que l'antenne assure une certaine protection contre les brouilleurs éloignés de l'axe de rayonnement maximal. Par contre, on peut démontrer qu'un réseau construit suivant cette méthode, présente toujours le maximum de gain compatible avec le niveau de lobes secondaires que l'on s'est imposé.

Pratiquement, le calcul de la distribution d'amplitude sera fait comme suit : on se fixe le rapport  $R_0$  entre l'amplitude du champ maximal du lobe principal et celle des lobes secondaires ;  $R_a$  permet alors de définir un paramètre  $x_0$  par la formule :

$$R_a = T_{N-1}(x_0) = ch[(N-1) \operatorname{arg} ch x_0] \quad (4)$$

En tenant compte de ce que :

$$x_0 = ch \left[ \frac{\operatorname{arg} ch R_a}{N-1} \right] \quad (5)$$

## 3. Synthèse par loi d'amplitude

Soit un diagramme de rayonnement désiré  $F_d(\theta, \varphi)$ , la synthèse de réseaux d'antennes linéaires [5] consiste à déterminer l'amplitude d'alimentation selon  $(Ox)$ , c-à-d le vecteur  $A_{xi} = [a_{x1}, a_{x2}, \dots, a_{xN_x}]$ , qui permettent au diagramme de rayonnement synthétisé  $F_s(\theta, \varphi)$  de s'approcher de  $F_d(\theta, \varphi)$ .

En considérant une répartition spatiale strictement périodique de pas  $\Delta x$  selon. Les positions  $X_i$  des sources deviennent :

$$X_i = (i-1/2) \Delta x \quad i=1, N_x$$

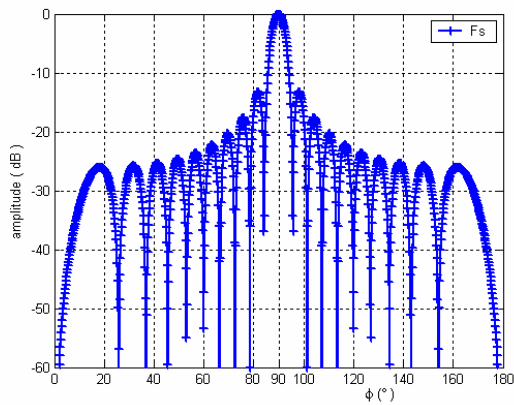


Figure 4. Diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes linéaires à 20 éléments rayonnants ( $\varphi_0=90^\circ$ ,  $\Delta x=0.5\lambda$ )

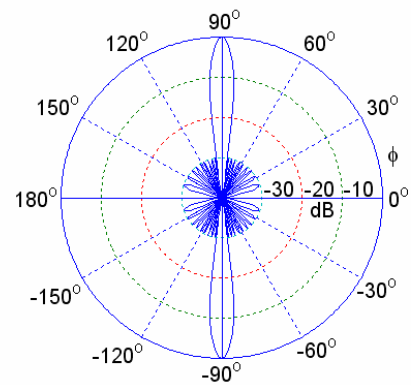


Figure 7. Diagrammes de rayonnements synthétisé de réseau d'antennes linéaires de 20 éléments rayonnants en coordonnées polaire en utilisant la méthode de Dolph-Tchebycheff (NLSlim=-30dB,  $\varphi_0=90^\circ$ ,  $\Delta x=0.5\lambda$ )

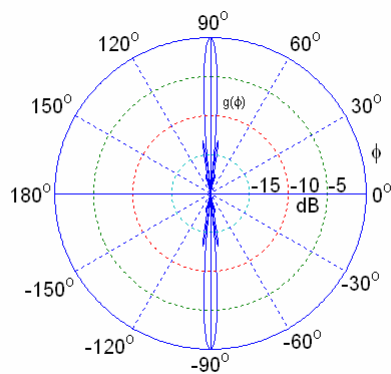


Figure 5. Diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes linéaires à 20 éléments rayonnants en coordonnées polaire ( $\varphi_0=90^\circ$ ,  $\Delta x=0.5\lambda$ )

Les figures 4 et 5 présentent le diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes linéaires à 20 éléments rayonnants avec des amplitudes d'alimentations unitaires  $A_{xi} = [1, 1, \dots, 1]$ .

Les figures 6 et 7 représentent le résultat de synthèse de diagramme de rayonnement de réseaux d'antennes linéaires de 20 éléments rayonnants, on remarque d'après ces figures que les diagrammes de rayonnement sont contenus dans les limites imposées par le gabarit (NLSlim=-30 dB).

On constate aussi que, la synthèse de réseaux d'antennes linéaires par la méthode de Dolph-Tchebycheff permet de réduire fortement le niveau maximum de lobes secondaires. La synthèse consiste à déterminer l'amplitude d'alimentation selon (Ox) en utilisant la méthode de Dolph-Tchebycheff, c-à-d le vecteur  $A_{xi} = [a_{x1}, a_{x2}, \dots, a_{xN}]$ , qui permettent au diagramme de rayonnement synthétisé  $F_s(\theta, \varphi)$  de s'approcher de  $F_d(\theta, \varphi)$ .

La figure 8 présente le résultat de synthèse d'excitations  $a_{xi}$  obtenues en utilisant cette méthode

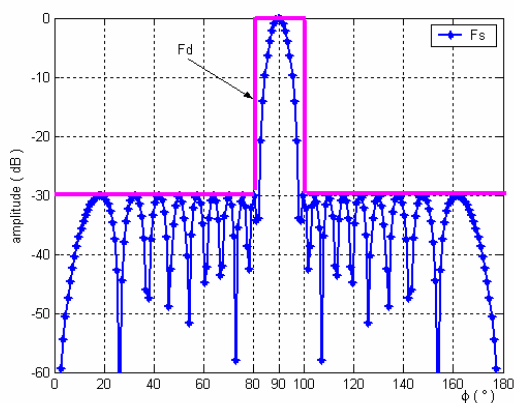


Figure 6. Diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes linéaires à 20 éléments rayonnants en utilisant la méthode de Dolph-Tchebycheff ( $\varphi_0=90^\circ$ ,  $\Delta x=0.5\lambda$ )

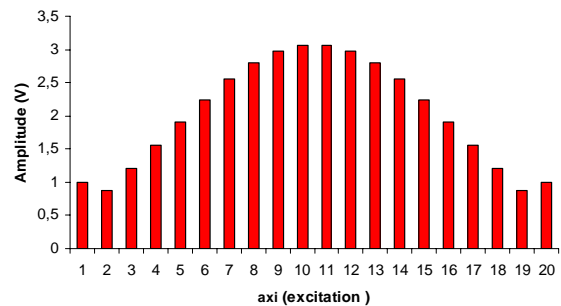


Figure 8. Excitations  $a_{xi}$  obtenues en utilisant la méthode de Dolph-Tchebycheff (NLSlim=-30dB,  $\varphi_0=90^\circ$ ,  $\Delta x=0.5\lambda$ )

#### 4. Conclusion

Dans cet article, nous avons défini le diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes à l'aide d'un gabarit et nous avons développé l'approche de synthèse de réseaux d'antennes linéaires à partir d'une technique d'optimisation globale basée sur la méthode de Dolph-Tchebycheff, par action sur l'alimentation des sources.

Dans certains cas, le gabarit doit être satisfait avec des

poids répondant à certaines limitations technologiques. Ces contraintes sont très souvent des contraintes de dynamique sur les excitations.

and neural network Synthesis beamforming model for adaptive antenna arrays.

## REFERENCES

- [1] Jean-Michel FLEURIAULT « Synthèse du diagramme de rayonnement d'un réseau de sources ». THESE L'UNIVERSITE DE RENNES I ,1996
- [2] L .MERAD , S.M. MERIAH et F.T. BENDIMERAD « Application des Réseaux Neuronaux pour la Modélisation et l'Optimisation de Réseaux d'Antennes Imprimées » Université Abou-Bekr Belkaïd – Tlemcen.2004
- [3] Najib FADLALLAH “Contribution à l’optimisation de la synthèse du lobe de rayonnement pour une antenne intelligente. Application à la conception de réseaux à déphasage » thèse -2005
- [4] F. SAGNARD, B. UGUEN, G. EL ZEIN « Etude de l'émission et de la réception de signaux pulsionnels par des antennes Ultra large bande : modélisation et expérimentation » IETR-UM- 2004
- [5] B. Vidal, V.Polo, J.L.Corral, J.Marti « Multibeam Optical Beamforming Architectures for Broadband Wireless Access Networks FRG, Universidad Politécnica de Valencia, Spain 2004.

## AUTHORS' BIOGRAPHIES



**Ridha Ghayoula** received the degree in automatic electric engineering in 2002 and the M.Sc. degrees in electronics device from El-manar University - Sciences' faculty of Tunis, Tunisia, in 2005. He is currently working toward the Ph.D. degree in electrical engineering at the Sciences' faculty of Tunis. His research interests include smart antennas, neural network applications in antennas, adaptive arrays and microwave integrated circuits.



**Najib Fadlallah** received the degree in Telecommunications engineering from the University of Montreal- POLYTECHNIQUE – Canada in 1997 and M. Sc. of High Frequency Electronics & Optoelectronics in 2002 and the Ph.D. degree in 2005 from Limoges University – France. Since 2005, he was with the Department of GRIT at the Lebanese university (Institute of Technology). His current research interests include antennas, array signal processing, smart antennas, and neural network synthesis beamforming model for adaptive antenna arrays.



**Ali Gharsallah** received the degree in radio-electrical engineering from the Ecole Supérieure de Télécommunication de Tunis in 1986 and the Ph.D. degree in 1994 from the Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis. Since 1991, he was with the Department of Physics at the Faculty of Sciences, Tunis. His current research interests include antennas, array signal processing, multilayered structures and microwave integrated circuits.



**Mohamed Rammal** received the degree in Telecommunications engineering from the Lebanese University– Beyrouth in 1988 and M. Sc. of High Frequency Electronics & Optoelectronics in 1990 and the Ph.D. degree in 1993 from Limoges University – France. Since 2005, he was with the Department of GRIT at the Lebanese university (Institute of Technology). His current research interests include antenna arrays synthesis, smart antennas,