



Limites Théoriques et Pratiques des Antennes Superdirectives

Abdullah Haskou*, Ala Sharaiha**, Sylvain Collardey***

*IETR UMR CNRS 6164- Université de Rennes 1, Rennes, France, {abdullah.haskou}@univ-rennes1.fr

**IETR UMR CNRS 6164- Université de Rennes 1, Rennes, France, {ala.sharaiha}@univ-rennes1.fr

***IETR UMR CNRS 6164- Université de Rennes 1, Rennes, France, {sylvain.collardey}@univ-rennes1.fr

Keywords (in English and French): Réseau d'antenne, superdirectivité, antenna array, superdirectivity

Introduction

Certaines applications comme le transfert d'énergie sans fil nécessitent des antennes à la fois directives et compactes. Cependant, les Antennes Electriquement Petites (AES) ont de faibles rendements et des diagrammes de rayonnements quasi-omnidirectionnels. Par conséquent, les AESs superdirectives peuvent être une solution intéressante pour ces contraintes. Dans cet article nous présentons les limites théoriques et pratiques des antennes superdirectives. Nous détaillons les compromis considérer entre les dimensions totales de l'antenne (le nombre d'élément et l'espacement entre eux), la directivité et l'efficacité atteignable.

1. Les Résultats Analytiques

Pour plus de simplicité, nous supposons un réseau de N antennes isotropes. Les coefficients d'excitation en courant qui maximisent la directivité dans la direction (θ_0, ϕ_0) sont donnés par [1]:

$$a_{0n} = A_n e^{j\phi_n} = [H_{mn}^*]^{-1} e^{-jk\hat{r}_0 r_m} f_m(\theta_0, \phi_0) f_n^*(\theta_0, \phi_0)$$

où A_n est la magnitude de l'excitation et ϕ_n est sa phase, \hat{r}_0 est le vecteur unitaire dans la direction de champ lointain (θ_0, ϕ_0) , $k = w/c$, f_n, f_m sont les champs lointain des élément n, m et H_{mn} est donné par:

$$H_{mn} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi f_m(\theta, \phi) f_n^*(\theta, \phi) e^{-jk\hat{r}(r_m - r_n)} \sin(\theta) d\theta d\phi$$

où \hat{r} est le vecteur unitaire dans la direction de champ lointain (θ, ϕ) .

En appliquant ces pondérations, la directivité maximale qu'on peut obtenir en fonction de la distance entre les éléments et en fonction de nombre des éléments N , est donnée dans Figure 1(a). On peut remarquer que quand la distance entre les éléments approche le zéro la directivité approche N^2 . Quand on augmente la distance entre les éléments la directivité dans la direction principale diminue et celle dans la direction arrière augmente (Figure 1(b)). A 0.5λ la directivité dans les deux directions sont égales à N . Figure 1(c) montre la puissance rayonnée par le réseau pour des pondérations normalisées ($\sum_{n=1}^N A_n^2 = 1$). On peut remarquer que, pour une distance fixe entre les éléments, lorsque le nombre des éléments augmente la directivité augmente et la puissance émise par le réseau diminue au même temps, et par conséquent, son efficacité de rayonnement.

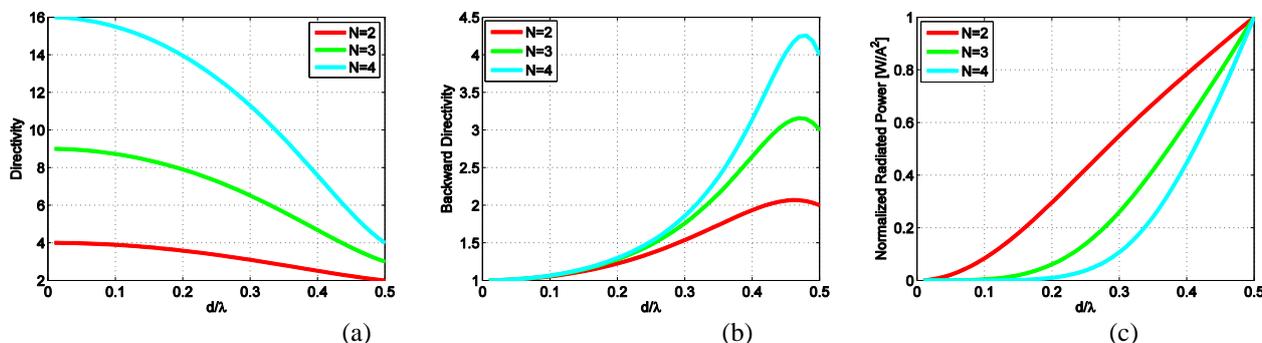


Figure 1: La performance d'un réseau de N antennes isotropes. (a) La directivité dans la direction end-fire principale, (b) la directivité dans la direction arrière et (c) la puissance émise normalisée.

La deuxième limite pratique est la sensibilité de la superdirectivité. On calcule la directivité d'un réseau de N éléments isotropes en considérant une erreur des pondérations de 5%. Figure 2 montre les résultats obtenus. Il faut savoir que les éléments symétriques (1,2 pour $N=2$, 1,3 pour $N=3$, 1,4, et 2,3 pour $N=4$) ont un effet similaire. On peut remarquer que plus la distance entre les éléments est petite plus la directivité est sensible. On peut aussi remarquer que plus on augmente le nombre d'éléments on augmente aussi la sensibilité de la directivité. En fait, pour la distance $d = 0,1\lambda$ une erreur de 5% dans l'estimation de magnitude de première pondération, diminue la directivité par 1,1%, 10,2%, 56,1% en cas d'un réseau de deux, trois ou quatre éléments respectivement. On peut aussi observé que pour un réseau de N éléments, la sensibilité à des changements dans les pondérations des éléments au milieu du réseau est plus importante. Cela est due au fait que les magnitudes de ces pondérations sont plus élevées.

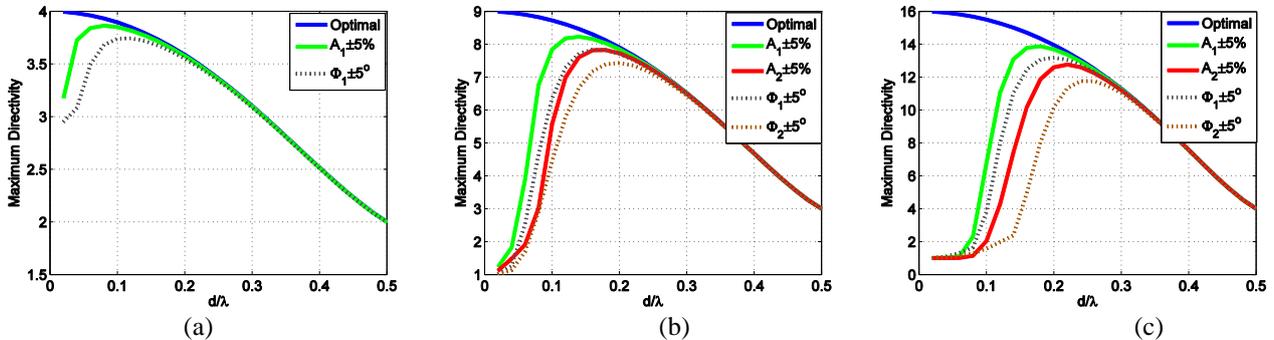


Figure 2: L'effet de l'erreur dans les pondérations sur la directivité obtenue pour un réseau de N éléments isotropes. (a) $N=2$, (b) $N=3$ et (c) $N=4$.

Dans la section prochaine, nous allons étudier l'effet de ces limites sur le design d'un réseau à trois éléments.

2. Réseau Parasite à Trois Éléments

La méthodologie de conception des réseaux d'antennes superdirectifs détaillée dans [2] a été utilisée pour développer un réseau à trois éléments pour la bande RFID à 866MHz. La géométrie de l'antenne proposée est présentée dans la Figure 3(a). La distance inter-élément d_1 varie de $0,69\text{cm}$ à 6cm (de $0,02\lambda$ à $0,17\lambda$) pour étudier son effet sur la directivité maximale (Figure 3(b)) et l'efficacité de rayonnement (Figure 3(c)). En accord avec l'étude théorique, nous pouvons remarquer que la tolérance sur le calcul des pondérations limite la conception du réseau pour un faible espacement. En effet, ce n'est qu'à partir de $d_1 = 3,5\text{cm}$ que des directivités intéressantes peuvent être atteintes dans le cas du réseau entièrement excité. Toutefois, dans le cas du réseau parasite, certaines résistances négatives sont nécessaires. En négligeant ces résistances négatives, on diminue de manière significative la directivité obtenue. En ce qui concerne l'efficacité de rayonnement du réseau parasite, elle augmente lorsque la distance inter-élément dépasse 3cm ($0,1\lambda$).

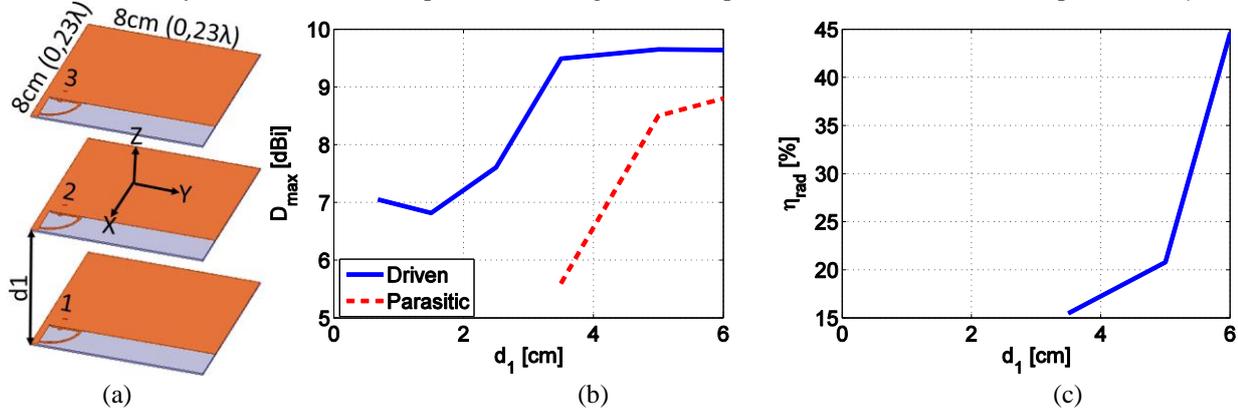


Figure 3: Paramètres simulés du réseau proposé en fonction de la distance inter-élément. (a) La géométrie du réseau, (b) la directivité totale et (c) l'efficacité de rayonnement.

3. Conclusion

Dans cet article, nous avons montré analytiquement les facteurs limitant la conception des réseaux superdirectifs. Cette étude a été validée par des simulations électromagnétiques. Les résultats de simulation sont en très bon accord avec ceux obtenus analytiquement. Les résultats de mesure seront présentés lors de la conférence.

Bibliographie

- [1] E. E. Altshuler, T. H. O'Donnell, A.D. Yaghjian, and S. R. Best, "A Monopole Superdirective Array", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 53, No. 8, pp. 2653-2661, August 2005.
- [2] A. Haskou, A. Sharaiha, and S. Collardey, "Design of Small Parasitic Loaded Superdirective End-Fire Antenna Arrays", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 12, pp. 5456-5464, December 2015.