



HAL
open science

Approche de découplage des réseaux d'antennes superdirectifs

Abdullah Haskou, Ala Sharaiha, Sylvain Collardey

► **To cite this version:**

Abdullah Haskou, Ala Sharaiha, Sylvain Collardey. Approche de découplage des réseaux d'antennes superdirectifs. Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01532721

HAL Id: hal-01532721

<https://hal.science/hal-01532721>

Submitted on 2 Jun 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Approche de découplage des réseaux d'antennes superdirectifs

Abdullah Haskou¹, Ala Sharaiha¹, et Sylvain Collardey¹

¹IETR UMR CNRS 6164- Université de Rennes 1, 35042 Rennes, France
abdullah.haskou@univ-rennes1.fr

Résumé – La distance inter-éléments dans les réseaux d'antennes superdirectifs est très faible ce qui implique un couplage mutuel très élevé et donc des rendements relativement faibles. Dans cet article, nous proposons d'utiliser des techniques de découplage afin d'augmenter l'efficacité de ce type de réseaux. L'approche basée sur l'utilisation d'un élément parasite chargé est validée par des simulations et des mesures qui montrent une augmentation non négligeable de l'efficacité de réseaux d'antennes superdirectifs à éléments unitaires électriquement petits et espacés de $0,1\lambda$.

1. Introduction

Les Antennes Electriquement Petites (AEP) sont très importantes pour les systèmes sans fil compacts. Cependant, ces antennes sont connues pour leurs diagrammes de rayonnement quasi-isotropes. Pour conserver l'avantage de taille des AEPs tout en augmentant significativement leur directivité, on peut les intégrer dans des réseaux dits superdirectifs où la distance entre les éléments rayonnants est habituellement une fraction de la longueur d'onde. La littérature disponible sur ce sujet est riche de réalisations réussies de réseaux superdirectifs basés sur des AEPs [1-7]. Cependant, en raison de la faible distance inter-éléments, ces réseaux présentent un couplage mutuel élevé et, par conséquent, de faibles efficacités. Récemment, des techniques de découplage ont été présentées utilisant des éléments parasites [9-12]. Dans [10], les auteurs ont notamment proposé d'utiliser une antenne parasite chargée pour découpler un réseau de monopole à deux éléments. La valeur de la charge est calculée par :

$$Z_L = \frac{Z_{12} Z_{23}}{Z_{13}} - Z_{22}$$

Où les éléments du réseau (1) et (3) sont séparés par l'élément chargé (2). Dans ce cas, une réduction maximale du couplage de 31dB a été obtenue par simulation. Dans la littérature, le découplage est principalement utilisé pour diminuer le coefficient de corrélation et améliorer le gain de diversité dans les réseaux MIMO. Dans cet article, nous proposons d'utiliser les techniques de découplage dans les réseaux superdirectifs pour augmenter leur efficacité. Cette approche est validée par la conception de deux réseaux parasites à deux éléments basés sur une AEP avec une distance inter-éléments de $0,1\lambda$. Les résultats de la simulation montrent que la méthode proposée augmente significativement l'efficacité du réseau tout en réduisant le couplage.

2. Géométrie et résultats de simulation

Prenons l'exemple d'un réseau à deux éléments basé sur l'AEP représenté dans la Figure. 1(a). Cette antenne est imprimée sur un substrat d'épaisseur 0,76mm de Rogers RO4003 ($\epsilon_r=3,55$; $\tan(\delta)=0,0027$). Le couplage mutuel simulé avec le logiciel HFSS [8] en fonction de l'espacement inter-élément est donné sur la Figure 1(d). Ces résultats montrent que le couplage entre les deux éléments est très important pour de petites distances, et lorsque la distance augmente, le couplage diminue. Cependant la directivité maximale est atteinte lorsque la distance inter-élément tend vers zéro. Donc, découpler les deux éléments pourrait être très bénéfique pour l'efficacité.

La méthode présentée dans [10] a été utilisée pour découpler les deux éléments du réseau. Par contre, pour conserver la distance entre-élément initiale, un court dipôle imprimé, et non pas une antenne identique, a été utilisé (Figure 1(b)). La valeur de la charge optimale du dipôle en fonction de la distance inter-élément pour découpler les deux éléments est donnée dans la Figure 1(c). Comme on peut le remarquer, pour de petites distances, une résistance négative de faible valeur est nécessaire. À partir de $0,07\lambda$, la valeur de la résistance requise devient positive et augmente avec la distance jusqu'à environ $0,2\lambda$ où elle commence à diminuer de nouveau. Quant à la réactance, toujours de valeur positive, elle augmente également avec la distance jusqu'à environ $0,15\lambda$ à partir de laquelle elle se stabilise. Pour simplifier la réalisation et réduire les pertes, la résistance sera négligée quelle que soit sa valeur, négative ou positive. Le dipôle n'est donc chargé qu'avec une inductance (seules des valeurs d'inductance standard (disponible) sont considérées dans la simulation). Comme on peut le voir sur la Figure 1(d), pour de petites distances, le niveau de couplage peut être considérablement réduit à l'aide de ce dipôle chargé. Cependant, à mesure que la distance augmente, et pour une charge résistive nulle, la réduction de couplage devient moins significative.

Dans [7], une approche de conception des réseaux superdirectifs a été présentée. La méthode a été utilisée pour concevoir deux réseaux à deux éléments basés sur des AEPs avec une distance entre-élément de $0,1\lambda$. Dans la partie suivante, nous étudions l'effet du découplage sur différents paramètres d'antenne.

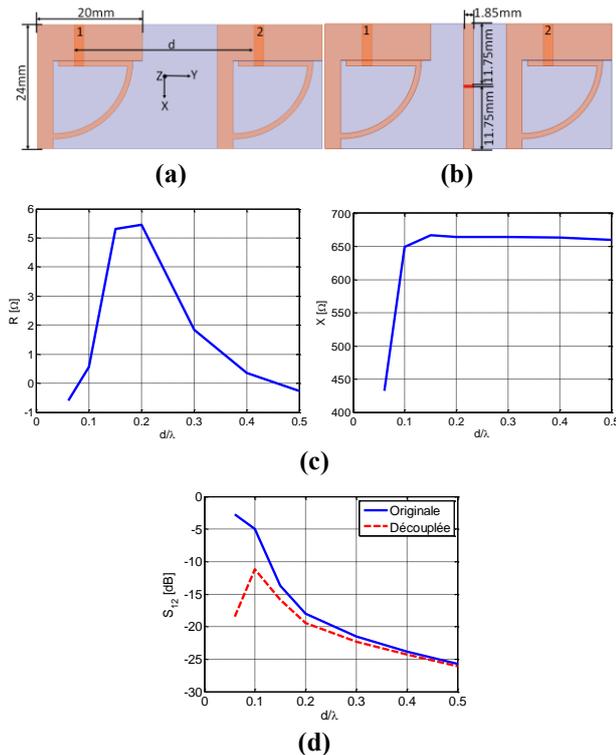


Figure 1 : Géométrie d'antenne miniature. (a) Réseau de référence, (b) avec découplage (c) la charge nécessaire pour découpler les deux éléments et (d) le couplage mutuel simulé en dB.

2.a. Réseau d'antenne miniature

Le premier réseau étudié dans [7] est présenté sur Figure 1(a) avec une distance inter-élément $d=34\text{mm}=0,1\lambda$. Ce réseau conçu pour 905MHz présente des dimensions de $54\times 24\text{mm}^2$, soit $ka=0,56$. Pour maximiser la directivité dans la direction end-fire (direction longitudinale), les pondérations en courant de deux éléments est de $[1, 1,32e^{j150,4^\circ}]$. Ce réseau entièrement alimenté présente une directivité totale simulée de 7,1dBi. Pour le transformer en réseau parasite, le second élément est chargé avec un condensateur de 5,1pF. Le réseau parasite présente alors une directivité totale de 7dBi, une efficacité de rayonnement de 7,1% et un gain réalisé de -6,4dBi. La technique précitée a été utilisée pour découpler les deux éléments. Le dipôle est chargé à l'entrée avec une inductance de 115nH. Cette charge décale la résonance du premier élément à exciter dans le réseau parasite à 898MHz. Ce réseau est alors directement optimisé à cette nouvelle fréquence de résonance. Comme on peut le voir sur la Figure 2, le couplage mutuel d'antenne, aux résonances correspondantes, est réduit de -4,8dB à -11dB. Avec le découplage, les pondérations de l'antenne pour obtenir la superdirectivité dans ce cas sont $[1, 2,25e^{j122,6^\circ}]$ ce qui donne pour, le réseau en parasite, le premier élément est alimenté et le second doit être chargé avec $41\Omega/1,8\text{pF}$. Cette antenne présente une directivité totale de 6,5dBi (Figure 3(a)), une efficacité de rayonnement de 13,4 % et un gain réalisé de -2,6dBi. L'amplitude du coefficient de réflexion d'entrée en dB et la directivité "end-fire" données sur la Figure 3(b) montrent qu'avec le découplage, le réseau peut tout de même être optimisé

pour obtenir une directivité maximale à la fréquence de résonance.

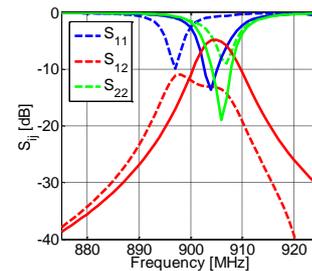


Figure 2 : Paramètres S simulés du réseau d'antenne miniature de référence (ligne continue) et découplé (trait pointillé).

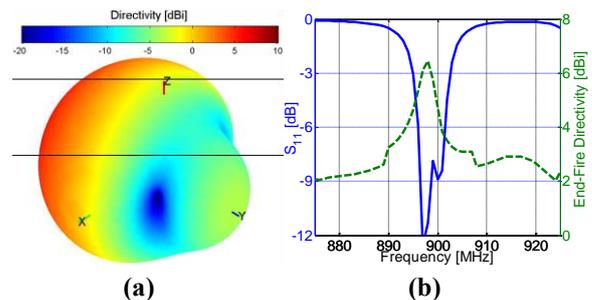


Figure 3: Paramètres simulés du réseau parasite. (a) Le diagramme de rayonnement de la directivité totale à la résonance et (b) l'amplitude du coefficient de réflexion d'entrée en dB et la directivité end-fire en fonction de la fréquence.

2.b. Réseau d'antenne miniature sur PCB

Le second réseau présenté dans [7] est montré dans Figure 4(a). Ce réseau, monté sur un PCB de $110\times 70\text{mm}^2$, a été optimisé pour 866MHz. Pour maximiser la directivité dans la direction end-fire, le premier élément est alimenté et le second a été chargé avec une inductance de 4.35nH. À la résonance, ce réseau présentait une directivité simulée de 6.6dBi, une efficacité de rayonnement de 52.1% et un gain réalisé de 3dBi. L'utilisation du même élément de découplage que dans le cas précédent montre qu'une charge complexe est nécessaire (1.83Ω en série avec 124.5nH). Le remplacement de ces valeurs par des valeurs des composants standards, soit 1.8Ω et 120nH , conduit à un niveau de couplage de -6dB. Pour éviter la charge complexe et améliorer le découplage, le dipôle de découplage a été étendu comme indiqué sur la Figure 4(b). Dans ce cas, le dipôle est uniquement chargé avec 13nH. Ce chargement déplace la résonance du premier élément à 851MHz. Dans ce cas, comme on peut le voir sur la Figure 5, le couplage mutuel est réduit de -5.7dB à -15.7dB. Les pondérations re-optimisées, donne pour le second élément une inductance de 24nH. L'antenne présente une directivité de 6,6dBi (Figure 6(a)), une efficacité de rayonnement de 63,7% et un gain réalisé de 3,9dBi. Le

coefficient de réflexion de l'antenne en dB et la directivité end-fire sont données dans la Figure 6(b).

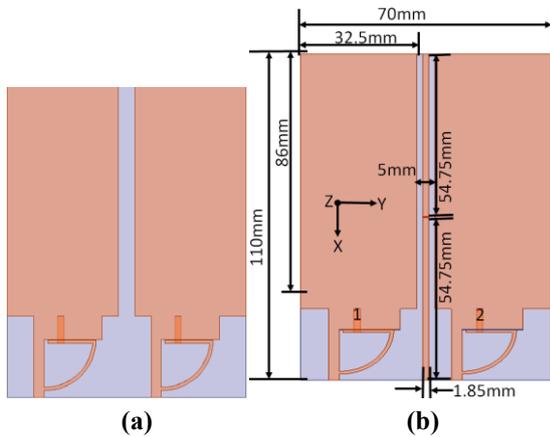


Figure 4 : Géométrie d'antenne miniature sur PCB. (a) Réseau de référence, et (b) avec découplage.

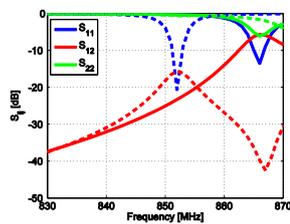


Figure 5: Paramètres S simulés du réseau d'antenne miniature sur PCB de référence (ligne continue) et découplé (trait pointillé).

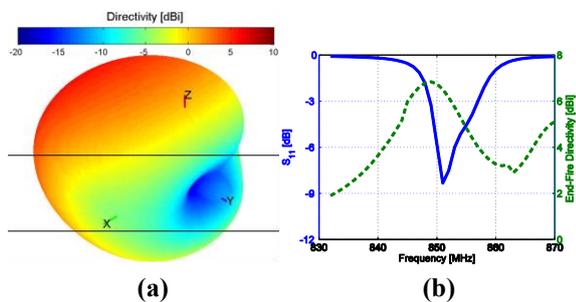


Figure 6: Paramètres simulés du réseau parasite sur PCB. (a) diagramme de rayonnement de la directivité totale à la résonance et (b) amplitude du coefficient de réflexion d'entrée en dB et directivité end-fire en fonction de la fréquence.

3. Résultats de mesures

Nous avons fabriqué les prototypes des antennes pour valider les résultats des simulations. La Figure 7 montre des photographies des réseaux classiques et la Figure 8 montre leurs paramètres S mesurés (en trait pointillé). Comme on peut le constater, ces mesures sont en très bon accord avec la simulation (en trait continu).

Nous avons aussi fabriqué un prototype de l'antenne découplée parasite (Figure 9(a)). La mesure de S_{11} de cette antenne donnée dans Figure 9(b) révèle un très bon accord avec la simulation. La perte de 0,4dB observée est due au câble UFL utilisé dans les mesures. Ensuite, nous avons testé la performance de l'antenne dans le système de mesures SATIMO SG 32.



Figure 7 : Prototypes des réseaux classiques alimentés à deux ports. (a) antenne de référence et (b) antenne découplée.

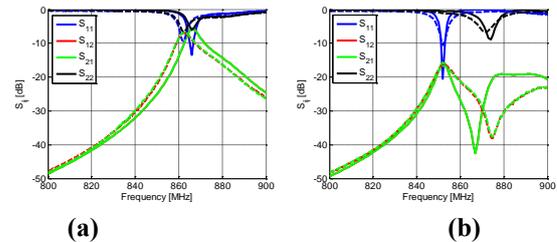


Figure 8 : Paramètres S simulés et mesuré du réseau d'antenne miniature sur PCB. (a) L'antenne de référence et (b) et l'antenne découplée.

La Figure 9 montre que le digramme de rayonnement 3D de la directivité totale mesuré (droite) est aussi en bon accord avec celui simulé (gauche). On peut observer une petite augmentation du rayonnement arrière. Cela est probablement aussi dû au rayonnement du câble UFL. La directivité mesurée est de 6dBi. Finalement, nous avons mesuré l'efficacité de l'antenne dans un ULB Wheeler Cap. L'antenne révèle une efficacité de rayonnement de 61%.

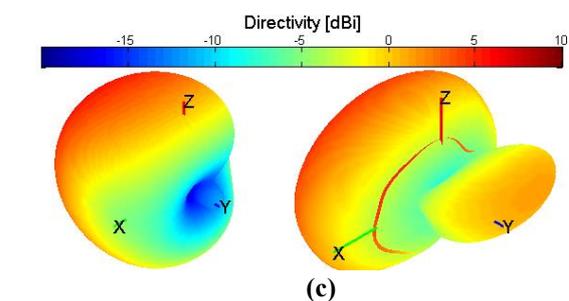
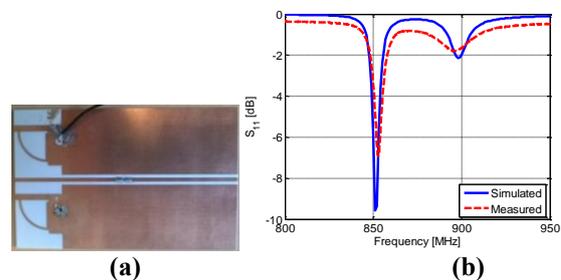


Figure 9: Mesures de l'antenne miniature sur PCB découplé parasite. (a) prototype, (b) S_{11} et (c) diagramme de rayonnement 3D (directivité).

4. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé de découpler les éléments des réseaux superdirectifs pour augmenter leur efficacité. La méthode a été appliquée à deux réseaux superdirectifs ayant des distances inter-éléments de $0,1\lambda$.

Les résultats de simulation ont montré que le découplage conduit à une réduction non négligeable du couplage entre éléments. Malgré un décalage en fréquence apporté par le découplage, il est possible en optimisant le réseau d'obtenir la même directivité que le réseau de référence sans découplage. En plus, le réseau découplé parasite présente une amélioration significative du gain réalisé par rapport au réseau de référence. Différents prototypes ont été mesurés montrant des résultats en très bon accord avec les simulations.

5. Remerciements

Ce travail a été mené avec le financement de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du projet "SOCRATE" et le soutien de "Images et Réseaux" de la région Bretagne, France.

Références

1. T. H. O'Donnell, and A. D. Yaghjian, "Electrically Small Superdirective Arrays Using Parasitic Elements", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, pp. 3111, 3114, 9-14 July 2006.
2. S. Lim, and H. Ling, "Design of Electrically Small Yagi Antenna", Electronics Letters, vol. 43, no. 5, pp. 3-4, 1 March 2007.
3. A. D. Yaghjian, et al., "Electrically Small Supergain End-Fire Arrays", Radio Science, vol. 43, 2008.
4. T. Kokkinos and A. P. Feresidis, "Electrically Small Superdirective Endfire Arrays of Metamaterial-Inspired Low-Profile Monopoles", in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 11, pp. 568-571, 2012.
5. M. Pigeon, et al., "Miniature and Superdirective Two Elements Endfire Antenna Array", 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), pp. 3553-3556, 6-11 April 2014.
6. A. Haskou, et al., "A Parasitic Three-Element Superdirective Electrically Small Antenna Array", Proceedings of Ninth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2015), pp. 1-4, 12-17 April 2015.
7. A. Haskou, et al., "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.
8. ANSYS HFSS, Pittsburg, PA 15219, USA.
9. S. Qi, et al., "Port Decoupling of Two Arbitrary Antennas in Close Proximity Through an Eigenmode Feed Network", 2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Charleston, SC, pp. 1-4, 2009.
10. B. K. Lau, and J. B. Andersen, "Simple and Efficient Decoupling of Compact Arrays With Parasitic Scatterers", in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 60, no. 2, pp. 464-472, February 2012.
11. X. Q. Lin, et al., "A Decoupling Technique for Increasing the Port Isolation Between Two Closely Packed Antennas", Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Chicago, IL, pp. 1-2, 2012.
12. A. B. Abdel-Rahman, "Coupling Reduction of Antenna Array Elements Using Small Interdigital Capacitor Loaded Slots", Progress In Electromagnetics Research C, vol. 27, pp. 15-26, 2012.