

Antenne double bande fonctionnant à 3.5 GHz et 26 GHz pour les stations de base small-cells

M. Dabbous¹, P. Le Thuc¹, A. Diallo¹, R. Staraj¹

¹ Université Côte d'Azur, LEAT, France, Campus SophiaTech, 930 Route des Colles, 06903 Sophia Antipolis
{maymouna.dabbous;philippe.le-thuc;aliou.diallo;robert.staraj}@univ-cotedazur.fr

Résumé – Dans cet article, une antenne double-bande est proposée pour le standard 5G. Le système fonctionne en bande sub-6 GHz à 3,5 GHz mais également en bande millimétrique à 26 GHz. Les résultats de simulation montrent une adaptation à 3,5 GHz et à 26 GHz respectivement. Les gains maximaux obtenus dans les deux bandes sont de 8,19 dBi et 8,77 dBi respectivement.

Mots-clés : Antenne bi-bande, Sub-6GHz, mmW, antennes compactes ou intégrées

1. Introduction

La technologie 5G repose sur l'utilisation de deux principales bandes de fréquences, chacune jouant un rôle complémentaire : les fréquences sub-6 GHz (700 MHz, 2,1 GHz, 3,5 GHz) qui permettent une couverture plus étendue et la bande millimétrique (26 GHz) qui elle permet une capacité plus élevée et une faible latence. L'intégration de ces deux bandes au sein d'un même système revêt une importance cruciale pour garantir aux utilisateurs une expérience optimale en termes de capacité, de latence et de connectivité, notamment dans le contexte des petites cellules (Small-cells). À la différence des stations de base MIMO, les petites cellules nécessitent en effet une intégration des deux systèmes, ce qui peut être contraignant en raison de l'espace disponible limité.

Cependant, en raison de l'éloignement fréquentiel de ces deux bandes, la conception des antennes adaptées à leurs longueurs d'ondes respectives représente un défi délicat. En effet, il en résulte des antennes de tailles très différentes pour les deux bandes ciblées.

Une solution à ce problème est la co-intégration des deux systèmes antennaires, chacun utilisé pour une bande de fréquence donnée, qui permet ainsi de rayonner dans la même surface partagée (Shared Aperture Antennas). Les antennes fonctionnant dans ces deux plages de fréquences nécessitent ainsi un agencement mais aussi une optimisation particulière. Dans cette optique, diverses techniques ont été élaborées pour parvenir à une disposition fonctionnelle, parmi lesquelles la superposition des antennes (Stacked structure) et l'imbrication des antennes les unes dans les autres (Embedded structure). Cette dernière technique, en particulier, favorise une intégration plus efficace des antennes notamment en réduisant leur épaisseur, contribuant ainsi à l'optimisation globale du volume du système.

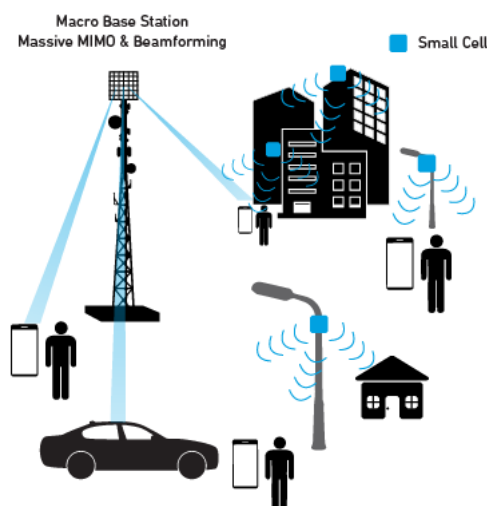


Figure 1. Small-cells

Plusieurs articles utilisent la technique dite d'intégration des antennes avec arrangement vertical. Dans [1], une antenne PIFA est associée à une antenne SIDRA (Substrate Integrated DRA). Un seul élément rayonnant est utilisé pour la bande basse tandis que 2 sous-réseaux de 6 éléments rayonnants sont utilisés pour la bande haute. Dans [2], deux patchs perforés à 3,5 GHz sont combinés avec deux réseaux de 6 patchs fonctionnant à 28 GHz. Dans [3], un patch à 3,5 GHz perforé en 9 carrés utilisant une antenne boucle pour augmenter le gain et la bande passante sont combinés avec un réseau de 9 patchs fonctionnant à 28 GHz. Plusieurs techniques d'alimentations sont utilisées pour les antennes en bande basse, dont des diviseurs de puissance ou des câbles coaxiaux. Il est à noter que toutes les antennes fonctionnant à 28 GHz sont alimentées par fente.

Le travail présenté dans cet article se base sur l'intégration de deux antennes suivant un agencement vertical. L'antenne à basse fréquence est constituée d'un seul élément rayonnant qui est un patch perforé fonctionnant à 3,5 GHz, tandis que l'antenne à haute fréquence est un réseau de quatre patchs en croix à double polarisation, alimentés par couplage à travers des fentes. C'est dans cette logique que le document est structuré de manière à présenter initialement la conception de l'antenne à basse fréquence, puis celle de l'antenne millimétrique avec son intégration en réseau, avant de traiter leurs performances respectives.

2. Conception du système double-bande

Le système consiste en une intégration verticale de deux antennes fonctionnant dans deux bandes (Sub-6GHz et bande millimétriques) de la 5G.

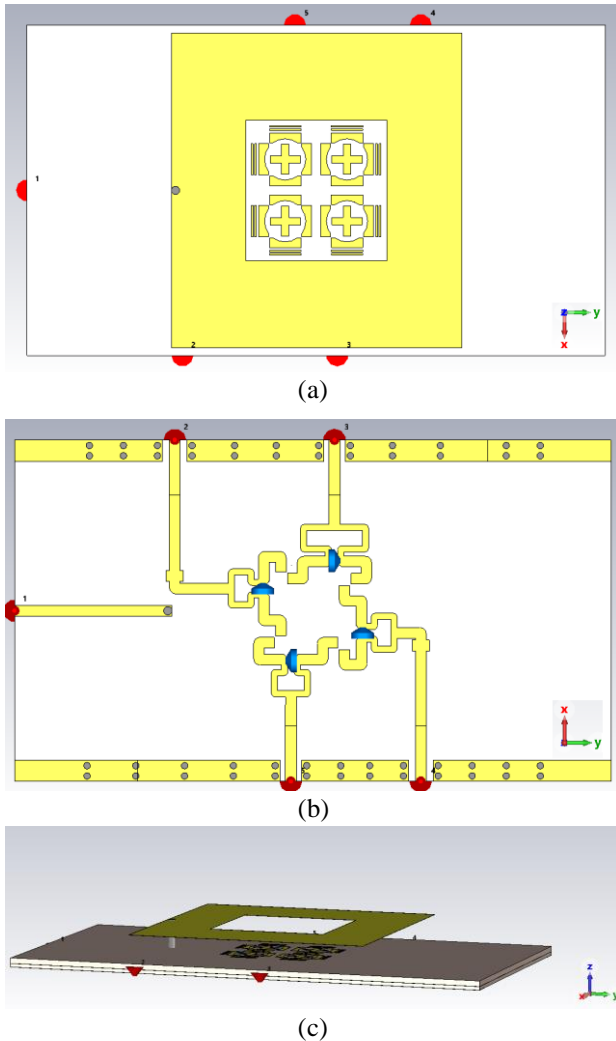


Figure 2: Géométrie du système bi-bande (a) vue de dessus, (b) vue de dessous et (c) vue globale

2.a. Antenne en bande basse

2.a.a. Conception de l'antenne Sub-6 GHz

L'antenne en bande basse consiste en un patch rectangulaire de dimensions 34,5mm x 38mm fonctionnant à 3,5 GHz perforé en son centre (17mm x 17mm) pour intégrer le système bande haute. Le diélectrique utilisé pour cette antenne est du ROGERS RT5880 ($\epsilon_r = 2,2$, $\tan\delta = 0,0009$) d'une épaisseur de 0,787 mm. Un plan de masse commun de dimension 70 mm x 40 mm pour les deux bandes sépare le substrat sur lequel sont imprimées les antennes et le substrat supportant l'alimentation. L'antenne était initialement alimentée à l'aide d'une ligne micro-ruban centrée sur le bord du patch avec un adaptateur quart d'onde permettant d'obtenir une impédance d'entrée de 50 Ohms. Cependant, cette configuration engendrait une bande passante de seulement 26 MHz soit 0,7% de bande passante. Cette faible bande

passante étant due à la faible épaisseur du substrat supportant les antennes.

Afin de permettre une augmentation de la bande passante, l'anneau rectangulaire a été surélevé d'une hauteur h égale à 4 mm. Avec cette surélévation, il est préférable que l'antenne soit alors alimentée à l'aide d'un via de 1 mm de diamètre traversant les deux substrats et le plan de masse se terminant sur une ligne 50 Ohms supportée par le substrat d'alimentation décrit dans la Section 2.b.

La Figure 3 montre les coefficients de réflexion dans les deux configurations. La courbe bleue correspond à la configuration patch microstrip classique perforé alimenté par une ligne d'adaptation à 50 Ohms à l'extrémité. Tandis que la courbe rouge correspond à la configuration surélevée. Il est à noter que la bande passante à -10dB passe de 27 MHz (correspondant à 0,77%) à 170 MHz (correspondant à 4,85%). Soit une amélioration de 143 MHz de la bande passante.

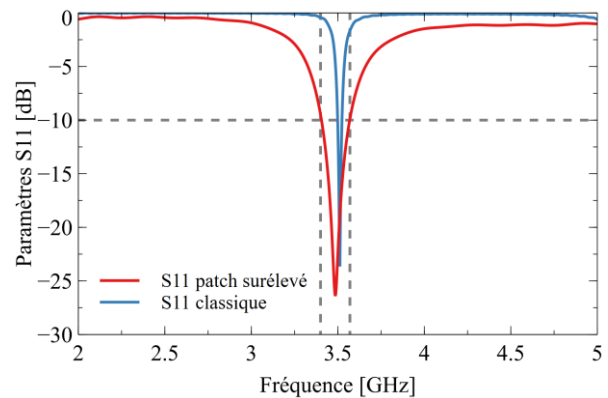


Figure 3: Comparaison des S_{11} des deux structures en bande basse

2.a.b. Performances à 3,5 GHz

Le coefficient de réflexion S_{11} et de transmission entre le port 1 et les autres ports dédiés à la bande millimétrique sont représentés sur la Figure 4. Avec la structure surélevée, la bande passante est désormais de 170 MHz pour un critère $|S_{11}| < -10$ dB et de 283 MHz pour un critère $|S_{11}| < -6$ dB. Tous les coefficients de transmissions entre accès sont inférieurs à -30dB à 3,5 GHz, ce qui permet une isolation supérieure à 30dB.

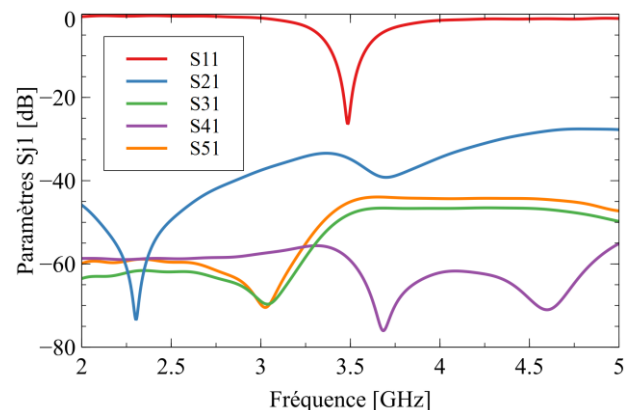


Figure 4: Coefficients de réflexion et couplages dans la bande basse entre les différents accès

Les gains à 3,5 GHz selon les plans E et H sont représentés Figure 5. Dans les deux plans, la valeur maximale est de 8,19 dBi dans la direction normale à l'antenne. L'ouverture angulaire est de 59° dans le plan E et de 78° dans le plan H. La différence entre les niveaux de polarisation principale et croisée est de plus de 63 dB dans le plan E (la composante contrapolaire étant de -55 dB), ce qui ne permet pas de la représenter sans un écrasement de l'échelle du gain. Pour le plan H, la différence entre les niveaux de polarisation principale et croisée est de 18,2 dB. Dans ce plan, le rayonnement présente une symétrie du fait de la symétrie totale de la structure selon l'axe 0y.

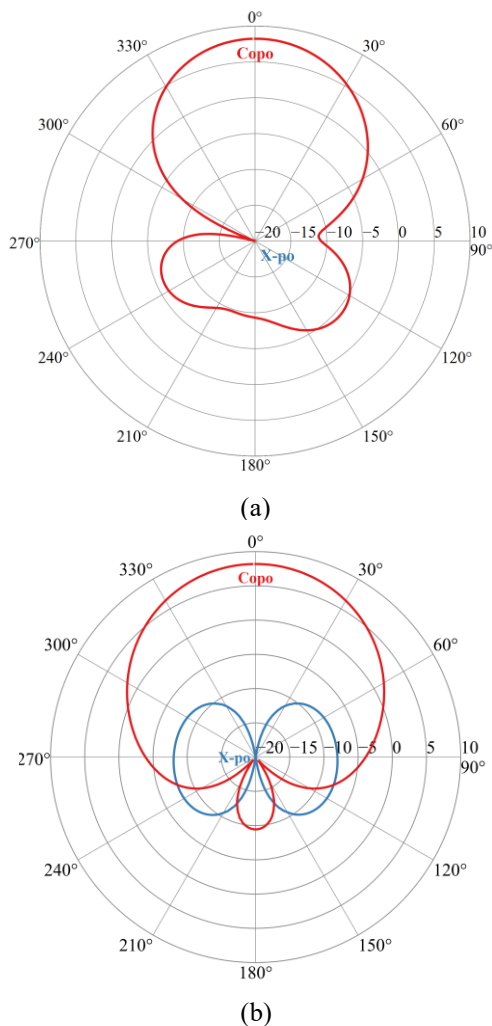


Figure 5: Gain à 3,5 GHz, (a) dans le plan E (Phi=90°), (b) dans le plan H (Phi=0°)

2.b. Antenne en bande haute

2.b.a. Conception de l'antenne millimétrique

Le système en bande haute est constitué d'un réseau de quatre patchs en croix fonctionnant à 26 GHz comme illustré sur la Figure 2. Cette antenne a fait l'objet d'une précédente description [4] dans laquelle un réseau de 12 éléments rayonnants était présenté. Le système fonctionne entre 25,5 et 26,5 GHz. L'utilisation de deux sous-réseaux permet de reconfigurer deux faisceaux suivant deux polarisations orthogonales (ports 2 et 4 alimentés ou ports

3 et 5 alimentés). Dans [4], la reconfiguration en diagramme était réalisée à l'aide d'éléments parasites court-circuités et placés autour des patchs rayonnants. Le réseau présenté dans cet article est concentré sur l'aspect double-bande et non sur le dépointage des faisceaux en bande millimétrique, d'où l'absence de courts-circuits sur les éléments parasites.

La longueur d'onde dans le vide à 26 GHz étant de 11,5 mm, un patch de longueur 3,65 mm proche de $\lambda_g/2$ a été conçu. Cette antenne repose en effet sur le même substrat ROGERS RT5880 ($\epsilon_r = 2,2$, $\tan\delta = 0,0009$, $h=0,787$ mm) que l'antenne basse fréquence et est alimentée par couplage grâce à des fentes pratiquées dans le plan de masse. Le réseau d'alimentation est imprimé sur du ROGERS 4003C ($\epsilon_r = 3,55$, $\tan\delta = 0,0027$) d'épaisseur 0,5 mm. Il est composé de quatre diviseurs de Wilkinson afin d'alimenter deux fentes parallèles. Pour faciliter l'intégration des connecteurs (le plan de masse étant pris entre deux couches de substrat, la connexion des connecteurs est rendue plus difficile), les lignes d'alimentations sont terminées dans cet article par une transition CPWG à 50 Ohms. L'espace entre les pistes CPWG et le diviseur est de 0,8 mm.

2.b.b. Performances à 26 GHz

Les paramètres S et le couplage entre les différents ports sont présentés dans la sous-section suivante. La Figure 6 présente les coefficients de réflexion entre 24 et 28 GHz. Il est à noter que la bande passante est comprise entre 1 à 2 GHz selon les ports pour le critère $|S_{ii}| < -10$ dB.

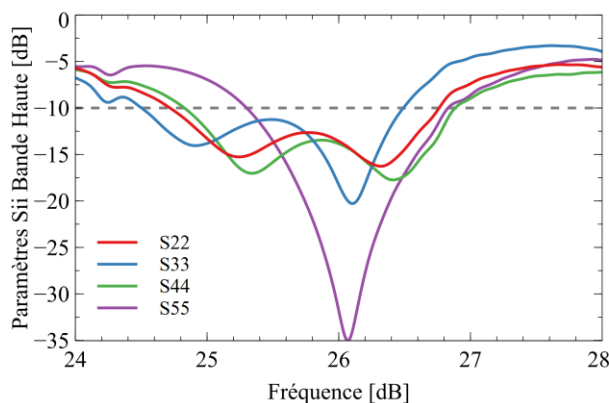


Figure 6 : Coefficients de réflexion dans la bande haute autour de 26 GHz

Le couplage entre les ports est aussi présenté dans la Figure 7. Il s'agit ici du cas où le port 2 est excité. A 26 GHz, tous les coefficients de transmissions sont inférieurs à -30 dB. Ce qui correspond à une isolation supérieure à 30 dB à la fréquence de 26 GHz.

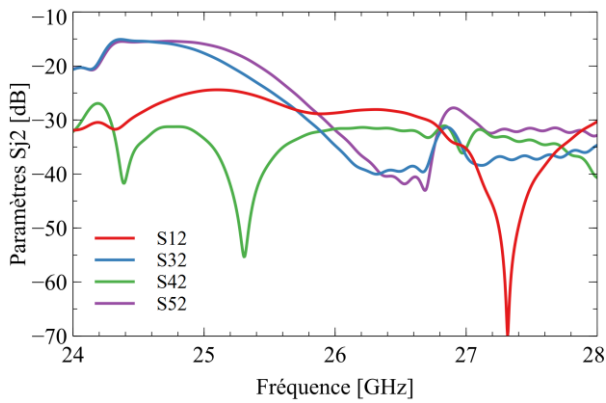


Figure 7 : Couplages du port 2 avec les autres ports dans la bande haute

Enfin, les gains sont représentés dans les Figures 8 et 9. Le gain maximal est de 8,77 dBi dans le plan $\Phi=0^\circ$ et est obtenu lorsque les ports 3 et 5 sont excités simultanément. Dans le plan $\Phi=90^\circ$, le gain maximal est de 8,56 dBi et est obtenu lorsque les ports 2 et 4 sont excités simultanément. L'ouverture à mi-puissance est de 44° dans le plan $\Phi=0^\circ$ et de $41,7^\circ$ dans le plan $\Phi=90^\circ$.

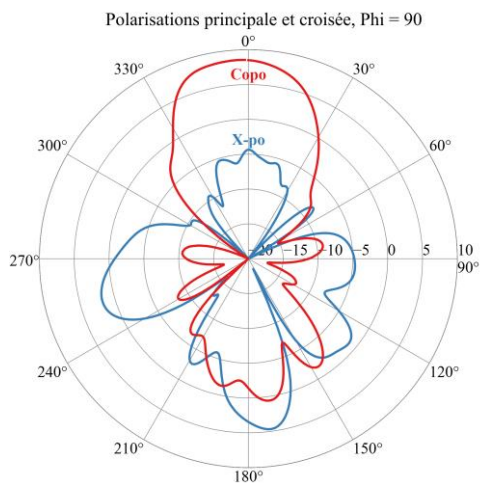


Figure 8: Gain à 26 GHz lorsque les ports 2 et 4 sont activés, dans le plan $\Phi=90^\circ$

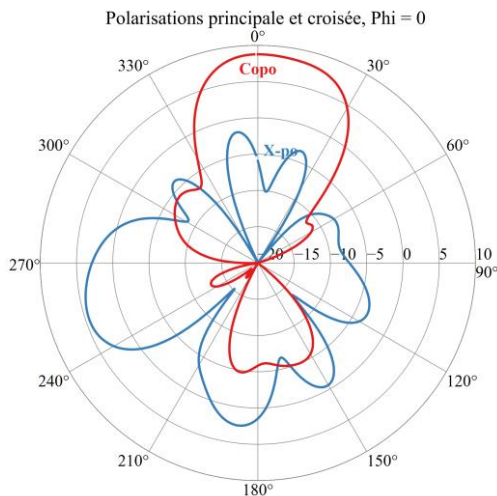


Figure 9: Gain à 26 GHz lorsque les ports 3 et 5 sont activés dans le plan $\Phi=0^\circ$

3. Conclusion

Dans cet article, la faisabilité d'un système bi-bande travaillant à 3,5 et 26 GHz est proposée pour le standard 5G. Les résultats de simulation montrent une adaptation à 3,5 GHz avec une bande passante de 170 MHz pour un critère $|S_{11}| < -10$ dB et de 283 MHz pour un critère $|S_{11}| < -6$ dB. A 26 GHz, la bande passante maximale est de 2 GHz pour un critère $|S_{11}| < -10$ dB. Ceci correspond donc à une bande passante maximale de 4,85% en bande basse est de 7,69%. La polarisation de la structure est de plus commandable. Les coefficients de couplage entre les différents accès restent inférieurs à -30dB. Les gains maximaux obtenus dans les deux bandes sont de 8,16 dBi et 8,56 dBi respectivement. Ces performances rendent la structure particulièrement intéressante pour la réalisable de small-cells dans le standard 5G.

Références

- [1] W. -W. Yang, X. -H. Ding, T. -W. Chen, L. Guo, W. Qin and J. -X. Chen, "A Shared-Aperture Antenna for (3.5, 28) GHz Terminals With End-Fire and Broadside Steerable Beams in Millimeter Wave Band," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 10, pp. 9101-9111, Oct. 2022, doi: 10.1109/TAP.2022.3178159.
- [2] X. -H. Ding, W. -W. Yang, H. Tang, L. Guo and J. -X. Chen, "A Dual-Band Shared-Aperture Antenna for Microwave and Millimeter-Wave Applications in 5G Wireless Communication," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 12, pp. 12299-12304, Dec. 2022, doi: 10.1109/TAP.2022.3209220.
- [3] A. Askarian and K. Wu, "Shared-Aperture Enabled Integration of Sub-6 GHz and Millimeter-Wave Antennas for Future Multi-Functional Wireless Systems," 2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting, Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 1775-1776, doi: 10.1109/IEEECONF35879.2020.9330000
- [4] M. Dabbous, A. Ngom, A. Diallo, P. L. Thuc, R. Staraj and J. M. Ribero, "Reconfigurable antenna array for 5G small cells," 2023 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Florence, Italy, 2023, pp. 1-4, doi: 10.23919/EuCAP57121.2023.10133272.