



HAL
open science

Etude comparative des performances des topologies d'antennes In-Band Full-Duplex mono-statiques et bi-statiques

Hanan Ouled Angoura, Hadi Hijazi, Marc Le Roy, Raafat Lababidi, Roland
Gautier, Clément Demeslay, André Pérennec

► **To cite this version:**

Hanan Ouled Angoura, Hadi Hijazi, Marc Le Roy, Raafat Lababidi, Roland Gautier, et al.. Etude comparative des performances des topologies d'antennes In-Band Full-Duplex mono-statiques et bi-statiques. 23èmes Journées Nationales Microondes, Jun 2024, Antibes Juan-Les-Pins, France, France. hal-04607012

HAL Id: hal-04607012

<https://hal.univ-brest.fr/hal-04607012>

Submitted on 10 Jun 2024

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.

Etude comparative des performances des topologies d'antennes In-Band Full-Duplex mono-statiques et bi-statiques

Hanan Ouled Angoura¹, Hadi Hijazi^{1,2}, Marc Le Roy¹, Raafat Lababidi²,
Roland Gautier¹, Clément Demeslay¹, André Pérennec¹

¹ Univ Brest, ² ENSTA-Bretagne, Lab-STICC, UMR 6285, CNRS, F-29200 Brest

hanan.ouledangoura@univ-brest.fr

Résumé – Cet article présente une étude comparative des performances de topologies mono- et bi-statiques d'antennes patches dans un contexte de liaison In-Band Full-Duplex en bande S. Cette comparaison est menée sur la base de simples antennes patches en mettant en œuvre en mono- et bi-statique une technique d'annulation en champ proche pour réduire l'auto-interférence entre la transmission et la réception. L'étude porte sur l'efficacité, la compacité et l'isolation TX/RX de ce type de réseau d'antennes. Peu d'études existent sur une mise en application de cette technique NFC en mono-statique et notre étude montre que les avantages, a priori, de compacité, de facilité de mise en réseau sont confirmés, moyennant une mise en œuvre adaptée et qu'un très bon niveau d'annulation de l'auto-interférence TX/RX est attendu.

I. Introduction

Dans le contexte actuel de la saturation des ressources spectrales allouées aux télécommunications en espace libre, la technique de l'In-Band Full Duplex (IBFD), ou Simultaneous Transmit And Receive (STAR), apparaît comme une solution d'avenir. Son principal intérêt est de pouvoir théoriquement doubler les débits montant et descendant, ainsi que d'assurer un premier niveau de sécurisation des données sur cette couche physique [1].

Cependant, le challenge principal lors de l'émission et réception simultanée dans la même bande de fréquences est de pouvoir atténuer suffisamment la puissante interférence de la partie TX sur celle de RX. De l'ordre de 110 à 130 dB suivant l'application, cette annulation de l'auto-interférence, ou Self-Interference Cancellation (SIC), nécessite en principe trois étapes : antenne, analogique et numérique, comme indiqué sur la figure 1. En pratique, et en vue de minimiser la complexité du système, il est souhaitable d'éliminer la partie analogique. Pour cela, il faut que la partie antenne puisse assurer une SIC de l'ordre de 50 à 60 dB.

Cet étage SIC antenne est nécessaire pour éviter toute saturation et/ou réduction de la dynamique des convertisseurs analogique-numérique et présente comme avantage de permettre une SIC sur l'ensemble des composantes du signal TX, incluant les imperfections (IMD, ...) introduites par le front-end RF (PA, ...). La suppression de la partie résiduelle est alors assurée par

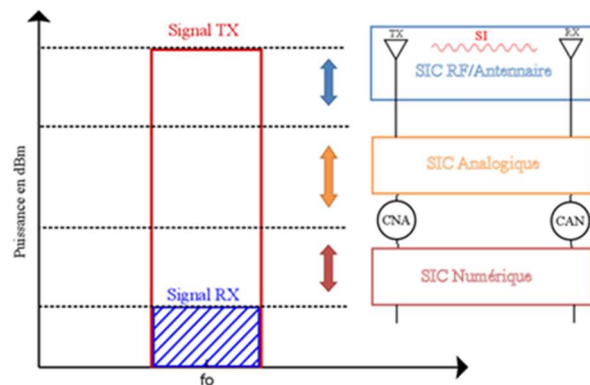


Figure 1 : les 3 niveaux d'isolation généralement requis pour une communication IBFD.

l'étage numérique qui doit également éliminer les réflexions parasites dues aux multi-trajets, spécifiques d'une transmission en espace libre.

L'annulation en champ proche du signal interférent sur la partie antenne de réception est basée sur deux principes, l'interférence destructrice et l'orthogonalité des champs. Si en théorie, des niveaux de SIC de plus de 100 dB peuvent être atteints en simulation, les dispersions technologiques vont dégrader systématiquement cette valeur [1]. D'où la recherche d'une configuration antenne la moins sensible à ces imperfections.

Par ailleurs, on distingue deux types de configurations d'antennes patches : bi-statique et mono-statique. Dans la première, elle nécessite plusieurs éléments rayonnants dont une partie est dédiée à l'émission et l'autre à la réception. En mono-statique, chaque élément rayonnant fonctionne en émission et réception.

L'objet de cette étude est de comparer ces deux configurations vis-à-vis de leurs performances et contraintes spécifiques. S'agissant d'antennes planaires, l'influence du type d'alimentation est l'objet d'une attention particulière.

II. Configuration Bi-statique

La structuration bi-statique d'un système d'antennes IBFD nécessite au moins un réseau de quatre antennes. Les antennes sont placées et tournées géométriquement autour du centre du réseau, formant deux paires d'antennes

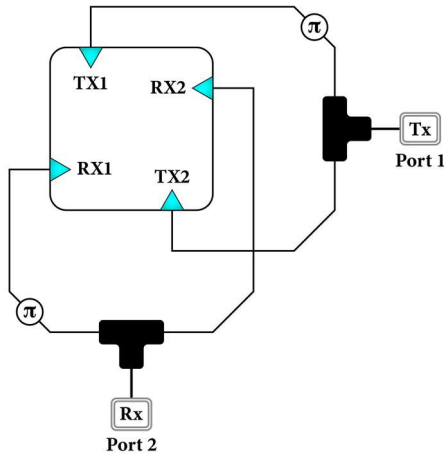


Figure 2 : topologie pour l'annulation en champ proche (NFC)

opposées. L'émetteur et le récepteur utilisent chacun une paire d'antennes. Cela signifie que les antennes d'émission et de réception sont physiquement séparées et polarisées orthogonalement, introduisant un premier niveau d'isolation entre les signaux émis et reçus.

Cela ne garantit évidemment pas nativement une annulation suffisante de l'auto-interférence, mais permet une mise en œuvre aisée de la technique d'annulation en champ proche dite Near-Field Cancellation (NFC) [1]-[2]. Cette technique illustrée à la figure 2 nécessite l'utilisation d'un balun (ou d'un diviseur de puissance avec des sorties en opposition de phase), de sorte que les signaux TX arrivent aux antennes de réception en opposition de phase et se recombinent en phase dans le champ lointain. La recombinaison en champ lointain exige que les antennes TX soient structurées de manière à présenter des alimentations placées de manière opposée.

Sur cette base, trois réseaux de patches ont fait l'objet d'une étude approfondie afin de comparer leurs performances, particulièrement en termes de SIC. Les trois réseaux utilisent des patches carrés [2] mais ont des alimentations différentes :

- Réseau I (figure 3(a)) : l'alimentation est réalisée à l'aide de vias coaxiaux perpendiculaires au plan des antennes.
- Réseau II (figure 3(b)) : ce réseau est alimenté par des lignes micro-ruban positionnées sur le même plan que les patches.

- Réseau III (figure 3(c)) : les antennes TX sont alimentées par des lignes micro-ruban et les deux antennes RX par des vias coaxiaux.

Les trois réseaux ont été analysés à l'aide du logiciel CST Microwave Studio. Le substrat choisi est de type Rogers RO4003C ($\epsilon_r = 3.55$, $h = 1.524 \text{ mm}$). Les patches carrés n'excèdent pas $31 \times 31 \text{ mm}^2$ et la distance centre à centre entre eux est de 50 mm . Les résultats de ces simulations sont présentés sur la figure 4. Les paramètres simulés ici sont issus d'une co-simulation EM-Circuit intégrant les caractéristiques d'un balun commercial BAL-006 [3], alors que l'efficacité et le gain ont été simulés par post-processing EM sur la base de baluns idéaux.

Sur la figure 4, on observe que pour les trois réseaux, l'adaptation ($< -10 \text{ dB}$), l'efficacité ($> 75\%$) et le gain ($\approx 6,5$ à 8 dBi) sont du même ordre de grandeur. Par contre, l'isolation du troisième réseau est nettement inférieure aux deux autres, confirmant ainsi la 1^{ère} comparaison portant sur l'influence des différents types d'alimentation en configuration bi-statique sur le niveau d'auto-interférence présentée en [4]. Pour les 3 réseaux, cette structuration nécessairement symétrique pour obtenir une SIC par technique NFC en bi-statique impose une distance importante entre les antennes susceptibles de faire apparaître des lobes de réseau. Pour 2 patches, il est possible de placer les antennes à une distance inférieure à λ ; par contre pour un réseau plus grand, ces lobes sont forcément présents en raison de la distance des centres de phase des deux blocs TX [2] et idem pour RX.

De plus, l'inconvénient principal de cette structure bi-statique est que la moitié des patches est dédiée à l'émission et l'autre à la réception, ce qui entraîne *a priori* une perte de 3 dB par rapport à la structure mono-statique que nous décrivons dans la suite de cette étude. Pour ces exemples, TX et RX utilisent des polarisations linéaires croisées mais une polarisation circulaire identique pour TX et RX peut également être mise en œuvre [2]. Par ailleurs, concernant l'alimentation, c'est le Réseau I alimentée par vias qui est sélectionnée comme référence en raison de ses performances.

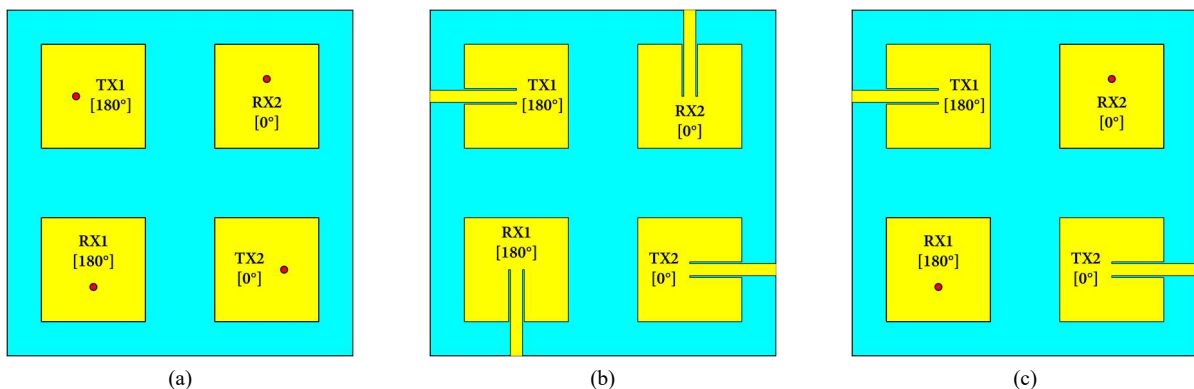


Figure 3 : réseau d'antennes « IBFD » bi-statique à 4 patches : (a) réseau I avec alimentation par vias, (b) réseau II avec alimentation par lignes microrubans et (c) réseau III avec alimentation hybride par vias et lignes microrubans.

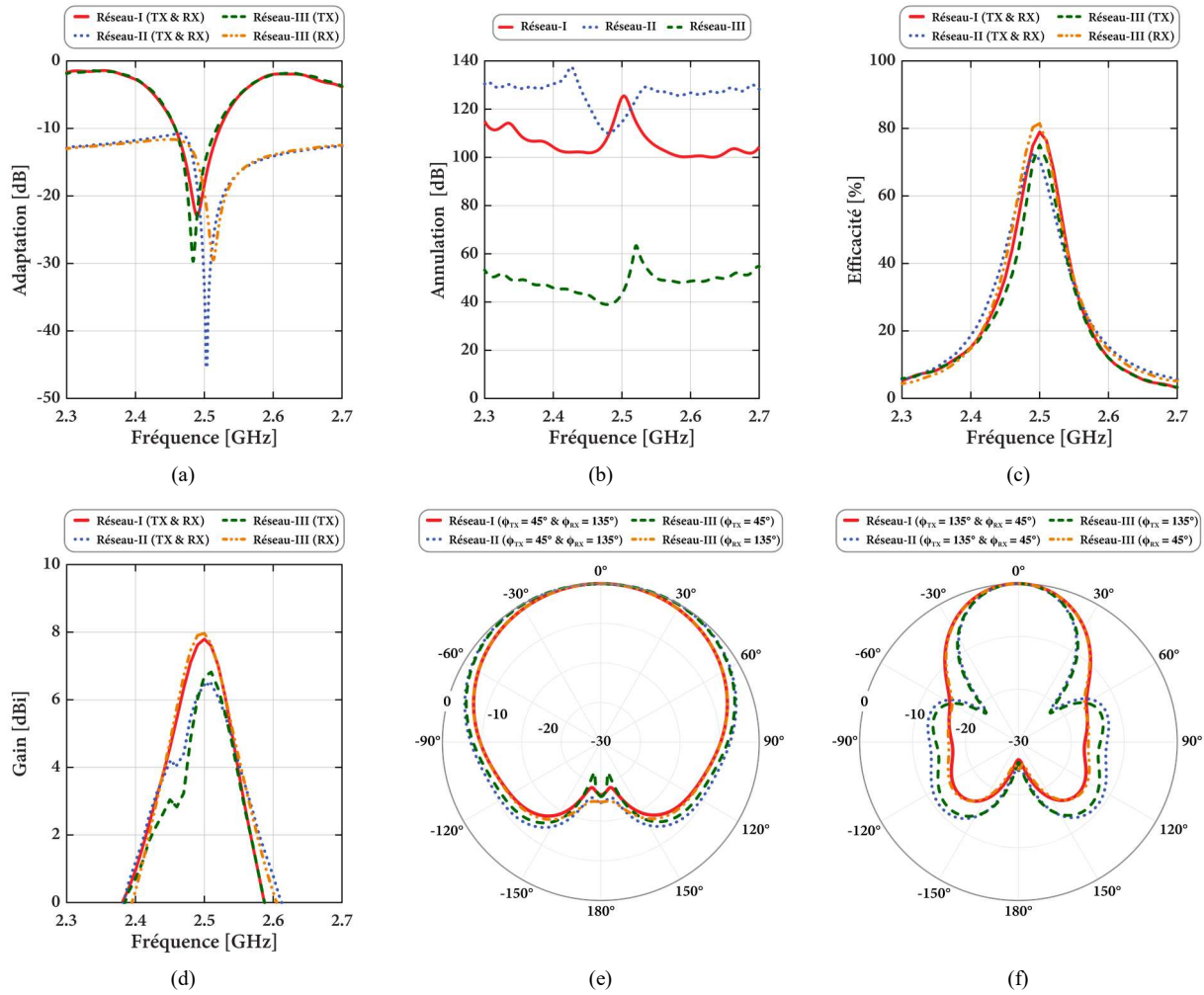


Figure 4 : (a) adaptation, (b) annulation de l'auto-interférence (SIC), (c) efficacité, (d) gain, (e) et (f) diagramme de rayonnement à 2.5 GHz des trois réseaux de la figure 3.

III. Configuration mono-statique

En IBFD, le concept mono-statique se caractérise par le fait que chaque élément rayonnant est utilisé simultanément en transmission et en réception [5]. Pour annuler les signaux TX en champ proche, nous avons adopté l'approche suivante : alimenter les deux ports TX de manière opposée géométriquement et également les mettre en opposition de phase à l'aide d'un balun. On procède de même pour les deux ports RX. De cette manière, les signaux TX sont annulés en champ proche sur RX et recombinaison en champ lointain.

L'antenne utilisée est donc un unique patch carré ayant quatre points d'accès, comme le montre la figure 5(a), implanté sur le même substrat Rogers RO4003C, en utilisant les mêmes conditions de simulation qu'en bi-statique (*i.e.* co-simulation avec deux baluns BAL-006). Les caractéristiques de cette antenne présentent une très bonne adaptation inférieure à -26 dB et une isolation de 98 dB entre les ports TX et RX. L'efficacité de l'antenne dépasse les 75%, par conséquent aussi bonne qu'en bi-statique, et le gain est de 5.5 dBi.

Ces résultats montrent la possibilité de mettre en œuvre une technique d'annulation en champ proche en mono-statique. De plus, ces simulations valident les avantages *a priori* de cette approche par rapport au bi-

statique et permettent d'établir de premières constatations :

- Une très bonne isolation en mono-statique est obtenue, critère principal pour l'IBFD.
- Une mise en réseau est facilitée en mono-statique, comme illustrée par la figure 6, correspondant pour cette configuration à un gain d'environ 8 dBi pour 2 patchs pour une SIC de 80 dB (courbes non présentées ici). La mise en œuvre de réseaux d'antennes à commande de phase (phased antenna array) est ainsi également envisageable au prix d'une dégradation acceptable de la SIC. De plus, la structuration ne nécessite pas de symétrie entre éléments rayonnants distincts pour TX et RX susceptibles de générer des lobes de réseaux.
- Comme attendu, le rapport surface/gain est à l'avantage du mono-statique. Cependant, pour un gain équivalent, le nombre de baluns requis est ici doublé, ce qui imposera d'être particulièrement exigeant sur les performances des baluns [6] et de leur intégration au plus près de la partie rayonnante (*e.g.* en utilisant une configuration de balun 1 vers 4 comme dans [7]).

IV. Conclusion

Cet article présente une étude comparative de performances entre les topologies bi-statique et mono-statique dans le cadre d'une communication IBFD. Par ailleurs, dans le cas bi-statique, trois types d'alimentation

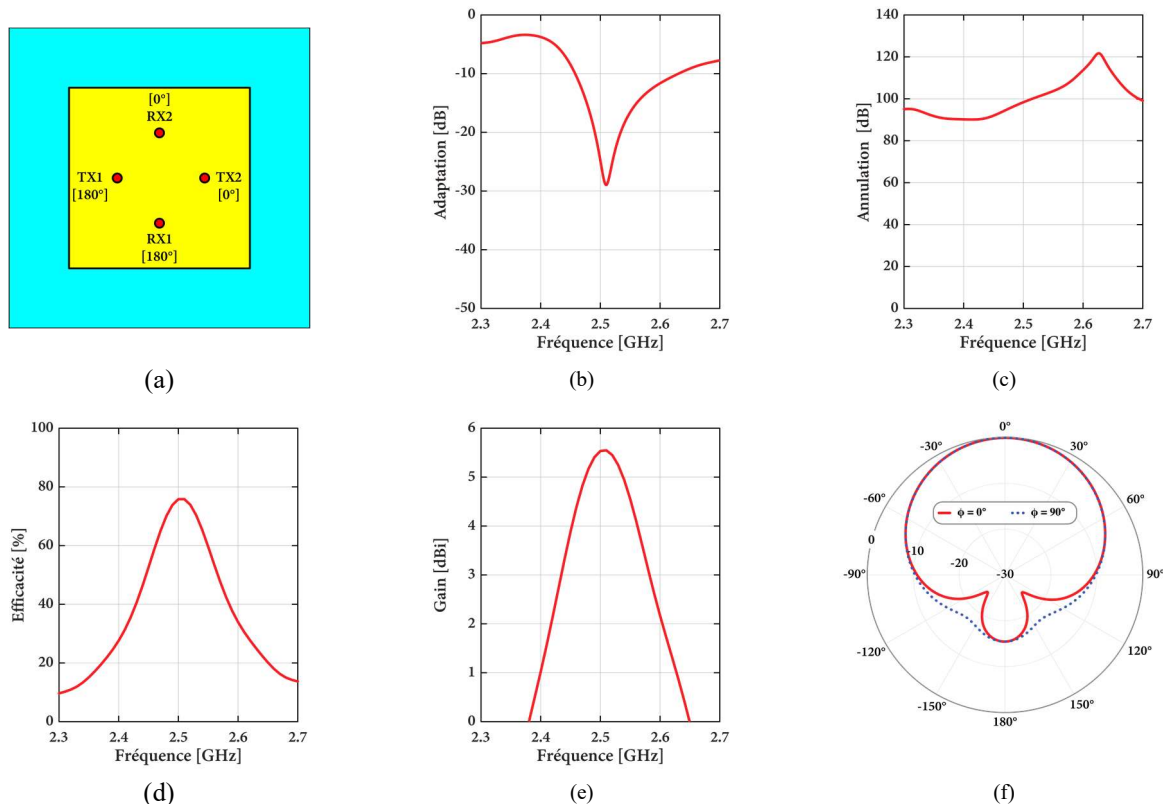


Figure 5 : (a) antenne mono-statique à alimentation à 4 accès et son adaptation (b), (c) annulation de l'auto-interférence (SIC), (d) efficacité, (e) gain, et (f) diagramme de rayonnement à 2.5 GHz.

sont étudiés et les résultats présentés mettent en avant celle à quatre patches avec alimentation par vias, présentant une isolation très importante de 127 dB.

L'antenne mono-statique avec alimentation par vias montre de bonnes performances, notamment une efficacité de 75% et surtout une isolation de 98 dB pour un gain de 5.5 dBi. De plus, la structure mono-statique permettra de minimiser l'apparition des lobes de réseaux dans le diagramme de rayonnement en raison de possibilité de réglage de la distance entre les ports TX et RX, contrairement à la structure bi-statique, où la distance entre les éléments du réseau est forcément plus importante.

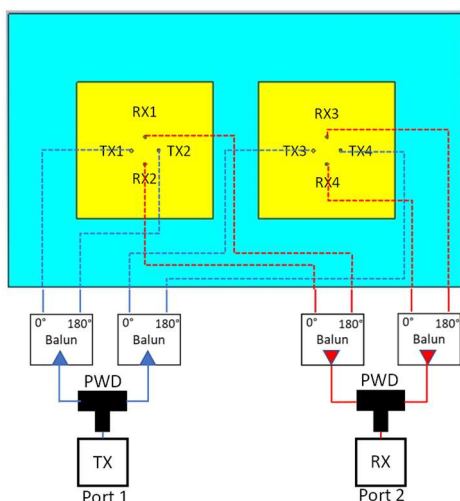


Figure 6 : réseau de deux antennes mono-statiques

Remerciements

Ce travail est soutenu en partie par le FEDER, l'état (MESR), la région Bretagne, Brest Métropole, le CD 29 dans le cadre du CPER SpaceTechDroneTech.

Références

- [1] H. Hijazi, M. Le Roy, R. Lababidi, D. Le Jeune, et A. Pérennec, « Ultra-wideband antenna system for in-band full-duplex applications », IET MAP, 2021.
- [2] H. Hijazi, A. Pen, M. Le Roy, R. Lababidi, D. Le Jeune, A. Pérennec, J-L. Issler, K. Elis, J-H. Corre, « Circularly Polarized In-Band Full-Duplex Antenna Array for Ka-Band Inter-CubeSat Links », IEEE NEWCAS 2022.
- [3] <https://markimicrowave.com/products/connectorized/baluns/bal-0006/>
- [4] A. Pen et al., « Broadside FD Antenna Topologies for Nanosat Intersatellite Link », in 2020 18th IEEE NEWCAS, Montréal, QC, Canada: IEEE, juin 2020
- [5] Y.-M. Zhang et al. « A Dual-Polarized Linear Antenna Array With Improved Isolation Using a Slotline-Based 180° Hybrid for Full-Duplex Applications », IEEE AWPL, vol. 18, no 2, p. 348-352, févr. 2019,
- [6] H. Hijazi, M. Le Roy, R. Lababidi, D. Le Jeune, et A. Pérennec, « 4-40 GHz In-Phase/180° Out-of-Phase Power Dividers with Enhanced Isolation », EuCAP2020.
- [7] H. Hijazi, et al., "Wideband Dual-Polarized Full Duplex Antenna Array," 2021 International Conference on ATC, Ho Chi Minh, Vietnam