HAL
open science

Interconnexions sans contact pour des communications inter-puces dans un environnement PCB

Thierry Le Gouguec, Pierre-Marie Martin

To cite this version:

Thierry Le Gouguec, Pierre-Marie Martin. Interconnexions sans contact pour des communications inter-puces dans un environnement PCB. 18ième Journées Nationales Microondes, May 2013, PARIS, France. pp.J3-DP2-4. hal-00813242

HAL Id: hal-00813242

https://hal.univ-brest.fr/hal-00813242

Submitted on 16 May 2013

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.

18èmes Journées Nationales Microondes
15-16-17 Mai 2013 - PARIS

Interconnexions sans contact pour des communications inter-puces dans un environnement PCB

Thierry LE GOUGUEC, Pierre-Marie MARTIN

Lab-STICC/UBO 6 avenue V. Le Gorgeu CS 93837 29238 BREST Cedex 3
Thierry.legouguec@univ-brest.fr

Résumé

Nous proposons ici, l'étude de la mise en œuvre d'un réseau de communications sans fil au sein de cartes PCB. Après avoir défini les caractéristiques des éléments rayonnants, nous étudions plus particulièrement les antennes dipôle et « Vivaldi » envisagées pour cette application. Nous présentons ensuite des exemples de transmissions dans un environnement PCB en présence ou non d'obstacles de types circuits intégrés ou rubans conducteurs orientés différemment.

1. Introduction.

Le développement du nombre d'applications et de fonctions que doit effectuer un même circuit électronique (les « smartphones » et les tablettes tactiles sont d'excellents exemples de cette évolution) entraîne une augmentation importante du nombre de connexions entre composants et de leur impact, notamment en termes de surface, d'intégrité de signaux, de débit, de consommation, de reconfigurabilité…

Pour remédier aux effets négatifs des interconnexions métalliques classiques, plusieurs architectures de circuits ont été développées ces deux dernières décennies comme par exemple les SoC, SiP, SoP, PiP,… D'un autre côté, plusieurs études concernant les interconnexions RF ont également été entreprises [1][2] ces dernières années. Plus récemment la notion de Network on Chip (NoC) est apparue. Cette approche réseau permet notamment une plus grande fiabilité des connexions entre circuits. Le concept de « Wireless NoC » est maintenant envisagé [3], et nous proposons de l'adapter aux cas des cartes imprimées en utilisant des liaisons sans fils, entre circuits intégrés, à base d'antennes.

Nous présentons figure 1 une vue schématique illustrant la comparaison entre les approches filaire et « Wireless » d'un réseau sur carte permettant la communication entre plusieurs circuits intégrés sur un même PCB. À titre d'exemple, les circuits CI1 à CI4 pourraient communiquer entre eux sans utiliser des liaisons filaires mais des connexions hertziennes. À ce niveau la mise en œuvre des méthodes d'accès multiples permettant les communications simultanées entre les différents CI, est bien sûr nécessaire. Notons parmi les techniques candidates les méthodes FDMA (*frequency division multiple access*) ou CDMA (*code division multiple access*) qui nécessitent des bandes passantes importantes [4].

Dans cette communication, nous nous intéressons plus particulièrement à la caractérisation des niveaux de transmission entre les antennes, que l'on peut espérer dans un réseau sur carte de type PCB.

Dans un premier temps, nous définissons les caractéristiques de rayonnement que doivent remplir les antennes pour être utilisées dans une application de type réseau de communication sur PCB. Nous proposons ensuite l'analyse de deux types d'antennes candidates à la réalisation de ces réseaux sans fils pour les cartes électroniques : les antennes dipôles et Vivaldi. Finalement nous présentons les premiers résultats de simulations et de mesures de la transmission entre deux antennes, en présence ou non d'obstacles, de type circuits intégrés ou rubans métalliques. Dans le but de réaliser un premier démonstrateur, nous avons conçu des antennes en technologie imprimée bas coût, à la fréquence de 10 GHz.

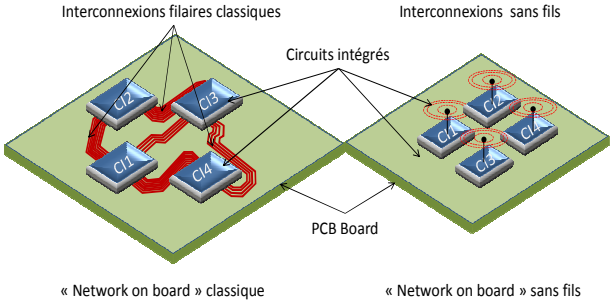

Figure 1 : Comparaison des architectures « *Network on Board* » classique et « *Wireless Network on Board* ».

2. Caractéristiques des antennes.

Pour satisfaire à un réseau de communications efficaces sur carte PCB, les antennes doivent satisfaire les contraintes suivantes : être large bande pour assurer un débit suffisant et permettre les techniques d'accès multiples, être omnidirectionnelles pour s'affranchir des contraintes de placement, assurer un rayonnement principalement dans le plan de la carte pour éviter les pertes, présenter une surface réduite pour être facilement intégrables, …

Nous avons retenu pour la réalisation d'un démonstrateur bas coût fonctionnant à 10 GHz deux types d'antennes vérifiant a priori les contraintes précédentes, des dipôles rayonnants [5] d'une part et des antennes « Vivaldi » d'autre part [6]. Nous illustrons figure 2 les géométries de ces deux antennes « test » et de leur ligne d'excitation microruban nécessaire à notre dispositif de mesures. Nous avons considéré un substrat RF35 d'épaisseur 760 µm, de permittivité ε_R=3.5, de tangente de pertes à 10 GHz tg(δ)=0.0025 et d'épaisseur de métallisation T=17.5 µm. Les antennes et leur excitation ont été optimisées par simulation électromagnétique pour fonctionner à 10 GHz.

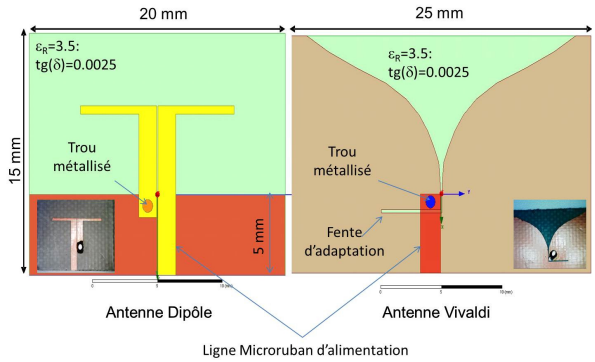

Figure 2 : Antennes Dipôle et « Vivaldi ».

Nous présentons figures 3 et 4 les résultats de simulations électromagnétiques HFSS© ainsi que les mesures de l'adaptation de ces deux antennes. Les mesures prennent en compte les connecteurs SMA et ont été réalisées dans un environnement sans protection contre les réflexions, ce qui explique les écarts avec les simulations, notamment en ce qui concerne l'antenne Vivaldi. L'antenne dipôle présente en simulation comme en mesure une bande passante à -10 dB de 31% autour de 10 GHz. Pour l'antenne « Vivaldi » nous observons une moins bonne correspondance entre simulations et mesures. Ces différences sont certainement imputables aux connecteurs et aux défauts de réalisation. Nous obtenons toutefois une bande passante à -10 dB de 75% en simulation ce qui justifie le choix de ce type d'antenne comme antenne large bande.

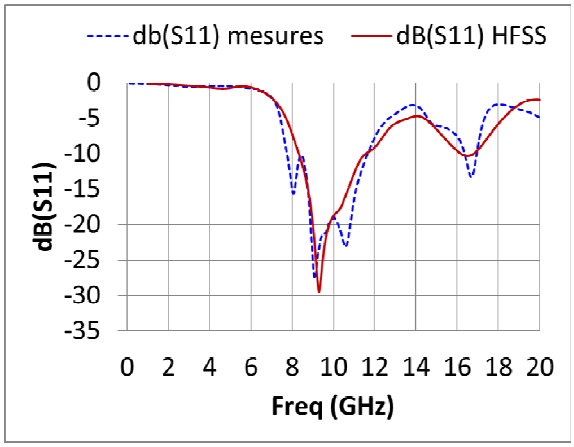

Figure 3 : Paramètres S_{11} simulés et mesurés de l'antenne dipôle.

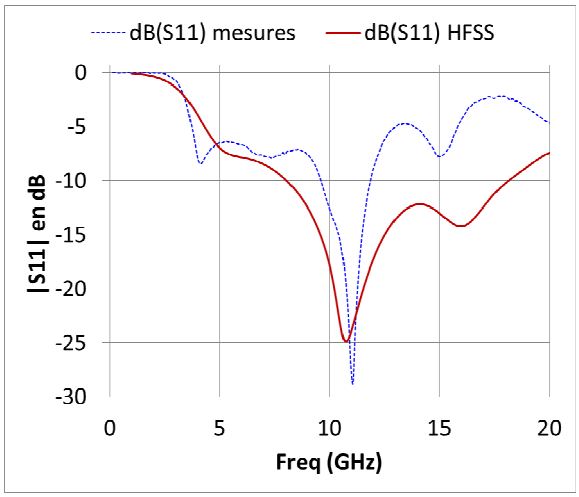

Figure 4 : Paramètres S_{11} simulés et mesurés de l'antenne Vivaldi.

Nous présentons figure 5 l'évolution spatiale du gain dans le plan E des deux antennes, obtenue à l'aide d'HFSS à la fréquence de 10 GHz. Nous avons également fait figurer la fonction caractéristique de rayonnement de ces deux antennes. Nous pouvons constater que les deux antennes rayonnent principalement dans le plan E qui est parallèle à leur surface et à celle de la carte. Les deux antennes présentent respectivement un gain maximum de 2.8 dB pour le dipôle et de 5.8 dB pour l'antenne Vivaldi. L'antenne dipôle présente un léger dépointage d'environ 7° dû à l'alimentation microruban dissymétrique. Leur angle d'ouverture à -3 dB est de 85° pour l'antenne dipôle et de 65° pour l'antenne Vivaldi.

Cette étude des caractéristiques des antennes dipôle et Vivaldi confirme qu'elles vérifient de façon satisfaisante les contraintes de largeur de bande (>20%) et de rayonnement présentées au début du paragraphe 2. Nous allons donc les utiliser dans la prochaine partie pour caractériser des transmissions au sein d'une carte PCB.

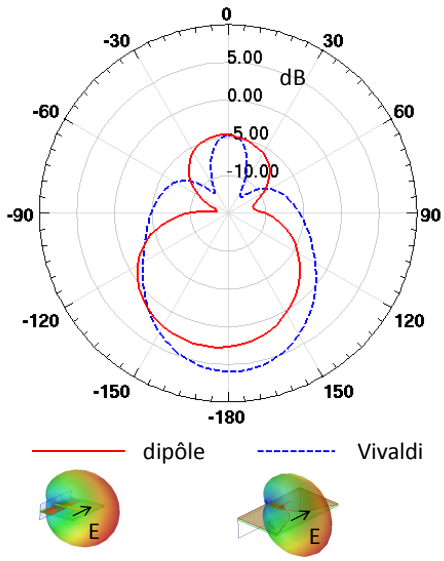

Figure 5 : Diagrammes de rayonnement plan E de l'antenne dipôle et de l'antenne Vivaldi à F=10 GHz.

3. Exemple de transmission au sein d'une carte PCB.

Pour illustrer les performances en transmission dans les communications hertziennes sur carte PCB, nous avons simulé et mesuré la transmission entre deux antennes placées sur la même carte en présence ou non d'obstacles. Dans tous les cas, nous avons considéré des antennes dipôles ou Vivaldi séparées de 50 mm longitudinalement et placées sur un substrat FR4 d'épaisseur 780 µm, de permittivité ε_R=4.3 et de tangente de perte tg(δ)=0.02. Pour simuler un environnement réaliste, nous avons placé différents obstacles entre les antennes comme un circuit intégré ou bien des lignes de transmission. Nous présentons figure 6, quatre configurations concernant les antennes dipôles que nous avons mesurées et simulées avec HFSS. Il s'agit du cas sans obstacle entre les deux antennes, du cas où un circuit intégré est placé entre les deux antennes, et des cas où une ligne métallique de largeur W=1.5 mm orientée perpendiculairement ou parallèlement aux antennes, est placée entre les deux dipôles.

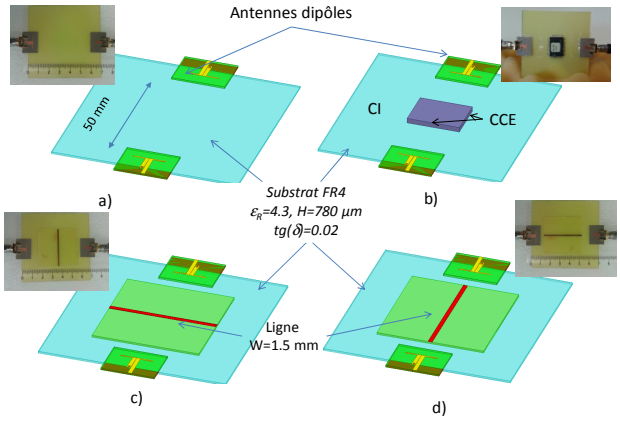

Figure 6 : Configurations de propagation entre 2 dipôles : a) sans obstacle, b) avec un CI, c) avec une ligne perpendiculaire et d) avec une ligne parallèle.

Nous présentons figure 7, la comparaison des coefficients de transmission mesurés et obtenus par simulation HFSS pour des liaisons, avec ou sans obstacle, entre deux antennes dipôles. Nous constatons ici un bon accord entre simulations et mesures. En absence d'obstacle, nous mesurons un niveau de transmission supérieur à -20 dB, dans une bande de 8 à 12 GHz, soit une bande de 40% autour de 10 GHz. La présence d'un obstacle de type CI entraîne une diminution de la transmission en moyenne de 8 dB sur la bande 8-12 GHz. Il faut noter que la présence d'une ligne en tant qu'obstacle entre les antennes, semble nettement moins pénalisante. En effet, nous n'avons relevé qu'une variation quasiment nulle de la transmission dans le cas d'une ligne placée perpendiculairement à la transmission. Nous avons même constaté une augmentation moyenne de 2 dB de la transmission, dans le cas d'une ligne placée parallèlement à l'axe des antennes. Ce dernier phénomène peut s'expliquer par le fait que la ligne contribue à canaliser les ondes électromagnétiques dans la direction voulue et ainsi maximiser la transmission entre les deux antennes. Notons que les niveaux de transmission obtenus ici en mesure, sont tous compris entre -15 et -30 dB.

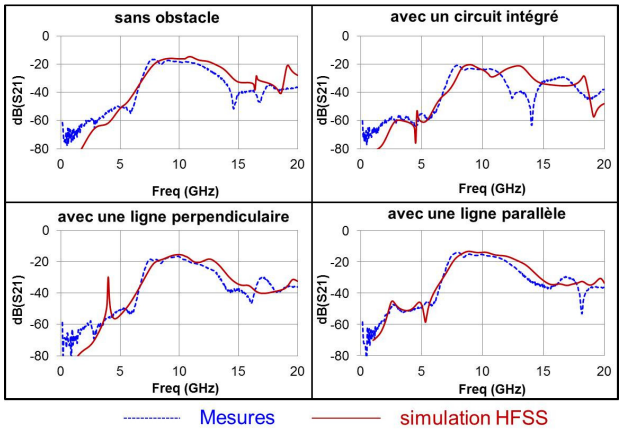

Figure 7 : Transmission entre 2 dipôles placés sur un substrat FR4 avec ou sans obstacle (mesures et simulations EM).

Nous avons également entrepris de caractériser des transmissions entre deux antennes Vivaldi. Nous avons considéré les mêmes cas de figure que lors de l'étude de la transmission entre deux dipôles (voir figure 8). Nous présentons figure 9 les coefficients de transmission obtenus par mesures et simulations HFSS.

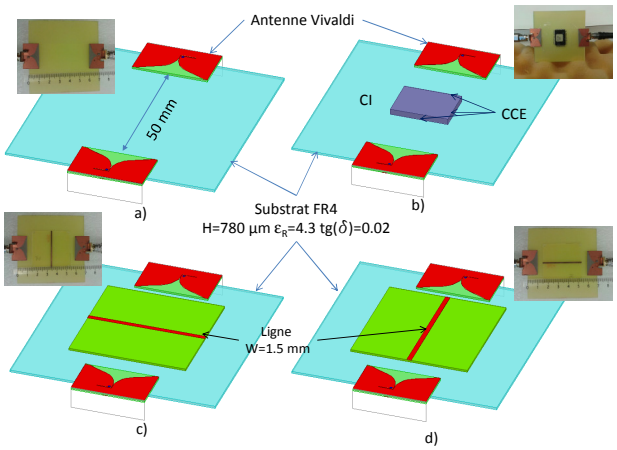

Figure 8 : Configurations de propagation entre 2 « Vivaldi » : a) sans obstacle, b) avec un CI, c) avec une ligne perpendiculaire et d) avec une ligne parallèle

Dans le cas de communications entre deux antennes Vivaldi, nous retrouvons un comportement assez similaire au cas des dipôles, les bandes passantes sont cependant nettement plus importantes. Dans le cas d'une transmission sans obstacle entre les deux antennes, nous avons mesuré une bande de fréquence de 11 GHz dans laquelle la transmission reste supérieure à -20 dB, soit une bande d'environ 125% centrée autour de 8.85GHz. Un circuit intégré placé entre les deux antennes perturbe beaucoup la transmission puisqu'on peut constater une diminution de la transmission d'environ 4 dB par rapport au cas sans obstacle. La présence d'une ligne métallique de 1,5 mm de large et de 40 mm de long ne modifie quant à elle que peu la forme de la transmission entre les antennes.

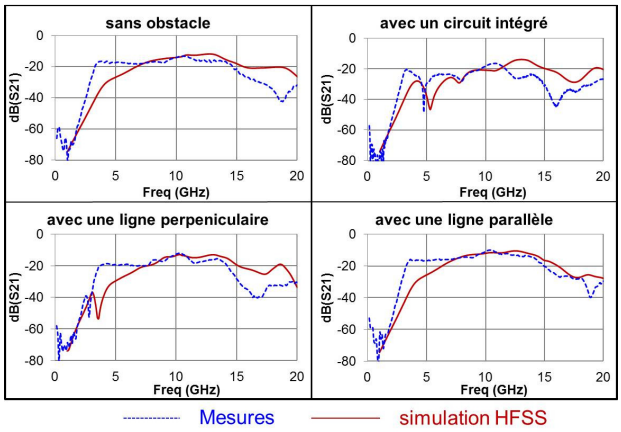

Figure 9 : Transmission entre 2 antennes Vivaldi placées sur un substrat FR4 avec ou sans obstacle (mesures et simulations EM).

Lorsque cette ligne est placée perpendiculairement à l'axe des deux « Vivaldi » on peut constater une diminution d'environ 1 dB de la transmission, alors que la même ligne placée suivant l'axe des deux antennes améliore la transmission d'environ 1dB sur l'ensemble de la bande passante.

À titre de comparaison, nous avons mesuré sur la bande de 0 à 20 GHz, le niveau de transmission d'une ligne microruban de longueur 60 mm, réalisée sur un substrat FR4, de permittivité relative ε_R=4.3 et de tangente de pertes de tg(δ)=0.02, équivalent à celui servant de support dans notre étude. Au delà de 10 GHz, les pertes d'insertion sont importantes et supérieures à -6 dB et elles peuvent même atteindre -10 dB à 20 GHz. Les liaisons sans fils que nous avons testées ici, présentent certes des niveaux de transmission inférieurs, mais il faut noter tout d'abord qu'elles correspondent à une propagation entre deux connecteurs séparés de 70 mm soit 10 mm de plus que la ligne microruban de référence. En second lieu, pour réaliser les mesures à l'analyseur de réseaux, nous avons dû mettre en place des transitions entre une ligne microruban et les éléments rayonnants. Ces transitions pénalisent la transmission en limitant la bande passante et en introduisant une désadaptation. En tenant compte des deux remarques précédentes, nous estimons malgré tout, que les niveaux de transmissions obtenus lors de nos communications sans fils à base d'antennes, sont comparables à ceux d'une interconnexion filaire. En outre, une montée en fréquence devrait réduire davantage les différences.

Malgré des niveaux de transmission relativement faibles, l'ensemble des résultats obtenus est très encourageant et montre bien la potentialité de réalisation de communications sans fils au sein des cartes PCB.

4. Conclusion

Nous avons proposé ici le nouveau concept de réseau sans fil sur carte PCB pouvant apporter une solution très intéressante à la problématique des interconnexions. Après avoir détaillé les contraintes sur les éléments rayonnants nécessaires à la réalisation de ces réseaux, nous avons étudié deux types d'antennes candidates : le dipôle imprimé et l'antenne Vivaldi. Ces deux éléments présentent des performances, tant au niveau diagramme de rayonnement que bande passante, très intéressantes pour leur utilisation dans un réseau de communication sans fils sur carte PCB. Finalement, nous avons initié l'étude du niveau de transmission entre deux antennes identiques placées sur une même carte PCB et en présence de différents obstacles, comme un circuit intégré ou des lignes de transmission. Les premiers résultats sont prometteurs. Nous avons ainsi pu obtenir des niveaux de transmission supérieurs à -20 dB sur des bandes de 40% et même de 125% en absence d'obstacles. Il reste bien sûr beaucoup de travail à effectuer sur ce sujet comme d'une part l'amélioration des caractéristiques des éléments rayonnants et notamment des antennes Vivaldi, d'autre part la caractérisation plus approfondie du canal de transmission, ou bien encore la définition des contraintes en termes d'accès multiples, de gestion du micro réseau, ...

5. Bibliographie

[1] Y. C. M. Boussougou, T. Le Gouguec, Y. Quéré, and F. Huret, "Study of Proximity-Coupling : Application to new RF- Interconnects," *IEEE Ph D research in Microelectronics (PRIME) 2010 Conferneces on*, 2010.

[2] Y. C. M. Boussougou, T. le Gouguec, Y. Quere, D. le Berre, P. M. Martin, and F. Huret, "Electromagnetic analysis of RF interconnect," *IEEE workshop SPI 2008 Avignon*, pp. 1–4, May 2008.

[3] C. Wang, W.-H. Hu, and N. Bagherzadeh, "A Wireless Network-on-Chip Design for Multicore Platforms," *2011 19th International Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing*, pp. 409–416, Feb. 2011.

[4] M. F. Chang, I. Verbauwhede, S. Member, C. Chien, Z. Xu, J. Kim, S. Member, J. Ko, Q. Gu, and B. Lai, "Advanced RF / Baseband Interconnect Schemes for Inter- and Intra-ULSI Communications," *IEEE TRANSACTIONS on Electron Devices*, vol. 52, no. 7, pp. 1271–1285, 2005.

[5] H. Chuang and L. Kuo, "3-D FDTD Design Analysis of a 2 . 4-GHz Polarization-Diversity Printed Dipole Antenna With Integrated Balun and Polarization-Switching Circuit for WLAN and Wireless," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 2, pp. 374–381, 2003.

[6] A. Z. Hood, T. Karacolak, and E. Topsakal, "A Small Antipodal Vivaldi Antenna for Ultrawide-Band Applications," *IEEE Antennas and Wireless propagation letters*, vol. 7, pp. 656–660, 2008.