



**HAL**  
open science

## Liaison sans fils à 60 GHz et réseau domestique multi-gigabit/s basé sur une infrastructure radio sur fibre bas coût

Anna Pizzinat, Joffray Guillory, Benoit Charbonnier, O. Bouffant, N. Evanno, D. Le Coq, Jean-Luc Polleux, Marc Rosales, C. Viana, Michel Ney, et al.

### ► To cite this version:

Anna Pizzinat, Joffray Guillory, Benoit Charbonnier, O. Bouffant, N. Evanno, et al.. Liaison sans fils à 60 GHz et réseau domestique multi-gigabit/s basé sur une infrastructure radio sur fibre bas coût. 18èmes Journées Nationales Microondes, May 2013, Paris, France. pp.art. J2-ST-P8. hal-00794874

**HAL Id: hal-00794874**

**<https://hal.science/hal-00794874v1>**

Submitted on 4 Feb 2014

**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.

## Liaison sans fils à 60 GHz et réseau domestique multi-gigabit/s basés sur une infrastructure radio sur fibre bas coût

A. Pizzinat<sup>1</sup>, J. Guillory<sup>1</sup>, B. Charbonnier<sup>1</sup>, O. Bouffant<sup>1</sup>, N. Evanno<sup>1</sup>, D. Le Coq<sup>1</sup>, J.L. Polleux<sup>2</sup>, M. Rosales<sup>3</sup>, C. Viana<sup>2</sup>, C. Algani<sup>3</sup>, A.L. Billabert<sup>3</sup>, S. Faci<sup>3</sup>, Y. Paugam<sup>4</sup>, D. Bourreau<sup>4</sup>, C. Kärnfelt<sup>4</sup>, M. Ney<sup>4</sup>, M. Brunet<sup>5</sup>, A. Chousseaud<sup>5</sup>, H.W. Li<sup>6</sup>, G. Lirzin<sup>6</sup>, E. Tanguy<sup>6</sup>, C. Canepa<sup>6</sup>, G. Gougeon<sup>7</sup>, J. Poinen<sup>8</sup>, C. Sun<sup>8</sup>, V. Lecocq<sup>9</sup> et S. Denet<sup>9</sup>

<sup>1</sup>France Télécom R&D - Orange Labs, Lannion. <sup>2</sup>Université Paris-Est, ESYCOM (EA2552), UPEMLV, ESIEE-Paris, CNAM, Noisy-le-Grand. <sup>3</sup>ESYCOM le Cnam, Paris. <sup>4</sup>Lab-STICC Télécom Bretagne, Brest. <sup>5</sup>Université de Nantes, IETR, Nantes. <sup>6</sup>Acome, Mortain. <sup>7</sup>Siradel, Rennes. <sup>8</sup>Niji, Rennes. <sup>9</sup>Innoptics, Talence.

### Résumé

Le projet FUI8 ORIGIN (Optical Radio Infrastructure for Gigabit/s Indoor Network) s'adresse au marché du Réseau Local Domestique (RLD) en proposant une infrastructure bas coût qui combine l'efficacité de la fibre optique pour la diffusion radio avec les avantages d'une transmission sans fils. Les premières réalisations et les tests réussis sont présentés dans ce papier.

### 1. Introduction

Dans les Réseaux Locaux Domestiques, le nombre de périphériques connectés, ainsi que les débits de données augmentent rapidement. Pour répondre à cette tendance du fait de nouveaux usages et services, des transmissions à hauts débits sans fils plus élevées sont nécessaires. Par conséquent, la bande millimétrique, fonctionnant entre 57 et 66 GHz, avec quatre canaux ayant une bande passante de 2,16 GHz est avant tout un choix pour l'avenir, car elle permet des transmissions de plusieurs Gigabit/s.

Parce que cette bande (sans licence) est beaucoup plus attractive que les 2,4 et 5 GHz traditionnels, plusieurs normes à 60 GHz ont émergé : l'IEEE 802.15.3c, le WirelessHD et l'IEEE 802.11ad qui est promis à un succès sur plus long terme, grâce à la certification de la Wi-Fi Alliance. De ce fait, les équipements compatibles avec la norme 802.11ad approcheront les 15 millions d'unités en 2015.

Toutefois, ces systèmes radio ont une couverture qui se limite à une pièce car les ondes à 60 GHz ne traversent pas les murs et sont atténuées très rapidement. Ainsi, notre principal challenge consiste à élargir la couverture sur l'ensemble de la maison tout en maintenant une transmission multi-gigabit/s.

Cet article présente l'ensemble des briques technologiques développées dans le cadre du projet ainsi que les performances systèmes qui ont été obtenues sur différents scénarios d'architecture proposés dans le projet ORIGIN [1].

### 2. La technologie RoF pour élargir la couverture radio

#### 2.a. La technologie RoF

A moyen terme, il semble indispensable d'installer la fibre optique dans la maison : c'est une solution qui permet d'avoir peu d'atténuation, une large bande RF, une haute linéarité et une parfaite immunité aux interférences électriques. Dans la perspective d'un réseau domestique optique, une architecture mixte combinant la fibre et la technologie radio : la radio sur fibre (RoF pour Radio over Fibre), permet d'élargir la couverture des signaux en ondes millimétriques en les distribuant à travers des points d'accès judicieusement placés dans les différentes pièces de la maison. Cette solution est intéressante, car, au lieu de distribuer des signaux numériques tels que l'Ethernet (IEEE 802.11ad) ou le HDMI (WirelessHD), ce qui nécessite des conversions de signaux et de protocoles, la technologie RoF distribue les signaux dans leur format natif analogique.

#### 2.b. Deux types d'architecture pour la maison

Nous proposons deux architectures transparentes essentiellement composées de composants RF et optoélectroniques : un tunnel optique pour interconnecter deux pièces et une architecture multipoints à multipoints pour l'ensemble des transmissions entre toutes les pièces.

Le tunnel optique, avec deux bonds dans les airs, est représenté en figure 1. Dans ce lien point à point, le signal radio analogique émis par un équipement radio (en rouge) dans une première pièce est « capté » par un transducteur RoF (TRoF1) et est transposé en porteuse optique pour la propagation dans la fibre. Ensuite, le signal arrive sur un second transducteur (TRoF2) et est réémis dans une seconde pièce jusqu'à l'appareil final de l'utilisateur.



Figure 1. Le tunnel optique

L'architecture multipoints à multipoints (montrée sur la figure 2) est basée sur un coupleur N\*N : le laser et la

photodiode de chaque transducteur RoF sont respectivement connectés à une entrée et une sortie du coupleur. Comme le coupleur opère dans le domaine électrique, des conversions opto-électronique (O/E) et électro-optique sont implantées dans le nœud central. Finalement, cette architecture rend visible tous les équipements sans fils entre eux, quelle que soit la distance entre eux, comme s'ils étaient en vis-à-vis dans la même pièce.

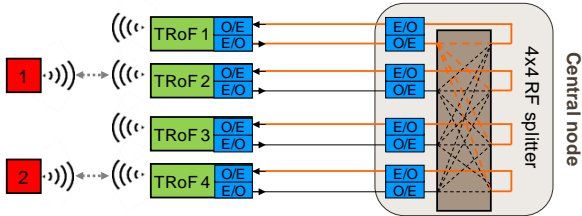


Figure 2. Architecture multipoints à multipoints

### 2.c. L'infrastructure domestique optique

L'ingénierie de câblage développé dans le projet s'adresse au marché de la construction neuve et de la rénovation. C'est un câblage structuré qui sera installé pour une durée de vie de 15 à 20 ans. Par conséquent, tous les matériaux de l'infrastructure (câbles, solutions de connexion et les boîtes aux extrémités) sont étudiés et développés pour une installation simple, rapide et esthétique.

Les exigences techniques du projet nous ont conduit à développer un câble hybride avec des dimensions de  $2 \times 2.4 \text{ mm}^2$  (figure 3). Il se compose d'un câble optique avec deux modules  $900 \mu\text{m}$  comprenant chacun une fibre optique multimode de type OM3 à faible sensibilité en courbure pour la transmission RoF et d'un câble cuivre pour la télé alimentation.

La réalisation de l'infrastructure, qui correspond à l'installation du câble mixte et des matériels d'extrémité (prise et boîtier de répartition), permettra de véhiculer les signaux RoF dans l'ensemble de la maison. L'ensemble des matériels a été développé et prototypé dans le cadre du projet.

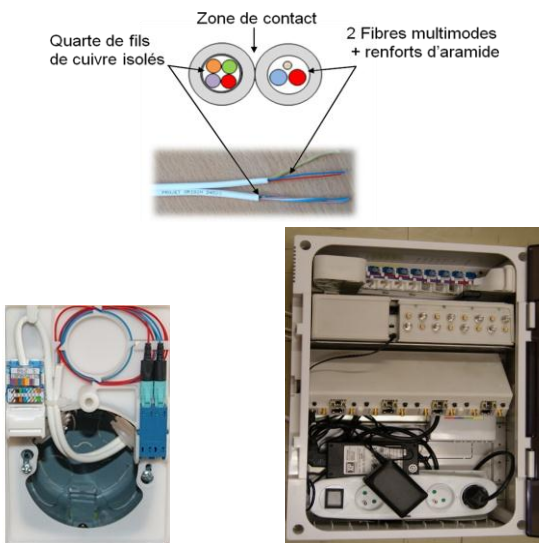


Figure 3. Câble, prise mixte et coffret de communication

## 3. Le transducteur RoF

### 3.a. Choix techniques

La figure 4 montre les transducteurs RoF réalisés. Après la réception via l'antenne, le signal en ondes millimétriques est converti en fréquence intermédiaire plus basse (FI), puis module directement l'intensité du laser (IM-DD). Ensuite, après la propagation optique, le signal en fréquence intermédiaire est converti en fréquence millimétrique pour l'émission en espace libre jusqu'à l'appareil final. Cette solution implique l'utilisation de composants optoélectroniques et RF bas coûts. Comme montré sur la figure 5, l'oscillateur local (LO) est situé à chaque point final.

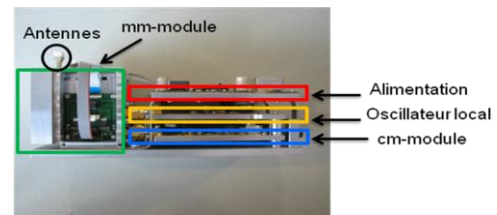


Figure 4. Photo du transducteur RoF

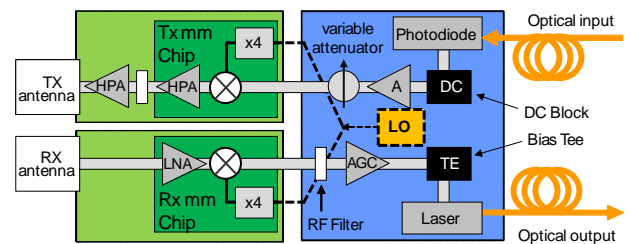


Figure 5. Diagramme du transducteur RoF

### 3.b. Les antennes

Les antennes cornets sont fabriquées en mousse et ont donc une permittivité proche de celle de l'air. Après usinage, elles sont recouvertes d'une peinture métallisée (Figure 6). Ce concept a des performances proches de celle des antennes cornets métalliques du commerce (moins de 0,1 dB de pertes), pour un coût moindre.

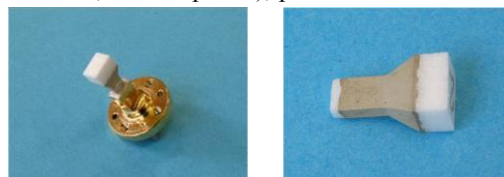


Figure 6. Les antennes cornets

Le gain de l'antenne est de 10 dB avec des angles d'ouverture à -3 dB de  $43^\circ$  pour le plan E et  $57^\circ$  pour le plan H (Figure 7).

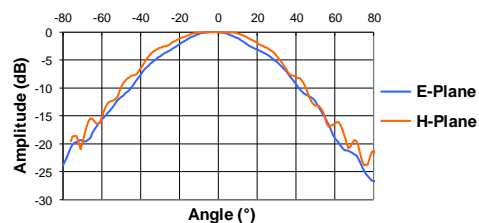


Figure 7. Mesures des diagrammes de rayonnement

### 3.c. Les modules millimétriques

Le système contient deux modules millimétriques : un pour la transmission (TX<sub>mm</sub>) et un pour la réception (RX<sub>mm</sub>). La carte RF, fabriquée sur un substrat Rogers RO4003, est posée sur une semelle métallique et est confinée dans un boîtier métallique où une carte d'alimentation est également disposée.

Le module TX<sub>mm</sub> convertit le signal d'entrée FI de 5 à 60 GHz (Figure 5) grâce à une puce TX contenant un multiplicateur, un mélangeur et un amplificateur (PA). Après cette puce MMIC, un filtre microruban passe-haut supprime le signal OL qui est trop élevé à la sortie RF. Un autre PA augmente le gain en sortie du module. Le gain du module TX<sub>mm</sub> est d'environ 3 dB ce qui est assez faible, mais quelques améliorations doivent être prises pour la prochaine génération de ce module.

Le module RX<sub>mm</sub> convertit le signal de 60 GHz à 5 GHz à l'aide d'une puce RX contenant un multiplicateur, un mélangeur et un amplificateur faible bruit (LNA). Le gain de conversion du module RX<sub>mm</sub> est de 10 dB et le facteur de bruit (NF) est d'environ 10 dB.

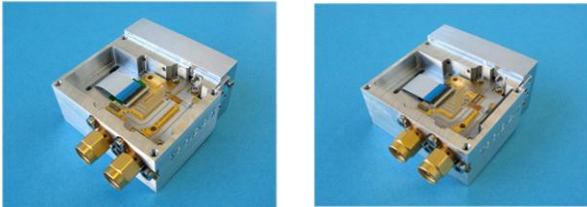


Figure 8. Modules RXmm (à gauche) et TXmm (à droite)

### 3.d. La carte centimétrique

La carte centimétrique est placée entre les modules millimétriques et les composants optoélectroniques. La puissance d'entrée du laser est optimisée grâce à un amplificateur à contrôle automatique de gain (CAG) qui maintient le signal radio dans le milieu de la gamme dynamique de la source optique. L'amplificateur CAG a un point de consigne ajustable et une plage dynamique de 30 dB. À la sortie de la photodiode, un atténuateur variable permet de régler le gain de la chaîne.

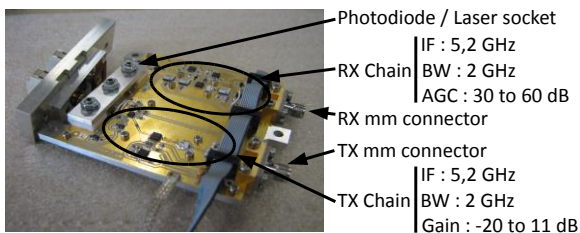


Figure 9. Carte centimétrique

### 3.e. La carte OL

La carte OL crée l'oscillateur de référence à 13,82 GHz utilisé dans les modules millimétriques pour les conversions de fréquence. La fréquence OL est conforme aux standards radios avec une stabilité de  $\pm 0,5$  ppm lorsque, par exemple,  $\pm 1,5$  ppm est requis par le WirelessHD.

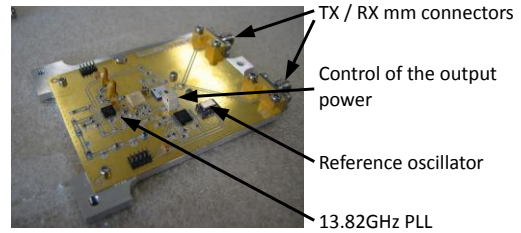


Figure 10. Carte OL

### 3.f. Les composants optoélectroniques

Des composants optoélectroniques à faible coût travaillant à 850 nm ont été mis en place (Figure 11).

Le TOSA a été réalisé en utilisant la technologie de packaging développée par les partenaires d'ORIGIN. Un VCSEL de 8  $\mu\text{m}$  d'ouverture d'ULM photonique conçu pour une application numérique à 10 Gbit/s est monté sur un substrat de verre (épaisseur 500  $\mu\text{m}$ ) et intégré sur un PCB flexible en utilisant une ligne d'accès 50  $\Omega$ . L'interface optique a été conçue à l'aide d'un réceptacle LC/PC et une lentille sphérique pour améliorer le couplage optique avec un MMF de 62.5  $\mu\text{m}$ . Enfin, les caractéristiques du TOSA sont un seuil de courant de 0,7 mA, une pente d'efficacité de 0.36 W/A et un RIN inférieur à -137 dB/Hz à 6 mA sur la bande passante. Le ROSA de Finisar, est composé d'une photodiode PIN en GaAs et d'un amplificateur transimpédance (TIA) conçu pour une application numérique à 10 Gbit/s.



Figure 11. TOSA (à gauche) et ROSA (à droite)

Paramètres (courant de polarisation du laser : 6 mA)	Valeurs
S21 et S11 à 5 dB de pertes optiques	4.5dB et -7dB
largeur de bande électrique à -3dB	7.1GHz
Puissance entrée et sortie P1dB à 5GHz et 5dB de pertes optiques	-21dBm et -17.5dBm
Entrée IP3 pour respectivement 5 et 10 dB de pertes optiques	-17dBm et -8.5dBm
EVM pour respectivement 5 et 10 dB de pertes optiques	13.75% et 12.20%
Puissance d'entrée du laser pour respectivement 5 et 10 dB de pertes optiques	-23dBm et -16dBm

Table 1. Performances du lien optique

### 3.g. La carte d'alimentation

Cette carte permet d'alimenter le transducteur avec un signal 48 V.



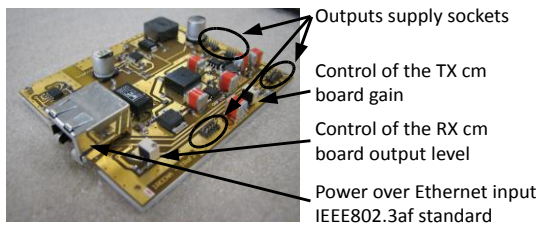


Figure 12. Carte d'alimentation

Cette carte contrôle aussi le niveau de puissance RF à l'entrée du laser.

## 4. Résultats

### 4.a. Résultats quantitatifs basés sur l'EVM

Un émetteur radio, émet un signal OFDM selon la norme IEEE 802.15.3c. Ce signal radio QPSK-OFDM, est centré à 60.48 GHz. La Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) est de 27 dBm, comme les périphériques commerciaux WirelessHD de Gefen. Après propagation en espace libre, le signal est capté par un récepteur [2], capturé par un oscilloscope numérique et analysé sous Matlab pour calculer l'EVM (Error vector magnitude). Dans le cas d'une seule propagation en espace libre, l'EVM est de 14% pour des distances de 1 à 15 m.

Pour un tunnel optique avec deux bonds de 5 m, 27 m de longueur OM3 + MMF et 10 dB de pertes optiques, la PIRE est égale à 22.5 dBm et l'EVM à 24,5%. En ce qui concerne l'architecture multipoint-à-multipoint, avec deux liaisons optiques (pour chacune 27 m et 10 dB), l'EVM augmente jusqu'à 28,9%.

Des tests ont également été menés sur une longue période (15 h) pour confirmer la stabilité du système.

### 4.b. Résultats qualitatifs basés sur le WirelessHD

Enfin, des transmissions en temps réel entre deux appareils commerciaux WirelessHD ont été réalisées avec les deux architectures. Comme le montre la figure 13, une vidéo non compressée 1080i (2.856 Gbit/s) lue avec un lecteur Blu-ray est affichée par le système RoF sur un écran HD afin de valider le bon fonctionnement des architectures RoF. Les amplificateurs CAG suivent correctement les signaux, répondent suffisamment rapidement et la différence de fréquence OL entre deux transducteurs ne dépasse pas les exigences définies par WirelessHD.

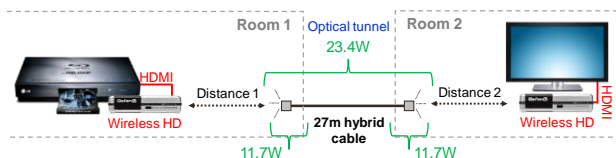


Figure 13. Liaison vidéo

## 5. Aspects écologiques

Une propriété importante des systèmes développés pour le réseau domestique est la diminution de la consommation d'énergie. Par conséquent, la consommation du tunnel optique et de l'architecture

multipoint-à-multipoint est comparée à un tunnel coaxial composé d'appareils commerciaux disponibles, remplaçant chaque transducteur RoF par un module Gefen plus un convertisseur HDMI vers SDI (Figure 14). Pour un tunnel bidirectionnel coaxial le nombre de composants est doublé. Un câble coaxial de 10 m relie les deux blocs.

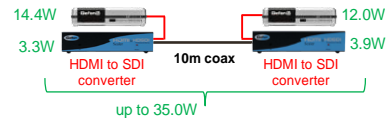


Figure 14. Le tunnel coaxial

Alors que le tunnel coaxial consomme 70 W, le tunnel optique consomme 23,4 W. Soit 46,6 W de moins que le tunnel coaxial.

Un autre aspect écologique est le rayonnement électromagnétique. Les composants optoélectroniques peuvent être éteints afin d'éviter un rayonnement de puissance dans l'infrastructure ou dans une pièce. Ainsi, le signal radio ne sera transmis que s'il est utile. Par conséquent cela atténue les préoccupations de santé. Pour réaliser une telle architecture, une puce radio contenant des renseignements MAC peut être mise en œuvre au niveau du nœud central pour gérer à distance les transducteurs RoF : une porteuse RF à 10MHz est envoyée sur une paire de cuivre pour contrôler l'émission laser tandis qu'un second signal est transmis sur la deuxième paire pour contrôler la réception de la photodiode. La mise en œuvre de cette intelligence est à l'étude, mais les transducteurs RoF réalisés peuvent déjà être contrôlés.

## 6. Conclusion

Cet article présente pour la première fois la réalisation d'un système complet Radio sur Fibre domestique pour les déports de signaux 60 GHz, Wireless HDMI ou futur WiFi 60 GHz.

## 7. Bibliographie

- [1] A. Pizzinat et al., "Radio sur Fibre pour un Réseau Local Domestique millimétrique", JNM, Brest, France, Mai 2011.
- [2] In-Stat, "WiGig/802.11ad-Enabled PC Device Shipments to Approach 15 Million in 2015", <http://www.instat.com/newmk.asp?ID=3361&SourceID=00000352000000000000>
- [3] J. Guillory et al., IEEE J. Lightwave Technology - vol. 29, pp. 2482-2488. August 2011.
- [4] IEEE 802.11ad standard, <http://www.ieee802.org/11>, May 2010
- [5] J. Guillory et al., IEEE Vehicular Technology Mag. - vol. 5, pp. 30-38. September 2010.