



CONVERGENCE ENTRE LA FIBRE OPTIQUE ET LA TECHNOLOGIE 5G

A. MANKITI FATI^{1}, P. MOUKALA MPELE¹, A. PASI BENGI MASATA²,*

¹ *Laboratoire de Génie Électrique et Électrotechnique, École Nationale Supérieure Polytechnique, Université
Marien Ngouabi*

BP 69 Brazzaville, Congo

² *Laboratoire d'électronique et Télécommunication de l'Institut Supérieur de Techniques Appliquées
Laboratoire Traitement des Images*

Avenue de l'aérodrome, Kinshasa, RD Congo

E-mail : arisfati4@gmail.com

RESUME

L'avènement de la 5G a suscité plusieurs débats dans la communauté scientifiques, plus précisément sur l'interaction entre le rayonnement électromagnétique généré par les antennes 5G et l'environnement (flore et faune). D'après l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), la 5G est sensé utiliser les fréquences dans la bande millimétriques (30-300GHz). Ce qui implique les courtes portées sur les dispositions des antennes, et sous-entend une pollution électromagnétique sur tout l'espace habité. Dans cette communication, la convergence de la fibre optique avec la technologie 5G est présentée dans l'optique de réduire le nombre d'antennes dans le réseau. Les technologies radio sur fibre ou Radio over fiber (ROF) et MIMO optique ont été utilisées. Ces dernières procurent plusieurs avantages notamment, dans la réduction du rapport signal sur bruit. Les résultats des simulations montrent l'invariance de l'amplitude du signal de l'entrée à la sortie. Cela est encourageants dans la mesure où ils permettent de minimiser la pollution des ondes électromagnétiques en acheminant une partie du signal dans les fibres optiques.

Mots-clés : 5G, technologie radio sur fibre, MIMO optique.

ABSTRACT

The advent of 5G has sparked several debates in the scientific community, more specifically on the interaction between the electromagnetic radiation generated by 5G antennas and the environment (flora and fauna). According to the International Telecommunications Union (ITU), 5G should use frequencies in the millimeter band (30-300GHz). This implies short ranges on the installation of the antennas, and the increase of electromagnetic pollution in all the inhabited space. In this communication, the convergence of optical fiber with 5G technology is presented with a view to reducing the number of antennas in the network. Radio over fiber (ROF) and optical MIMO technologies were used. The latter provide several advantages, particularly in reducing the signal-to-noise ratio. The simulation results indicate the invariance of the signal amplitude from input to output. This is encouraging insofar as they make it possible to minimize the electromagnetic waves' pollution by carrying a part of the signal through optical fibers.

Mots-clés: 5G, Radio over fiber technology, Optical MIMO

INTRODUCTION

Les avancées de la téléphonie mobile et les nouvelles technologies de communication sans fil se sont développées de façon exponentielle à partir des années 90 ; jusqu'à nos jours les progrès dans ce secteur est toujours manifeste avec l'avènement des nouvelles générations, telle qu'actuellement la cinquième génération(5G) qui suscite des craintes et des débats concernant de possibles effets délétères des ondes électromagnétiques de type radiofréquences, sur la santé. Plusieurs avis diamétralement opposés sont émis autours de ce rayonnement électromagnétique sur la santé humaine. Pour les agences sanitaires, l'utilisation de ces ondes fait l'objet d'attention, mais ne parait pas poser de problème dans la mesure où leur usage est encadré [1,4]. Elles s'appuient sur des expertises collectives qui analysent en détail la littérature scientifique disponible pour évaluer le risque. La réglementation est fondée sur les bases scientifiques. Cependant, nombre d'articles de presse, d'émissions de radio ou télévision, de vidéos et de sites internet font régulièrement état de danger. Les radiofréquences seraient cancérigènes, dangereuses pour les enfants, pour la fertilité, pour l'immunité, etc. La 5G serait une nouvelle menace. Des témoignages de personnes dites « électrosensibles », ou « électro hypersensibles » (EHS), sont relayés. Les effets possibles des ondes utilisées préoccupent les gens et les chercheurs. Et face à l'abondance de ces étranges rayonnements venus de nos moyens de communication, une question qui se pose concernant leurs effets sur l'être humain et en particulier sur la tête []. Face à toutes ces observations et hypothèse plusieurs travaux confirment belle et bien de l'effet des ondes sur l'être humain [4], or la venue de la cinquième génération sous-entend un accroissement important en nombre d'antenne et plus le nombre d'antenne augmentent, plus l'environnement sera pollué en rayonnement électromagnétique. Mais au-delà de cette pollution des ondes, nous ne pouvons pas ignorer le bienfait que va offrir cette technologie, si bien' avec son arrivée les IOT (Internet Of Things) l'internet des objets connectés apportera beaucoup des bienfaits dans plusieurs secteurs, telsque l'agriculture, la domotique, la sécurité à distance au niveau des frontières ou dans les zones des guère ou encore pour lutter contre le terrorisme ; une des solutions que nous proposons dans cet article est l'intégration de la fibre optique

dans cette technologie(5G). Puisque la 5G fait appel à des très haute fréquences (24,25GHz-52,6GHz) ; cela implique des faibles portées sur la disposition des antennes ; nous proposons donc la réduction de quelques antennes pour faire passer le trafic dans la fibre optique, en faisant appel à la technologie ROF (Radio over Fiber) et la technologie MIMO optique.

1 Compatibilité électromagnétique

La compatibilité électromagnétique (EMC Electromagnetic Compatibility), est l'aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans son environnement [1].

Le modèle « Source/Couplage/Victime » est adopté pour l'étude ou la modélisation de la CEM, à savoir :

- Source : l'émetteur du signal perturbateur ou signal parasite
- Victime : le récepteur de ce signal
- Couplage : l'interaction entre la source et la victime telle qu'il est présenté dans la



Figure 1: Modèle « Source/Victime/Couplage »[1].

1.1 Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique est l'ensemble des ondes de fréquences et de fonction différentes. La Figure (I.2) classe les principaux groupes d'ondes. Nous nous intéressons aux fréquences utilisées dans la téléphonie mobile. Les Basses Fréquences s'étendent de 30 Hz à 30 KHz. Ces champs électromagnétiques basse fréquence ont été classés par le CIRC dans la catégorie des cancérigènes possibles. Les Radiofréquences s'étalent sur une bande de 30 KHz à 300 MHz. Cette

partie du spectre électromagnétique a la propriété d'être transmise à grandes distances (plus de 10000 km). Elles n'interagissent que faiblement avec la matière vivante. Les Hyperfréquences ou micro-ondes (0,3 GHz à 300 GHz), ces fréquences ne se réfléchissent pas sur l'ionosphère. Les hyperfréquences pulsées (relais de télévision, réseaux de téléphonie mobile (GSM, UMTS),

systèmes de transferts de données (WIFI, WIMAX, Bluetooth), radars et répéteurs paraboliques, fours à micro-onde, etc.) ont été récemment classées dans la catégorie des fréquences probablement cancérogènes (Groupe 2B), associé à l'utilisation du téléphone portable. Ces ondes traversent la plupart des matériaux (sauf les métaux).

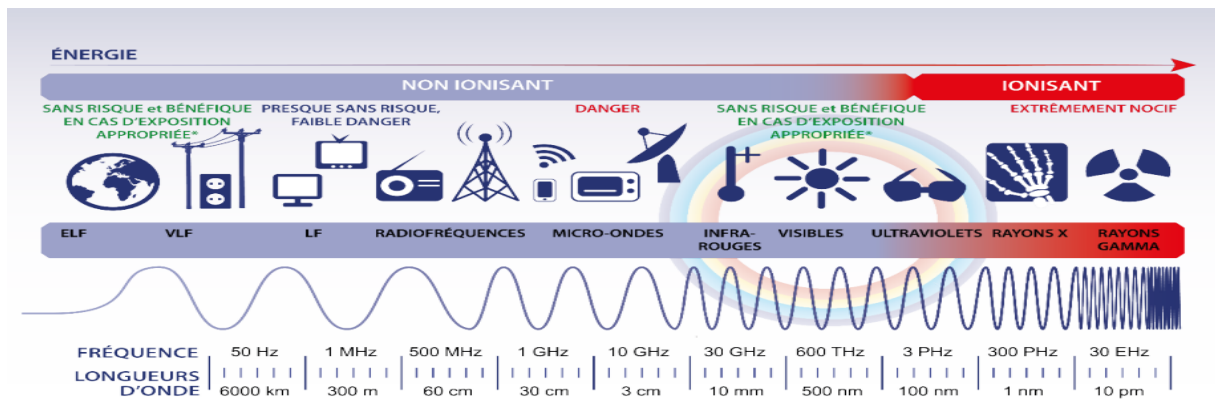


Figure 2: Le spectre électromagnétique [3]

1.2 Modélisation de la propagation des ondes

Sachant que les ondes électromagnétiques résultent du couplage entre le champ électrique et le champ magnétique, cette propagation est modélisée par les équations traditionnelles de Maxwell, qui se présentent de la manière suivante.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (4)$$

En l'absence de charge électrique et courant électrique, ces équations prennent la forme suivante :

$$\operatorname{div} \vec{E} = 0 \quad (5)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (6)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (7)$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (8)$$

La résolution de ces équations conduit à aux équations de propagation de Maxwell dans le vide :

$$\begin{cases} \Delta \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \\ \Delta \vec{B} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

1.3 Interaction rayonnement électromagnétique sur le corps humain

Pour faire cette étude, nous allons nous focaliser sur le cas de la téléphonie cellulaire mobile ; Avec le développement de la téléphonie mobile, les seules fréquences disponibles restaient les fréquences supérieures à 800 MHz. Les stations relais GSM (900 et 1800 MHz) et UMTS (1900 - 2200 MHz) ont une zone de

couverture limitée appelée "cellule", d'où l'appellation de "réseau cellulaire". L'ensemble du territoire à servir doit être couvert par un maillage continu.

1.3.1 Les niveaux d'exposition

Pour garder le contact en veille, le téléphone mobile émet régulièrement d'environ une impulsion par heure vers la station de base. Aussi, le niveau d'exposition des utilisateurs est susceptible de varier et de devenir de plus en plus puissant avec l'utilisation en mauvaises conditions de transmission (sous-sol, en mouvements, pluie), lors des communications longues durées et lors d'une conversation téléphonique dans un véhicule. La situation s'aggrave encore dans les zones mal desservies et sur les autoroutes où les champs atteignant des niveaux records. Le téléphone mobile est placé à très courte distance de la tête de l'utilisateur (collé à la tête ou bien éloigné de quelques centimètres), ce qui engendre un niveau de champ électromagnétique élevé induit dans la tête qui sera réduit en s'éloignant. La polarisation du mobile et son orientation par rapport à la tête sont des points très importants qui sont mis en considération dans plusieurs études [4]. Les principales polarisations étudiées sont la polarisation verticale, la polarisation horizontale et la polarisation inclinée (due à la forme bombée de la joue). Encore, il faut tenir compte des effets possibles de doses cumulées d'ondes et des différents degrés d'absorption entre les divers tissus.

1.3.2 Puissance rayonnée absorbée par la tête humaine en téléphonie mobile

L'absorption de la puissance par le corps humain se fait de deux manières

Premièrement, la puissance rayonnée par l'antenne-relais, qui est plus faible par rapport aux radiations électromagnétiques produites par le mobile puisque la distance entre corps humain et antenne est plus grande. Deuxièmement, la

puissance rayonnée par le mobile qui est plus intense puisque le mobile est à proximité de la tête donc les radiations incidentes sont plus intenses. La puissance rayonnée par l'antenne relais et le mobile et absorbée par le tissu biologique humain est donnée par les formules suivantes [4] :

$$\begin{cases} P_{\text{ray}_{BTS}} = \frac{P_{t_{BTS}} \cdot G_{BTS} \cdot S_{BTS}}{4\pi d_1} \\ P_{\text{ray}_{GSM}} = \frac{P_{t_{GSM}} \cdot G_{GSM} \cdot S_{GSM}}{4\pi d_2} \end{cases} \quad (10)$$

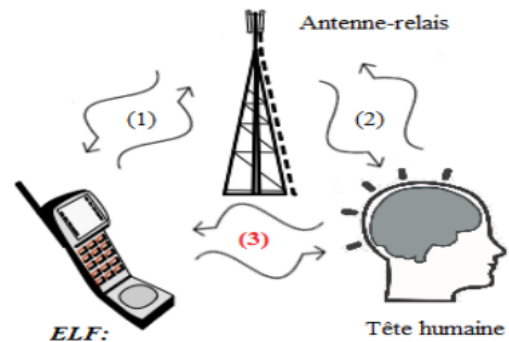


Figure 3: Interaction multiple entre antenne GSM et tête humaine [4]

Cette figure représente l'illustration de l'interaction entre les ondes d'une BTS et l'onde que rayonne l'antenne du téléphone, traduisant un cas simple du mode de rayonnement sur l'humain. Au-delà des solutions proposées dans la littérature et les normes de rayonnement [4,5], nous proposons une solution simple et moins coûteuse ; notamment l'usage de la fibre optique, en valorisant la technologie radio sur fibre (ROF) et la technologie MIMO optique.

1.4 Technologie radio sur fibre

1.4.1 Définition

Le concept de la radio-sur-fibre repose sur le transport de signaux radio analogiques sur une liaison optique. Le signal radio module l'onde lumineuse contrairement à la majorité des systèmes de

communications optiques existants où le signal modulant est en bande de base[6].

1.4.2 Architecture de radio sur fibre.

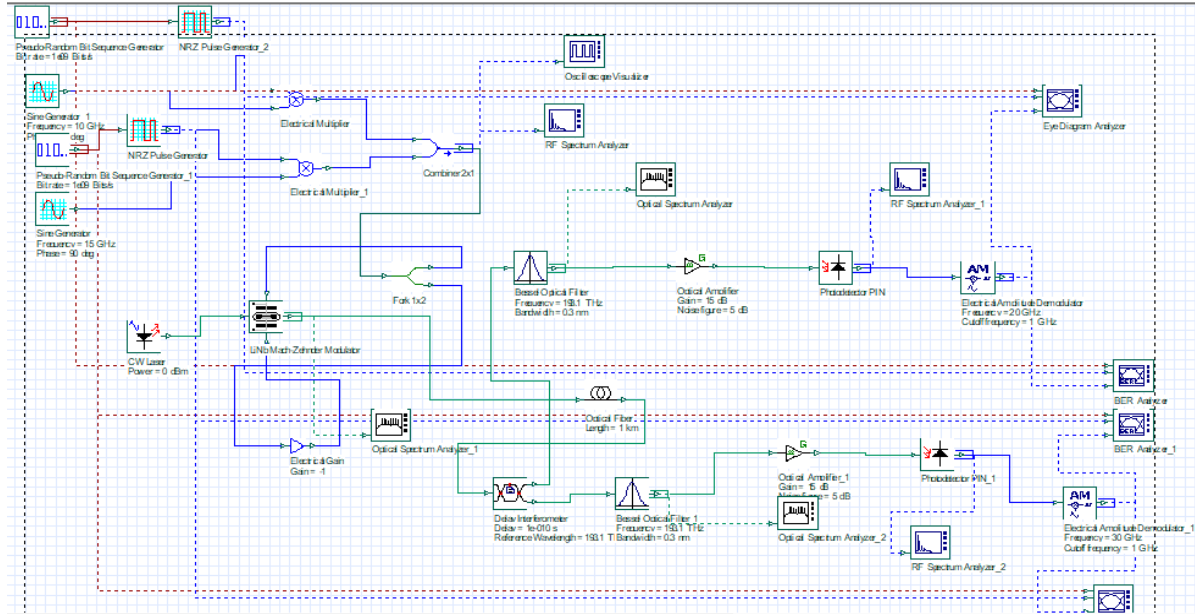


Figure 4: synoptique de la liaison radio sur fibre

L'analyse de ce graphe de la figure 4, montre la chaine de la communication de la liaison radio sur fibre, réalisé à base du logiciel optisystem ; ce graphe est constitué de trois blocks, le block d'émission, contenant le train binaire, du format de modulation RZ, de la diode laser, d'un modulateur Machzender, des mélangeurs, d'un filtre passe-bas de Bessel, du block canal ; contenant deux amplificateur optique EDFA, et le dernier block constitué de la photo diode PIN, de l'antenne RF et un analyseur de puissance et un analyseur du diagramme de l'œil.

Table 1: Paramètres de simulations

Input parameters	Values and units
Speed	10Gbps
Frequency or wavelength	1550nm; 850nm
Optical Fiber length	[1-5]km
Source width	0.15bit
Electric filter at the outlet	10GHZ, low pass filter,4th order
EDFA Optical amplifier	1
Input power	0 dBm

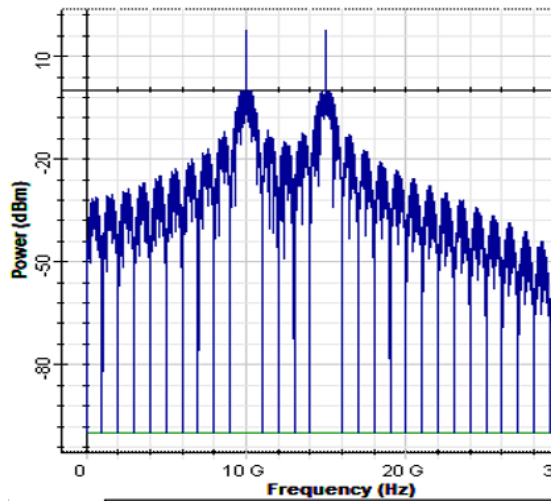


Figure 5: Spectre de puissance de la liaison point à point

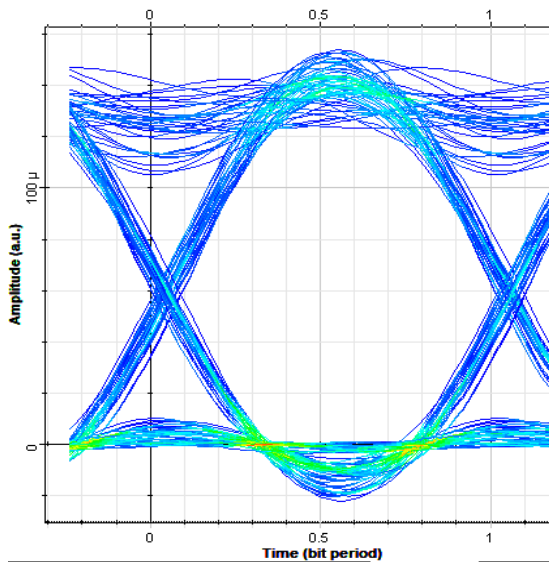


Figure 6: Diagramme de l'œil avant l'antenne

L'analyse de ces graphes des figures 5 et 6 représente respectivement la variation de la puissance en fonction de la fréquence et la variation de l'amplitude de l'onde en fonction du temps, ce qui traduit le diagramme de l'œil, nous voyons que lorsqu'on supprime certaines antennes pour faire passer le signal dans la fibre optique, on réduit, premièrement l'interaction rayonnement électromagnétique sur le corps humain et donc on évite les maladies, on gagne en débit, en bande passante et la réduction des erreurs ; à titre illustratif le diagramme de l'œil de la figure 6 est étendu,

ce qui justifie l'absence de bruit et sur la figure 5, nous voyons que le rapport signal sur bruit est faible et que les niveaux des impulsions n'est pas variable, ce qui justifie l'invariance du signal.

Conclusion

L'observation minutieuse et attentive de tout ce qui précède amène à souligner en dernier lieu que l'avènement de la cinquième génération (5G) ou bien d'autres génération n'est pas un problème majeur qui affecter le commun des mortels. Car, en associant la fibre optique aux systèmes de communications sans fil, notamment aux antennes radiofréquences et aux antennes relais par intégration des technologies radio sur fibre et MIMO optique, permet de minimiser les effets nocifs des ondes électromagnétiques sur les êtres vivants. Les résultats obtenus lors de cette étude illustrent que la transition des canaux radio-fibre optique ou fibre optique-radio, n'impacte pas la qualité du signal à la sortie. Dans la même perspective, cela permet la réduction de la pollution en onde électromagnétique.

Références

- [1] – PERRIN Anne. « Radiofréquences et santé : où en sommes-nous ? » université Grenoble Alpes. 13-04-2021
- [2]-P. Clayton, Introduction to electromagnetic compatibility. Vol. 184. John Wiley & Sons, 2006.
- [3]. : Miroslava Karaboytcheva Service de recherche pour les députés PE 646.172 – février 2020. « Les effets de la communication sans fil 5G sur la santé humaine »
- [4]. Messaoudi Hafawa « Modélisation Électromagnétique du Phénomène d'Interaction des Ondes GSM avec la Tête Humaine par la Méthode des Circuits Équivalents Généralisés (MoM-GEC) dans un milieu fermé ». 09.01.2017.

[5]. Exposition aux champs électromagnétiques liée au déploiement de la technologie « 5G » « Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective Avril 2021 »

[6] Zakaria Tayq. Fronthaul integration and monitoring in 5G networks. These de doctorat, Université de Limoges, 2017.