

Sujet de thèse

Etude et conception d'antennes réseaux denses et intelligentes destinées aux «Small Cells » pour la bande [3,4-3,8 GHz] de la 5G (English version below)

1. Contexte du projet

Le réseau cellulaire de cinquième génération (5G) devient un sujet de recherche de plus en plus intéressant et son évolution est nécessaire pour répondre à la croissance exponentielle du trafic de données sous toutes ses formes. Si les réseaux 2G (GSM) qui ont constitué le premier système de communication numérique étaient centrés sur la voix et l'échange de SMS avec des débits offerts ne dépassant guère 280Kb/s, ce qui restait faible pour répondre à la demande, la 3G (UMTS) par son évolution (3G+ puis 3G++) et avec de nouvelles techniques comme le SIMO (Simple Input Multiple Output) et le MIMO (Multiple Input Multiple Output) a permis d'atteindre des débits théoriques de 42 Mbit/s permettant ainsi l'envoi de paquets de données et la réduction du phénomène d'évanouissement des signaux causé par les environnements multi-trajets. L'arrivée ensuite de la 4G qui repose sur la norme LTE (Long Term Evolution) a permis d'offrir des débits binaires plus élevés (jusqu'à 150 Mbit/s sous certaines conditions) et de nombreuses améliorations architecturales comme la voix sur IP. L'idée qui commence à se forger derrière la notion de 5G est que celle-ci ne correspondrait pas à une simple augmentation des débits, comme cela a été le cas pour les précédentes générations. Les communications mobiles grand public, le téléchargement de vidéos et l'utilisation d'applications mobiles représentent l'essentiel de l'utilisation actuelle des ressources radio dans les réseaux 4G. La 5G quant à elle devra répondre à de nombreux besoins et contraintes (coût réduit, meilleure efficacité spectrale, débits encore plus élevés, nombre d'utilisateurs encore plus grand, plus faible latence, meilleure couverture,...) (Figure 1).

D'autre part, la 5G vise des secteurs très variés, qui n'auraient pas nécessairement d'autre élément commun que cette technologie, mais qui sont des piliers importants de nos sociétés actuelles : l'énergie, la santé, les médias, l'industrie ou le transport.

De plus, Il semble maintenant acquis que les objectifs de la 5G ne pourront être atteints à l'aide d'une seule technologie mais en utilisant plusieurs.

Par conséquent, de nombreux efforts de recherche et de nombreuses propositions commencent à émerger afin de relever ces défis. Voici quelques exemples de nouveaux concepts proposés pour les systèmes de communication mobile 5G:

- 1) L'utilisation de la technique Massive MIMO pour améliorer l'efficacité spectrale des systèmes [1];
- 2) L'utilisation de schémas de techniques d'accès multiples non-orthogonaux (NOMA) pour améliorer les performances de capacité et de débit des utilisateurs de cellules [2, 3];
- 3) L'utilisation des ondes millimétriques pour étendre la bande passante de transmission [4];
- 4) La réalisation d'un réseau Ultra-Dense (UDN) pour obtenir une couverture plus dense, plus robuste aux obstacles et augmenter la capacité du réseau. En conséquence, le réseau cellulaire ultra-dense est en train de devenir l'une des principales caractéristiques des réseaux cellulaires 5G. L'idée de base est d'obtenir des nœuds d'accès aussi proches que possible des utilisateurs finaux. L'obtention de cette solution prometteuse est réalisée par le déploiement dense de petites cellules appelées « Small Cells » dans des hotspots où un trafic immense est généré.

Des estimations évoquent, pour satisfaire la demande et permettre l'introduction de la 5G, un nombre d'au moins 10 « small cells » par macro station de base en milieu urbain [5], milieu dans lequel les cellules sont déjà relativement resserrées pour faire face à la densité des usages et usagers. Ces « small cells » devront dès lors être déployées sur des infrastructures urbaines comme les abribus, les suspensions d'éclairages, les

bâtiments publics, les panneaux publicitaires, ... et permettre ainsi la connexion simultanée de nombreux utilisateurs et service.

Les travaux envisagés dans cette thèse se concentreront sur le développement de cette solution.

2) Objectifs et déroulement de la thèse

Ces « smalls cells » doivent optimiser au mieux la réception du signal selon l'emplacement de l'utilisateur par rapport à l'antenne en utilisant une technique déjà utilisée dans le monde de la RF qui est le beamforming. Le but est de concentrer l'émission du signal dans les directions utiles, par l'intermédiaire des informations remontées par le smartphone vers l'antenne. Cette méthode évite ainsi d'utiliser toute la puissance disponible pour émettre « à l'aveugle » en espérant tomber sur le terminal. Ici, la puissance disponible est utilisée dans un faisceau plus étroit, ce qui augmente alors le débit. Cela évite également au téléphone de consommer trop d'énergie en tentant d'amplifier le signal. Tout ceci devra se faire dans la bande [3,4-3,8 GHz] plus adaptée à la mobilité et qui permet une meilleure couverture que les bandes millimétriques même si la bande passante disponible est moins élevée.

Le déroulement de la thèse sera le suivant :

- 1- Choix et miniaturisation d'un élément rayonnant couvrant la bande [3,4-3,8 GHz] et dont la taille permettrait l'intégration de plusieurs éléments dans une cellule de taille raisonnable.
- 2- Conception d'un réseau d'antennes et optimisation des amplitudes et phases de chaque élément ou chaque sous réseau de la cellule pour obtenir des faisceaux superdirectifs.
- 3- Conception et intégration d'une carte de commande électronique à base d'éléments actifs ou d'un FPGA permettant la reconfiguration des faisceaux et la connexion simultanée de plusieurs utilisateurs (Figure 2).

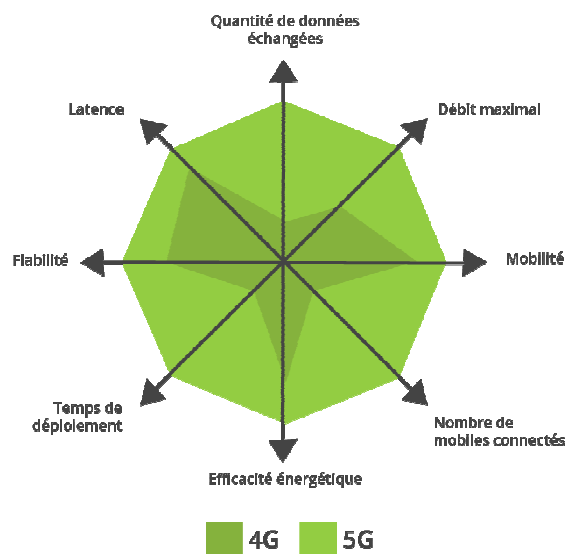


Figure 1 : Comparatif des performances visées entre la 4G et la 5G

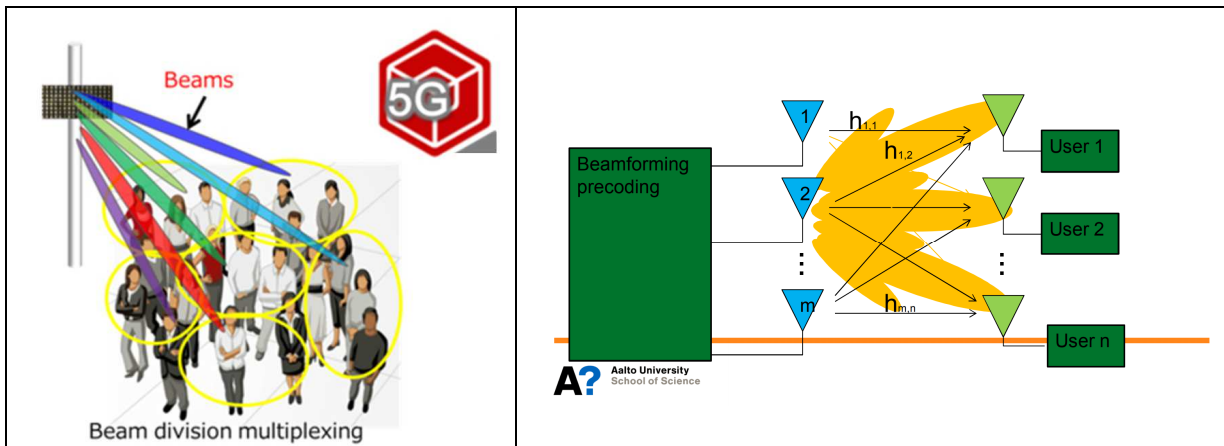


Figure 2 : Exemples de solutions réalisant du beamforming

Références :

- [1] J. Hoydis, S. Ten Brink, and M. Debbah, “Massive MIMO in the UL/DL of Cellular Networks: How Many Antennas Do We Need?”, *IEEE J. Select. Areas of Commun.*, vol. 31, no. 2, pp. 160–171, Feb. 2013.
- [2] Z. Ding, L. Dai, and H. V. Poor, “MIMO-NOMA design for small packet transmission in the Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1393 – 1405, 2016.
- [3] M. F. Hanif, Z. Ding, T. Ratnarajah and G. K. Karagiannidis, “A Minorization-Maximization Method for Optimizing Sum Rate in Non-Orthogonal Multiple Access Systems”, *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 64, no. 1, pp. 76–88, Jan. 2016.
- [4] T. S. Rappaport et al., “Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!”, *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013.
- [5] http://www.lemag-numerique.com/wp-content/uploads/2015/10/WP_-Souverainete_Telecoms_PetitesCellules_FINAL.pdf.

Informations pratiques :

Le/la candidat(e) justifiera d'un master II ou d'un diplôme d'ingénieur avec une spécialisation micro-onde, hyperfréquence ou antennes avec un goût prononcé pour les démarches de modélisations, simulations tout en tenant compte de l'aspect prototypage associé. Une bonne maîtrise de l'anglais est indispensable. La connaissance pratique de logiciels de simulations électromagnétiques (HFSS, CST, ADS autres) sera très appréciée.

- Mode de financement : contrat doctoral, Université Nice Sophia Antipolis-CNRS.
- Personnes à contacter pour candidater : Aliou Diallo (aliou.diallo@unice.fr), Philippe Le Thuc (Philippe.Lethuc@unice.fr), Robert Staraj (robert.staraj@unice.fr)
- Lieu de la Thèse : LEAT à Sophia Antipolis
- Modalité de candidature : adresser CV + relevés de notes récents, lettre de motivation.
- Date de début : septembre 2018.

PhD. Position

Study and design of smart and Ultra-dense Network (UDN) antennas for "Small Cells" for the band [3,4-3,8 GHz] of 5G

1) Context

The fifth generation (5G) cellular network is becoming a hot research topic and its evolution is necessary to meet the exponential growth of data traffic in all forms. If 2G (GSM) networks which constituted the first digital communication system were voice centric and SMS exchanges with offered bitrates hardly exceeding 280 Kb/s, which remained weak to answer the demand, 3G (UMTS) by its evolution (3G + then 3G ++) and with new techniques such as SIMO (Simple Input Multiple Output) and MIMO (Multiple Input Multiple Output) allowed to reach theoretical speeds of 42 Mbit/s allowing thus sending data packets and reducing the phenomenon of signal fading caused by multipath environments. The arrival of 4G, which is based on the LTE (Long Term Evolution) standard, has made it possible to offer higher bit rates (up to 150 Mbit/s under certain conditions) and many architectural improvements such as IP voice. The idea that is starting to form behind the notion of 5G is that it does not correspond to a simple increase of data rate, as it has been the case for previous generations. Consumer mobile communications, video downloads and the use of mobile applications represent most of today's use of radio resources in 4G networks. As for 5G, it will have to meet many needs and constraints (reduced cost, better spectrum efficiency, higher data rates, greater user, lower latency, better coverage, etc.) (Figure 1).

On the other hand, 5G targets a wide variety of sectors, which would not necessarily have any other element in common than this technology, but which are important pillars of our current societies: energy, health, industry or transportation.

In addition, it now seems certain that the objectives of 5G cannot be achieved using a single technology but using several.

Hence, a lot of research efforts and propositions are starting to emerge in order to address these challenges. Some examples of the new concepts are :

- 1) Massive multiple-input multiple-output (MIMO) technique is proposed to improve the spectrum efficiency [1];
- 2) Non orthogonal multiple access techniques (NOMA) schemes are suggested to enhance capacity and cell users throughput performance [2, 3];
- 3) Millimeter-wave communications is put forward to extend the transmission bandwidth [4];
- 4) Ultra-Dense Network (UDN) is proposed to provide more dense, more robust coverage and increase network capacity. As a consequence, the ultra-dense cellular network is emerging as one of the key characteristics of 5G cellular networks. The basic idea is to get the access nodes as close as possible to the end users. The realization of this promising solution is done by the dense deployment of small cells in hotspots where immense traffic is generated.

Estimates evoke, to satisfy the demand and allow the introduction of 5G, a number of at least 10 "small cells" per macro base station in an urban environment [5], a area in which the cells are already relatively tight for deal with the density of uses and users. These "small cells" will therefore have to be deployed on urban infrastructures such as bus shelters, lighting suspensions, public buildings, billboards... and thus allow the simultaneous connection of many users and services.

The work envisaged in this thesis will focus on the development of this solution.

2) Objectives and work description

These "small cells" must optimize the reception of the signal according to the location of the user in relation to the antenna by using a technique already used in the world of RF which is beamforming. The goal is to concentrate the signal transmission in the useful directions, via the information sent by the smartphone to the antenna. This method avoids using all the available power to issue "blind" hoping to fall on the terminal. Here, the available power is used in a narrower beam, which then increases the data rate. This also prevents the phone from consuming too much energy while trying to amplify the signal. All this will have to be done in the band [3,4-3,8 GHz] more adapted to the mobility and which allows a better coverage than the millimetric bands even if the available bandwidth is lower.

The course of the thesis will be as follows:

- 1- Choice and miniaturization of a radiating element covering the band [3,4-3,8 GHz] whose size will allow the integration of several elements in a small cell.
- 2- Design of an antenna array and optimization of the amplitudes and phases of each element or each subarray of the cell to obtain superdirective beams.
- 3- Design and integration of an electronic control board based on active elements or an FPGA allowing the reconfiguration of the beams and the simultaneous connection of several users (Figure 2).

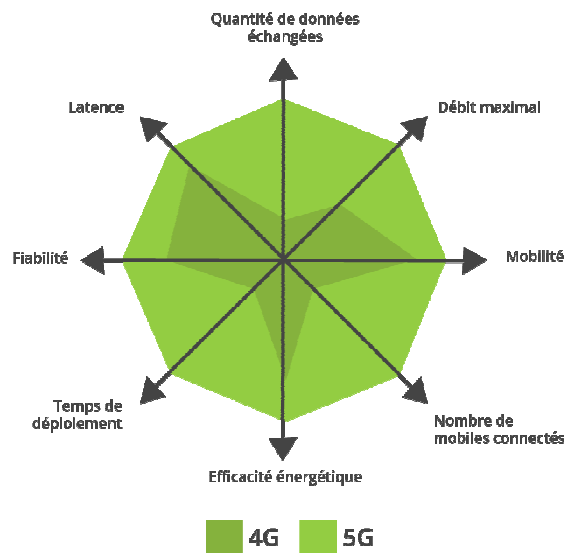


Figure 2 : Comparison of the targeted performance between 4G and 5G

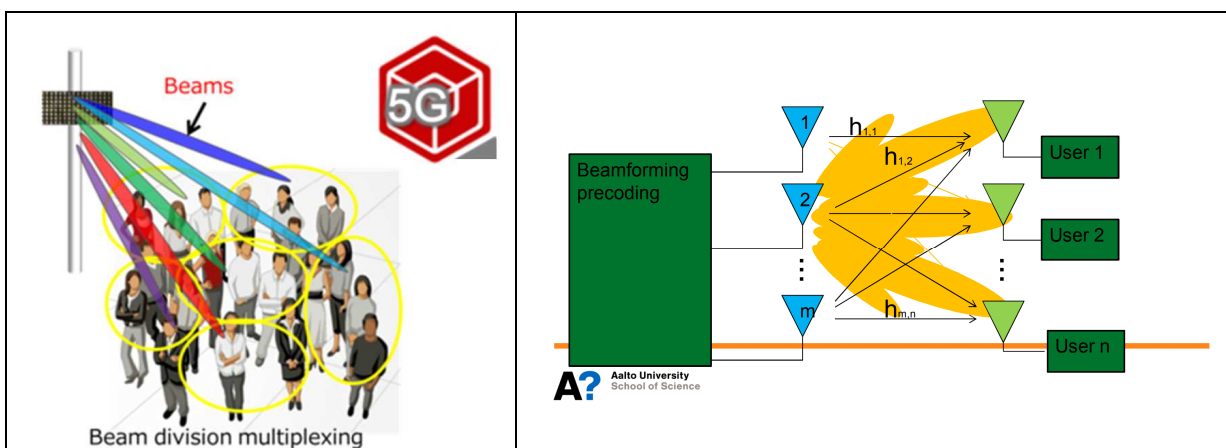


Figure 2 : Examples of solutions using beamforming

References :

- [1] J. Hoydis, S. Ten Brink, and M. Debbah, “Massive MIMO in the UL/DL of Cellular Networks: How Many Antennas Do We Need?”, *IEEE J. Select. Areas of Commun.*, vol. 31, no. 2, pp. 160–171, Feb. 2013.
- [2] Z. Ding, L. Dai, and H. V. Poor, “MIMO-NOMA design for small packet transmission in the Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1393 – 1405, 2016.
- [3] M. F. Hanif, Z. Ding, T. Ratnarajah and G. K. Karagiannidis, “A Minorization-Maximization Method for Optimizing Sum Rate in Non-Orthogonal Multiple Access Systems”, *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 64, no. 1, pp. 76–88, Jan. 2016.
- [4] T. S. Rappaport et al., “Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!”, *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013.
- [5] http://www.lemag-numerique.com/wp-content/uploads/2015/10/WP_-Souverainete_Telecoms_PetitesCellules_FINAL.pdf.

Informations :

- **Candidate profil :** *Education:* MS or equivalent. *Background:* microwave, antennas, electromagnetics. Knowledge in EM simulation tools (ADS, CST, HFSS) is welcome.
- **Funding :** PhD grant from French “Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI)”.
- **Start date :** september 2018
- **Duration :** 36 months
- **Contacts :** To apply please provide CV, motivation letter, and reference letters to: Aliou Diallo (aliou.diallo@unice.fr), Philippe Le Thuc (Philippe.Lethuc@unice.fr), Robert Staraj (robert.staraj@unice.fr).