



LIVRE BLANC

ÉVOLUTION DU RÉSEAU DANS LES BÂTIMENTS : DE LA **4G À LA 5G**

Par Vladan Jevremovic, PhD

1 INTRODUCTION

Les réseaux 5G, également connus sous le nom de 3GPP Release 16 (Phase 1) et Release 17 (Phase 2), promettent d'apporter de nombreuses innovations techniques dans le domaine des technologies cellulaires. Les nouveaux réseaux seront en mesure de fournir un large éventail d'applications diverses, depuis les applications asynchrones à faible débit ciblant les communications de machine à machine (M2M) et l'internet des objets, jusqu'aux applications à faible latence et à très haut débit telles que les jeux vidéo, et tout ce qu'il y a entre les deux. Contrairement à leurs prédécesseurs, les réseaux 5G seront déployés sur une large gamme de bandes de fréquences. Les fréquences inférieures à 6 GHz seront utilisées pour une couverture globale à l'échelle de la ville, adaptée à la couverture mobile, tandis que les fréquences d'ondes millimétriques (24 GHz et plus) sont adaptées à une couverture stationnaire point à multipoint à large bande passant ciblant les zones résidentielles. Dans ce document, nous nous concentrons sur les principales caractéristiques de la 5G et nous examinons quels types de réseaux 4G pourraient être les plus touchés par la transition vers la 5G.

2 CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DE LA 5G POUR LES RÉSEAUX À L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS

2.1 FORMATION DE LA POUTRE

La formation de faisceaux est une technique qui façonne le diagramme du réseau d'antennes dans la direction préférée. Cela permet de diriger le diagramme d'antenne dans la direction du client desservi (également appelé orientation du faisceau) et de minimiser le diagramme dans la direction des clients susceptibles de brouiller le signal, ce qui est également appelé placement nul. L'orientation du faisceau améliore la couverture du signal, tandis que le placement nul réduit les interférences. Le résultat global est une amélioration du rapport signal/interférence/bruit, ce qui augmente le débit du signal et la capacité du système.

Un réseau d'antennes se compose de N antennes séparées par une certaine distance. Dans la formation de faisceau analogique, le même signal est envoyé à chaque branche d'antenne, mais un déphasage spécifique à l'antenne est appliqué avant la transmission. Dans ce cas, un seul amplificateur est nécessaire pour l'ensemble du réseau, mais N déphaseurs doivent être déployés, un pour chaque antenne. Cette situation est illustrée à la figure 1 [1] :

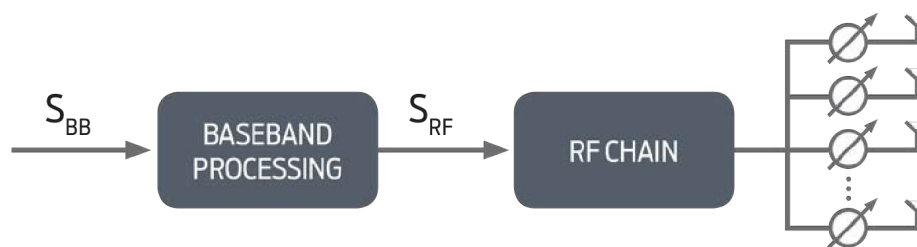


Figure 1 : Architecture de formation de faisceau analogique

Une autre option pour la formation de faisceaux est la formation de faisceaux numérique. Cette architecture est plus complexe car chaque antenne doit avoir sa propre chaîne RF (convertisseur ascendant et amplificateur), tandis que les déphasages sont appliqués pendant la modulation en bande de base. L'architecture est illustrée à la figure 2 [1].

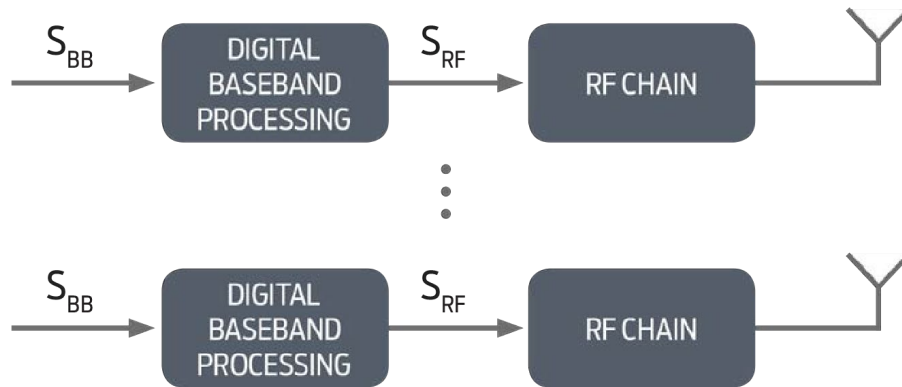


Figure 2 : Architecture de formation de faisceau numérique

Un réseau linéaire de N antennes produit une antenne directionnelle avec le gain maximal dans une direction, et $N-1$ diagrammes nuls ou "creux" dans différentes directions [2]. Si l'amplitude du signal est la même pour chaque antenne et que seuls les déphasages diffèrent, il est possible de spécifier l'une ou l'autre des directions du gain maximal ou du diagramme nul, mais pas les deux. Si l'amplitude et la phase sont spécifiées pour chaque antenne, il est possible de spécifier à la fois la direction du gain maximal et la direction du motif nul. Une technique appelée réseau d'antennes adaptatif calcule ces amplitudes et ces phases (appelées coefficients de réseau d'antennes) en temps réel, en minimisant l'erreur quadratique moyenne entre les niveaux de signal cibles pour l'utilisateur desservi et $N-1$ interférences avec les niveaux de signal mesurés à ces emplacements. La minimisation de l'erreur quadratique moyenne permet d'obtenir les nouveaux coefficients, qui sont appliqués au signal de la station de base. Le signal résultant est à nouveau mesuré aux emplacements cibles par les utilisateurs et renvoyé à la station de base. Le processus de minimisation de l'erreur quadratique moyenne est ensuite répété. La nature itérative de ce processus nécessite des mesures fréquentes du signal, ce qui est essentiel dans un environnement mobile.

Il convient de noter que l'hypothèse sous-jacente est que l'utilisateur et les brouilleurs ont une séparation spatiale significative entre eux. Il s'agit d'une condition essentielle, car il faut maintenir un écart angulaire suffisant entre les signaux nuls et le gain maximal. La figure 3 présente un exemple de formation de faisceaux avec un zéro dans la direction du brouilleur et un gain maximal dans la direction de l'utilisateur desservi.

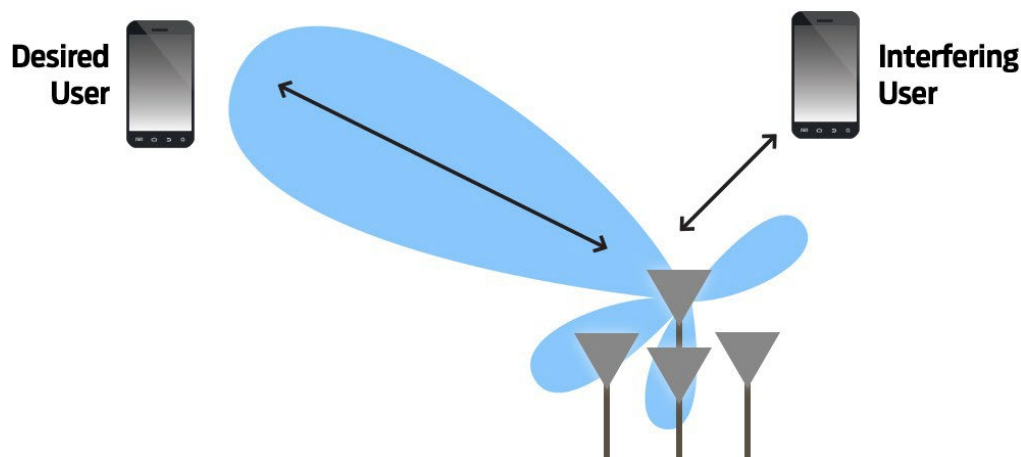


Figure 3 : Exemple de formation de faisceau avec le gain maximal dans la direction de l'UE de service et le gain minimal dans la direction de l'UE brouilleur (non desservi).

2.2 MIMO, MU-MIMO, MIMO massive

La technologie MIMO originale tire partie du réseau d'antennes pour améliorer le débit de données en prenant les données d'origine, en les divisant en parties égales et en les transmettant aux antennes du réseau. Ce processus garantit que chaque antenne ne transmet qu'une fraction des données originales. Au niveau de la réception, un autre réseau d'antennes capture les données fragmentées et les réassemble sous leur forme originale. S'il y a N antennes aux deux extrémités, le résultat net est que les données sont envoyées et reçues N fois plus vite que les données qui seraient envoyées en utilisant une seule antenne d'émission et une seule antenne de réception. Cette technique est connue sous le nom de mode de multiplexage spatial ; elle améliore le débit des données N fois et fonctionne très bien lorsque le rapport signal sur interférence et bruit (SINR) est bon et que les réseaux d'émission et de réception ont tous deux le même nombre d'antennes. Lorsque le rapport SINR est faible, les données d'origine restent intactes et toutes les antennes transmettent le même signal. À la réception, toutes les antennes reçoivent le même signal, mais après combinaison, le niveau du signal reçu est supérieur à ce qu'il aurait été si une seule antenne avait été utilisée aux deux extrémités. Cette méthode est appelée mode diversité et améliore la couverture du signal.

La technique MIMO multi-utilisateurs consiste à délivrer un signal MIMO à plusieurs utilisateurs simultanés en utilisant la même fréquence. La seule condition est une séparation spatiale suffisante pour qu'un seul utilisateur se trouve dans le faisceau principal. La question souvent posée est de savoir combien de K utilisateurs simultanés peuvent être desservis par un réseau d'antennes $M \times M$ MIMO. La théorie des antennes nous apprend que $K \leq M-1$, mais que suggèrent les normes 4G et 5G ? Dans la norme LTE-A, le nombre d'utilisateurs simultanés est limité à $K=8$, et même si M doit être supérieur à K , il ne s'agit pas d'un nombre très élevé. Dans la 5G, nous avons un cas plus intéressant, appelé "Massive MIMO", où le nombre d'antennes M et le nombre d'utilisateurs simultanés K sont tous deux importants. Dans la définition originale de la "MIMO massive" [3], on supposait également que $M \gg K$. Toutefois, la définition plus générale [4] stipule uniquement que $M > K$, tout en permettant aux deux d'être grands. Un autre article donne quelques exemples de calcul itératif de M et K dans des conditions réalistes d'efficacité énergétique [5]. L'auteur fait observer qu'en cas de fortes interférences entre utilisateurs lorsque le débit de données par utilisateur est faible, il est judicieux d'attribuer autant d'UE qu'il est théoriquement possible ($M \sim K$), afin d'augmenter le débit total par station de base. Nous voyons donc que si la 5G exige que M et K soient des nombres élevés, le rapport réel M/K peut varier considérablement et, dans certains cas, il peut être proche de 1.

Massive MIMO n'est pas seulement MU-MIMO avec beaucoup plus d'antennes, mais possède également de nouvelles caractéristiques qui en font une amélioration significative par rapport à MU-MIMO. L'une d'entre elles est le mode de fonctionnement TDD uniquement, qui élimine l'évanouissement sélectif de fréquence qui n'affecte qu'une seule bande de duplexage, TDD ou FDD, mais pas les deux. L'utilisation de Massive MIMO en mode TDD uniquement permet au signal pilote utilisé pour l'estimation du canal d'être transmis uniquement sur la liaison montante et de tirer parti de la réciprocité du canal. Le SINR en bordure de cellule augmente avec le nombre d'antennes dans le réseau, de sorte que Massive MIMO est naturellement plus performant dans cette région que MU-MIMO. [6]. Une variation à petite échelle du canal de propagation peut réduire le gain de l'antenne. Toutefois, comme la variation à petite échelle est une variable indépendante, on peut montrer que la probabilité que toutes les antennes soient affectées par cette variation diminue rapidement à mesure que le nombre d'antennes dans le réseau MIMO massif augmente [7]. Une autre façon de décrire ce phénomène serait de dire que le signal est "moyenné" sur les antennes. Ce phénomène est également connu sous le nom de "durcissement du canal" [8] et, étant donné que le réseau MIMO massif devrait être déployé avec de nombreuses antennes au niveau de la station de base, le durcissement du canal entraînera une variation négligeable du signal à petite échelle dans le temps. Le durcissement du canal permet une allocation des ressources plus prévisible, car le comportement du canal lui-même est plus stable que dans le cas de MU-MIMO. La figure 4 présente un exemple de station de base 5G Massive MIMO.



Figure 4 : Station de base prête pour la 5G avec 44 antennes à polarisation croisée dans un panneau

2.3 RÉSEAUX C-RAN

Le C-RAN est une topologie de réseau qui sépare le traitement de la bande de base et le matériel RF et n'est techniquement pas une norme 5G. Cependant, elle aura une incidence sur la planification de la capacité des réseaux à l'intérieur des bâtiments, et mérite donc d'être mentionnée ici. C-RAN est une architecture RAN centralisée qui déplace les unités de bande de base (BBU) du boîtier de la station de base vers un emplacement centralisé, qui est généralement le bureau central de l'opérateur. Cela permet de réduire les coûts d'exploitation, car il faut moins d'énergie pour refroidir les circuits des stations de base. Cela permet également de réduire le capital investi dans la location de biens immobiliers sur le site cellulaire, étant donné que l'espace nécessaire en l'absence de BBU est moins important. Le signal en bande de base est envoyé de l'emplacement central à la station de base via une liaison par fibre, où il est converti en RF, amplifié et transmis. Souvent, ces stations de base sans BBU sont appelées têtes radio distantes (RRH) car elles ne contiennent que des éléments RF.

De retour au bureau central, les BBU sont réparties entre plusieurs stations de base. Leur trafic est contrôlé en temps réel et les BBU sont attribuées et réattribuées en fonction des besoins du trafic RRH. Cette programmation souple des ressources réduit le blocage des appels, car les stations de base ne disposent pas d'un nombre fixe de BBU ; au lieu de cela, elles prennent des BBU dans un pool de BBU disponibles. Du RAN centralisé, les réseaux peuvent évoluer vers le RAN en nuage, où le traitement de routine des BBU centralisées est effectué par des serveurs commerciaux prêts à l'emploi situés dans le nuage. Ce traitement en nuage est appelé virtualisation des fonctions du réseau (NFV). Le Cloud RAN peut également signifier qu'un autre fournisseur de services possède l'équipement de bande de base. Les deux architectures C-RAN sont illustrées à la figure 5.

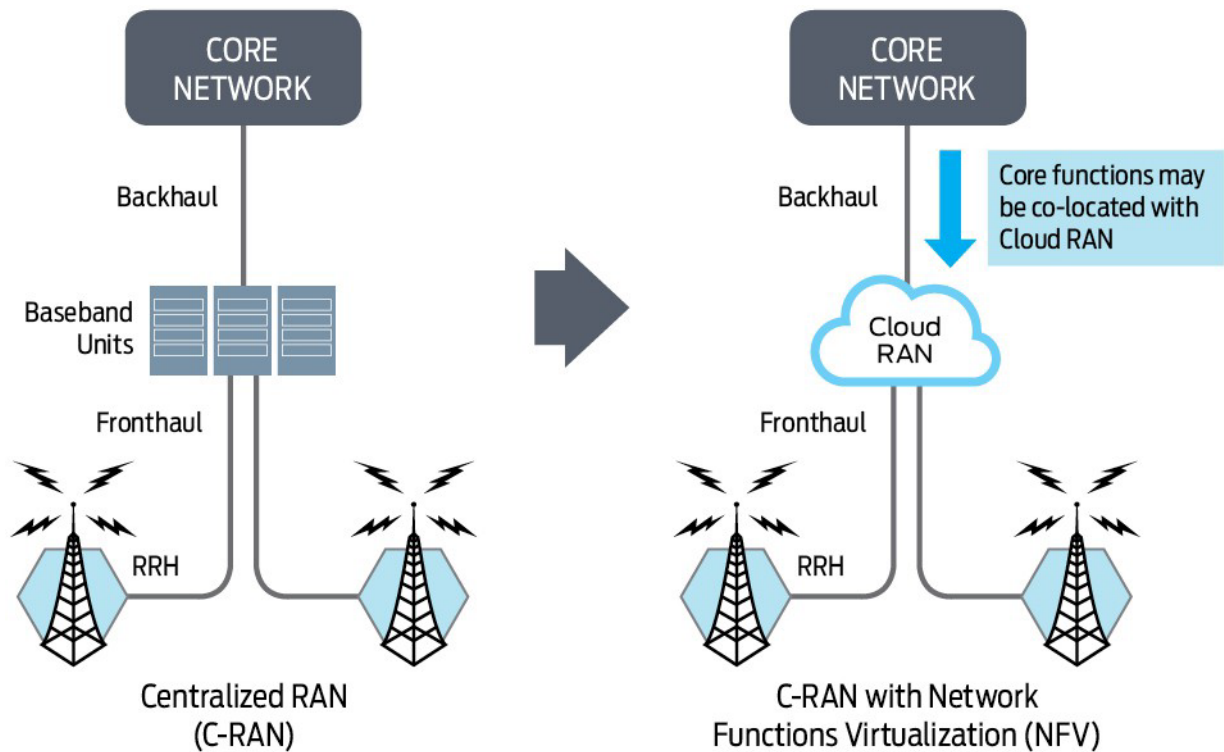


Figure 5 : RAN centralisé et RAN en nuage

L'impact sur la conception des bâtiments se situe au niveau de la planification de la capacité lors du calcul des besoins de capacité pour l'heure d'occupation. Étant donné que les BBU sont mises en commun, le réseau de l'immeuble n'est pas susceptible de connaître un blocage de la couche MAC en raison d'un nombre insuffisant de BBU dans un RRH. Cependant, un blocage de BBU virtuel peut se produire en raison des limitations de traitement du nuage. Le blocage de la couche 1 au niveau d'un RRH reste possible et se produirait lorsque l'utilisation du temps d'antenne devrait être supérieure à 100 %, sur la base des besoins de capacité estimés au niveau du RRH.

3 LES DÉFIS DU RÉSEAU 5G DANS LES BÂTIMENTS

Dans cette section, nous identifions deux défis auxquels sont confrontés les réseaux de bâtiments qui passent de la 4G à la 5G : rendre les systèmes d'antennes distribuées (DAS) passifs prêts pour la 5G et passer d'une bande inférieure à une bande supérieure dans la bande des moins de 6 GHz.

3.1 RETOUR

Les débits de pointe plus élevés de la 5G nécessitent également des débits de liaison plus élevés. Selon une étude récente d'Ericsson [9], la croissance du débit de la liaison de retour va augmenter lentement au fil des ans, et seule une fraction des sites nécessitera une liaison de retour correspondant au débit de pointe de la 5G de 20 Gb/s d'ici à 2025 :

Advanced Mobile Broadband	2016	2021	Towards 2025
80 percent of sites	90 Mbps	300 Mbps	600 Mbps
20 percent of sites	300 Mbps	1 Gbps	3-5 Gbps
Few percentage of sites	1 Gbps	3-10 Gbps	10-20 Gbps

Source : Ericsson 2016

Tableau 1 : Exigences en matière de capacité de transmission par site radio pour les opérateurs [9].

Les macrosites accueillent principalement des utilisateurs très mobiles, tandis que les sites intérieurs accueillent des utilisateurs stationnaires ou piétons. Comme les utilisateurs stationnaires exigent un débit plus élevé que les utilisateurs mobiles, il s'ensuit que le débit de transmission requis pour les sites intérieurs est beaucoup plus élevé que pour les sites macro. Comme le tableau 1 représente les exigences combinées en matière de liaison terrestre pour les sites extérieurs et intérieurs, nous nous attendons à voir un pourcentage plus élevé de sites intérieurs avec un débit de 3-10 Gb/s d'ici 2021 et avec un débit de 10-20 Gb/s d'ici 2025.

Si le réseau prévu à l'intérieur du bâtiment est un réseau à petites cellules, le débit requis pour chaque petite cellule est calculé sur la base de la charge de trafic estimée sur le site. Le besoin de liaison pour l'ensemble du réseau est la somme des débits requis pour chaque cellule. Ce besoin est comparé à la capacité de fibre noire disponible dans le bâtiment. Si la capacité de la fibre noire disponible est insuffisante, un fournisseur de réseau câblé (usine extérieure) doit être conscient des demandes de capacité supplémentaires du bâtiment dues à l'installation du réseau 5G. Si la capacité de fibre noire disponible est suffisante, un réseau de fibre optique supplémentaire à l'intérieur du bâtiment avec des séparateurs optiques passifs et des liens de fibre entre la salle de terminal principale et les petites cellules doit être conçu et inclus dans le paquet de conception du réseau de petites cellules.

La conception d'un réseau optique passif supplémentaire pour prendre en charge le débit du backhaul (ou, dans le cas du C-RAN, du fronthaul) est une nouvelle exigence lorsqu'il s'agit de planifier et de concevoir des réseaux à l'intérieur des bâtiments. Il ne suffit plus de se préoccuper de l'emplacement des petites cellules, mais aussi de la manière de leur apporter la capacité requise à partir de la salle principale des terminaux. Ainsi, la conception d'un réseau sans fil 5G d'intérieur à petites cellules nécessite la conception d'un réseau filaire de soutien pour donner aux petites cellules une capacité suffisante pour réaliser son plein potentiel 5G.

3.2 FRÉQUENCES D'ONDES MILLIMÉTRIQUES

La nécessité d'un débit très élevé a incité certains opérateurs à envisager le déploiement de réseaux 5G à des fréquences beaucoup plus élevées que celles utilisées actuellement dans les réseaux 4G. Aux États-Unis, la FCC autorise l'utilisation des bandes de fréquences de 24, 28, 31 et 39 GHz pour les communications fixes à haut débit. Dans d'autres parties du monde, les opérateurs font des essais de réseaux 5G dans des bandes de fréquences allant jusqu'à 90 GHz. Ces fréquences sont communément appelées fréquences d'ondes millimétriques, même si, techniquement, les fréquences d'ondes millimétriques se situent entre 30 et 300 GHz. L'avantage d'utiliser ces bandes est que les blocs de spectre d'ondes millimétriques sont beaucoup plus larges que les blocs de bande inférieurs à 6 GHz, et permettent donc un débit de données beaucoup plus élevé, même sans Beamforming et Massive MIMO. Toutefois, ces bandes ne conviennent pas au déploiement d'un réseau macro à l'échelle d'une ville, et ce pour plusieurs raisons :

- Perte de chemin élevée en espace libre
- Une ligne de visée stricte est nécessaire pour la couverture des réseaux macro.
- Pas de prise en charge de la mobilité de l'UE

Même avec ces restrictions, les réseaux à ondes millimétriques peuvent être déployés à l'intérieur, dans des lieux où la visibilité est généralement directe et où il y a peu d'obstructions. Un exemple de ce type de lieu est un stade, où un émetteur RF déployé au-dessus des places assises garantit la ligne de vue avec les spectateurs. Un autre exemple est un point d'accès intérieur, tel qu'une cafétéria ou une salle de conférence. Même si les cas d'utilisation en intérieur sont très limités, nous nous attendons à voir les premiers réseaux 5G à l'intérieur des bâtiments déployés à ces fréquences.

3.3 PRÉPARATION DES DAS PASSIFS 5G

Le DAS passif reste une architecture très populaire dans les bâtiments en raison des coûts de déploiement relativement faibles pour les sites de petite et moyenne taille, jusqu'à 100 000 pieds carrés. Elle est particulièrement populaire en Asie, où la plupart des réseaux sont encore des DAS passifs. Cette architecture est illustrée à la figure 6 :

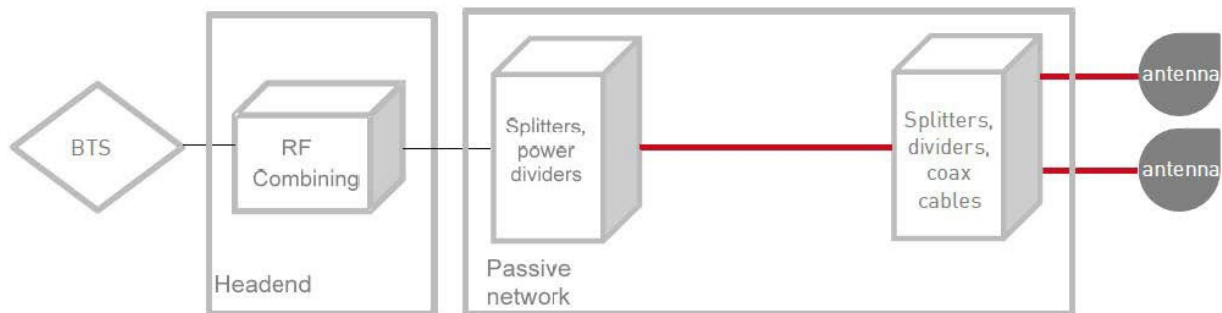


Figure 6 : Architecture DAS passive

Même si le DAS passif de la figure est très simplifié avec seulement 2 antennes, nous pouvons conclure que ce réseau ne supporte pas le MIMO. Pour prendre en charge le MIMO, chaque antenne aurait besoin d'un câble séparé jusqu'à la BTS. Cependant, dans le système DAS passif, les signaux des antennes sont combinés à proximité de l'emplacement de l'antenne et le signal combiné est envoyé sur un seul câble RF vers la station de base, où les signaux des différentes branches sont à nouveau combinés. Comme la station de base ne peut pas discerner le signal provenant de différentes antennes, il s'agit d'un réseau SISO. Même si le 3GPP spécifie l'obligation de 2x2 MIMO, de nombreux réseaux DAS 4G passifs ont été déployés dans cette configuration SISO, afin de réduire le coût du second câble coaxial entre les 2 antennes MIMO et la station de base.

Pour convertir ces réseaux DAS SISO passifs à la 5G, il faudrait d'abord installer de nouveaux panneaux d'antennes MIMO massives, comme celui illustré à la figure 4 avec 44 antennes à polarisation croisée. Ensuite, un câble coaxial reliant chaque antenne à polarisation croisée d'un panneau devrait être installé jusqu'à la station de base. Cette méthode n'est pas évolutive et, en raison de l'incapacité à migrer efficacement vers la 5G, les réseaux DAS passifs 4G pourraient être remplacés par des réseaux mieux adaptés à la 5G, tels que les réseaux DAS à fibre optique ou les réseaux à petites cellules.

3.4 MIGRATION DE LA BANDE SUB 3 GHz VERS LA BANDE SUB 6 GHz

Les réseaux mobiles 5G devraient fonctionner dans la bande des moins de 6 GHz. La bande des ondes millimétriques est réservée à la large bande fixe, en raison de la limitation de la portée. Comme pour la 4G, il n'y aura pas une seule bande de fréquences mondiale réservée à la 5G. Dans certains pays, un organisme de réglementation peut concevoir une bande spécifiquement pour la technologie 5G, afin de s'assurer que les opérateurs n'ont pas besoin de réaffecter une bande 4G pour déployer la 5G. Dans d'autres pays, l'organe directeur peut ne pas attribuer spécifiquement une bande de fréquences à la 5G, donnant ainsi le contrôle total du spectre aux gagnants des enchères de fréquences.

En Chine, le gouvernement a annoncé qu'il avait alloué les bandes 3,5 et 4,9 GHz à la 5G. Auparavant, les bandes 4G avaient été attribuées à 1,8, 2,3, 2,5 et 2,6 GHz. Le passage à la bande 4,9 GHz nécessiterait le remplacement de toutes les antennes, quelle que soit la bande 4G, car les antennes 4G actuelles ne couvrent pas la bande 4,9 GHz. En outre, le passage de 2,6 à 4,9 GHz ajouterait $20\log_{10}(4,9/2,6) = 5,5$ dB à l'affaiblissement sur le trajet 4G, tandis que le passage de 1,8 GHz ajouterait 8,7 dB à l'affaiblissement sur le trajet. Il s'agit d'une perte importante qui pourrait nécessiter l'ajout d'antennes supplémentaires aux réseaux 4G existants. Nous ne savons pas encore si le gain de la formation de faisceau peut compenser cette perte supplémentaire, car les essais 5G n'entrent pas dans les détails des performances techniques, tels que le gain de la formation de faisceau. Toutefois, il convient de garder à l'esprit ce delta de perte de trajet dans des pays comme la Chine, où le spectre 5G obligatoire est deux fois plus élevé (ou plus) que la fréquence des réseaux 4G existants.

4 CONCLUSION

Dans ce document, nous avons présenté trois technologies susceptibles d'avoir le plus grand impact sur les réseaux à l'intérieur des bâtiments : Beamforming, Massive MIMO et C-RAN. Les bases de chaque technologie ont été décrites et nous avons expliqué leur impact sur le réseau. Nous avons également expliqué comment la planification du backhaul et la conception d'un réseau de fibres passives à l'intérieur des bâtiments entre la salle principale des terminaux et les emplacements des petites cellules intérieures sont devenues une partie intégrante de la planification des réseaux 5G à l'intérieur des bâtiments. Nous avons identifié deux cas où la migration du réseau 4G vers le réseau 5G pourrait nécessiter soit un remplacement complet du réseau (DAS passif), soit l'ajout d'antennes pour combler les lacunes de la couverture 5G (bande 4,9 GHz). À long terme, nous pensons que les réseaux DAS à petites cellules et à fibres seront le seul choix viable pour les réseaux 5G à l'intérieur des bâtiments.

Lors de la conception d'un réseau 5G, les considérations relatives à la densité et à l'architecture du réseau augmentent l'ampleur de la conception et de la mise en œuvre des réseaux 5G dans les bâtiments. Pour rendre la transition vers la 5G efficace, il convient d'utiliser une plateforme commune pour le relevé des bâtiments, la planification RF, la conception et la maintenance. iBwave a simplifié ce processus pour garantir l'optimisation des projets de réseaux dans les bâtiments en aidant à éliminer les redondances et en veillant à ce que les informations soient facilement partagées avec toutes les parties prenantes du projet tout au long du cycle de vie du projet.

5 RÉFÉRENCES

- [1] Rohde & Schwarz : 1MA 276 Faisceau d'ondes millimétriques : Choix de conception et caractérisation des réseaux d'antennes, 28 octobre 2016
- [2] Robert S Elliott, Antenna Theory and Design, Prentice-Hall, 1981
- [3] T. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590-3600, Nov. 2010.
- [4] J. Hoydis, S. ten Brink et M. Debbah, "Massive MIMO in the UL/DL of cellular networks : How many antennas do we need ?" (*MIMO massive dans les réseaux cellulaires UL/DL : combien d'antennes faut-il ?*) *IEEE J. Sel. Areas Communications*, vol. 31, no. 2, pp. 160-171, Feb. 2013.
- [5] Emil Björnson, Luca Sanguinetti, Jakob Hoydis, Mérouane Debbah, "Optimal Design of Energy-Efficient Multi- User MIMO Systems : Is Massive MIMO the Answer ?", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 14, No. 6, pp 3059 - 3070, JUIN 2015
- [6] Emil Björnson, Erik G. Larsson, et Thomas L. Marzetta, *Massive MIMO : "Ten Myths and One Critical Question"*, *IEEE Communications Magazine*, février 2016
- [7] HQ Ngo, EG Larsson, "No downlink pilots are needed in TDD massive MIMO", *IEEE Transactions on Wireless Communications* vol. 16, no .9
- [8] M. Hochwald, T. L. Marzetta et V. Tarokh, "Multiple-antenna channel hardening and its implications for rate feedback and scheduling," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 50, no. 9
- [9] Ericsson Microwave Outlook, octobre 2016

À propos d'iBwave

Les solutions iBwave, la norme en matière de planification de réseaux intérieurs convergents, sont à l'origine d'une expérience sans fil exceptionnelle dans les bâtiments, permettant à des milliards d'utilisateurs finaux et d'appareils de se connecter à l'intérieur d'un large éventail de lieux. En tant que référence mondiale de l'industrie, nos solutions logicielles permettent une planification, une conception et un déploiement plus intelligents de tout projet, quelle que soit sa taille, sa complexité ou sa technologie. En plus d'un logiciel innovant, nous sommes reconnus pour notre assistance de classe mondiale dans 100 pays, la base de données de composants la plus complète de l'industrie et un programme de certification bien établi. Pour plus d'informations, visitez : www.ibwave.com.