

Rapport d'avancement
Abderrahim ZEHMOUNE :
***Étude comparative entre les
anciennes technologies et la
5ème génération en zone très
dense.***

Chapitre II : Evolution des réseaux mobile vers 5G :.....3

I.	Le GSM (2G) :	3
1.	Standard GSM (Global System for Mobile communications) :	3
2.	Notion de réseau cellulaire :	3
3.	Architecture du réseau GSM :	3
II.	Troisième génération (3G) :	5
1.	UMTS:	5
2.	Architecture UMTS :	5
3.	Réseau d'accès UTRAN :	5
4.	Les interfaces de communications :	6
5.	Node B :	6
6.	RNC :	7
7.	Fréquence et débit de l'UMTS :	7
8.	Le mode de transmission dans le réseau UMTS :	7
III.	La quatrième génération 4G :	8
1.	introductions :	8
2.	Architecture générale d'un réseau 4G :	8
3.	Le nouveau réseau d'accès :	9
5.	Les nouveaux éléments de la 4G :	10
6.	MIMO 4G :	10
IV.	La cinquième génération (5G) :	11

Chapitre III : La cinquième génération 5G :.....12

I.	Introduction générale :	12
1.	La 5G (new radio) :	12
2.	Bande de fréquence :	12
II.	Architecture générale et scenarios de déploiement :	13
1.	Introduction :	13
2.	Architecture de la 5G :	14
3.	déploiements de la 5G :	16
4.	Performances de la 5G :	17
III.	Etude détaillée de l'interface radio du réseau 5G :	18
1.	Formes d'onde :	18
2.	Accès multiple :	19
a.	Accès multiple par division de fréquence orthogonale, OFDMA :	20
b.	Accès multiple au code fragmenté, SCMA :	20
c.	Accès multiple non orthogonal, NOMA :	20
3.	Ondes millimétriques :	20
4.	Massive MIMO :	21
a.	généralités sur la massive MIMO :	21
b.	Avantages massifs MIMO :	22

Chapitre II : Evolution des réseaux mobile vers 5G :

I. Le GSM (2G) :

1. Standard GSM (Global System for Mobile communications) :

La seconde génération de réseaux mobiles entièrement numérique a marqué une rupture avec la première génération analogique. Le principal standard du système GSM fonctionne de par le monde dans différentes bandes. En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquence de 900 MHz pour le GSM900 et 1800 MHz pour le DCS (Digital Communication System).

Les techniques de multiplexage associées au GSM sont :

- le FDMA (Frequency Division Multiple Access) qui repose sur un multiplexage en fréquences.

La bande de fréquence est divisée en plusieurs sous-bandes. Chacune est placée sur une fréquence dite porteuse, qui est la fréquence spécifique du canal. Chaque porteuse ne peut transporter le signal que d'un seul utilisateur.

- Le TDMA (Time Division Multiple Access), utilise une technique de découpage temporel des canaux de communication disponibles, afin d'augmenter le volume de données transmises simultanément.

2. Notion de réseau cellulaire :

Les réseaux de téléphonie mobile sont basés sur la notion de cellules, qui sont des zones circulaires se chevauchant afin de couvrir une zone géographique. Dans un réseau cellulaire, chaque cellule est entourée de 6 cellules voisines (c'est la raison pour laquelle on représente généralement une cellule par un hexagone).

Les réseaux cellulaires reposent sur l'utilisation d'un émetteur-récepteur central au niveau de chaque cellule, appelé "station de base" (plus le rayon d'une cellule est petit, plus la bande passante disponible est élevée). Dans des zones urbaines fortement peuplées, des cellules d'une taille pouvant avoisiner quelques centaines de mètres sont présentes pour couvrir des environnements dits pico cellulaire ("indoor") et micro-cellulaire ("outdoor"), tandis que de vastes cellules d'une trentaine de kilomètres permettent de couvrir les zones rurales.

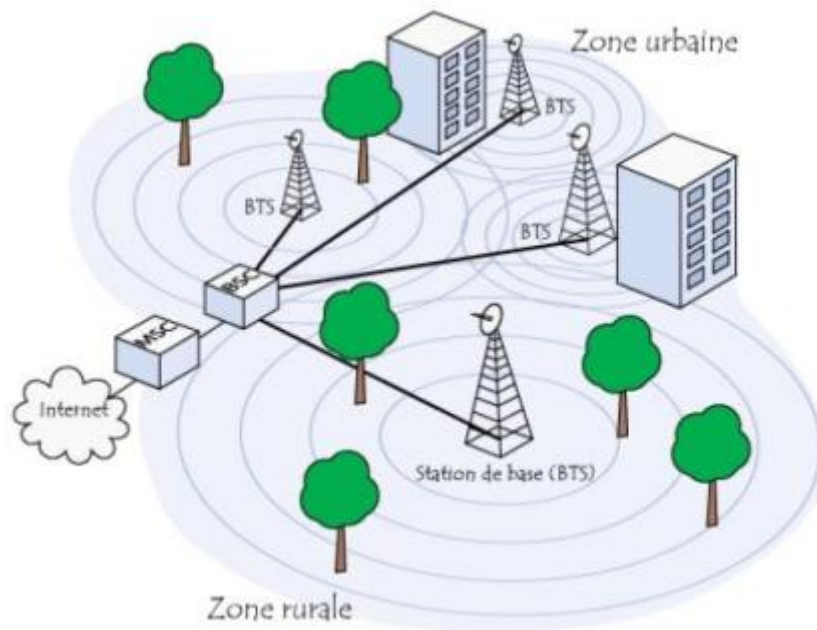
En pratique, deux cellules possédant la même gamme de fréquences doivent être éloignées d'une distance représentant deux à trois fois le diamètre de la cellule.

3. Architecture du réseau GSM :

Dans un réseau GSM, le terminal de l'utilisateur est composé notamment d'une carte SIM (Subscriber Identity Mobile), permettant d'identifier l'utilisateur de façon unique et d'un numéro d'identification unique de 15 chiffres appelé IMEI (International Mobile Equipment

Identity). Chaque carte SIM possède également un numéro d'identification unique (et secret) appelé IMSI (International Mobile Subscriber Identity). Ce code peut être protégé à l'aide d'une clé de 4 chiffres appelée code PIN.

La carte SIM permet ainsi d'identifier chaque utilisateur, indépendamment du terminal utilisé lors de la communication avec une station de base. La communication entre une station mobile et une station de base se fait par l'intermédiaire de la propagation des ondes électromagnétiques à travers une interface air qui est le plus souvent un environnement multi-trajet.



L'ensemble des stations de base d'un réseau cellulaire est lié à un contrôleur de stations de base (en anglais Base Station Controller, noté BSC) (Fig. 2), qui est la partie intelligente du lien radio : c'est lui qui décide de l'activation ou désactivation vers une station mobile, qui décide de la puissance d'émission des stations de base et des stations mobiles et qui gère les changements de cellules.

Les contrôleurs de stations de base connectés, forment le sous-système radio (en anglais BSS pour Base Station Subsystem). Enfin, les contrôleurs de stations sont eux-mêmes reliés physiquement au centre de commutation du service mobile (en anglais MSC pour Mobile Switching Center), géré par l'opérateur téléphonique, qui les relie ainsi au réseau téléphonique public et à internet.

Le MSC appartient à un ensemble appelé sous-système réseau chargé de gérer les identités des utilisateurs, leur localisation et l'établissement de la communication avec les autres abonnés. Des évolutions de la norme GSM ont été mises au point afin d'en améliorer le débit. C'est le cas notamment du standard GPRS et de la norme EDGE.

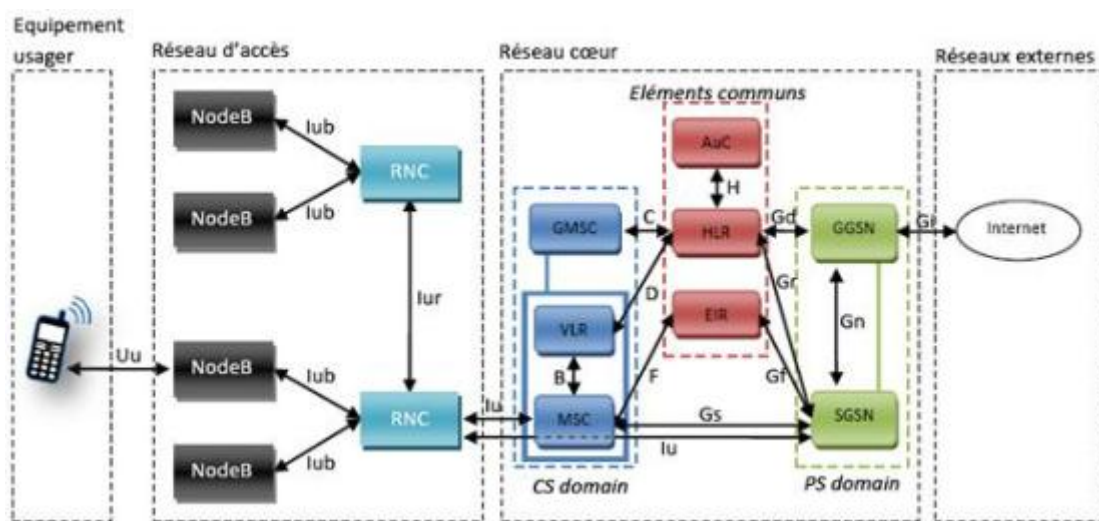
II. Troisième génération (3G) :

1. UMTS:

L'objectif principal des réseaux 3G est d'offrir un service de débit supérieur, la promesse d'utilisation de nouveaux spectres radioélectriques a encouragé les opérateurs de téléphonie du monde à payer des prix très élevés pour les licences 3G.

2. Architecture UMTS :

Le réseau UMTS est composé d'un réseau d'accès UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et d'un réseau cœur.



- Le HLR (Home Location Register) représente une base de données des informations de l'utilisateur
- L'AuC (Authentication Center) est en charge de l'authentification de l'abonné, ainsi que du chiffrement de la communication.
- L'EIR (Equipment Identity Register) est en charge de la gestion des vols des équipements usagers.

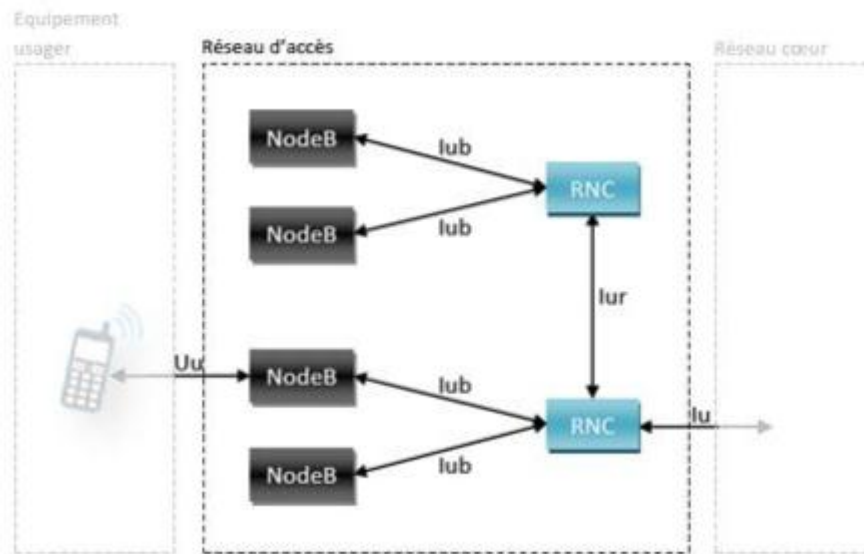
3. Réseau d'accès UTRAN :

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement usager et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu.

Cependant, il est chargé d'autres fonctions : Sécurité, Mobilité, Gestion des ressources radio, Synchronisation...

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base

(appelées NodeB), des contrôleurs radio RNC (Radio Network Controller) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS.



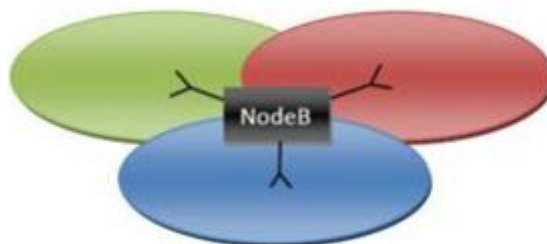
4. Les interfaces de communications :

Plusieurs types d'interfaces de communication coexistent au sein du réseau UMTS :

- Uu : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie CDMA.
- Iu : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN.
- Iur : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer.
- Iub : Interface qui permet la communication entre un NodeB et un contrôleur radio RNC.

5. Node B :

Le rôle principal du NodeB est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager. Le NodeB travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage). Nous pouvons trouver deux types de NodeB :





6. RNC :

Réseau cœur : Le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS. Il travaille au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI (contrôle de puissance, allocation de codes). Le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur.

Le réseau cœur de l'UMTS est composé de trois parties dont deux domaines :

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie
- Le domaine PS (Packet Switched) qui permet la commutation de paquets.
- Les éléments communs aux domaines CS et PS.

7. Fréquence et débit de l'UMTS :

Les Fréquences allouées pour l'UMTS sont 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz. L'UIT (Union Internationale des Télécommunications) a désigné des bandes de fréquences pour les différentes de l'UMTS qui sont : UMTS TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz et 2010 à 2025 MHz. Duplex fréquentiel FDD (Frequency Division Demultiplexed) 1920 à 1980 MHz et 2110 à 2170 MHz. Bandes satellites : 1980 à 2010 MHz et 2170 à 2200 MHz. La bande passante d'un canal est de 5 MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 de cette technologie varie entre 144 kbit/s pour une utilisation mobile (voiture, train, etc.) et 2000 kbit/s depuis un point fixe (Zone bâtiment)

8. Le mode de transmission dans le réseau UMTS :

Ce réseau repose sur deux modes :

Le mode circuit : Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode domaine circuit sera de 384 Kbits/s. L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC1/VLR (bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers le réseau externe.

Le mode paquet : Le domaine paquet permettra de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur Internet, de la gestion de jeux en réseaux ainsi que

l'accès et l'utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2Mbits/s.

L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC 1 VLR en réseau GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en réseau GSM) qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau Internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données.

III. La quatrième génération 4G :

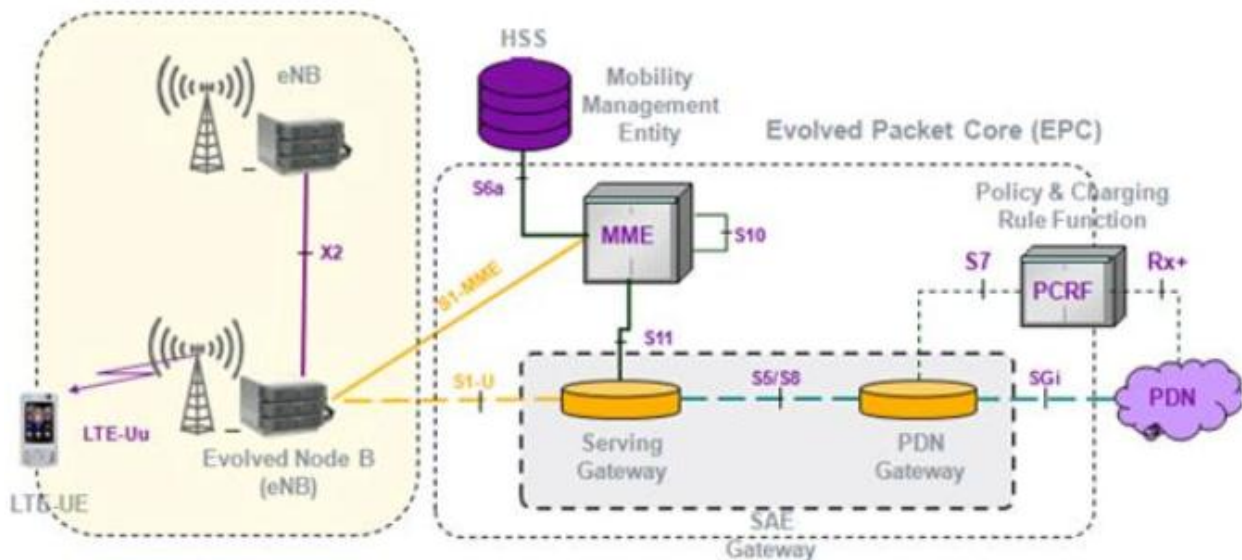
1. Introductions :

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à mêmes d'Elever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants.

Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée.

2. Architecture générale d'un réseau 4G :

Pour la LTE, on a éliminé le RNC pour minimiser le temps de Latence (temps de la transmission et réception des paquets) et du coup on a seulement les eNB (evolved Node B) qui sont interconnectés via l'interface X2 pour accélérer la procédure du HO (Handover). Le Handover est la procédure la plus compliquée dans le réseau pour les différentes générations. C'est lorsque l'utilisateur (l'abonné) va changer d'une cellule à une autre car il y a une dégradation pour notre signal, donc on doit changer rapidement de cellules en maintenant la continuité de la session (appel ou internet). N'oubliez pas aussi que toutes les fonctionnalités du RNC dans La 3G seront maintenant introduites dans l'eNB.



3. Le nouveau réseau d'accès :

LTE Comme pour le passage de la 2G à la 3G, la 4G s'appuie sur un nouveau réseau d'accès (le LTE). Un nouveau réseau d'accès veut donc dire de nouvelles bandes de fréquences à exploiter, des nouvelles antennes à déployer sur tout le territoire, et des nouveaux points de concentration à installer. Les bandes de fréquences pour la 4G sont variées : 700, 800, 1800, 2600. En 4G, dans le réseau d'accès LTE, les antennes sont appelées les e-Node B. Pour les opérateurs possédant déjà une forte couverture dans les autres technologies (2G et 3G), la mutualisation des sites d'antenne est possible et même souhaitable, afin de ne pas multiplier inutilement les sites hébergeant des antennes. Il est possible de remplacer les antennes 2G et 3G par des antennes émettant toutes les fréquences à la fois : 2G, 3G et 4G. Ainsi, avec une seule antenne, un opérateur peut couvrir un site avec toutes les technologies.

Avec le LTE, l'étape intermédiaire entre l'antenne et le réseau cœur disparaît. L'antenne (**eNode B**) est reliée directement au réseau cœur, évitant un intermédiaire et simplifiant l'architecture générale.

4. Le nouveau réseau cœur :

ePC Contrairement au passage de la 2G à la 3G, la 4G s'appuie sur un tout nouveau réseau cœur : l'evolved Packet Core. Ce nouveau réseau cœur utilise de nouveaux équipements, mais l'on y retrouve un peu l'esprit du réseau cœur paquet 2G et 3G. L'évolution majeure de l'ePC est la séparation des plans contrôle et usage pour les équipements cœur.

5. Les nouveaux éléments de la 4G :

Le SGSN est séparé en deux entités fonctionnelles différentes :

Le MME (Mobile Management Entity) pour le plan « contrôle » et le Serving Gateway pour le plan « usage ». Le MME va ainsi gérer les sessions (authentification, autorisations, session voix et donnée) et la mobilité (localisation, « paging », « hand-over »,...) du terminal.

La Serving Gateway sera responsable de l'acheminement des flux « utiles » dans le réseau cœur (les communications voix, le trafic data, etc...). Le GGSN quant à lui est remplacé par une PDN Gateway (Paquet Data Network Gateway). La PDN Gateway est responsable du lien avec les autres réseaux (publics ou privés), et notamment avec le monde Internet.

Le HLR est remplacé par un HSS (Home Subscriber Server). Le HSS est responsable d'à peu près les mêmes fonctionnalités que le HLR (base des profils des abonnés, avec leurs droits et leurs caractéristiques). Le HSS inclut en plus un lien possible avec le monde IMS, pour la gestion des services de voix enrichis. Un nouvel élément du cœur de réseau 4G est le PCRF (Policy and Charging Rules Fonction), qui permet la gestion dynamique de la facturation et de Policy de qualité de service des flux (flux best effort, flux « premium » avec bande passante et latence garanties, tarification dynamique suivant le flux, etc.).

Le PCEF (Policy and Charging Enforcing Function), module fonctionnel logé dans la PDN Gateway, applique les règles fixées par le PCRF.

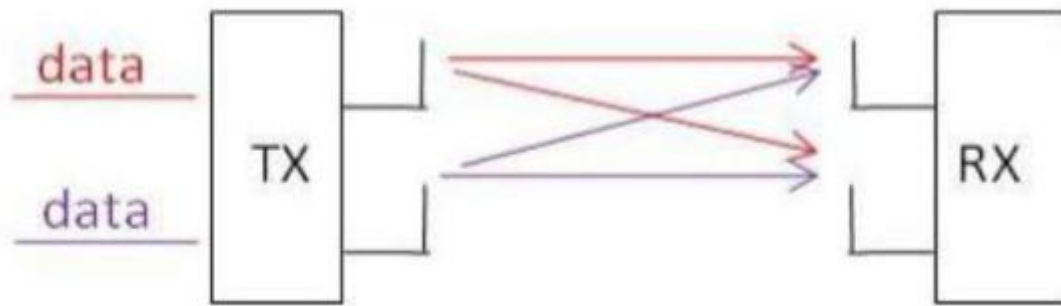
Enfin, l'IMS (IP Multimedia Subsystem), bien que ne faisant pas partie véritablement de la 4G, est un ensemble d'éléments permettant d'offrir des services multimédia sur les réseaux IP (et donc entre autre sur le réseau mobile). L'IMS permettra des services interpersonnels multimédia riches : voix sur IP, conférence vidéo, agenda enrichi, messagerie instantanée, sonnerie sur plusieurs terminaux, etc.

C'est pourquoi les chercheurs ne cessent de proposer des solutions pour accroître les débits de transmission. Ainsi l'apparition de nouveaux systèmes multi-antennes pour des applications en diversité et MIMO constituera peut être une révolution pour la quatrième génération (4 G). Dans le chapitre suivant, nous présentons les principes de diversité et du MIMO, ainsi que les différentes techniques qui leurs sont associées.

6. MIMO 4G :

La MIMO (multi input multi output) est une technique utilisée pour augmenter le débit global à travers la transmission de deux (ou plus) différents flux de données sur deux (ou plus) différentes antennes en utilisant les mêmes ressources en fréquence et en temps, séparés

seulement par l'utilisation de différents signaux de référence, reçus par deux ou plusieurs antennes.



On peut considérer trois catégories principales de MIMO :

La diversité spatiale MIMO : on transmet simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission. Le multiplexage spatial MIMO : chaque message est découpé en sous messages. On transmet simultanément les sous-messages différents sur chacune des antennes d'émission.

Le MIMO – Beamforming : on utilise le réseau d'antenne MIMO pour orienter et contrôler le faisceau d'onde radio (amplitude et phase du faisceau).

IV. La cinquième génération (5G) :

Avec une augmentation exponentielle de la demande des utilisateurs, la 4G sera maintenant facilement remplacée par la 5G avec une technologie d'accès avancée appelée BDMA (Beam Division Multiple Access) et un accès multiple non-orthogonal ou FBMC. Le concept derrière la technique BDMA est expliqué en considérant le cas de la station de base communiquant avec les stations mobiles. Dans cette communication, un faisceau orthogonal est attribué à chaque station mobile et la technique BDMA divise ce faisceau d'antenne en fonction des emplacements des stations mobiles pour donner des accès multiples aux stations mobiles, ce qui augmente d'autant la capacité du système.

Une idée de passer à la 5G est basée sur les dérives actuelles, on suppose généralement que les réseaux cellulaires 5G doivent répondre à six défis qui ne sont pas efficacement résolus par 4G : capacité plus élevée, débit de données plus élevé, latence de bout en bout plus faible, connectivité coût et constance du provisionnement de l'expérience de qualité.

Cette génération doit être détaillée dans le chapitre suivant,

Chapitre III : La cinquième génération 5G :

I. Introduction générale :

1. La 5G (new radio) :

5G New Radio (NR) est la norme sans fil qui deviendra le fondement de la prochaine génération de réseaux mobiles. Le développement du 5G NR fait partie du processus continu d'évolution du haut débit mobile pour répondre aux exigences de la 5G telles que définies par IMT-2020, similaire à l'évolution des technologies sans fil 3G et 4G. Dans le passé 3G et 4G personnes connectées, où la future 5G connectera tout signifie que 5G NR connectera nos smartphones, voitures, compteurs, ... Il vise à rendre le haut débit sans fil comme de filaire avec la performance de fibre à un coût par bit significativement plus bas. Avec de nouveaux niveaux de latence, de fiabilité et de sécurité, la 5G NR évoluera pour connecter efficacement l'Internet des Objets (IoT) et offrira de nouveaux types de services critiques.

La norme 3GPP 5G NR, qui doit être publiée avec la version 15 du 3GPP, sera développée pour inclure de nouvelles fonctionnalités, fonctions et services à partir de là. NR définira l'interface radio qui prendra en charge la connectivité de communication de prochaine génération.

Sur la base des travaux techniques en cours, la norme 5G NR considérera le fonctionnement autonome et non autonome des cellules NR. Dans une opération non autonome, la cellule NR utilisera la cellule LTE comme ancre du plan de contrôle tandis qu'en fonctionnement autonome, la cellule NR aura une fonctionnalité de plan de contrôle complet. Les cas d'utilisation ciblés comprennent le haut débit mobile amélioré (eMBB), les services critiques (MCS) et le dispositif connecté massif avec des communications ultra fiables et à faible latence dans les fréquences supérieures et inférieures à 6 GHz.

2. Bande de fréquence :

Il existe plusieurs bandes de fréquences de la 5G le tableau suivant nous donnent les principaux bandes de fonctionnement de la nouvelle génération

Spectre disponible au-dessus de 24 GHz

B: et	fmin	fmax	Bande passante disponible
28 GHz	27,50 GHz	28,35 GHz	850 MHz
37 GHz Bande 1	37,00 GHz	37,60 GHz	600 MHz
37 GHz Bande 2	37,60 GHz	38,60 GHz	1000 MHz
39 GHz	38,60 GHz	40,00 GHz	1400 MHz
60 GHz	64,00 GHz	71,00 GHz	7000 MHz

Spectre disponible au-dessous de 6 GHz en Chine et Japon

Pays	fmin	fmax	Bande passante disponible
Chine	3,40 GHz	3,60 GHz	200 MHz
Japon Band 1	3,60 GHz	4,20 GHz	600 MHz
Japon Band 2	4,40 GHz	4,90 GHz	500 MHz

II. Architecture générale et scénarios de déploiement :

1. Introduction :

Pour envisager le réseau 5G sur le marché maintenant, il est évident que les techniques d'accès multiples dans le réseau sont presque à un arrêt et nécessite une amélioration soudaine. Les technologies actuelles comme l'OFDMA fonctionneront au moins pour les 50 prochaines années. De plus, il n'y a pas besoin d'avoir un changement dans la configuration sans fil qui est venue de 1G à 4G. Cela provoquera la dérive des fournisseurs de paquets vers un réseau 5G dès la mise en place commerciale de 4G. Pour répondre aux demandes de l'utilisateur, un changement radical dans la stratégie de conception de l'architecture cellulaire sans fil 5G est nécessaire. Une observation générale des chercheurs a montré donc que la plupart des utilisateurs sans fil restent à l'intérieur pendant environ 80% du temps et à l'extérieur pendant environ 20% du temps. Dans l'architecture cellulaire sans fil actuelle, pour qu'un utilisateur mobile communique à l'intérieur ou à l'extérieur, une station de base extérieure présente au milieu d'une cellule facilite la communication. Ainsi, pour que les utilisateurs puissent communiquer avec la station de base extérieure, les signaux devront traverser les murs de l'intérieur, ce qui entraînera une perte de pénétration très élevée, ce qui entraîne une réduction de l'efficacité spectrale, du débit et de l'efficacité énergétique.

2. Architecture de la 5G :

L'architecture 5G est basée sur le concept réseau mobile MC_CDMA-WLAN. Le nœud mobile (MN), la station de base (BS), à fonction de contrôle de paquet (PCF), le nœud des services des paquets des données (PDSN) qui fournit l'interface IP à Internet tournant uniquement sous IPv6, le point d'accès (AP) et la fonction de l'interfonctionnement des paquets des données (PDIF) sont les principaux composants de cette architecture. A cette panoplie de nouvelles technologies réseau s'ajoutent d'autres techniques émergentes comme les deux technologies d'Ericsson, SDN (Software Defined Networking) et NFV (Network Functions Virtualization).

La figure 10 montre l'architecture de haut niveau qui peut être utilisée comme modèle de référence. La figure montre les éléments NextGen UE, NextGen RAN (Réseau d'accès), NextGen Core (Réseau cœur) et leurs points de référence.

N1: Point de référence pour le plan de contrôle entre NextGen UE et NextGen Core.

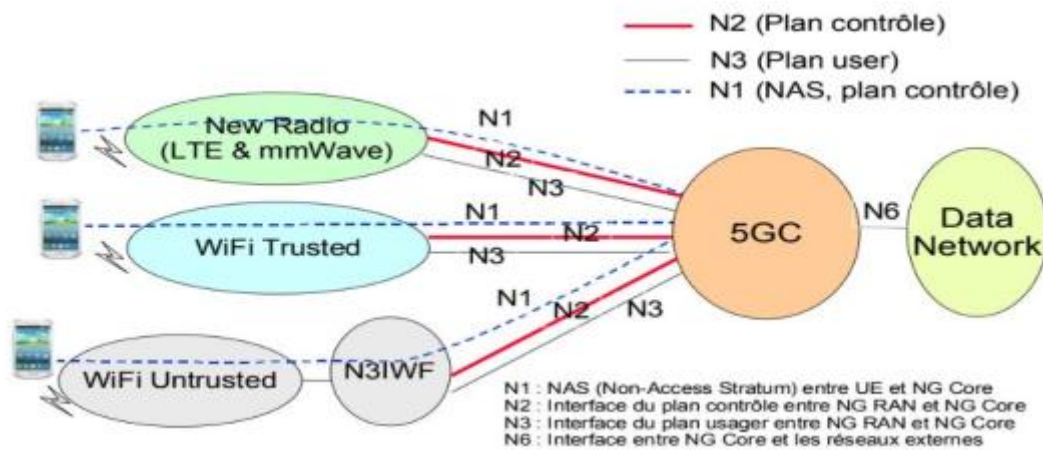
N2: Point de référence pour le plan de contrôle entre NextGen (RAN) et NextGen Core (NGCN).

N3: Point de référence pour le plan usager entre NextGen et NextGen Core.

N6: Il s'agit du point de référence entre NextGen Core et le réseau de données (PDN, Packet data Network). Le réseau de données peut être un réseau de données public ou privé externe d'opérateur ou un réseau de données intra-opérateur, pour la fourniture de services IMS.

Les principes d'architecture sont les suivants :

- L'UE peut être rattachée au réseau sans avoir de session établie pour la transmission de données (important notamment pour les devices IoT).
- L'UE ne peut dialoguer avec le 5GC que si l'UE supporte le protocole NAS (Non-Access Stratum).
- Les RANs (Radio Access Networks) ne peuvent dialoguer avec le réseau cœur 5G appelé NGCN ou 5GC que s'ils supportent les interfaces N2 (Plan contrôle) et N3 (Plan usager). La seule radio autorisées à s'interfacer au 5GC sont LTE et ses évolutions (LTEAdvanced, LTE-Advanced Pro), New Radio basée sur les évolutions futures LTE et mmWave et enfin WiFi (aussi bien WiFi trusted que WiFi untrusted). Dans le cas de l'accès WiFi untrusted, un élément d'interfonctionnement a été spécifié appelé N3IWF (Non-3GPP Interworking Function).
- Le réseau 5GC donne accès à des réseaux externes IP (Internet, Intranet, IMS) appelées Data Networks.

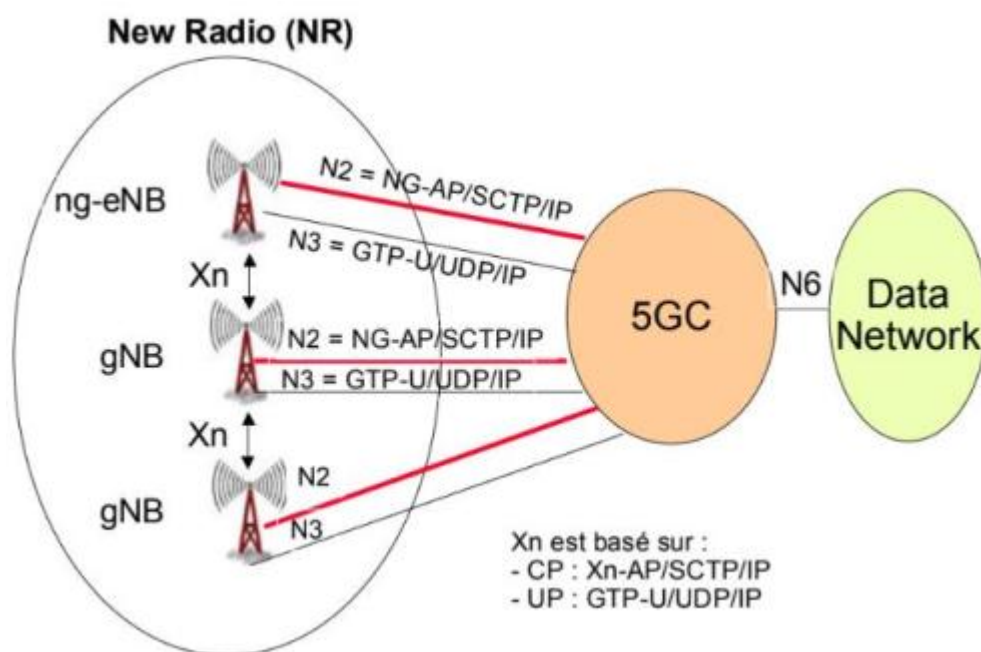


Le nouveau RAN est constitué des nœuds logiques suivants:

- gNBs comme nouveaux eNodeBs radio.
- ng-eNB est une évolution d'eNB qui prend en charge la connectivité à EPC et 5GC.

gNB fournit les terminaisons de protocole des plans Usager et Contrôle New Radio (NR) vers l'UE; eLTE eNBs fournit les terminaisons de protocole des plans Usager et Contrôle E-UTRA vers l'UE. L'interface du plan de contrôle entre gNB ou ng-eNB et le 5GC est appelée N2 qui s'appuie sur un transport SCTP sur IP. L'interface du plan utilisateur entre gNB ou ng-eNB et le 5GC est appelée N3 basée sur un transport UDP sur IP.

L'interface Xn permet la mobilité en mode actif entre les gNBs et les gNBs et les ng-eNBs..



Malgré la demande de l'industrie des télécommunications pour un réseau cœur de nouvelle génération multi-accès, et malgré l'interface standard pour découpler le RAN et le réseau cœur, le déploiement du réseau cœur 5G est intimement lié à l'introduction de services sur la radio 5G. Il existe deux manières de déployer la radio 5G : mode non-standalone (NSA) et mode

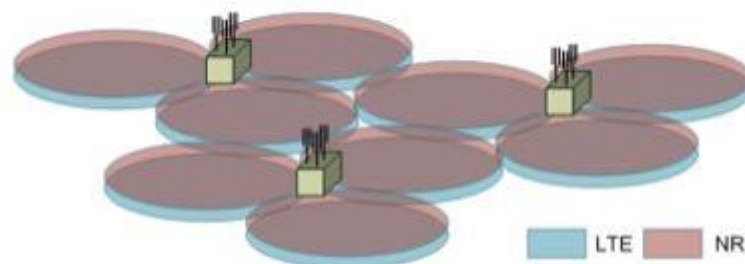
standalone (SA). En mode NSA, la New Radio (connue comme gNodeB (gNB)) est Colocalisée avec l'eNodeB (eNB) et se connecté au réseau cœur 4G (ePC) via l'interface S1-U pour le trafic du plan usager. Les communications du plan contrôle (pour MM et SM) entre l'UE et le réseau restent sur la radio LTE, et donc le réseau cœur 4G. Dans ce modèle, la radio 5G agit comme une radio secondaire donc le seul but est de booster le débit et la capacité.

Cela ne requiert pas de réseau cœur 5G et représente une solution attractive pour certains opérateurs. Pour déployer la 5G en mode SA, un réseau cœur 5G est requis. Certains opérateurs choisiront ce mode pour leur déploiement 5G initial notamment pour déployer des services uniquement 5G dans une aire géographiquement limitée sans interfonctionnement avec la 4G. A long terme, il y a un besoin d'intégration avec l'ePC afin de permettre la mobilité entre les accès 4G et 5G et l'intégration avec le RAN LTE évolué qui se connectera directement au réseau cœur 5G. Sur le long terme, il est attendu que le réseau cœur 5G soit le réseau cœur commun pour tous les types d'accès. Ainsi l'investissement sera transféré de l'ePC au 5GC en ligne avec le taux de migration de la base de clients. Par ailleurs, afin de fournir des nouveaux services avancés, tels que ceux qui requièrent une mobilité élevée, une latence très courte et une indépendance par rapport à l'accès, l'opérateur devra déployer le 5GC.

3. Déploiements de la 5G :

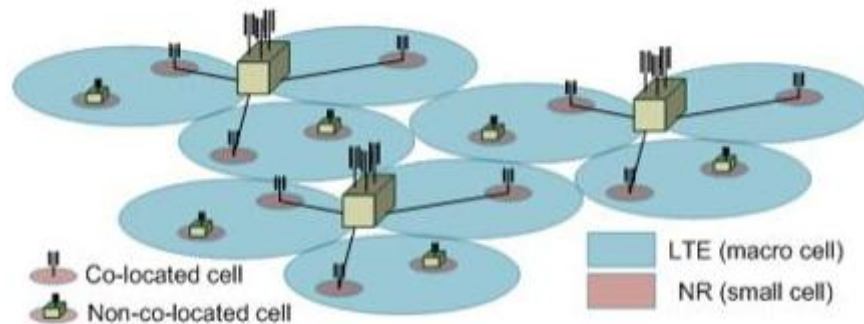
NR est capable de travailler dans des déploiements non autonomes et autonomes, le déploiement de phase 1 doit être considéré comme un déploiement non autonome. En termes de disposition cellulaire, une cellule 5G NR peut être déployée dans des déploiements homogènes et hétérogènes et trois cas peuvent être envisagés.

- **Cas - 1** Déploiement homogène où la cellule LTE et les cellules NR offrent une couverture similaire, cela se produira lorsque NR fonctionnera dans la même bande que LTE. Dans ce déploiement, les cellules sont des cellules co-localisées



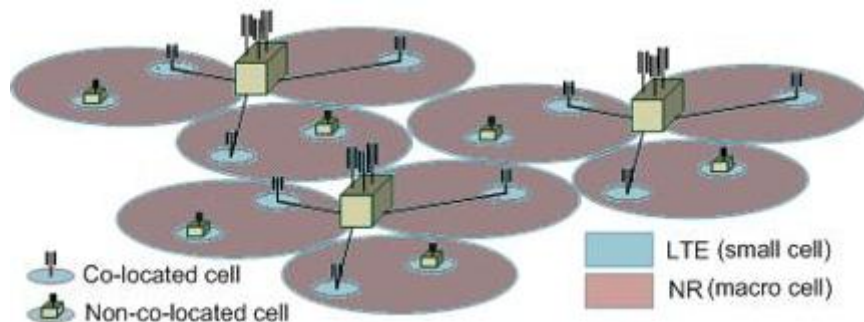
- **Cas n : 2** Déploiement hétérogène où les cellules LTE et NR ont une taille différente.

Dans ce type de déploiement, la cellule LTE a une taille de cellule importante pour répondre aux exigences de couverture tandis que la taille des cellules NR est faible pour répondre aux exigences de capacité. Ici, la cellule NR peut être déployée comme une cellule co-localisée ou une cellule non-localisée comme un point chaud.



- **Cas n : 3** Déploiement hétérogène où les cellules LTE et NR ont une taille différente.

Dans ce type de déploiement, la cellule NR a une taille de cellule importante pour répondre à l'exigence de couverture tandis que la taille des cellules LTE est petite pour répondre aux exigences de capacité. Ici, la cellule NR peut être déployée comme une cellule co-localisée ou une cellule non-localisée comme un point chaud.



4. Performances de la 5G :

Les chercheurs sont encore en train de terminer les indicateurs clés de performance (KPI) 5G / NR. Ces KPI qui sont issus de l'ITM-2020 et certains d'entre eux sont listés ci-dessous. Ces KPI considèrent principalement trois grandes catégories :

- Haut débit mobile amélioré (eMBB)
- Mission Critical Control (MCC)
- Internet des objets massif (IoT massif)

Paramètre	Indicateur de performance clé (KPI)	Catégorie
Taux de données de pointe	DL- 20 Gbps UL -10 Gbps	eMBB
Efficacité spectrale	DL- 30 bits / Hz UL-15 bits / Hz	eMBB
Latence	C-Plane -10 ms, U-Plane 0.5ms	MCC
Utilisateur Expe. Débit de données	DL-100 Mbps, UL -50 Mbps	eMBB
Capacité de trafic régional	10 Mbits / s / m2	IoT massif
Densité de connexion	1 million d'appareils / Km2	IoT massif
Efficacité énergétique	90% de réduction de la consommation d'énergie	IoT massif
Fiabilité	1 perte de paquets sur 100 millions de paquets	MCC
Mobilité	500Km / h	eMBB
Interruption de la mobilité	0 ms	MCC
Prise en charge de la bande passante système	jusqu'à 1 GHz	eMBB
Couverture	mMTC - 164 dB	IoT massif
UE Batterie Vie	mMTC - 15 ans	IoT massif

III. Etude détaillée de l'interface radio du réseau 5G :

1. Formes d'onde :

Un des principaux domaines d'intérêt est celui des nouvelles formes d'onde qui peuvent être vues. L'OFDM a été utilisé avec beaucoup de succès dans le 4G LTE ainsi que dans un certain nombre d'autres systèmes à haut débit, mais il présente certaines limites dans certaines circonstances. D'autres formats de forme d'onde sont discutés : GFDM, FBMC, UFMC.

Il n'y a pas de forme d'onde parfaite, et il est possible qu'OFDM sous la forme d'OFDMA soit utilisé car cela fournit d'excellentes performances globales sans être trop lourd sur le niveau de traitement requis. Plusieurs nouveaux formats de formes d'ondes 5G sont à l'étude. Ceux-ci incluent :

- **FBMC** (banque de filtres Multi-Carrier): FBMC a acquis un haut degré d'intérêt en tant que candidat potentiel à la forme d'onde 5G. Au lieu de filtrer toute la bande comme dans le cas de l'OFDM, FBMC filtre chaque sous-porteuse individuellement. FBMC n'a pas de préfixe cyclique et par conséquent, il est capable de fournir un très haut niveau d'efficacité spectrale.

Les filtres de sous-porteuse sont très étroits et nécessitent de longues constantes de temps

de filtrage. Typiquement, la constante de temps est quatre fois celle de la longueur de symbole de base multiporteuse et, par conséquent, des symboles uniques se chevauchent dans le temps. Pour atteindre l'orthogonalité, le décalage-QAM est utilisé comme schéma de modulation, donc FBMC n'est pas orthogonal par rapport au plan complexe.

- **UFMC** (Universal Filtered MultiCarrier): cette forme d'onde 5G peut être considérée comme une amélioration de CP-OFDM. Il diffère de FBMC en ce que, au lieu de filtrer chaque sous-porteuse individuellement, UFMC divise le signal en un certain nombre de sous-bandes qu'il filtre ensuite. UFMC n'a pas besoin d'utiliser un préfixe cyclique, bien que l'on puisse l'utiliser pour améliorer la protection contre les interférences entre symboles.
- **GFDM** (multiplexage par répartition en fréquence généralisée): GFDM est une technique de transmission multiporteuse flexible qui présente de nombreuses similitudes avec OFDM. La principale différence est que les porteurs ne sont pas orthogonaux entre eux.

GFDM fournit un meilleur contrôle des émissions hors bande et réduit le rapport puissance / puissance moyenne, PAPR. Ces deux problèmes sont les principaux inconvénients de la technologie OFDM.

- **OFDM filtré** (f-OFDM) Comme l'indique le nom f-OFDM cette forme d'OFDM utilise le filtrage pour fournir ses caractéristiques uniques. En utilisant f-OFDM, la bande passante disponible pour le canal sur lequel le signal doit être transmis est divisée en plusieurs sous-bandes. Différents types de services sont hébergés dans différents sous-groupes avec la forme d'onde la plus appropriée et la numéroteur. Ceci permet une bien meilleure utilisation du spectre pour la variété des services à transporter.
- En plus de ces formes d'onde, et le nombre d'autres formes d'ondes sont également considérés pour une utilisation avec 5G.

2. Accès multiple :

En conséquence, les schémas d'accès multiple 5G sont soigneusement étudiés et étudiés pour s'assurer que la ou les techniques optimales sont adoptées.

Plusieurs schémas d'accès multiples 5G candidats sont en cours d'exécution. Chacun à ses propres avantages et inconvénients et, par conséquent, aucune technique ne peut satisfaire à toutes les exigences.

Plusieurs systèmes candidats sont considérés comme le schéma d'accès multiple 5G.

Ils comprennent une variété d'idées différentes.

a. Accès multiple par division de fréquence orthogonale, OFDMA :

OFDMA a été largement utilisé et très réussi pour la 4G et pourrait être utilisé comme un système d'accès multiple 5G. Cependant, il nécessite l'utilisation de OFDM et nécessite une orthogonalité entre les porteuses et l'utilisation d'un préfixe cyclique présente certains inconvénients. En conséquence, d'autres schémas d'accès multiple sont étudiés

b. Accès multiple au code fragmenté, SCMA :

SCMA est une autre idée considérée comme un schéma d'accès multiple 5G et c'est effectivement une combinaison d'OFDMA et CDMA. Normalement, avec OFDMA, un ou plusieurs opérateurs sont affectés à un utilisateur donné. Cependant, si un code d'étalement est ajouté à chaque opérateur, il sera alors possible de transmettre des données à plusieurs utilisateurs ou à partir de plusieurs utilisateurs. Cette technique a été développée pour utiliser ce que l'on appelle un code clairsemé et de cette façon, un nombre significatif d'utilisateurs peut être ajouté tout en maintenant les niveaux d'efficacité spectrale. Pour en savoir plus sur l'accès multiple à code fragmenté, SCMA

c. Accès multiple non orthogonal, NOMA :

NOMA est l'une des techniques considérées comme un schéma d'accès multiple 5G. NOMA superpose plusieurs utilisateurs dans le domaine de puissance, en utilisant des techniques d'annulation pour supprimer le signal plus puissant. NOMA pourrait utiliser l'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence, OFDMA ou la transformée discrète de Fourier, OFDM à diffusion DFT.

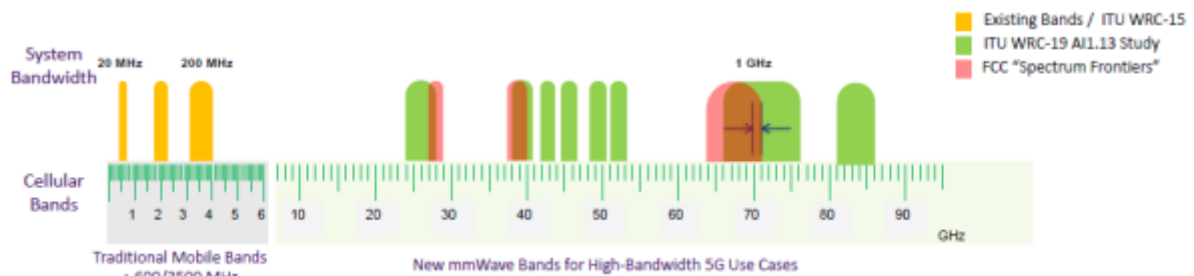
Il existe plusieurs schémas d'accès multiples qui pourraient être utilisés avec 5G. Celui ou ceux qui seront utilisés seront choisis à la suite du processus de normalisation en cours

3. Ondes millimétriques :

New Radio (NR) est la norme sans fil et le fondement de la 5ème génération de réseaux mobiles. Son développement fait partie du processus continu d'évolution de large bande mobile pour répondre aux exigences de la 5G comme indiqué par IMT-2020. NR vise à rendre le haut débit sans fil identique à celui du câble, avec des performances comparables à celles de la fibre à un coût par bit significativement plus bas. Pour ce faire, NR étudie de nouvelles possibilités de spectre pour répondre à la capacité et aux débits de données attendus et ce spectre est diffusé dans la bande cmWave et mmWaves.

Le spectre complet est représenté sur la figure ci-dessous. Il représente (en jaune) les bandes existantes qui peuvent déjà être utilisées et peuvent être utilisées par NR pour les applications

mobiles à haut débit et IoT massives. Puis montre la bande avec la couleur verte qui est à l'étude par ITU WRC-19 et la bande de couleur rouge avec une plus grande bande passante.



5G NR peut utiliser un spectre de 6 GHz à 100 GHz. Il y a une augmentation de 10 fois la bande passante du système 5G (de 100 MHz en LTE-A à 1 GHz +) quand on la compare à la LTE-A. Les bandes de NR sont essentiellement classées Low Band, Mid Band et High Band et celles-ci peuvent être utilisées en fonction de l'application indiquée ci-dessous:

- Bandes faibles au-dessous de 1 GHz: portée plus large pour, par exemple, bande large mobile et IoT massif, par exemple 600 MHz, 700 MHz, 850/900 MHz
- Bandes intermédiaires 1 GHz à 6 GHz: bandes passantes plus larges pour, par exemple, eMBB et critiques, par exemple 3,4-3,8 GHz, 3,8-4,2 GHz, 4,4-4,9 GHz
- Bandes supérieures au-dessus de 24 GHz (mmWave): bandes passantes extrêmes, par exemple 24,25-27,5 GHz, 27,5-29,5, 37-40, 64-71 GHz

4. Massive MIMO :

a. Généralités sur la massive MIMO :

Dans un réseau sans fil, deux nœuds sans fil communiquent en transmettant et en recevant des données sur un canal radio. Ce canal utilise une certaine quantité de spectre sans fil - et dans de nombreux domaines, le spectre approprié est rare, ce qui rend l'utilisation d'un plus grand nombre impossible. Alors, comment un réseau sans fil peut-il multiplier sa capacité sans multiplier le spectre qu'il utilise ?

La sortie multiple à entrées multiples, ou MIMO, est une gamme de technologies utilisée pour multiplier la capacité d'une connexion sans fil sans nécessiter plus de spectre. De nombreuses technologies sans fil modernes, du WiFi au LTE, utilisent les techniques MIMO pour atteindre une plus grande capacité sans plus de spectre.

Les techniques MIMO plus avancées utilisent plusieurs antennes pour transmettre et recevoir des données. Les systèmes incorporant un grand nombre d'antennes de ce type sont connus sous le nom de systèmes MIMO massifs. Il n'existe actuellement aucune définition fixe du nombre d'antennes qu'un système doit avoir pour être considéré comme MIMO Massive, mais un système avec des antennes supérieures à 8×8 est généralement considéré comme un système

MIMO Massive. Le chiffre 8×8 fait référence à 8 antennes d'émission et 8 antennes de réception. Les systèmes MIMO massifs, bien que très difficiles à mettre en œuvre de manière pratique, offrent des avantages significatifs par rapport aux systèmes MIMO non Massive. En s'appuyant sur les principes MIMO, ils permettent de multiplier de manière significative la capacité du réseau sans nécessiter plus de spectre sans fil.

Avec le MIMO massif, nous pensons aux systèmes qui utilisent des réseaux d'antennes avec quelques centaines d'antennes servant simultanément plusieurs dizaines de terminaux dans la même ressource temps-fréquence. La prémisse de base derrière MIMO massive est de récolter tous les avantages de MIMO conventionnelle, mais à une échelle beaucoup plus grande.

Globalement, le MIMO massif est un catalyseur pour le développement de futurs réseaux haut débit (fixes et mobiles), qui seront économes en énergie, sécurisés et robustes, et utiliseront efficacement le spectre. En tant que tel, il est un facilitateur pour la future infrastructure de la société numérique qui reliera l'Internet des personnes et l'Internet des objets avec les nuages et autres infrastructures de réseau.



b. Avantages massifs MIMO :

L'utilisation de la grande technologie MIMO présente de nombreux avantages. L'utilisation d'un plus grand nombre d'antennes dans un système MIMO crée plus de degrés de liberté dans le domaine spatial, ce qui permet d'améliorer davantage les performances :

- Augmentation de la capacité : L'augmentation du nombre d'antennes permet une plus grande capacité de cellule du multiplexage spatial agressif utilisé.
- Augmentation du débit de données : En raison de plus d'antennes, les flux de données plus indépendants peuvent être envoyés et donc un niveau de données beaucoup plus important à transférer dans un temps donné.
- Augmentation du rapport signal / bruit de la liaison de base : L'un des avantages fondamentaux de l'utilisation des systèmes MIMO est qu'il peut être utilisé pour améliorer le rapport signal /

bruit du système global.

- Dans les PAs onéreux et de faible puissance : Avec les MIMO massifs, les amplificateurs de puissance coûteux et de haute puissance (50W) utilisés dans les systèmes conventionnels remplacés par des centaines d'amplificateurs de faible coût avec une puissance dans la gamme de milliwatts. Massive MIMO réduit les contraintes sur la linéarité et la précision de l'amplificateur individuel et de la chaîne RF.
- Efficacité énergétique améliorée et moins d'interférences : Avec le MIMO massif, les stations de base peuvent concentrer leur énergie émise dans les directions spatiales où elles savent que les terminaux sont situés. Et les stations de base peuvent délibérément éviter de transmettre dans des directions où l'interférence d'étalement serait nuisible, ce qui réduit les interférences avec d'autres systèmes. Massive MIMO réduit les contraintes sur la linéarité et la précision de l'amplificateur individuel et de la chaîne RF.