REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DEMOCRATIQUEET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université YAHIA FARES DE MÉDÉA



Faculté de Technologie

Département : Génie Électrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : télécommunications

Spécialité : Système de Télécommunications

Etude les Performances du Canal de Liaison Descendante PDSCH-NR pour le Réseau mobile 5G

Encadré par :

- Dr. KROBBA Ahmed

Présenté par :

- CHIAEB SETTI ISLAM

Année universitaire 2023/2024

Dédicaces

La première des pages qui reste la dernière à écrire ...Et voilà le moment d'achever des merveilleuses années en université, des années pleines avec des magnifiques moments et des bons amis.je dédie ce modeste travail a :

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à : Ma mère qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, À mon père qui nous a quitté trop tôt.

À mes très chers frères : ***karim, nabil*** *Mes chères sœurs :* ***ismahan et chahinez et dalal,*** *merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre amour dévoué et votre tendresse, pour donner du goût et du sens à ma vie. En témoignage de mon amour et de ma grande affection, je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de mon estime et mon sincère attachement. Je prie Allah, le tout puissant, pour qu'il vous donne bonheur et prospérité.*

A mes amis qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient Toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis « khaled, younes, hallouane et Surtout à mon proche partenaire Abir

A mes nièces et mes neveux : tasnim, lamis, aymen, anes,mesk roh … Céline,

A toute ma famille

Islam

Remerciement

Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir donné la Volonté, le courage et la patience pour terminer ce travail.

Notre profond respect et nos sincères remerciements à Monsieur ***A.Krobba****, pour nous avoir fait confiance pour avoir accepté de diriger la réalisation de ce mémoire et pour son soutien inconditionnel.*

Nous adressons nos respectueux remerciements à tous les membres du jury qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de notre travail.

Nos vifs remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation tout au long de nos études.

Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements vont également à l'encontre de toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Islam.

Liste des Abréviations

1G : la première génération du réseau mobile

2G : La deuxième génération du réseau mobile.

3G : La troisième génération de réseaux mobiles.

4G : La quatrième génération des téléphones mobiles.

GPRS : General Packet Radio Service

HSPA : High Speed Packet Access

LTE : Long Terme Evolution

AMPS : Advanced Mobile Phone System

FDMA : Frequency Division Multiple Access

NMT : Nordic Mobile Téléphone

TACS : Total Access Communications System

ETA : Extended Total Access Communication System

JTACS : Japon Total Access Communications System

la NMT-F : Nordic Mobile Téléphone « Français »

GSM : Global System for Mobile communications

PDG : Personal Digital Cellular System

PCS : Personal Communication System

TDMA : Time Division Multiple Access

MME : Mobility Management Entity

HSS : Home Subscriber Server

SGW : Serving Gateway

PGW : Packet Data Network Gateway

PDN : Packet Data Network

IOT : Internet Of Things-internet des objets

SDN : Software Defined Networks

NG-RAN : New Generation Radio Acces Network

MIMO: Multiple Input Multiple Output

NLOS : None Line Of Sight

LOS : Line Of Sight

AWGN: Additive White Gaussian Noise

BCCH : Broadcast control channel

PCCH: Paging control Channel

PMCH: Canal de multidiffusion physique

DMCH : Canal de liaison descendante de diffusion et de multidiffusion

PDSCH : Physical Data Shared Channel

PDCCH : canal de contrôle physique de liaison descendante

PUCCH: Physical Uplink Control Channe

PUSCH : Physical Uplink Shared Channel

eNodeB : evolved Node B

PCFICH : Physical Control Format Indicator Channel

QAM : Modulation d'amplitude en quadrature

LDPC : Low-Density Parity-Check

Listes des Figures

Fig.1.1 : Cycles des générations de téléphonie mobile…… **4**

Fig.1.2 : Les différentes technologies d'accès sans fil pour l'utilisateur ……... **8**

Fig. 1.3 : Architecture générale d'un réseau 4G……. **10**

Fig.1.4 : Applications de la 5G..... **12**

Fig.1.5 : L'architecture de 5G …… **13**

Fig.1.6 : Session PDU et flux QOS : plan utilisateur (UP) …… **13**

Fig.1.7 : La séparation fonctionnelle entre NG-RAN et 5GC …… **14**

Fig.1.8 : Architecture de NG-RAN …… **15**

Fig.1.9 : L'architecture du système 5G, no-roaming …… **16**

Fig.1.10 : Architecture de système MIMO ……. **17**

Fig 2.1 : Schéma simplifié d'un système de transmission numérique …….. **20**

Fig. 2.2 :L'environnement et mécanismes de propagatio ……. **21**

Fig 2.3 : Propagation multi-trajets NLOS ……. **22**

Fig 2.4 : Propagation multi-trajets LOS ……. **22**

Fig 2.5 : Fluctuations à petite et à grande échelles de la réponse du canal …… **23**

Fig.2.6 : Classification des évanouissements du canal …….. **25**

Fig 2.7 : Interaction de l'onde électromagnétique avec son milieu …….. **26**

Fig. 2.8 : Cartographie des canaux logiques, de transport et physiques de liaison descendante 5G NR …… **29**

Fig.2.9 : Cartographie des canaux logiques, de transport et physiques de liaison montante 5G NR …… **29**

Fig 2.10: Canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH) **34**

Fig 3.1 : Schéma fonctionnel du canal PDSCH avec MU-MIMO …… **43**

Fig 3.2 : Débit du canal (PDSCH) pour deux utilisateurs ……. **45**

Fig3.3 : Débit du canal (PDSCH) pour trois utilisateurs …….. **46**

Fig 3.4 : Débit du canal (PDSCH) pour quatre utilisateurs …….. **46**

Fig 3.5 : Débit du canal (PDSCH) pour la fréquence de sous-porteuse 30kHz … **47**

Fig 3.6 : Débit du canal (PDSCH) pour la fréquence de sous-porteuse 40kHz **…** **48**

Fig 3.7 : Débit du canal (PDSCH) pour la fréquence de sous-porteuse 60kHz **……** **48**

Fig 3.8 : Taux d'erreur de bloc en focntion du SNR pour le nombre de répétitions des blocs dans le canal NPDSCH, Nrep=1 (bleu), Nrep=32 (rouge), Nrep=256 (jaune) **……** **50**

Fig 3.9 : Taux d'erreur bit (BER) en fonction SNR pour le type de modulation QPSK et 64 QAM **……** **51**

Fig 3.10 : Taux d'erreur bit (BER) en fonction SNR pour le type de modulation **…**

QPSK et 25 **…….** **51**

Liste des tableaux

L'analyse des performances des canaux 5G (PDSCH-NR) ……. **42**

Tables des matières

Dédicaces.....**iii**
Remerciement .....**iiii**
Abbreviations.....**iv**
Listes des figures.....**viii**
Liste des tableaux .....Erreur ! Signet non défini.**vii**
Introduction générale……1

Chapitre01: Généralité sur le réseau mobile 5G

1.1. Introduction…… 3
1.2. Les réseaux de communications cellulaires……. 3
1.2 .1 Première génération (1G)……... 5
1.2.2 La deuxième génération (2G)……. 5
1.2.3 La troisième génération (3G)…….. 6
1.2.4 La quatrième génération (4G)…… 7
1.2.5 L'architecture de la 4G LTE ……. 8
1.2.6 La nouvelle génération 5G…….. 10
1.2.6.1 Objectif de la 5G …….. 10
1.2.6.2 Applications visées pour le réseau de 5G……. 12
1.2.6.3 Architecture de 5G …… 12
1.2.6.4 New Generation Radio Acces Network (NG-RAN)…… 14
1.2.6.5 Cor Network de 5G…… 15
1.3 Technologies en cours d'étude 5G …… 16
1.3.1 Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) …….. 16
1.4. Conclusion…… 19

Chapitre02: Les canaux de Transmission en réseau mobile 5G

2.1 Introduction……. 20

2.2 Les systèmes de transmission……. 20

2.3 Canaux de transmission 5G…… 21

2.3.1 Description des phénomènes physiques dans un canal radio……... 21

2.2.2 Les scénarios LOS et NLOS…… 21

2.2.3 Les mécanismes de propagation……. 22

2.2.3.1 Dispersion (Scattering)……. 22

2.2.3.2 L'évanouissement à large échelle…… 23

2.2.3.3 L'évanouissement à petite échèle…… 25

2.3 Les types de canaux de transmission…… 26

2.3.1 Le canal de transmission avec bruit blanc additif gaussien (AWGN)…… 27

2.3.2 Le canal de transmission du Rayleigh…… 27

2.4 Canaux de transmission 5G……... 27

2.4.1 Canaux logiques 5G NR……. 30

2.4.2 Canaux de transport 5G NR…….. 31

2.4.3 Canaux de données de la couche physique 5G NR…….. 32

2.4.4 Canaux physiques de liaison montante 5G NR……..... 33

2.5 Types de canaux de liaison descendante 5G…… 33

2.5.1 Canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH)……. 33

2.5.2 Objet du PDSCH …….. 34

2.5.3 Caractéristiques clés du PDSCH……. 34

2.5.4 Mappage avec les ressources physiques……. 35

2.5.5 Fonctionnalités avancées et efficacité…….. 36

2.5.6 Coexistence avec d'autres canaux…… 36

2.5.7 Canal de liaison descendante multi-composante (MCS)…… 37

2.5.8 Canal de radiomessagerie physique (PCCH)……. 38

2.5.9 Fonctionnement principal du PCCH ……. 38

2.5.10 Caractéristiques importantes du PCCH…….. 39

2.5.11 Canal de multidiffusion physique (PMCH)……. 39

2.6 Conclusion…… 40

Chapitre03:Performances du canal physique de liaison descendante (PDSCH-NR): Simulation et résultats

3.1 Introduction…… 42

3.2 Langage utilisée……. 42

3.3 Méthodes d'analyse…….. 42

3.3.1 Critères d'évaluation…… 42

3.2 Les performances de débit du canal (PDSCH) pour le cas de multi-utilisateur (MU-MIMO)…….. 43

3.2 Les performances de débit du canal (PDSCH) dans les différents des fréquences de sous-porteuse…….. 47

3.3 Les performances du canal (PDSCH) pour les différents nombre de blocs 49

3.4 Les performances du canal (PDSCH) pour les différents types de modulation 50

3.53.5 Conclusion…….. 52

CONCLUSION GENERALE……. 53

Bibliographie

Introduction Générale

Depuis quelques décennies, un développement très rapide dans le domaine des communications sans fil, motivé par des besoins croissants en termes de débit, de mobilité des terminaux, et par un contexte d'encombrement de la ressource spectrale. Les anciens systèmes mobiles ne permettent pas de répondre de manière optimale à ces besoins en raison de la sélectivité en fréquence des canaux et des multiples trajets qu'un même signal peut emprunter.

Les anciens systèmes mobiles se caractérisent généralement par des changements dans la nature du système, la vitesse, la technologie, la fréquence, la capacité de données, la latence, etc. La nouvelle génération (5G) intègre plusieurs techniques, dont le beamforming MIMO. Cette technique de formation de faisceaux pour les systèmes multi-antennes (MIMO) permet d'augmenter la capacité des systèmes de communication sans fil en utilisant plusieurs antennes simultanément en émission et en réception. Cela permet également de réduire la consommation énergétique et d'exploiter la diversité spatiale.

La plupart des organisations disposent de deux canaux de communication distincts : physique et numérique. Les communications physiques comprennent les produits, les emballages, les dépliants, les panneaux publicitaires et les cartes de fidélité d'une marque. Les communications numériques incluent des éléments tels que les réseaux sociaux, le site Web, les e-mails et les SMS d'une marque.

Les canaux physiques correspondent à des ensembles de ressources temps-fréquence utilisées pour la transmission de données de canal de transport particulières, d'informations de commande ou d'informations d'indicateur. Chaque canal de transport est mappé à un canal physique correspondant. Dans les réseaux mobile LTE et 5G, le canal partagé de liaison descendante (DL-SCH) est un canal de transport utilisé pour la transmission des données utilisateur, du contrôle dédié, des informations de couche supérieure spécifiques à l'utilisateur et des informations du système de liaison descendante. Dans le cadre de ce projet nous allons nous intéresser à l'analyse des performances du canal physique partagé de liaison descendante "PDSCH" (Physical Data Shared

Channel). Ce dernier joue un rôle crucial dans la technologie de télécommunication 5G NR, qui transporte les données codées DL-SCH. De ce fait, nous examinerons les

paramètres impactant sur ses performances et réaliserons une étude comparative sur les différentes méthodes de modulation en se basant sur des critères de performances tels que le taux d'erreur par blocs BLER, BER débit et le SNR.

Ce mémoire sera décomposé en trois chapitres.

- Le premier chapitre, comportera sur l'évolution des réseaux de communications mobiles et des généralités sur la technologie 5G, ses étapes de standardisation par l'UIT et le 3GPP ainsi que les promesses attendues de cette génération, son architecture, ses piles protocolaires et ses techniques MIMO
- Le second chapitre mettant en lumière sa diversité de canaux physiques et de signaux, et leur rôle crucial dans la transmission optimale des données.
- Le troisième et dernier chapitre sera consacré aux simulations et a l'analyse des résultats sur les performances du canal PDSCH

Chapitre. 1

Généralité sur le réseau mobile 5G

1.1. Introduction

La réussite des réseaux filaires d'un côté et le désir des utilisateurs de se libérer des contraintes de la filaire et de bénéficier de plus de liberté de l'autre ont fortement encouragé le développement d'un autre type de réseau. Les réseaux de communication mobile offrent la possibilité aux individus d'échanger avec d'autres personnes dans le monde entier à l'aide d'appareils mobiles comme les téléphones portables. Ils sont devenus indispensables pour la communication personnelle et professionnelle, ainsi que pour l'accès à Internet et aux services en ligne. Il existe différents types de réseaux mobiles comme les réseaux sans fil à courte portée, les réseaux de satellites et les réseaux cellulaires, ces derniers sont les plus utilisés, ils ont connu plusieurs générations successives, chaque nouvelle génération apportant des améliorations en termes de débit et de couverture réseau. Dans ce contexte, la première partie de ce chapitre présente de manière chronologique des réseaux mobiles. La deuxième partie aborde les technologies en cours d'étude et les applications envisagées pour la 5G.

1.2. Les réseaux de communications cellulaires

Les réseaux mobiles sont des réseaux sans fil dans lesquels au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaisons filaires. Grace à ce type de réseau, un utilisateur (abonné) a la possibilité de rester connecté au réseau tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on parle de mobilité. Ces réseaux sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques et utilisent l'interface radio comme support de transmission [1]. Le développement des réseaux mobiles s'est déroulé en plusieurs étapes :

Le réseau 1G s'agit de la toute première génération du réseau mobile. Déployé en France dès 1986 sous le nom de Radiocom 2000. La 1G était accessible par le biais de téléphones analogiques transportables, essentiellement intégrés aux voitures.

Le réseau 2G, déployé en 1990 est toujours actif. Il représente le symbole du passage de l'analogique au numérique. En termes d'usages, la 2G est suffisante pour appeler et envoyer des SMS, voire des MMS. Les débits généralement observés en 2G sont de 9.6Kbits/s. Ce réseau a connu trois améliorations successives avec le réseau GPRS aussi appelé 2,5G et le réseau EDGE (évolution du GPRS) appelé aussi 2,75G.

Le réseau 3G, qui fonctionne exclusivement sur les bandes de fréquences 900 MHz et 2100 MHz, et avec un débit de 1,9Mbits/s. Il a connu trois améliorations successives avec la 3G+ (aussi appelée HSPA), le H+ (HSPA+) et le H+ Dual Carrier (DC-HSPA+). Il s'agit d'évolutions de l'UMTS visant à bénéficier de meilleurs débits : 3,6Mbits/s pour la 3G+, 5Mbits/s pour le H+ et 10Mbits/s pour le H+ Dual Carrier. Ces avancées ont permis d'aller plus loin dans l'usage d'Internet, avec notamment la possibilité de visionner des vidéos instantanément et sans attendre le temps du chargement. La 4G ou LTE (Long Term Evolution) donne aux usagers l'opportunité de surfer à une très grande vitesse. Avec un débit élevé, la 4G permet de transférer des fichiers lourds, de visionner des vidéos en HD, de "live-streamer", etc. [2] La 5G est la dernière-née des générations de téléphonie mobile. Son déploiement s'inscrit dans une évolution continue depuis les années 1980 de technologies (GSM, UMT, LTE…) visant, au cours des générations successives, à transmettre la voix, les données, puis les données mobiles, avec un accroissement concomitant du débit d'information. Le concept de 5G regroupe à la fois une évolution des réseaux mobiles existants pour satisfaire les futures demandes en transfert de données, mais aussi une révolution avec la création d'une nouvelle technologie de communication plus compétitive, c'est-à-dire un réseau qui sera plus efficace et moins cher [3].

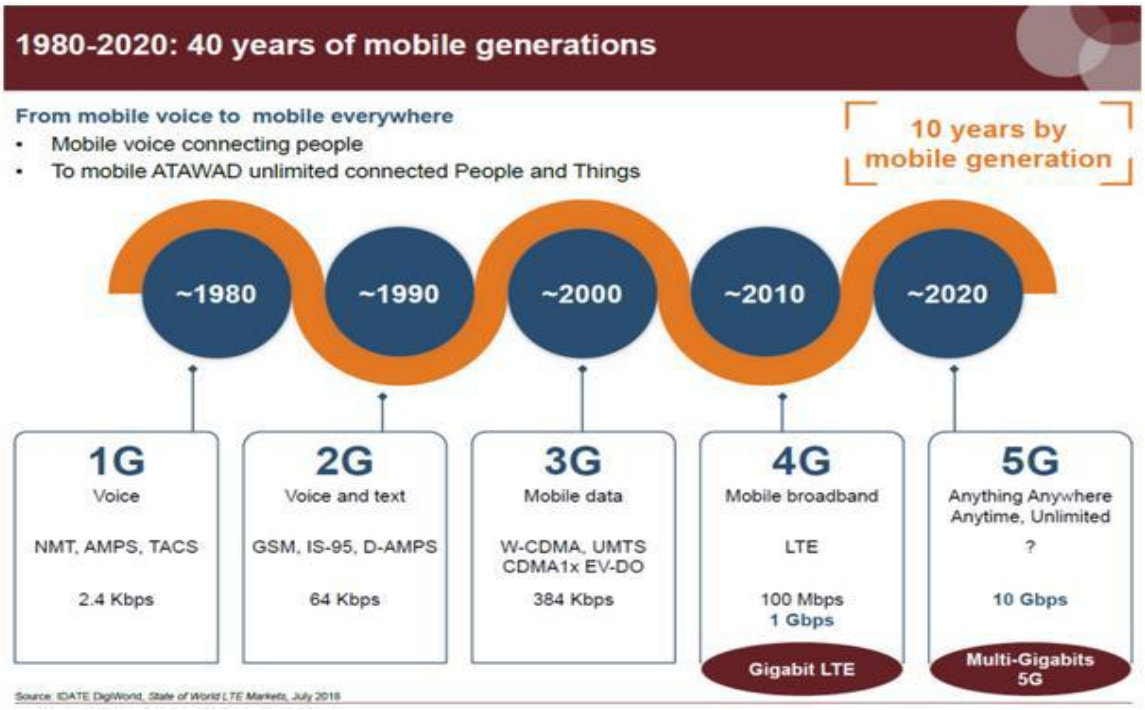


Fig.1.1 Cycles des générations de téléphonie mobile

1.2 .1 Première génération (1G)

Apparue dans les années 70, La première génération de systèmes cellulaires de réseaux mobiles (1G) est uniquement dédiée aux appels vocaux. Elle reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Cette génération bénéficiée de deux inventions techniques majeures des années 1970 : le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base. Les appareilles utilisés étaient particulièrement volumineux. De nombreux standards du réseau 1G ont eu cours à travers le monde depuis son apparition en 1976, parmi lesquels [4]

• La norme AMPS (Advanced Mobile Phone System) lancé aux États-Unis à partir de

1976, en Russie, en Australie et dans plusieurs pays asiatiques. Elle est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).

• La norme NMT (Nordic Mobile Téléphone), exploitée au début des années 80 dans les pays nordiques et dans de nombreux pays européens, en Russie, au Moyen-Orient et en Asie.

• La norme TACS (Total Access Communications System), qui la version européenne de la technologie AMPS, largement utilisée au Royaume-Uni, à Hong-Kong et au Japon.

• La norme ETACS (Extended Total Access Communication System) est une version améliorée du standard TACS, il a été développé au Royaume-Uni et permet l'utilisation d'un nombre plus important de canaux de communications.

• Les normes TZ-801, TZ-802, TZ-803 et JTACS (Japan Total Access Communications System) utilisées au Japon à partir de 1979.

• La norme Radiocom 2000 déployée en France par France Telecom à partir de 1986, ainsi que la NMT-F (Nordic Mobile Téléphone « Français ») lancée en 1988

1.2.2 La deuxième génération (2G)

Apparue au début des années 90, comme conséquence des développements technologiques dans le domaine des composants radio fréquence et des dispositifs de traitement numérique du signal. L'usage de la technologie numérique a en effet

permis de résoudre les problèmes de capacité et de sécurité inhérents aux systèmes de 1G, et de créer des nouveaux services, comme la messagerie texte (SMS : Short Message Service). L'un des standards les plus répandu de la 2G est sans doute, le GSM (Global System for Mobile communications) [5]

en Europe, le PDG (Personal Digital Cellular System) au Japon, les réseaux PCS (Personal Communication System) aux Etats-Unis, fondés sur la technique d'accès TDMA (Time Division Multiple Access).

Les systèmes de deuxième génération offrent plusieurs avantages par rapport aux systèmes analogiques, mais restent néanmoins concentrés sur l'optimisation d'un seul service : la voix, le débit de transfert de données n'a pas été une priorité et reste assez limité à l'ère des communications multimédia, pour palier à cette situation une technologie de transition, souvent dénotée par 2.5G, a été développée. Cette évolution avait pour but de permettre aux opérateurs de réseaux mobiles de déployer des services de données plus efficaces tout en gardant la même infrastructure de leur réseau 2G. Dans un environnement ou l'internet, l'e-commerce et le multimédia sont très présents, les réseaux qui offrent un support limité en transferts de données présentent un inconvénient majeur, les utilisateurs ne veulent pas seulement parler, mais ils veulent aussi naviguer facilement dans le web, envoyer des courriers comme ils le font sur un ordinateur. Ces utilisateurs veulent non seulement avoir tous ces services à leur disposition, mais aussi être libres dans leurs mouvements en les utilisant. Afin de satisfaire ces besoins d'autres technologies sont nécessaires elles forment la troisième génération.

1.2.3 La troisième génération (3G)

Au cours des années 1990, la nécessité de soutenir non seulement les services de voix mais aussi de données a commencé à émerger, ce qui a conduit à la nécessité d'une nouvelle génération de technologies cellulaires allant au-delà des services vocaux seulement. À la fin de cette époque, le GSM, bien qu'il soit développé en Europe, était déjà devenue une norme mondiale de facto. Pour assurer une portée mondiale aussi pour les technologies 3G, il a été réalisé que le développement 3G devait être effectué à l'échelle mondiale. Pour faciliter cela, le projet de partenariat de troisième génération (3GPP) a été formé pour développer les technologies WCDMA et TD-SCDMA 3G. Peu de temps après, l'organisation parallèle 3GPP2 a été créé

pour développer la technologie concurrente CDMA2000 3G, une évolution de la technologie 2G IS-95 [6]. La première version de WCDMA (R 99) a été finalisée en 1999, Elle comprenait des services vocaux et vidéo commutés sur circuit, ainsi que des services de données sur les porteurs commutés à paquets et les porteurs commutés sur circuit [6]. La HSPA, parfois appelé 3.5G, a permis une « vraie » expérience mobile-large bande avec des taux de données de plusieurs Mbit/s tout en maintenant la compatibilité avec les spécifications 3G d'origine.

L'utilisation des téléphones intelligents aurait été beaucoup plus lente et serait très limitée. Au même temps, l'utilisation massive de téléphones intelligents et d'une large gamme de services basés sur les paquets tels que les réseaux sociaux, la vidéo, les jeux et les achats en ligne se traduit par des exigences en matière de capacité accrue et d'amélioration de l'efficacité spectrale. Les utilisateurs qui s'habituent de plus en plus aux services mobiles remontent également leurs attentes en termes d'augmentation des taux de données et de réduction de la latence. Ces besoins ont été en partie gérés par une évolution continue et toujours en cours de HSPA, mais il a également déclenché les discussions sur la technologie 4G au milieu des années 2000 [6].

Il présente de nombreuses caractéristiques, parmi eux les points suivants :

- Il fonctionne avec les systèmes de commutation de paquets utilisés pour la transmission de données et de commutation de circuits pour la transmission vocale.

- Les données sont transférées sur une bande passante de 5 MHz.

- Utilisé pour les appels vocaux et la transmission de données.

- La vitesse de transfert de données atteint plus de 42 Mbps

1.2.4 La quatrième génération (4G)

La définition de la 4G a évolué comme une nouvelle vague d'efforts de données de commercialisation des mobiles qui se déplace le terme dans l'œil du public à différencier les marques. L'union internationale des télécommunications (UIT), qui supervise le développement de la plupart des normes de données cellulaires, a récemment publié une déclaration soulignant que la 4G terme n'est pas défini. En réponse, les opérateurs mobiles avec des architectures 3G avancés a commencé la commercialisation des services «4G». De toute évidence, les ingénieurs ne veulent

pas du commerçant d'usurper la vision d'une amélioration d'un ordre de grandeur à chaque génération d'architectures cellulaires, encore, les commerçants veulent tirer parti de la dernière tendance, tandis que cela semble encore ésotérique [7], les différentes technologies sans fil présente dans la Figure.1.2.

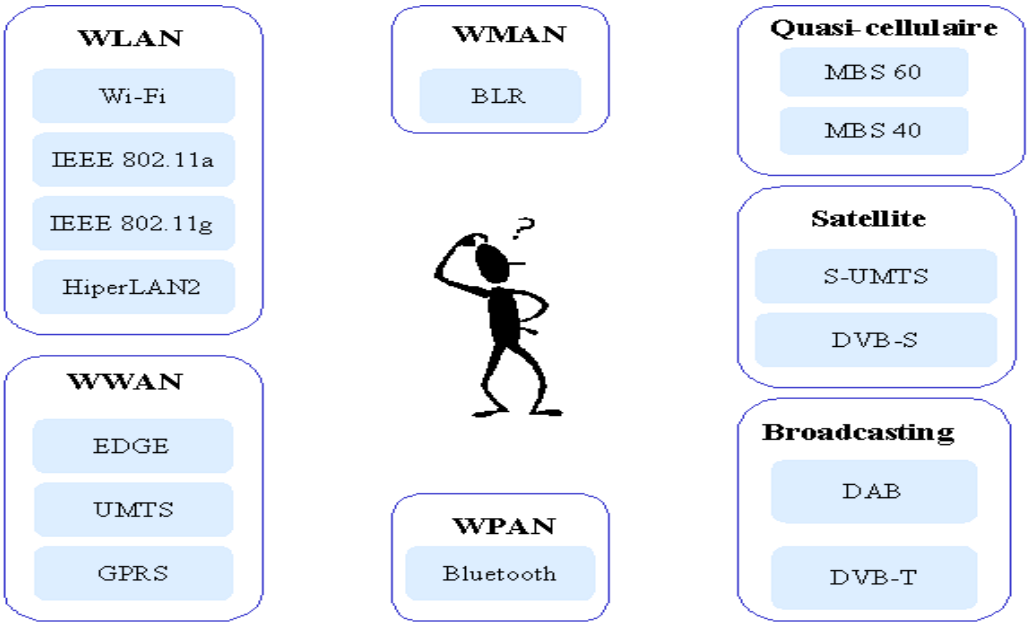


Fig.1.2 Les différentes technologies d'accès sans fil pour l'utilisateur 4G

1.2.5 L'architecture de la 4G LTE

L'architecture de la 4G LTE est constituée de deux parties principales : le réseau d'accès radio E_UTRAN et le réseau de base EPC. Le réseau E_UTRAN est l'accès radio pour les utilisateurs, composé d'eNodeBs qui fournissent la liaison radio entre les utilisateurs et le réseau. Le réseau EPC est le réseau de base, qui fournit des services de connectivité de bout en bout pour les utilisateurs. En ce qui concerne le réseau E_UTRAN, l'eNodeB (Evolved Node B) fournit l'interface radio pour l'UE (User Equipment), comme les smartphones ou les tablettes. Les eNodeBs sont connectés au réseau EPC via des liens de transmission à haut débit. L'eNodeB est responsable de la transmission de données entre l'UE et le réseau EPC. Le réseau EPC est composé de plusieurs entités fonctionnelles :

- Le MME (Mobility Management Entity) est responsable de la gestion de la mobilité des appareils mobiles dans le réseau. Il fournit également des services

d'authentification et de sécurité pour les utilisateurs. Le MME suit la localisation des utilisateurs dans le réseau, ce qui lui permet de diriger les données vers l'entité appropriée et assure également le contrôle d'admission des nouveaux clients souhaitant être connectés au réseau.

- Le HSS (Home Subscriber Server) est une base de données qui stocke les informations concernant les abonnés du réseau. Il stocke les informations d'identification et les informations de service pour chaque abonné. Le HSS est utilisé pour fournir des services d'authentification et d'autorisation aux clients qui souhaitent être connectés au réseau. Il est responsable de la gestion des abonnements et des profils utilisateur.
- Le SGW (Serving Gateway) est responsable de l'acheminement des données de l'utilisateur vers le réseau de données externe (PDN). Il est le point de référence pour les données du client. Le SGW est également responsable de l'acheminement des données vers l'eNodeB approprié pour atteindre l'UE.

- Le PGW (Packet Data Network Gateway) est responsable de la connectivité entre le réseau de données externe (PDN) et le réseau EPC. Il est responsable de la gestion des politiques de qualité de service (QoS) pour les connexions de données des abonnés. Le PGW est également responsable de la facturation des services pour les abonnés.

- Le PDN (Packet Data Network) est le réseau externe auquel l'utilisateur se connecte pour accéder à Internet ou à d'autres services de données. Le PDN peut être n'importe quel réseau de données, y compris l'Internet ou un réseau d'entreprise [9].

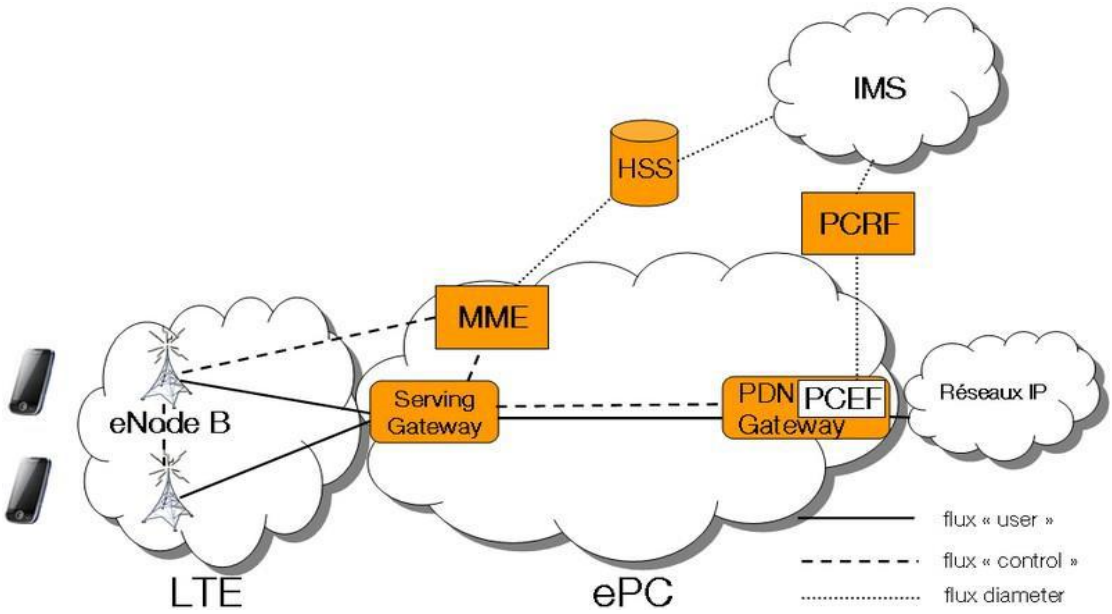


Fig. 1.3 Architecture générale d'un réseau 4G

1.2.6 La nouvelle génération 5G

La 5G est la nouvelle génération des standards de la téléphonie mobile, cette évolution va être dépensée à chaque objet physique dans le monde et il sera connecter sur internet sous le nouveau concept « IOT » (Internet Of Things-internet des objets). Absolument tout, des véhicules autonomes, aux robots chirurgicaux, en passant par les dispositifs de réalité virtuelle augmentée, les drones et, plus généralement les communications mobiles seront couvertes par une nouvelle tranche de bande passante située entre 6 GHZ et 300GHZ. Une partie de cette tranche sera sous licence, mais une grande partie libre. La 5G ne représente pas une évolution des réseaux précédents mais elle correspond à une nouvelle fondation technologique développée pour but de soutenir les demandes croissantes des clients. Pour la première fois, l'infrastructure physique sera séparée de l'infrastructure logique ou "virtuelle" .un réseau de type « SDN » (Software Defined Networks) se permis le contrôle du réseau internet et de lui rendre programmable directement sous une infrastructure d'une manière à supporter des nouvelles applications ainsi que des nouvelles services d'internet [10]

1.2.6.1 Objectif de la 5G

La 5G a cinq objectifs principaux, parmi lesquels l'augmentation de la vitesse et de la capacité des réseaux, mais aussi la préparation de l'évènement majeur qu'est

l'Internet des ob- jets, qui vas nous permettre de construire un monde complétement connecté.

- ✓ Des forfaits data plus volumineux : Le volume de données échangeables sur ce ré- seau de future devra être supérieur à ce que la norme 4G (LTE, Long Term Evolu- tion) ne peut pas supporter.
- ✓ Connectivité de masse : le nombre d'appareils pouvant être connectées par antenne devra être 100 fois plus élevé [11]. Le nombre d'antennes dépend principalement des fréquences utilisées, en fonction des différents phénomènes comme l'absorption des ondes, dans les murs, bâtiments, tours,... sachant que la technique 5G vise avant tout à connecter plus d'appareils (connectivité de masse).

- ✓ Un débit de 1Gbps : les meilleurs débits qui peuvent être offerts actuellement par la 4G sont dix fois inférieurs. il peut être équivalent ou même supérieur à celui proposé dans certaines offres internet résidentielles basées sur la fibre optique.

- ✓ Faible Latence : Le temps de latence est le temps entre le moment où nous cliquons sur un lien, envoyons des informations via le réseau, et la réponse de serveur, un temps de latence très court donne l'impression que le réseau est très réactif, temps de latence très courtes est très important dans les applications en temps réel (vidéo conférence, jeux vidéo, ...).

- ✓ Plus d'autonomie des batteries et moins de consommation : Pour connecter des ap- pareils à internet, les terminaux ont besoins d'avoir une autonomie et une durée de vie considérablement améliorée. Pour arriver à ça, les constructeurs font des amé liorations pour les batteries, mais ce n'est pas suffisant aussi, donc ils ont pensée a réduire la consommation avec des nouvelles techniques, pour doubler la durée de vie des terminaux de dix fois pour une même charge.

1.2.6.2 Applications visées pour le réseau de 5G

La 5G fournira la connectivité sans fil pour un large éventail de nouvelles applications présentées sur la Figure.1.4, La 5G va pénétrer dans chacun des éléments de notre société future et créer un écosystème d'information multidimensionnel centré sur l'utilisateur. Elle va briser la limitation de temps et d'espace pour permettre une expérience utilisateur immersive et interactive. La 5G raccourcira également la distance entre l'homme et les choses, et mettre en œuvre une intégration transparente pour réaliser une interconnexion facile et intelligente entre les personnes et toutes les choses. 5G nous permet de réaliser la vision : « L'information est à portée de main, et tout sera resté en contact » [12].

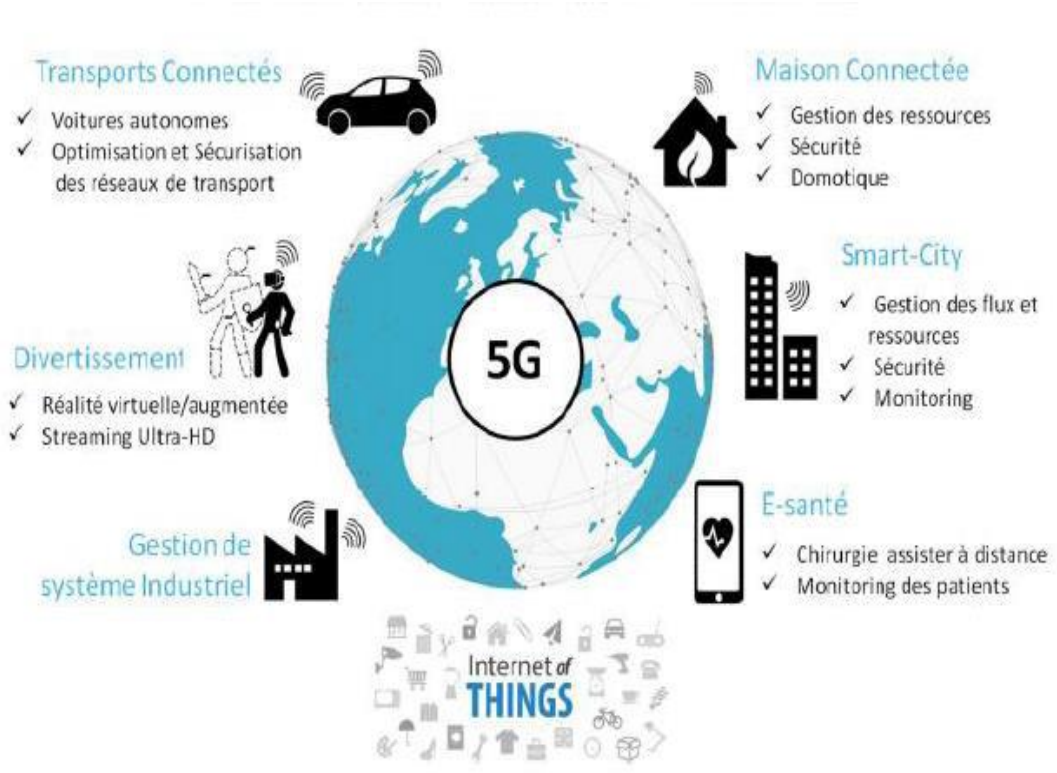


Fig.1.4 : Applications de la 5G.

1.2.6.3 Architecture de 5G

Un réseau 5G est composé d'un réseau d'accès 5G (AN) et d'un réseau cœur 5G. Le réseau d'accès lui-même est constitué de la nouvelle génération de réseau d'accès radio (NGRAN), qui utilise la nouvelle interface radio 5G(NR), et/ou un non 3GPP AN connecté au réseau cœur 5G. Les différentes entités de réseau sont connectées par un réseau de transport TCP/IP sous-jacents. Comme la montre dans la Figure.1.5, le

réseau 5G connecte l'équipement d'utilisateur (UE) à des réseaux de données externes. La session PDU représente le service de connectivité 5G, elle constitue par une séquence de tunnels NG dans le 5GC plus un ou plusieurs porteurs radios sur l'interface radio. Cet ensemble de "tubes" relie finement le UE à ses fonctions de contrôle ainsi que le réseau de données externe pour l'échange de trafic d'utilisateur [13].

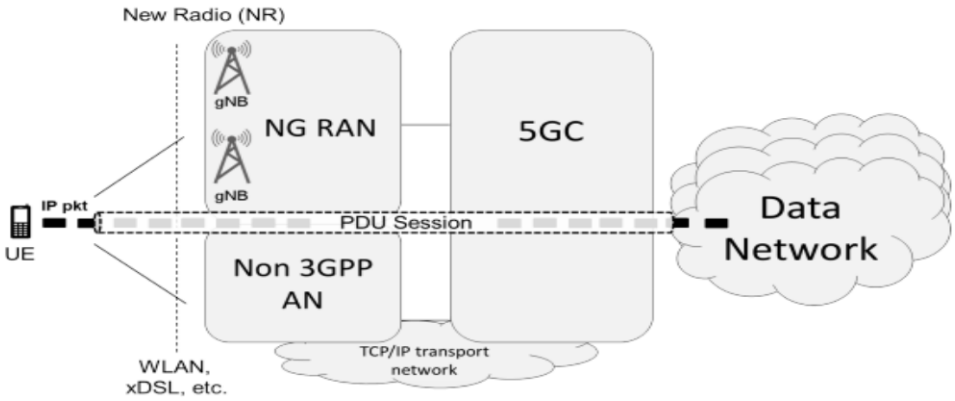


Fig.1.5 L'architecture de 5G

Une session PDU est très similaire à un porteurs EPS à LTE, sauf pour le modèle QOS et les unités de données des utilisateurs supportées. En effet, une session PDU peut transporter non seulement les paquets IP de l'utilisateur mais aussi l'ETHERNET où les cadres non survenus, permettant ainsi une communication de la couche-2 entre les groupes d'UE. Le modèle 5G est basée sur le nouveau concept de flux de QOS, où un flux est la plus grande granularité de la différentiation QOS [13]. Les différents flux de QOS peuvent appartenir à une seule session PDU.

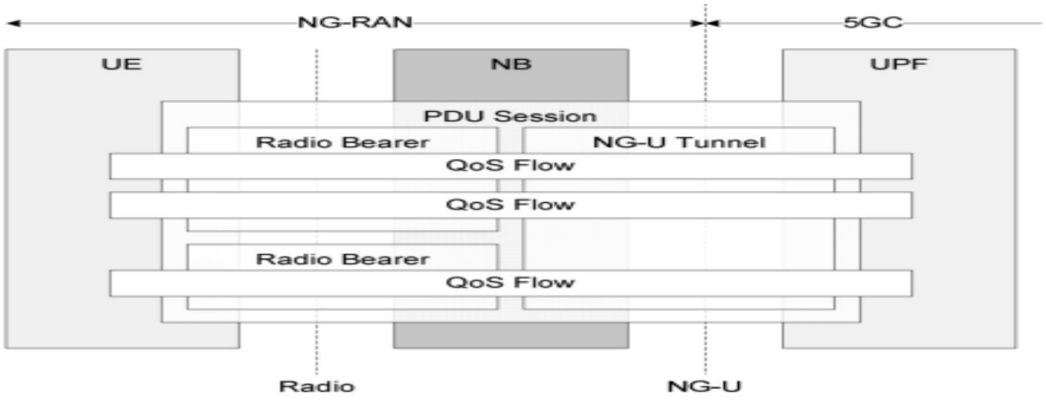


Fig.1.6 : Session PDU et flux QOS : plan utilisateur (UP).

La Figure.1.6 montre les divisions entre les fonctions 5G exécutées dans le NG-RAN et le 5G cœur, en bordure, le NG-RAN est le responsable de l'établissement, la maintenance et la libération des parties des sessions PDU qui traversent l'interface radio. Il face le problème de l'insuffisance physique (ex : interférences, réduction énergétique etc.), les handover inter-gNB, et le multiplexage de la session (planification).les fonctions de 5GC gèrent les parties restantes des parties PDU ainsi que tous les autres processus non liés à l'accès radio (gestion de la mobilité, sécurité adresses IP, allocation etc.) .

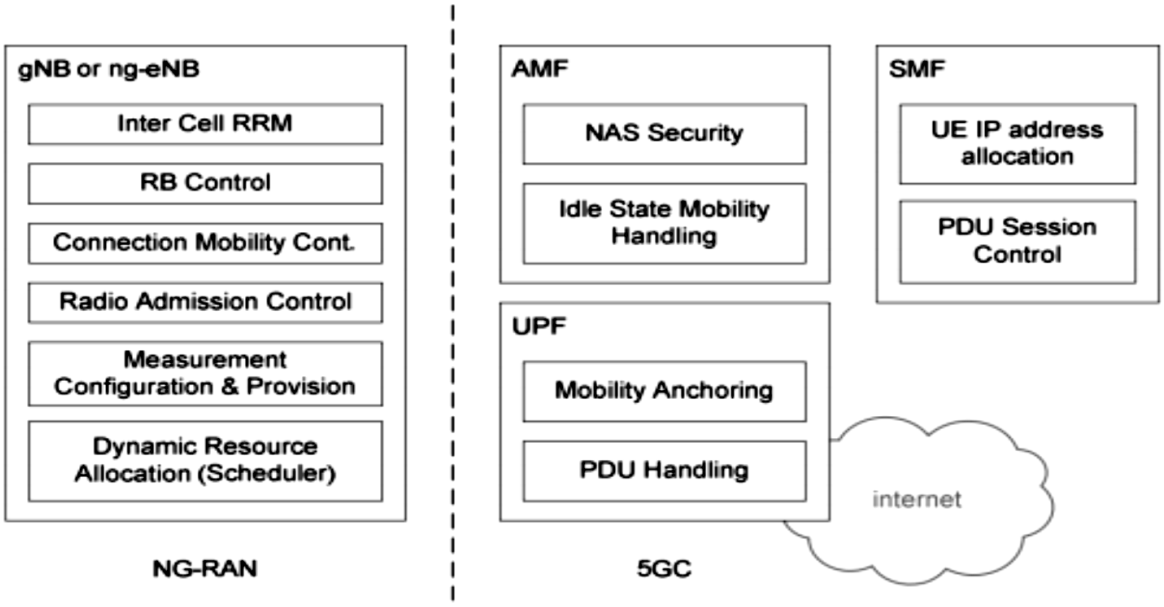


Fig.1.7 : La séparation fonctionnelle entre NG-RAN et 5GC.

1.2.6.4 New Generation Radio Acces Network (NG-RAN)

Comme représenter dans la figure [4], le NG-RAN s'agit d'un ensemble de stations de bases 5G, appelées gNBs, qu'elles sont connectées au 5GC à travers un ensemble d'interfaces logiques. Les gNBs peuvent êtres interconnectées à travers l'interface Xn pour améliorer les fonctions de mobilité (handover) et de gestion (coordination d'interférences intercellulaires) [1]. Le fonctionnement de la gNB est parfois réparti. Dans ce cas, l'architecture résultante est formée par une unité centrale (gNB-CU) qui nécessite une ou plusieurs unités distribuées (gNB-DU) et connecter à une carte radio distante (RRH). L'unit centrale est encore divisée en deux parties, une pour les fonctions de plan de contrôle (gNB-CU-CP) et l'autre pour les fonctions de plan d'utilisateur (gNB-CU-UP) [13].

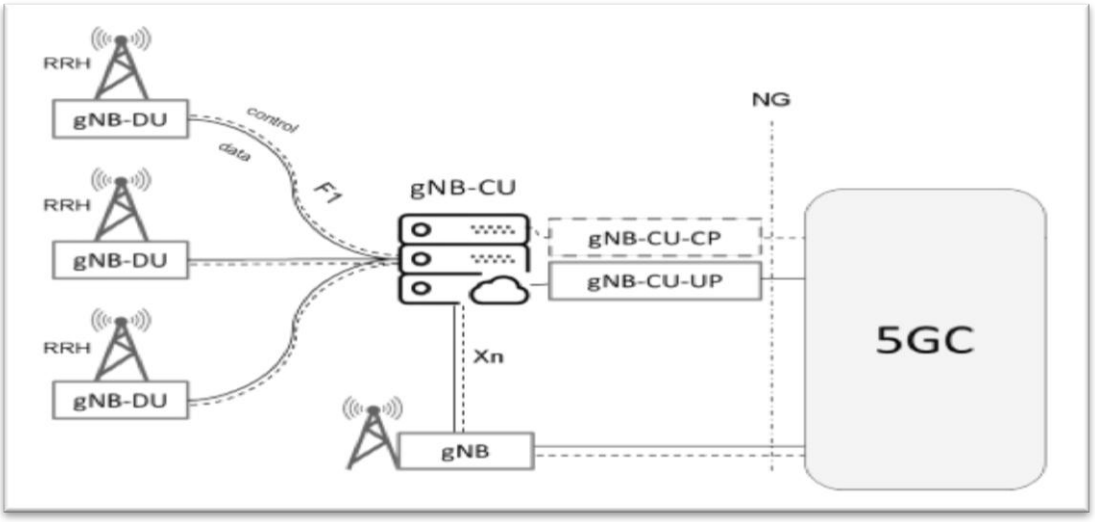


Fig.1.8 : Architecture de NG-RAN.

1.6.2.5 Cor Network de 5G

La décomposition des fonctions exécutées par les nœuds de réseau des générations précédentes a conduit à une architecture 5G complètement définis en termes de fonctions de réseau exposées sous formes de services.

Comme se produit dans le NG-RAN, il y a une séparation entres les plan contrôle et utilisateur. Dans le plan utilisateur il e trouve une ou plusieurs fonctions UP (UPFs), qui effectuent principalement le transfert de paquets entre les différents tunnels de NG-U qui forment la session PDU. Toutes les autres fonctions du réseau appartiennent au plan contrôle [13].

Un autre changement radical par rapport aux générations précédentes est la modélisation d'interface, qui a été passé de " l'orientation-bit point-à-point " (bit-oriented point-to-point) vers " l'orientation-web basé-service " (web-oriented service-based).En effet, 5GC a une architecture basé sur le service applicable par tout, les procédures sont définis comme des services de sorte qu'il est possible de les réutiliser Il existe une interface point-à-point normalisée, soi réelle où logique, entre toute paire d'entités de réseau 2g, 3G et 4g en interaction. Cette interface utilise un protocole spécial orienté-bit. Dans le cor 5G, les interactions entre les entités du plan contrôle

utilisent des interfaces basées sur les services prises en charge par des outils web tels que HTTP/2, REST

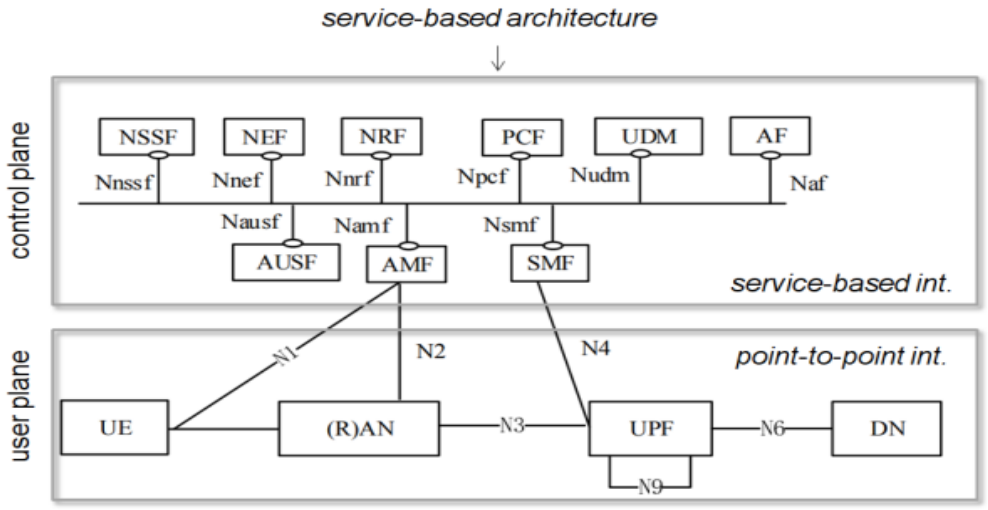


Fig.1.9 L'architecture du système 5G, no-roaming**.**

1.3 Technologies en cours d'étude 5G

1.3.1 Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Cette technologie implique l'utilisation d'un grand nombre d'antennes à la fois au niveau des stations de base et des appareils clients pour augmenter la capacité et l'efficacité du réseau en permettant la communication avec plusieurs utilisateurs simultanément. Les besoins des hauts débits pour les communications mobiles de dernière génération ont augmenté, la meilleure solution pour atteindre ce but est d'augmenter le nombre d'antennes pour l'émission et la réception de la liaison sans fil, donc on parle de la technique MIMO. Aussi, pour réduire les évanouissements de signal provoqués par l'environnement de propagation des trajets multiples et le bruit de canal, la technique de diversité peut être utilisée, cette dernière consiste à placer une antenne en émission et plusieurs antennes en réception. Alors que l'intégration de plusieurs antennes sur le plan de masse d'un téléphone mobile est un grand défi pour les chercheurs. En effet, à cause du volume limité des terminaux mobiles, une forte

isolation entre les antennes doit être réalisée afin de maximiser le gain de diversité et aussi augmenter la capacité de transmission de l'ensemble du système total [14]

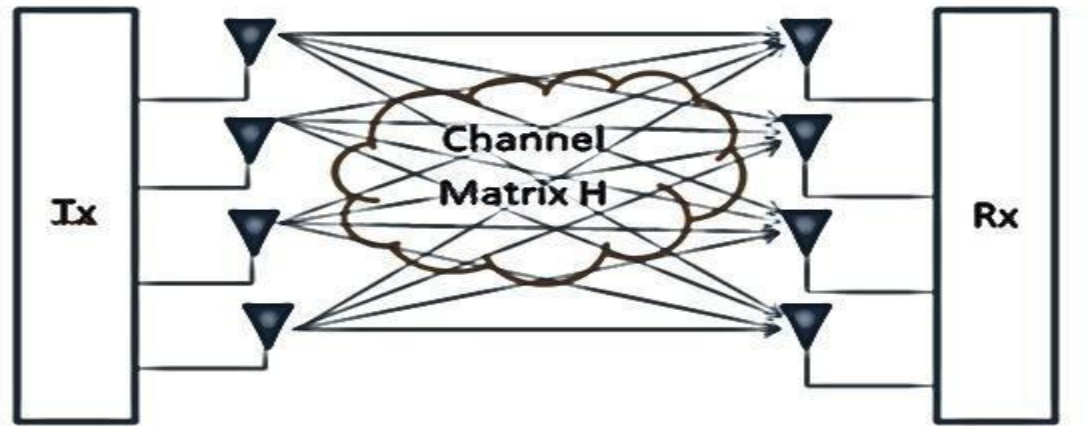


Fig.1.10 Architecture de système MIMO

a)- Beamforming :

Il s'agit d'une technique qui permet de diriger le signal radio dans une direction spécifique, plutôt que dans toutes les directions. Cela améliore l'efficacité du réseau en concentrant la puissance dans la direction des utilisateurs spécifiques, augmentant ainsi la couverture et la capacité.

b)- Réseaux de tranches (network slicing)

Cette technologie permet de partitionner un réseau en plusieurs tranches virtuelles, chacune adaptée à des cas d'utilisation spécifiques avec des exigences de performance distinctes. Par exemple, une tranche peut être dédiée aux communications à faible latence pour les véhicules autonomes, tandis qu'une autre pourrait être dédiée aux applications haut débit pour les vidéos en streaming.

c)- Virtualisation des fonctions réseau (NFV):

Cette approche consiste à virtualiser les fonctions réseau traditionnellement exécutées sur du matériel dédié, telles que les pare-feu, les routeurs et les commutateurs. Cela permet une plus grande flexibilité, évolutivité et efficacité opérationnelle du réseau.

d)- Communications à très haute fréquence (mmWave) :

Les fréquences millimétriques, situées dans la plage de 30 GHz à 300 GHz, sont explorées pour la 5G en raison de leur grande bande passante. Cependant, elles posent des défis en termes de propagation du signal, nécessitant des solutions comme le beamforming pour surmonter les obstacles et les pertes de signal.

e)- Bande de fréquence de 5G :

La 5G utilise différentes bandes de fréquences pour fournir ses services. Voici une brève explication des deux principales catégories de bandes de fréquences :

- **Sub-6 GHz:**

  Ces fréquences sont généralement inférieures à 6 GHz et offrent une portée plus étendue avec une pénétration des bâtiments plus efficace. Elles sont idéales pour fournir une connectivité 5G dans les zones urbaines et suburbaines. Les bandes de fréquences sub-6 GHz permettent des vitesses de téléchargement plus rapides que la 4G, mais elles ne sont pas aussi rapides que les fréquences mmWave.

- **mmWave (millimétriques):**

  Ces fréquences se situent dans la plage des millimètres, généralement entre 24 GHz et 100 GHz. Elles offrent des vitesses de téléchargement extrêmement rapides, atteignant plusieurs gigabits par seconde. Cependant, leur portée est limitée et elles sont sensibles aux obstacles physiques tels que les murs et les arbres. Les déploiements de mmWave sont plus courants dans les zones urbaines denses où la densité des stations de base peut compenser la portée limitée.

En combinant ces deux types de bandes de fréquences, les opérateurs peuvent fournir une connectivité 5G avec une combinaison de vitesse, de couverture et de capacité adaptée aux besoins de divers scénarios d'utilisation.

5. Conclusion

Au cours de plusieurs décennies de développement prospère, la technologie des communications mobiles a pénétré de nombreux domaines de notre vie quotidienne. Le monde a connu cinq générations de systèmes de communications mobiles, qui indiquent généralement un changement dans la nature du système, chacune étant associée à un ensemble spécifique de technologies et à un ensemble spécifique de cas d'utilisation auxiliaires, dans le but de répondre aux besoins des clients, d'une part et d'autre part fournir un ensemble de services associés, et ce que nous avons abordé dans notre premier chapitre étaient des définitions et des bases sur ces cinq générations, mais le réseau 5G a été détaillé car c'est le sujet principal de notre étude.

Chapitre.2

Les canaux de Transmission en réseau mobile 5G

2.1 Introduction

Dans les réseaux 5G NR, une diversité de canaux de données sont utilisés pour assure la transmission au niveau de la liaison montante et descendante. Ces canaux sont partagés de manière à ce que les données des niveaux supérieurs de la pile de protocoles soient "mappées" ou encapsulées dans des canaux de niveaux inférieurs, jusqu'à ce qu'elles parviennent enfin au niveau physique. Cette stratégie permet de garantir un flux cohérent et une transmission efficace pour le réseau mobile 5G. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents canaux de transmission en réseau mobile 5G.

2.2 Les systèmes de transmission

Les systèmes de transmission numérique véhiculent de l'information entre une source et un destinataire en utilisant un support physique appelé canal de transmission. La source émet un message numérique sous la forme d'une suite d'éléments binaires, ensuite le codeur applique deux fonction la première appelée codage en ligne associe un support physique adéquat aux éléments abstraits émis par la source. Le second appelée codage correcteur d'erreurs elle introduit de la redondance dans le signal émis pour le protéger contre le bruit et les parasites présents sur le canal de transmission. Enfin du coté récepteur les fonctions de démodulation et de décodage sont les inverses respectifs des fonctions de modulation et de codage situées du côté émetteur. Le schéma synoptique d'un système de transmission numérique est donné à la Figure (2.1) où l'on se limite aux fonctions de base [15].

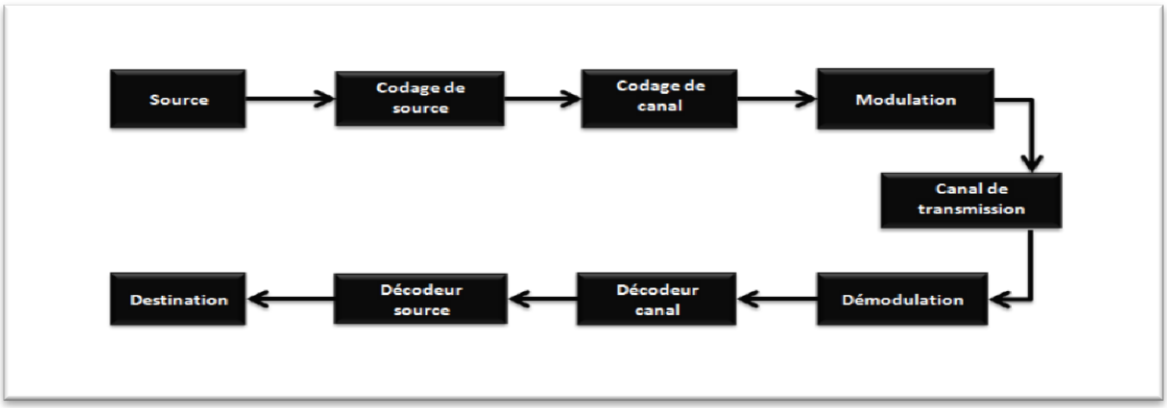


Fig 2.1 Schéma simplifié d'un système de transmission numérique

2.3 Canaux de transmission 5G

2.3.1 Description des phénomènes physiques dans un canal radio

Généralement, l'environnement de propagation a une influence sur les ondes électromagnétiques émis, qui sont régies par les équations de Maxwell. Note à mot on peut calculer le champ électromagnétique incident sur l'antenne réceptrice à cause de l'onde rayonnée théoriquement par les équations de Maxwell. Les ondes radio dans les systèmes de communications se propagent entre une station de base (BS) et une station mobile (MS) selon les trois mécanismes suivants : la réflexion sur les grandes surfaces lisses, la diffraction sur des arêtes aiguées et la diffusion sur des surfaces rugueuses.

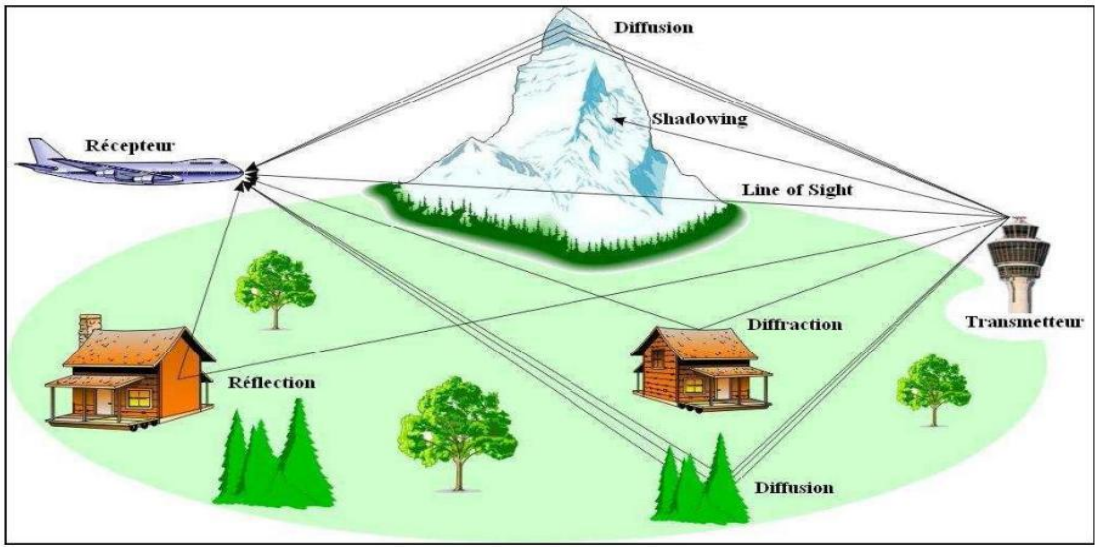


Fig. 2.2 L'environnement et mécanismes de propagation.

2.2.2 Les scénarios LOS et NLOS

Le canal de propagation est l'endroit où se propagent les signaux sous forme de multi trajets à cause des obstacles qui entourent l'émetteur et le récepteur. La propagation multi-trajets distinguées deux situations de propagation : NLOS (None Line Of Sight) ça vous dire qui n'y a pas de visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur. Dans ce cas, la densité de probabilité de l'amplitude d'évanouissement du signal total reçu suit le canal de Rayleigh présente dans la Figure 2.3, on n'a pas de LOS (Line Of Sight)

visibilité est directe entre l'émetteur et le récepteur, et par conséquent l'amplitude d'évanouissement est caractérisée par la distribution de Rice [16].

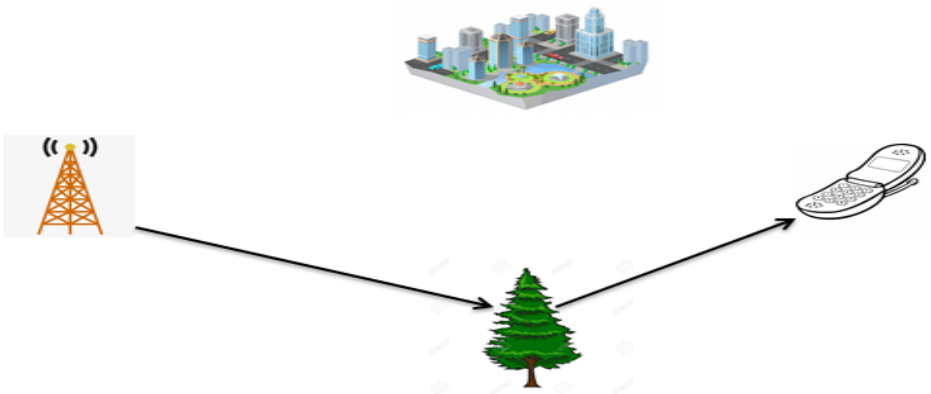


Fig 2.3 Propagation multi-trajets NLOS.

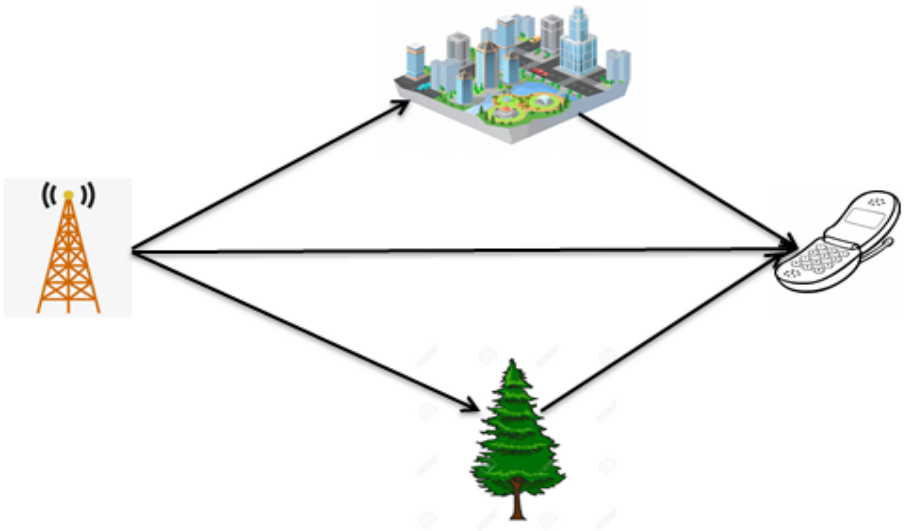


Fig 2.4 Propagation multi-trajets LOS

2.2.3 Les mécanismes de propagation

2.2.3.1 Dispersion (Scattering) :

C'est le phénomène de la déviation du trajet direct par des petits obstacles dont les dimensions sont petites par rapport à la longueur d'onde (feuillages, panneaux de signalisation,). Ces phénomènes génèrent l'évanouissement du signal (fading) et

l'apparition de zones d'ombre (Shadowing). Le phénomène d'évanouissement, qui est la variation de l'amplitude du signal en fonction du temps et de la fréquence, peut être classé en deux types. L'évanouissement à large échelle et l'évanouissement à petite échelle [17].

2.2.3.2 L'évanouissement à large échelle

Les évanouissements à grande échelle définissent les fluctuations de la puissance moyenne mesurées sur un déplacement ou sur un intervalle de temps suffisamment grands. Les deux phénomènes à l'origine des variations à grande échelle sont les pertes en distance et les effets de masquage (voir la Figure 2.5) [15]

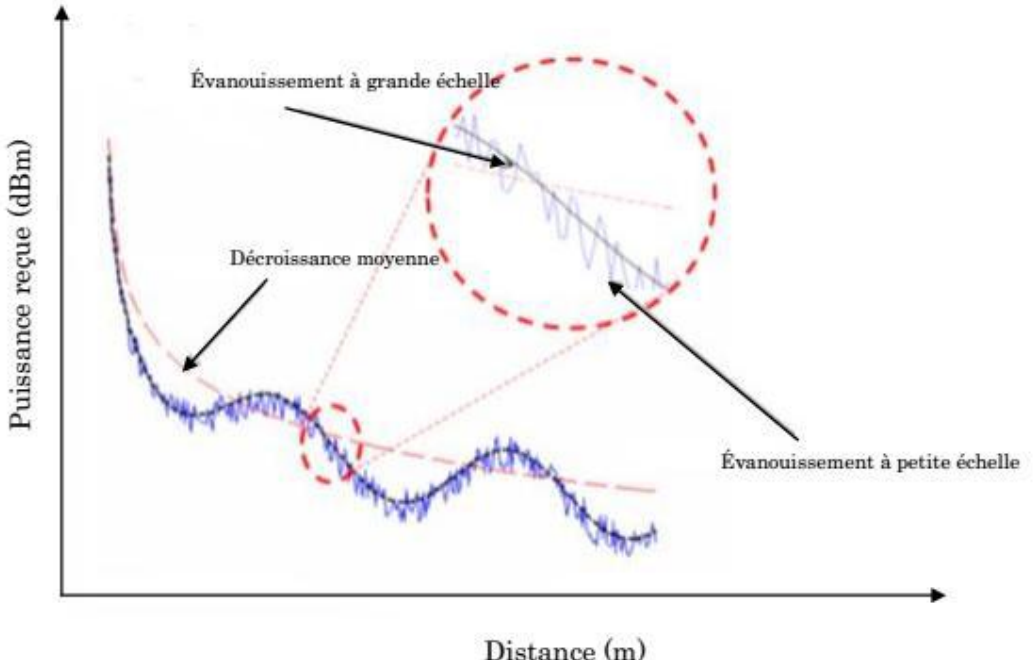


Fig 2.5 Fluctuations à petite et à grande échelles de la réponse du canal.

a)-Perte de trajet (Path Loss)

La perte de trajet correspond à la différence entre la puissance d'émission et la puissance de réception (en dB) en raison de l'atténuation introduite par le canal de propagation. La perte de trajet en espace libre peut être directement dérivée de la loi de Friis [16].

$$L_{(dB)} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{\tau_X}}{p_{R_X}}\right) = -10\log_{10}\left(G_{T_x}G_{R_X}\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}\right) \quad (2.1)$$

P_{T_x} et P_{R_x} : La puissance d'émission et de réception respectivement.

G_{T_x} et G_{R_x} : Gain d'émission et de réception respectivement.

d : La distance entre l'émetteur et le récepteur.

ג = $\frac{c}{fc}$: La longueur d'onde rayonnée.

C = 3×10^8 m/s est la vitesse de la lumière et la fréquence de la porteuse.

Le facteur $\left(\frac{\lambda}{4\Pi d}\right)^2$ est aussi appelé le facteur de perte en espace libre.

b)- Masquage (Shadowing)

L'effet de masque (Shadowing) est la variation de la puissance reçue qui résulte de l'atténuation du signal due à des obstacles localisés Imaginez un déplacement de mobile dans un environnement donné, qui a des grands obstacles tels que les bâtiments de grande taille ou les collines. Étant donné que la position relative du mobile par rapport aux obstacles est en variation permanente, les conditions de propagation sont également en train de changer, mais il pourrait prendre une grande distance (de l'ordre de plusieurs dizaines de longueurs d'onde) afin de modifier d'une manière significative l'intensité de champ reçue. Ce phénomène engendre des variationlentes Qui sont appelés Shadowing. L'intensité moyenne de champ E suit une distribution log normale :

$$pdf_E(E) = \frac{20/\ln(10)}{E\sqrt{2\pi\sigma_E^2}}\exp = \left(-\frac{(20\log_{10}(E)-\mu_{db})^2}{2\sigma_E^2}\right) \qquad (2.2)$$

Où : σ_E est l'écart-type de E et μdB est la moyenne de E, exprimées en db

2.2.3.3 L'évanouissement à petite échèle

L'origine de ces phénomènes est liée à la présence d'objets de natures, de dimensions et de positions variables au sein du canal. Ces objets engendrent l'apparition de multiples répliques du signal transmis interférant de façon destructives ou constructives. On parle alors de propagation à trajets multiples. Dans cette configuration, l'onde utilise pour se propager les phénomènes de réflexion, réfraction, diffraction et diffusion [15].

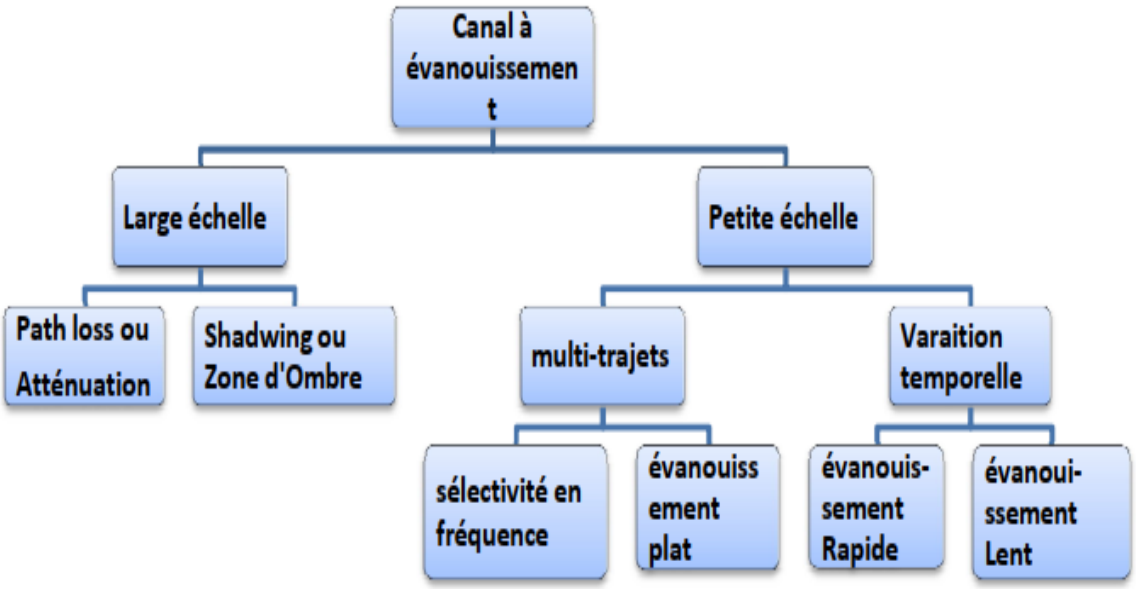


Fig.2.6 Classification des évanouissements du canal

a)- Réflexion

La réflexion survient lorsqu'une onde électromagnétique frappe une surface lisse de très grandes dimensions par rapport à sa longueur d'onde λ telle que les murs, les bâtiments, le sol, nous avons donc un phénomène de réflexion [15]

b)- Diffraction

Apparait lorsque l'onde EM rencontre des obstacles avec des formes irrégulières ou lorsque l'OEM passe à travers des petites ouvertures. Il en résulte une courbure de

l'OEM autour de l'obstacle ou dispersion de l'OEM à travers les petites ouvertures. L'OEM ainsi obtenue est très utile. Elle permet de générer un trajet entre l'émetteur et le récepteur quand ils ne sont pas en visibilité directe [17]

c)- Diffusion

La diffusion apparaît s'il existe sur le trajet de l'onde un regroupement très dense d'objets de dimensions du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. Le même phénomène est observé avec une surface présentant des aspérités suffisamment petites. La diffusion est le cas limite de la réflexion pour laquelle aucune direction privilégiée ne peut être identifiée.

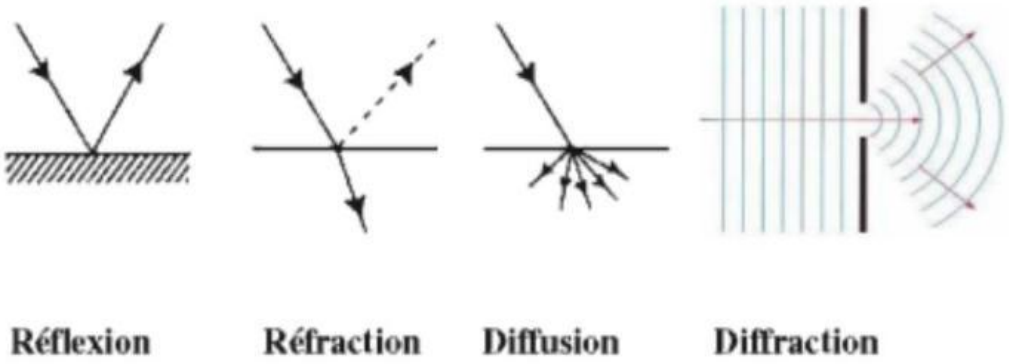


Fig 2.7 Interaction de l'onde électromagnétique avec son milieu

2.3 Les types de canaux de transmission

Un canal de transmission ne se limite pas seulement au support physique du transfert de l'information. Il comprend aussi les dispositifs qui permettent d'adapter le signal à transmettre au canal et de minimiser les erreurs de réception. Il existe une multitude de types de canaux.

2.3.1 Le canal de transmission avec bruit blanc additif gaussien (AWGN)

Pour le cas de l'effet Doppler entre une source en mouvement et un récepteur fixe, le modèle de données à bande étroite est utilisé pour modéliser le signal reçu au niveau des réseaux d'antennes. Il présume que le support du front d'onde de signal inséminant à travers le réseau d'antennes reste nécessairement constant. Ce modèle est valable pour les signaux ayant une bande passante beaucoup plus petite que la fréquence porteuse [18] Selon l'hypothèse ci-dessus, le signal reçu peut être écrit comme :

$$H(t) = A(\theta) + N(t) \tag{2.3}$$

Où, A ($\boldsymbol{\theta}$) est le vecteur de la matrice et N (t) est AWGN avec densité spectrale de puissance moyenne et bilatérale nulle donnée par N0/ 2.

2.3.2 Le canal de transmission du Rayleigh :

L'évanouissement de Rayleigh est principalement dû à la réception de propagation par trajets multiples. L'absence d'un chemin direct (LOS) entre l'émetteur et le récepteur provoque l'atténuation des objets dans l'environnement, la réflexion, réfraction et diffraction de signal devant lui arrive au récepteur. Cet environnement de propagation est connu sous le nom de Rayleigh évanouissement. Le signal résultant reçu au récepteur est la somme de tous les ondes réfléchies et dispersées [18].

2.4 Canaux de transmission 5G

Les canaux de transmission 5G jouent un rôle crucial dans la fourniture de débits de données ultra-rapides et d'une connectivité fiable dans les réseaux sans fil de nouvelle génération. Pour vous offrir une compréhension complète de ce sujet, je vais détailler les principaux types de canaux de liaison descendante 5G, leurs caractéristiques essentielles et les références pertinentes pour une exploration plus approfondie [18]

Il existe trois principaux types de canaux de données utilisés dans les systèmes de communications mobiles. Cela est vrai pour les systèmes 5G et, par conséquent, la hiérarchie est indiquée ci-dessous.

- Canal logique : les canaux logiques peuvent être l'un des deux groupes suivants : canaux de contrôle et canaux de trafic :
- Canaux de contrôle : les canaux de contrôle sont utilisés pour le transfert de données depuis le plan de contrôle.
- Canaux de trafic : les canaux logiques de trafic sont utilisés pour le transfert des données du plan utilisateur.
- Canal de transport : Il s'agit du multiplexage des données logiques à transporter par la couche physique et ses canaux via l'interface radio.
- Canal physique : Les canaux physiques sont ceux qui se rapprochent le plus de la transmission réelle des données sur le réseau d'accès radio / signal RF 5G. Ils sont utilisés pour transporter les données via l'interface radio. Les canaux physiques sont souvent dotés de canaux de niveau supérieur qui fournissent un service spécifique. De plus, les canaux physiques transportent des données utiles ou des détails sur des caractéristiques spécifiques de transmission de données telles que la modulation le multiplexage du signal de référence, la puissance de transmission, les ressources RF, etc.

Les noms des canaux, tant pour la liaison montante que descendante, sont pratiquement les mêmes que ceux utilisés pour la 4G LTE. Cependant, les noms et descriptions des canaux utilisés pour le système de communication 5G sont indiqués ci-dessous, en l'occurrence pour la liaison descendant.

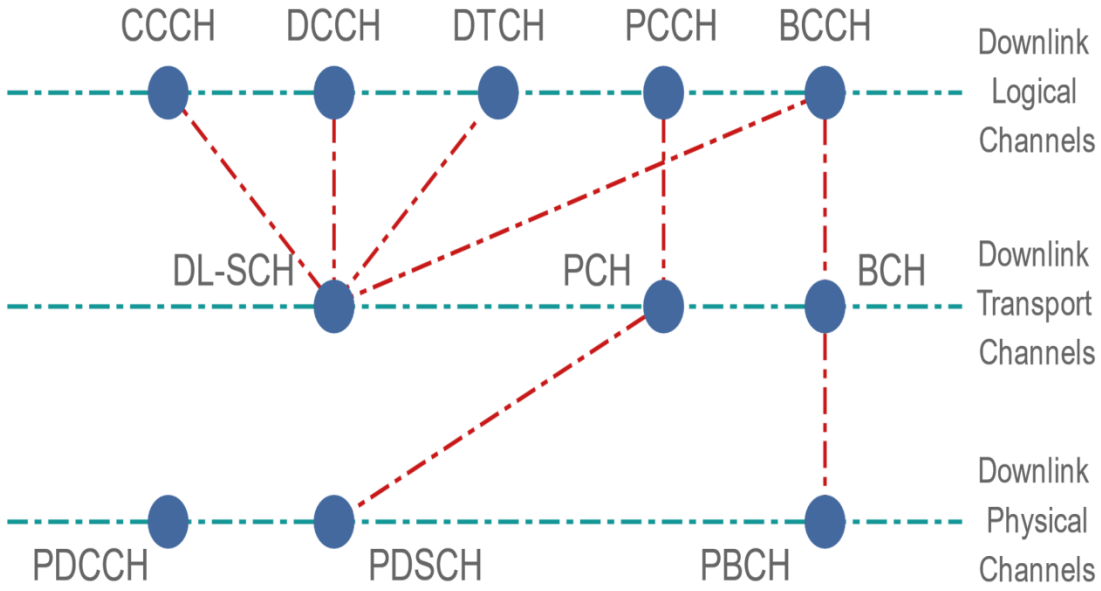


Fig. 2.8 Cartographie des canaux logiques, de transport et physiques de liaison descendante 5G NR

La liaison montante depuis l'équipement utilisateur vers la station de base comporte également une variété de canaux qui sont cartographiés de la même manière que ceux de la liaison descendante du système de communications mobiles 5G.

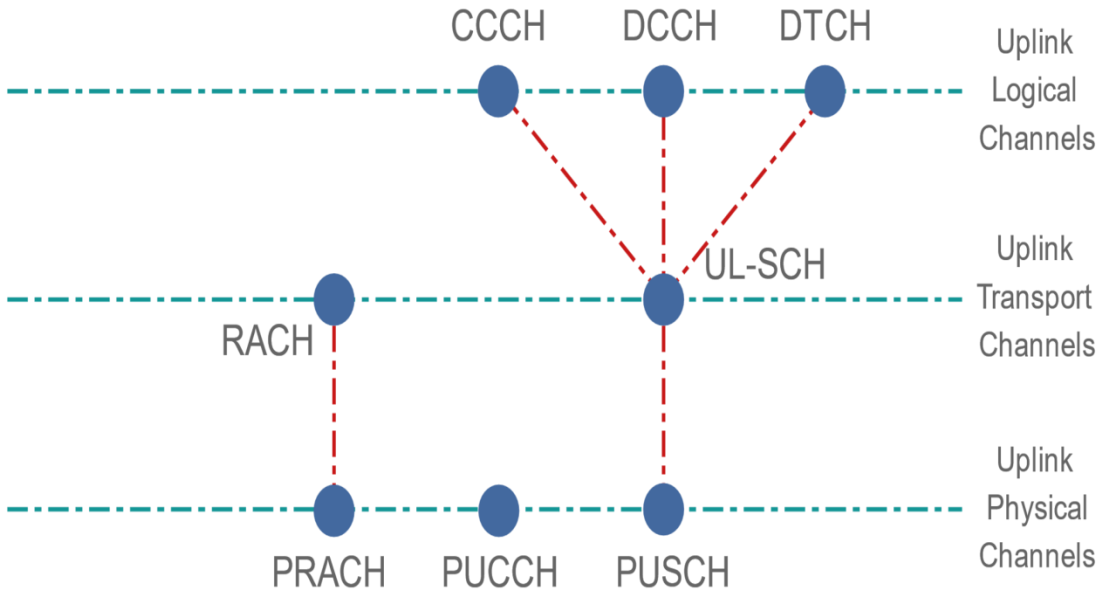


Fig.2.9 Cartographie des canaux logiques, de transport et physiques de liaison montante 5G NR

2.4.1 Canaux logiques 5G NR

Il existe plusieurs canaux logiques différents qui sont utilisés au sein du réseau d'accès radio 5G NR. Certains d'entre vous porteront des noms familiers du système 4G LTE, car ils ont été conservés.

- Canal de contrôle de diffusion, BCCH : le BCCH est utilisé dans la liaison descendante et est utilisé pour envoyer des informations de style de diffusion aux équipements utilisateur au sein de cette cellule. Les informations système transmises par le BCCH 5G NR sont divisées en différents blocs :
  Bloc d'informations maître, MIB : il existe une MIB et celle-ci est mappée sur le canal de transport BCH, puis sur le canal physique PBCH.
  Bloc d'informations système, SIB : Il existe plusieurs blocs d'informations système, SIB. Ceux-ci sont mappés sur le canal de transport DL-SCH puis sur le canal physique PDSCH.
- Canal de contrôle de radiomessagerie, PCCH : Il s'agit d'un canal de liaison descendante. Il est utilisé pour rechercher les UE dont l'emplacement au niveau de la cellule n'est pas connu du réseau. En conséquence, le message de radiomessagerie doit être transmis dans plusieurs cellules. Le PCCH est mappé au canal de transport PCH puis au canal physique PDSCH.
- Canal de contrôle commun, CCCH : : Ce canal 5G est utilisé à la fois sur la liaison descendante et la liaison montante pour transmettre des informations de contrôle vers et depuis les équipements utilisateur ou les mobiles. Le canal est utilisé pour l'accès initial, c'est-à-dire les mobiles qui ne disposent pas de contrôle des ressources radio, connexion RRC.
- Canal de contrôle dédié, DCCH : le DCCH est utilisé dans la liaison montante et la liaison descendante pour transporter des informations de contrôle dédiées entre l'UE ou le mobile et le réseau. Il est utilisé par l'UE et le réseau après qu'une connexion RRC de contrôle des ressources radio a été établie.
- Canal de trafic dédié, DTCH : ce canal 5G est présent à la fois dans la liaison montante et dans la liaison descendante. Il est dédié à un UE et est utilisé pour transporter des informations utilisateur vers et depuis un UE spécifique et le réseau.

2.4.2 Canaux de transport 5G NR

Il existe cinq canaux de transport différents. Certains sont utilisés sur la liaison montante, d'autres sur la liaison descendante, et certains peuvent être utilisés sur les deux.

- Canal de diffusion, BCH : Le canal BCH 5G est utilisé dans la liaison descendante uniquement pour transmettre les informations du système BCCH et en particulier les informations du bloc d'informations maître, MIB. Afin que les données puissent être exploitées, elles ont un format spécifique.
- Canal de radiomessagerie, PCH : Le PCH est utilisé pour transporter les informations de radiomessagerie à partir du canal logique PCCH. Le PCH prend en charge la réception discontinue, DRX, pour permettre à l'UE d'économiser l'énergie de la batterie en se réveillant à une heure spécifique pour recevoir le PCH.

Pour que le PCH soit reçu par tous les mobiles/UE de la cellule, le PCH doit être diffusé sur toute la cellule sous la forme d'un seul message, ou lorsque la formation de faisceau est utilisée, cela peut être fait en utilisant plusieurs instances PCH différentes.

- Canal partagé de liaison descendante, DL-SCH : comme son nom l'indique, il s'agit d'un canal de liaison descendante uniquement. Il s'agit du principal canal de transport utilisé pour la transmission des données en liaison descendante et il prend en charge toutes les fonctionnalités clés de la 5G NR. Ceux-ci incluent : l'adaptation dynamique du débit ; HARQ, planification sensible aux canaux et multiplexage spatial. Le DL-SCH est également utilisé pour transmettre certaines parties des informations du système BCCH, en particulier le SIB. Chaque UE possède un DL-SCH pour chaque cellule à laquelle il est connecté.
- Canal partagé de liaison montante, UL-SCH : il s'agit de l'équivalent de liaison montante du DLSCH, c'est-à-dire le canal de transport de liaison montante utilisé pour la transmission des données de liaison montante.
- Canal d'accès aléatoire, RACH : le RACH est un canal de transport qui transporte le préambule d'accès aléatoire utilisé pour surmonter les collisions

de messages qui peuvent se produire lorsque les UE accèdent simultanément au système.

2.4.3 Canaux de données de la couche physique 5G NR

Les canaux physiques 5G sont utilisés pour transporter des informations via l'interface radio réelle. Les canaux de transport y sont mappés, comme le montrent les diagrammes, mais ils incluent également diverses données de couche physique nécessaires à la maintenance et à l'optimisation de la liaison de communication radio entre l'UE et la station de base. Les canaux de couche physique des communications mobiles 5G ressemblent à ceux de la 4G LTE, mais PHICH et PCIICH ont été supprimés. L'opération HARQ a également été mise à jour pour être plus flexible. De plus, le canal de contrôle de liaison descendante PDCCH est désormais administré par des procédures de couche 3.

Il existe trois canaux physiques pour chacune des liaisons montantes et descendantes :

- Canal partagé de liaison descendante physique, PDSCH : Le canal partagé de liaison descendante physique 5G NR, PDSCH, transporte des données partageant la capacité sur une base temporelle et fréquentielle. Le canal physique PDSCH transporte diverses données : données utilisateur ; des messages de commande de couche supérieure spécifiques à l'UE mappés à partir de canaux supérieurs ; blocs d'informations système (SIB) ; & pagination.

  Le PDSCH utilise un format de modulation adaptative dépendant des conditions de liaison, c'est-à-dire du rapport signal sur bruit. Il utilise également un schéma de codage flexible. La combinaison de ces éléments signifie qu'il existe un codage et un débit de données flexibles.
- Canal de contrôle physique de liaison descendante, PDCCH : comme son nom l'indique, le canal de contrôle physique de liaison descendante 5G transporte des données de contrôle de liaison descendante. Sa fonction principale est de planifier les transmissions de données descendantes sur le PDSCH ainsi que les transmissions de données montantes sur le PUSCH

Le PBCH utilise un format de données fixe et il existe un bloc qui s'étend sur un TTI de 80 ms. Le PBCH utilise la modulation QPSK et transmet un signal de référence de démodulation spécifique à la cellule, un modèle DMRS qui peut être utilisé pour faciliter la formation de faisceau.

2.4.4 Canaux physiques de liaison montante 5G NR

Canal physique à accès aléatoire, PRACH : Ce canal 5G - le canal physique à accès aléatoire, PRACH, est utilisé pour l'accès au canal. Il transmet un préambule initial à accès aléatoire constitué de séquences qui peuvent être de deux longueurs différentes

- Canal partagé de liaison montante physique, PUSCH : Le canal partagé de liaison montante physique 5G, PUSCH, est l'équivalent du PDSCH. Il est utilisé pour transporter les données de l'UL-SCH et de ses canaux mappés supérieurs sur une base de fréquence et de temps partagé.
- Comme le PDSCH, le PUSCH possède également un format très flexible. L'allocation des ressources de fréquence est effectuée à l'aide de blocs de ressources ainsi que d'un schéma de modulation et de codage flexible dépendant du rapport signal/bruit de la liaison.

Pour prendre en charge l'estimation et la démodulation de la liaison de canal, le PUSCH contient des signaux DMRS.

- Canal de contrôle physique de liaison montante, PUCCH : Le canal de contrôle physique de liaison montante 5G, PUCCH, transporte les données de contrôle de liaison montante. Il est également possible qu'en fonction de l'allocation de ressources, les informations ou données de contrôle de liaison montante puissent également être envoyées sur le PUSCH, même si dans le sens de liaison descendante, les informations de contrôle sont toujours envoyées sur le PDCCH.

2.5 Types de canaux de liaison descendante 5G

2.5.1 Canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH) :

Le canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH) est un composant crucial des systèmes de communication sans fil 5G. Il joue un rôle important dans la

transmission des données de la station de base (eNodeB ou gNodeB) à l'équipement utilisateur (UE) ou à l'appareil mobile. Pour vous fournir une compréhension détaillée du PDSCH dans la 5G, décomposons ses principaux aspects, fonctions et caractéristiques [19]

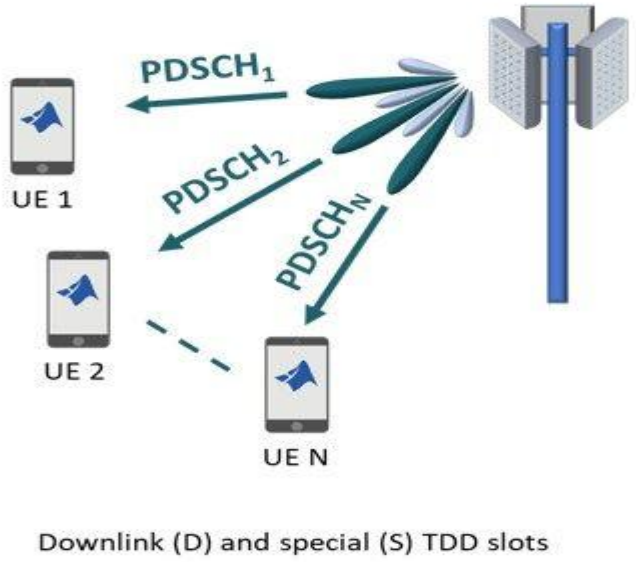


Fig 2.9 :Canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH)

2.5.2 Objet du PDSCH :

L'objectif principal du canal partagé de liaison descendante physique (PDSCH) est de transporter les données utilisateur et les informations de contrôle de l'infrastructure réseau (station de base) vers l'équipement utilisateur (UE) dans un système de communication sans fil 5G. Il s'agit d'un canal unicast, ce qui signifie qu'il dessert un utilisateur ou un UE spécifique à la fois. Les données transmises via PDSCH incluent des éléments tels que la vidéo, la navigation Web, les téléchargements et d'autres contenus spécifiques à l'utilisateur [19].

2.5.3 Caractéristiques clés du PDSCH :

Modulation et codage : les données PDSCH sont modulées et codées pour garantir une transmission de données fiable et efficace. Dans la 5G, des schémas de modulation avancés tels que 256-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) sont utilisés pour atteindre des débits de données élevés.

Allocation dynamique : les ressources PDSCH sont allouées dynamiquement en fonction des conditions actuelles du réseau, de la qualité du canal sans fil et des exigences en matière de données de chaque UE. Cette allocation dynamique garantit que les ressources sont réparties de manière optimale entre les utilisateurs afin de maximiser l'efficacité du réseau.

Correction d'erreurs : pour lutter contre les déficiences et le bruit des canaux, des techniques de codage de correction d'erreur telles que LDPC (Low-Density Parity-Check) et les codes polaires sont appliquées aux données PDSCH. Ces codes contribuent à améliorer la fiabilité de la transmission des données.

Formation de faisceau : dans la 5G, la formation de faisceau est utilisée pour concentrer le signal transmis vers l'UE spécifique, augmentant ainsi la force du signal et améliorant la capacité globale du système. La formation de faisceaux peut être adaptative et pilotée électroniquement pour suivre la position de l'UE.

Massive MIMO : la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) est utilisée pour améliorer les performances du PDSCH. Le MIMO massif implique l'utilisation d'un grand nombre d'antennes au niveau de la station de base, ce qui permet un multiplexage spatial, une qualité de signal améliorée et une capacité accrue.

Bandes de fréquences : PDSCH fonctionne dans diverses bandes de fréquences, notamment les bandes inférieures à 6 GHz et les ondes millimétriques. Différentes bandes de fréquences offrent des caractéristiques de propagation et des débits de données variables, permettant aux opérateurs de déployer la 5G dans divers scénarios.[19]

2.5.4 Mappage avec les ressources physiques :

Dans la 5G, les données transmises via le PDSCH sont mappées sur des ressources physiques dans les domaines temporel et fréquentiel. Ce mappage est réalisé à l'aide d'éléments de ressources (RE) et de blocs de ressources physiques (PRB). Le mappage exact dépend de la numérologie 5G spécifique utilisée, qui peut varier selon les différentes bandes de fréquences et scénarios de déploiement.

Domaine temporel : les données PDSCH sont transmises dans des trames radio, chacune composée de plusieurs emplacements. Ces emplacements peuvent être

divisés en symboles. Le mappage des données PDSCH avec les emplacements et les symboles est déterminé par la numérologie choisie pour le déploiement 5G.

Domaine de fréquence : les données PDSCH sont distribuées sur plusieurs sous-porteuses au sein d'une bande passante donnée. L'attribution des sous-porteuses est dynamique et peut changer en fonction des conditions du canal et des exigences de l'UE.[19]

2.5.5 Fonctionnalités avancées et efficacité :

Les réseaux 5G sont conçus pour être très efficaces et capables de fournir des débits de données élevés. PDSCH intègre plusieurs fonctionnalités avancées pour atteindre cette efficacité :

Planification dynamique : la station de base planifie dynamiquement les transmissions PDSCH en fonction des conditions du canal en temps réel. Cela garantit que les ressources sont allouées efficacement, réduisant ainsi les interférences et optimisant le débit.

Beamforming et Massive MIMO : ces technologies améliorent le rapport signal/bruit et augmentent la zone de couverture des transmissions PDSCH, permettant ainsi un plus grand nombre d'utilisateurs simultanés et des débits de données plus élevés.

Modulation et codage adaptatifs (AMC) : les techniques AMC ajustent dynamiquement les schémas de modulation et de codage utilisés sur le PDSCH en fonction de la qualité du canal sans fil. Cela garantit que le schéma le plus approprié est utilisé pour chaque UE afin de maximiser les débits de données et la fiabilité.

2.5.6 Coexistence avec d'autres canaux :

Le PDSCH coexiste avec d'autres canaux physiques du système 5G, tels que le canal indicateur de format de contrôle physique (PCFICH), le canal indicateur ARQ hybride physique (PHICH) et le canal de contrôle de liaison descendante physique (PDCCH). Ces canaux fonctionnent ensemble pour permettre une communication et un contrôle efficaces entre la station de base et l'UE.

Le canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH) est un composant essentiel des systèmes de communication sans fil 5G, chargé de transmettre les

données utilisateur et les informations de contrôle de la station de base à l'équipement utilisateur (UE). Il fonctionne à la fois dans les domaines temporel et fréquentiel, en utilisant des techniques avancées telles que la modulation, le codage, la formation de faisceaux et le MIMO massif pour garantir une transmission de données efficace et fiable. PDSCH joue un rôle central dans la fourniture de services de données à haut débit dans les réseaux 5G et est un moteur clé de l'expérience utilisateur améliorée que la 5G promet d'offrir. Son allocation dynamique et ses fonctionnalités avancées en font un canal polyvalent et adaptable dans l'écosystème 5G, capable de servir divers cas d'utilisation et scénarios.[19]

2.5.7 Canal de liaison descendante multi-composante (MCS) :

Un canal de liaison descendante multi-composante (MCS) est une technique de transmission de données utilisée dans les communications sans fil pour augmenter le débit et la fiabilité des transmissions. Il divise le flux de données en plusieurs sous-canaux, qui sont ensuite transmis sur différentes fréquences ou sur des chemins de propagation différents. Cela permet de répartir le risque de défaillance sur plusieurs canaux, ce qui rend la transmission plus résistante aux interférences et à l'évanouissement du signal.

MCS est couramment utilisé dans les systèmes de communication cellulaire, tels que la 4G et la 5G. Il est également utilisé dans d'autres applications sans fil, telles que les communications par satellite et le Wi-Fi.

Les avantages de l'utilisation d'un MCS incluent :

a)- Débit accru : En divisant le flux de données en plusieurs sous-canaux, MCS peut augmenter le débit global. Ceci est particulièrement bénéfique dans les environnements où la bande passante est limitée.

b)- Fiabilité améliorée : En répartissant le risque de défaillance sur plusieurs canaux, MCS peut rendre les transmissions plus résistantes aux interférences et à l'évanouissement du signal. Ceci est particulièrement important dans les environnements où les conditions de propagation sont difficiles.

c)- Couverture étendue : MCS peut être utilisé pour étendre la couverture d'un système sans fil. En transmettant les sous-canaux sur différentes fréquences ou sur des

chemins de propagation différents, MCS peut s'assurer que le signal atteint plus d'utilisateurs.

Les inconvénients de l'utilisation d'un MCS incluent :

d)- Complexité accrue : MCS est une technique plus complexe que les techniques de transmission de données à canal unique. Cela peut augmenter le coût et la complexité de la mise en œuvre du système.

e)- Besoins en bande passante accrus : MCS nécessite plus de bande passante que les techniques de transmission de données à canal unique. Cela peut être un problème dans les environnements où la bande passante est limitée.

f)- Interférence potentielle : Les sous-canaux MCS peuvent se brouiller les uns les autres, ce qui peut réduire les performances. Cela doit être pris en compte lors de la conception d'un système MCS.

Dans l'ensemble, MCS est une technique puissante qui peut être utilisée pour améliorer les performances des systèmes de communication sans fil. Cependant, il est important de tenir compte des avantages et des inconvénients de l'utilisation de MCS avant de le déployer dans un système particulier.

2.5.8 Canal de radiomessagerie physique (PCCH) :

Exploration approfondie Le canal de radiomessagerie physique (PCCH) joue un rôle crucial dans les réseaux LTE (Long-Term Evolution), agissant comme un canal de communication essentiel entre la station de base eNodeB et les appareils utilisateurs (UE). Il opère dans le sens descendant, transmettant des informations de contrôle vitales qui permettent un fonctionnement fluide et coordonné du réseau.

2.5.9 Fonctionnement principal du PCCH :

Diffusion d'informations de radiomessagerie : Le PCCH sert de canal dédié à la diffusion de messages de radiomessagerie aux UE. Ces messages peuvent inclure des alertes d'appels entrants, des notifications de SMS et d'autres informations critiques pour les utilisateurs.

Transmission des blocs d'informations système (SIB) : Les SIB constituent des paquets d'informations essentielles sur la configuration de la cellule et du réseau LTE. Le PCCH diffuse ces SIB, permettant aux UE de se synchroniser avec le réseau et d'accéder aux ressources radio appropriées.

Signalisation RRC (Radio Resource Control) : La signalisation RRC est essentielle à l'établissement, au maintien et à la libération des connexions radio entre les UE et l'eNodeB. Le PCCH facilite cette signalisation, garantissant une communication continue et fiable entre les appareils et le réseau.

2.5.10 Caractéristiques importantes du PCCH :

Fréquence et allocation de temps : Le PCCH occupe des ressources de fréquence et de temps spécifiques dans la structure de trame LTE. Il fonctionne sur certaines sous-trames dédiées, faisant partie de l'allocation globale des ressources en liaison descendante.

Utilisation en modes connecté et inactif : Le PCCH joue un rôle crucial à la fois en mode connecté et inactif :

Mode connecté : Lorsque les UE sont engagés dans des communications actives, le PCCH transmet des informations de contrôle pertinentes pour la session en cours, telles que les mises à jour de la liaison et les instructions de décodage.

Mode inactif : Même lorsque les UE sont en mode veille, le PCCH reste actif pour diffuser des messages de radiomessagerie et des informations système critiques. Cela permet aux UE de se maintenir informés et de se réactiver rapidement lorsqu'une activité est requise.

2.5.11 Canal de multidiffusion physique (PMCH) :

Le PMCH est utilisé pour transmettre simultanément des données de multidiffusion et de diffusion à plusieurs UE. Ces données peuvent inclure des mises à jour du système, des messages d'urgence ou d'autres informations qui doivent être diffusées à tous les UE de la cellule. Le PMCH est transmis dans des blocs de ressources qui sont alloués à tous les UE de la cellule.

2.6 Conclusion

L'utilisation de ces canaux 5G permet d'organiser le flux de données sur l'interface radio du réseau de communication 5G. L'utilisation de canaux permet au système de communication de reconnaître le type de données envoyées et de les traiter en conséquence. Le format utilisé est très similaire à celui utilisé sur la 4G LTE et s'appuie sur la technologie des communications mobiles ou des générations de téléphones mobiles précédentes. Dans le chapitre suivant, nous allons étudier la performance du canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH).

Chapitre. 3 Performances du canal physique de liaison descendante (PDSCH-NR): Simulation et résultats

3.1 Introduction

La technologie 5G révolutionne les communications sans fil avec des débits plus rapides et une fiabilité accrue. Pour optimiser ces systèmes, il est essentiel d'analyser en détail les performances des canaux de communication, notamment le canal PDSCH-NR, qui transmet les données utilisateur du gNB à l'UE. Les performances de ce canal sont évaluées selon des critères tels que le Taux d'erreur de bloc (BLER), débit (Throughput) et taux d'erreur binaire BNR. Ces métriques sont influencées par divers facteurs comme la densité du trafic et les conditions du canal. Ce chapitre explore l'analyse des performances du canal PDSCH-NR, en examinant les critères d'évaluation et les facteurs d'influence.

3.2 Langage utilisée

MATLAB, acronyme de "Matrix Laboratory", est un environnement interactif pour le développement d'algorithmes, la visualisation des données, le traitement du signal ou encore le calcul numérique. Ce langage est largement utilisé dans les domaines de l'ingénierie, des sciences et de la recherche. Il contient de boites d'outils (Toolboxe) pour le système de communication mobile 5G pour la conception et l'évaluation des schémas de modulation et de codage, ainsi que l'analyse des performances système dans divers scénarios de déploiement de réseau mobile.

3.3 Méthodes d'analyse

L'analyse des performances des canaux 5G, notamment du canal physique de liaison descendante (PDSCH-NR), est d'une importance capitale pour évaluer la robustesse et l'efficacité des communications dans les réseaux 5G. Le canal PDSCH-NR joue un rôle important dans la transmission des données de la station de base (eNodeB) à l'équipement utilisateur (UE) ou à l'appareil mobile.

PDSCH-NR	
Nombre de symboles	2
Saut en fréquence	Intra-slot / aucun
Type de modulation	QPSK
RNTI	1

3.3.1 Critères d'évaluation

Les performances des modèles de transmission étudiées dans ce travail seront évaluées en utilisant les paramètres dont les définitions sont:

- SNR (signal-to-noise ratio) est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information, il est défini comme le rapport entre la puissance du signal et la puissance du bruit

- BER (Bit Error Rate) est le nombre de bits erronés reçus par rapport au nombre de bits transmis.

- Taux d'erreur de bloc (BLER) est une mesure de la précision de la transmission et de la réception des données dans un système de communication sans fil

- Le débit est une mesure de la quantité de données numériques transmises par unité de temps

3.2 Les performances de débit du canal (PDSCH) pour le cas de multi-utilisateur (MU-MIMO)

Dans cette partie, nous montrons comment mesurer les performances de débit du canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH) dans un scénario multi-utilisateur à entrées multiples et sorties multiples (MU-MIMO), nous utilisons deus types de duplexage par répartition en fréquence et le temps (FDD) et (TDD). Dans un scénario MU-MIMO, en raison de la transmission simultanée de données à plusieurs utilisateurs, des interférences entre utilisateurs seront présentes au niveau du récepteur. Les interférences entre utilisateurs au niveau du récepteur peuvent être annulées à l'aide de techniques de précodage au niveau de l'émetteur. Deux techniques de précodage linéaire pour la transmission MU-MIMO sont l'inversion de canal et la diagonalisation de bloc. Le schéma fonctionnel de PDSCH avec MU-MIMO est présenté dans la Figure 3.1. Les systèmes de transmission MIMO ont un avantage par rapport aux autres systèmes grâce à leur grande capacité.

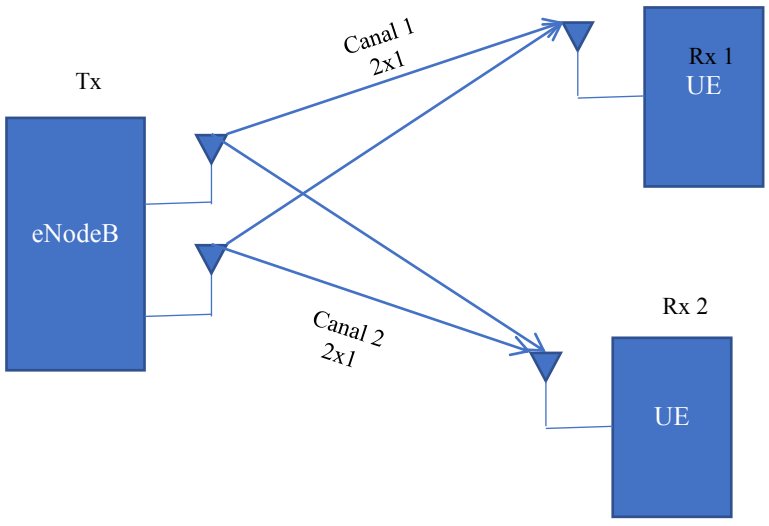


Figure 3.1 Schéma fonctionnel du canal PDSCH avec MU-MIMO

Les paramètres de simulation pour la station de base (eNodeB) et les utilisateurs (UE) sont configurés dans cette section. Nous avons utilisé une durée de simulation de deux trames pour un certain nombre de valeur de SNR avec un maximum de 4 utilisateurs et un maximum de 4 couches pour tous les utilisateurs. Le nombre d'antennes d'émission doit être supérieur ou égal au nombre total d'antennes de réception pour tous les utilisateurs.

Pour déterminer le débit à chaque valeur de SNR, la chaîne de traitement PDSCH sous-trame par sous-trame comprend :

- Calcul de la matrice de précodage - Une estimation parfaite du canal est utilisée pour calculer la matrice de précodage pour chaque utilisateur.

- Mise à jour du processus HARQ- Des processus HARQ distincts sont utilisés pour chaque utilisateur.

- Création d'une forme d'onde de transmission - Des symboles PDSCH distincts sont générés pour chaque utilisateur. Les symboles PDSCH sont précodés avec la matrice de précodage calculée. Les symboles PDSCH précodés correspondant aux UE sont combinés et modulés OFDM.

- Modélisation de canal de transmission par un bruit AWGN
- Effectuer la synchronisation et la démodulation OFDM - Effectuées séparément pour chaque utilisateur.

- Décalez les symboles reçus pour tenir compte d'une combinaison de retard de mise en œuvre et d'étalement du retard de canal. L'OFDM démodule les symboles.

- Décodage du PDSCH - Effectué séparément pour chaque utilisateur. Une estimation parfaite du canal est supposée au niveau du récepteur pour les opérations de décodage.

- Décodage du DL-SCH et stockage du bloc CRC - Effectué séparément pour chaque utilisateur.

Les Figure 3.2, Figure 3.3 et Figure 3.4 représentent un débit du canal (PDSCH) pour deux, trois et quatre utilisateurs en fonction de SNR, en utilisant 2,3, et 4 antennes à la transmission et 1 antenne à la réception avec une modulation 64 QAM. On remarque que le débit est déminué quand on a une augmentation des nombres utilisateurs et nombre des antennes de transmission

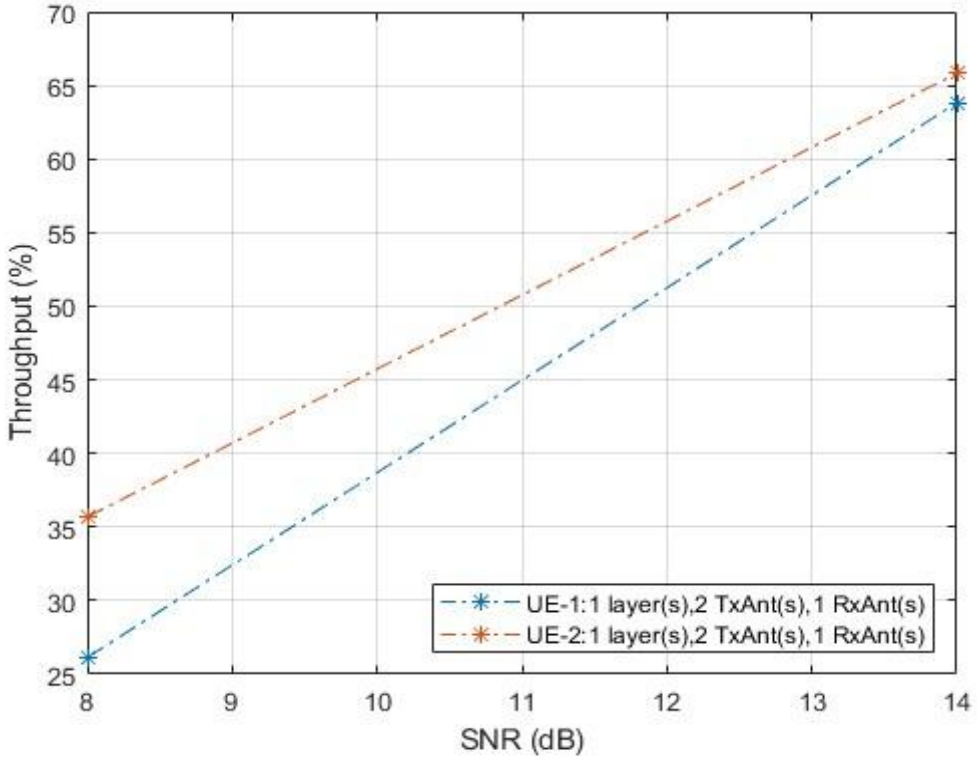


Figure 3.2 Débit du canal (PDSCH) pour deux utilisateurs

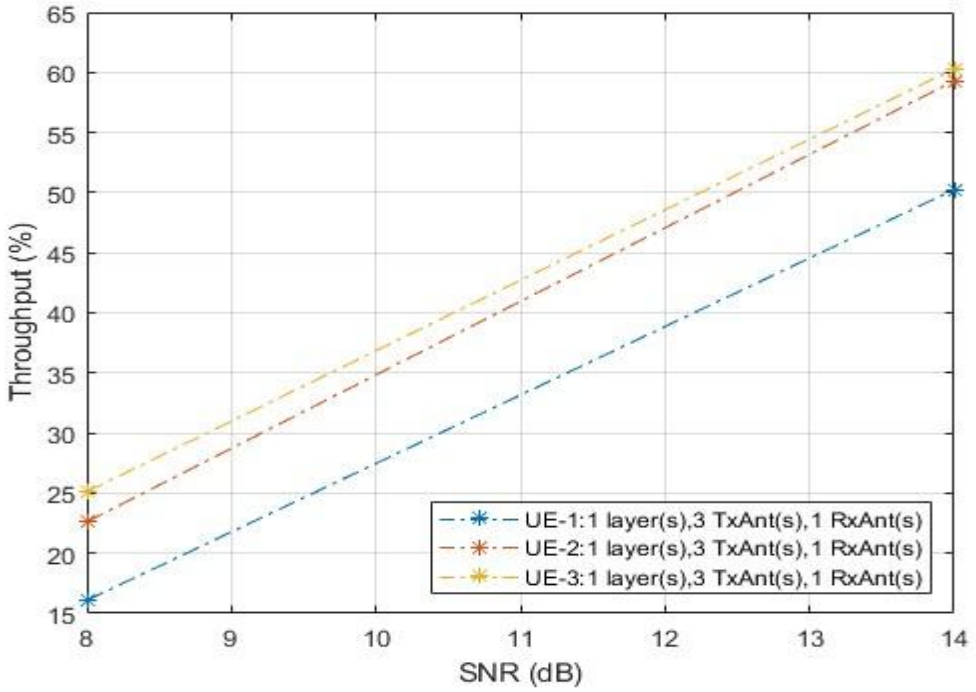


Figure 3.3 Débit du canal (PDSCH) pour trois utilisateurs

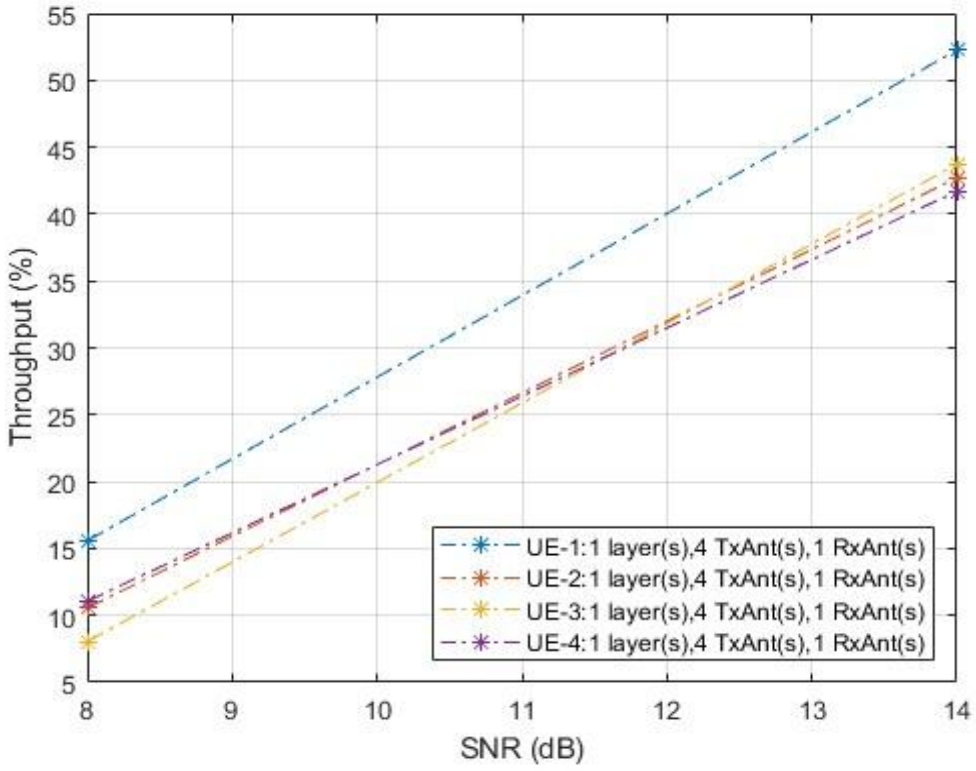


Figure 3.4 Débit du canal (PDSCH) pour quatre utilisateurs

D'après ces résultats on peut conclue que la capacité des systèmes MIMO augmente avec le nombre d'antennes émetteurs. Mais à un certain nombre d'antennes, Ce dernier devient inutile puisque la capacité du système sature.

3.2 Les performances de débit du canal (PDSCH) dans les différents des fréquences de sous-porteuse

Le 5G a spécifié la configuration de largeur de bande de transmission maximale pour chaque canal UE et l'espacement des sous-porteuses. Le sous-porteuses permet de multiplexer aisément différents utilisateurs, ou différents canaux. Les données du canal PDSCH sont distribuées sur plusieurs sous-porteuses au sein d'une bande passante donnée. Les Figures 3.5,3.6 et 3.7 ci-dessous représentent le débit du canal (PDSCH) pour la fréquence de sous-porteuse, 30,40 et 60 kHz.

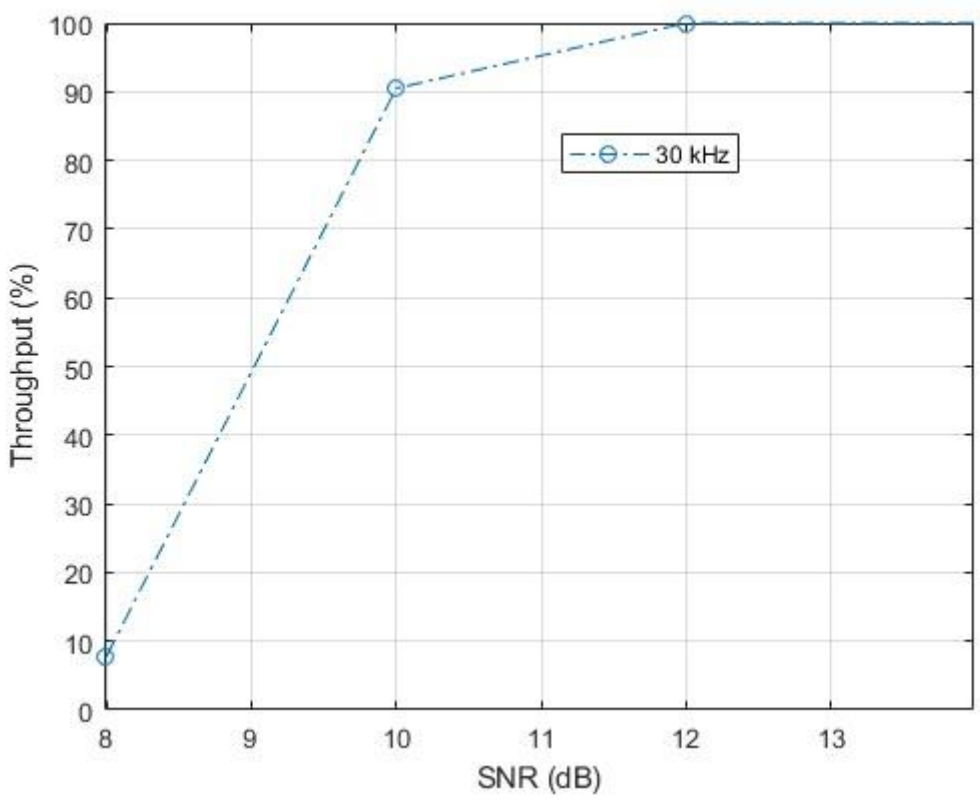


Figure 3.5 Débit du canal (PDSCH) pour la fréquence de sous-porteuse 30kHz.

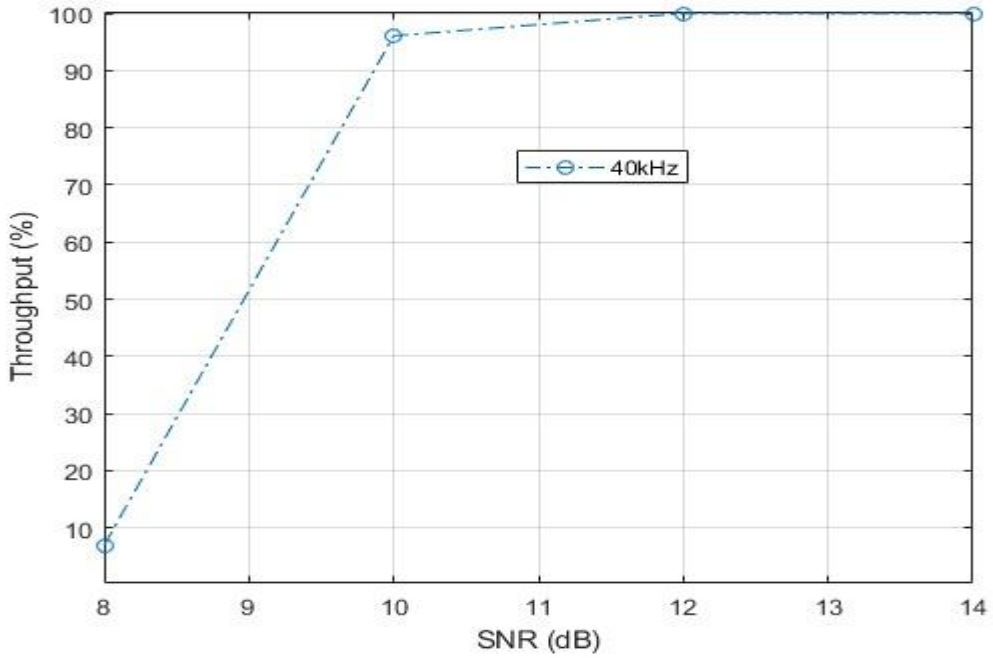


Figure 3.6 Débit du canal (PDSCH) pour la fréquence de sous-porteuse 40kHz

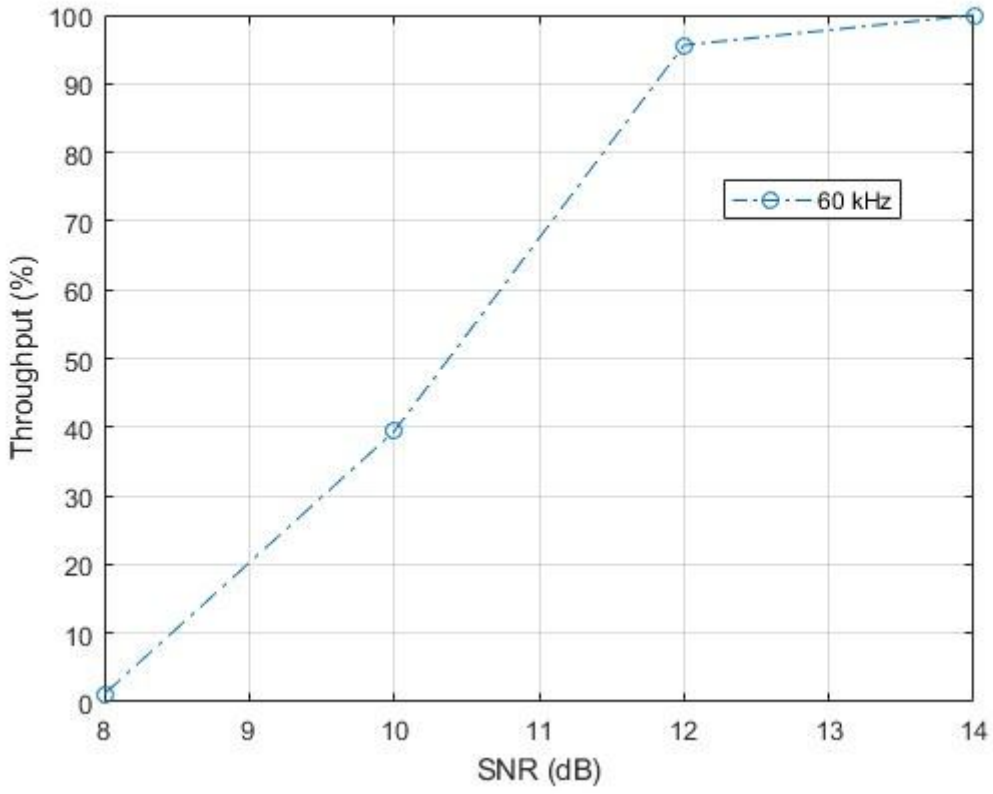


Figure 3.7 Débit du canal (PDSCH) pour la fréquence de sous-porteuse 60kHz.

Après les résultats des Figures 3.6 et 3.7, nous remarquant que dans les différents de sous porteuse le SNR augmente le débit amélioré mais il y a une petite déférence tel que le débit

pour le sous-porteuse 30kHz s'améliore lentement par apport au sous porteuse 40 kHz et 60 kHz.

3.3 Les performances du canal (PDSCH) pour les différents nombre de blocs :

Cette partie de l'exemple montre comment effectuer une simulation au niveau de la liaison NPDSCH et tracer les résultats BLER. Dans cette simulation, le 5G Toolbox peut être utilisé pour créer une simulation de taux d'erreur de bloc (BLER) de canal partagé de liaison descendante physique (NPDSCH) sous un canal du bruit gaussien blanc additif (AWGN).

La configuration du canal NPDSCH comme suivant :

- La fonction NPDSCHDataType indique si le NPDSCH transporte ou non le bloc d'informations système de type NB.
- La variable NPDSCHModulation indique le schéma de modulation utilisé par le NPDSCH. Les valeurs autorisées de NPDSCHModulation sont « QPSK »
- La variable ISF configure le nombre de sous-trames pour un NPDSCH selon 3GPP, les valeurs valides pour ISF sont 0...7.
- La variable SchedulingInfoSIB1 configure le nombre de répétitions NPDSCH selon le 3GPP, les valeurs valides pour SchedulingInfoSIB1 sont 0...11.
- La variable IRep configure le nombre de répétitions de bloc dans le canal NPDSCH selon 3GPP, les valeurs valides pour NRep sont 0...256.
- La variable IMCS avec IRep configure la taille du bloc de transport (TBS) selon 3GPP ,les valeurs valides pour IMCS sont 0...13.

La **Figure 3.8** présente le taux d'erreur de bloc en focntion du SNR dans les différenst nombre de répétitions des blocs pour le canal NPDSCH.

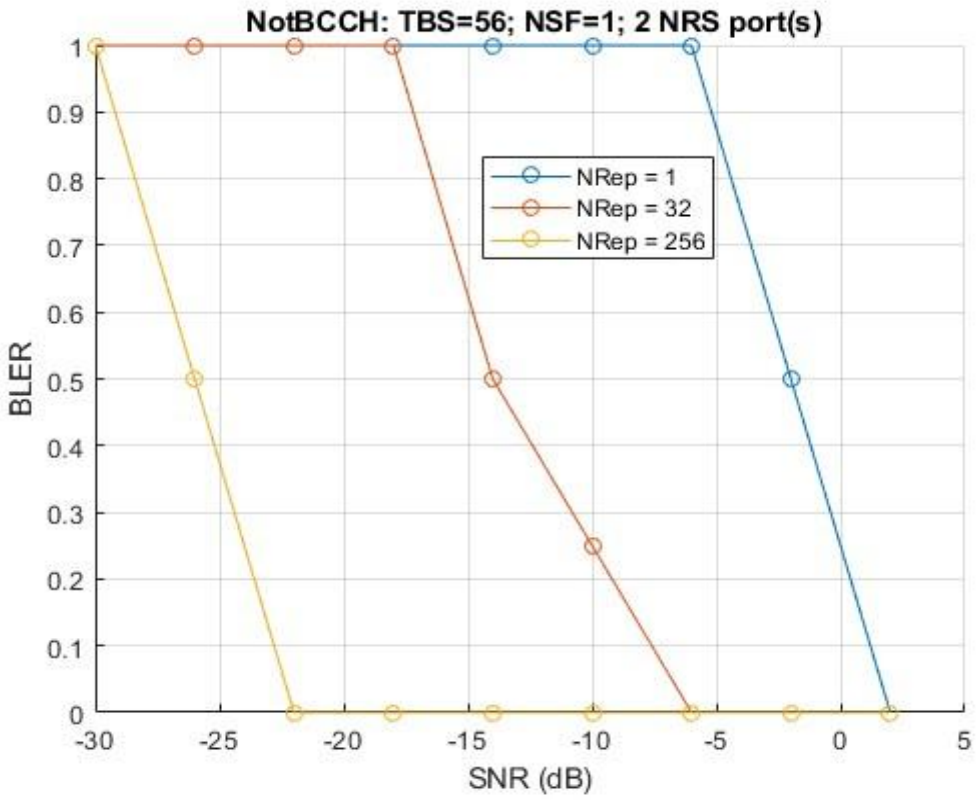


Figure 3.8 Taux d'erreur de bloc en focntion du SNR pour le nombre de répétitions des blocs dans le canal NPDSCH, Nrep=1 (bleu), Nrep=32 (rouge), Nrep=256 (jaune).

Après les résultats de Figure 3.8, nous remarquant que le taux d'erreur de bloc diminu quand on augmante le nombre de blocs pour le cas de 256 blocs et SNR diminu aussi.

3.4 Les performances du canal (PDSCH) pour les différents types de modulation :

Les modulations QPSK et QAM sont utilisées sur la voie descendante dans le cas du canal PDSCH. Les Figures 3.9 et 3.10 ci-dessous représentent le taux d'erreur bit (BER) en fonction SNR pour le type de modulation QPSK et 64 QAM, 256 QAM.

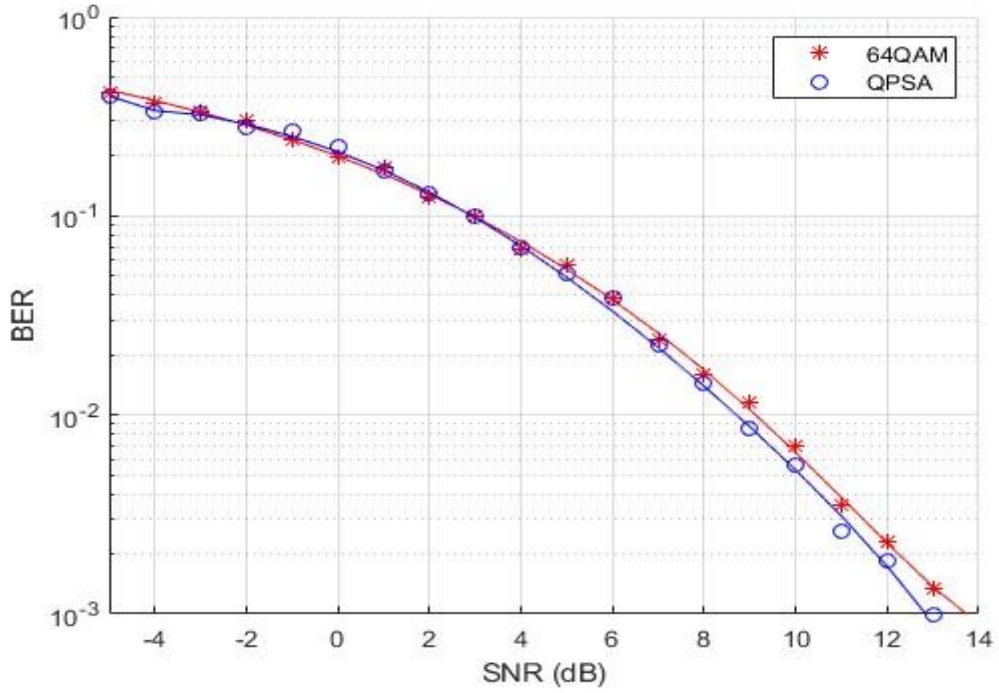


Figure 3.9 Taux d'erreur bit (BER) en fonction SNR pour le type de modulation QPSK et 64 QAM

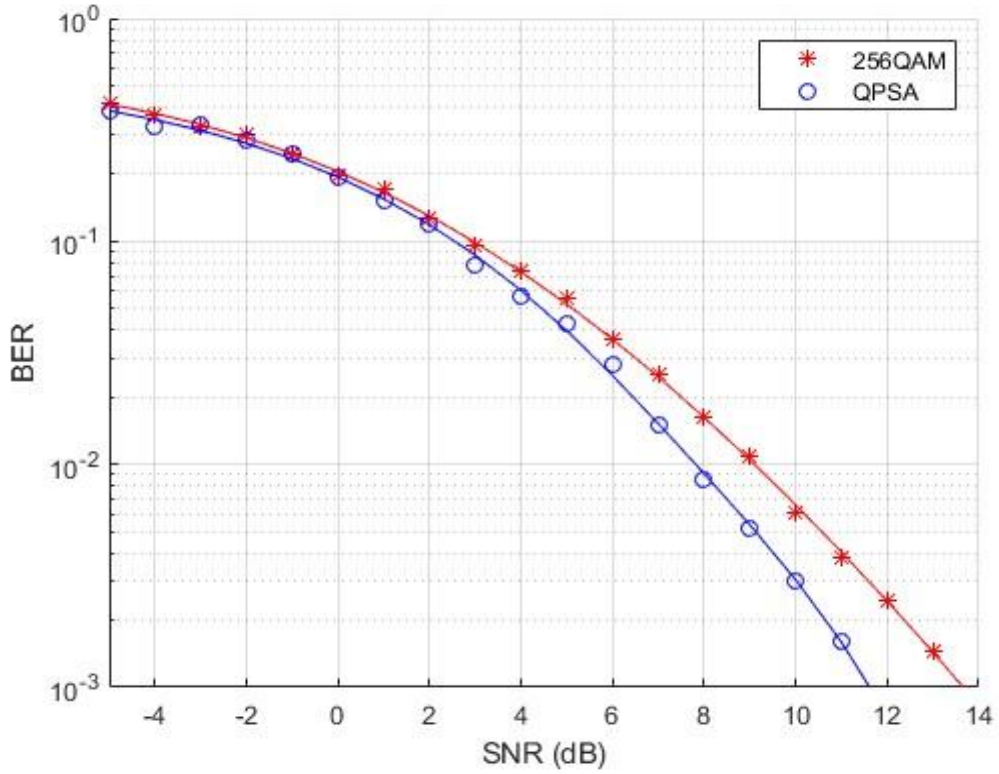


Figure 3.10 Taux d'erreur bit (BER) en fonction SNR pour le type de modulation QPSK et 256 QAM

Après les résultats des Figures 3.9 et 3.10, nous remarquant que dans les deux types de modulation si le SNR augmente le BER amélioré mais il y a une petite déférence tel que le BER pour la modulation QPSK s'améliore lentement par apport à la modulation 64 QAM et 256 QAM.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué une étude comparative des performances du canal PDSCH. Tout d'abord, nous avons évalué les paramètres influençant notre critère de qualité, à savoir le BER (Bit Error Rate), taux d'erreur de bloc (BLER) et le débit. Cette évaluation a permis d'identifier les facteurs clés impactant les performances du canal. Les performances de multi-utilisateur (MU-MIMO), de différents des fréquences de sous-porteuse, nombre de blocs et types de modulation sont analysés.

Conclusion Générale

Ce projet de recherche s'inscrit dans le cadre de l'étude de la communication sans fil et traite la problématique suivante : comment améliorer les performances de transmission dans les réseaux mobiles sans fil grâce à des techniques plus avancées. Au cours des dernières décennies, les exigences en matière de communication sans fil se sont multipliées, nécessitant des débits de transmission de plus en plus élevés.

Dans le premier chapitre, nous avons mené une étude sur le développement la cinquième génération (5G) des réseaux cellulaires, et les techniques utilisées dans cette génération et leurs architecturé qui différence aux générations précédents. Ce réseau travaille sur l'augmentation du débit et gères un grand nombre de cas et des exigences d'utilisations.

Dans le deuxième chapitre, nous avons décrit la destination d'information dans un canal de transmission et les phénomènes physiques auxquels elle est exposée, ainsi que les mécanismes de propagation dans la transmission sans fil. L'évolution enregistrée des systèmes de radiocommunication a conduit à la nécessité de rechercher de nouvelles solutions résistances aux interférences et aux déplacements multiples, ce qui est représenté dans les différents modèles de canaux rencontrés en pratique, notamment les canaux à évanouissements qui caractérisent le mieux les communications sans fil. Parmi ces canaux, les systèmes MIMO s'adaptent mieux à un environnement NLOS et offrent de bonnes performances dans un environnement riche en voyages multiples. Nous avons présenté la capacité du système, puis étudié quelques notions sur l'estimation d'un canal, qui joue un rôle clé dans les performances des systèmes de communication.

Pour la dernière phase de notre travail, nous avons fait une étude comparative sur les performances du canal PDSCH" (Physical Data Shared Channel) pour les different factures tells que : multi-utilisateur (MU-MIMO), de différents des fréquences de sous-porteuse, nombre de blocs et types de modulation. Nous déduirons que le canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH) est un canal de liaison descendante

dans réseau mobile 5G qu'a été conçu pour transporter des données partagées pour plusieurs UE simultanément. La simulation que nous avons réalisée a permis de montrer l'importance de la fréquence de sous-porteuse et types de modulation sur la performance du canal.

Résumé :

La cinquième génération des systèmes de communications sans fil (5G) fournira des applications plus diversifiées et des services de meilleure qualité pour les utilisateurs par rapport à l'évolution à long terme 4G (LTE). La 5G utilise une fréquence porteuse plus élevée, qui souffre d'une perte d'information plus importante et dégrade gravement la couverture de la 5G. La plupart des utilisateurs 5G ne peuvent souvent pas obtenir des communications de haute qualité en raison de bruits du canal de transmission et de la complexité du canal. Le canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH-NR : physical downlink shared channel New Radio) joue un rôle crucial dans la technologie de télécommunication 5G NR. L'objectif de ce travail consiste en l'étude de solutions assurant la bonne performance du canal physique partagé de liaison descendante (PDSCH-NR) dans rapport signal/bruit.

Mots de clé : Réseau mobile 5G, Canal PDSCH-NR, SNR rapport signal/bruit.

Abstract

The fifth generation of wireless communications systems (5G) will provide more diverse applications and higher quality services for users compared to the long-term evolution 4G (LTE). 5G uses a higher carrier frequency, which suffers from greater information loss and seriously degrades 5G coverage. Most 5G users often cannot achieve high-quality communications due to transmission channel noise and channel complexity. Physical downlink shared channel New Radio (PDSCH-NR) plays a crucial role in 5G NR telecommunications technology. The objective of this work consists of the study of solutions ensuring the good performance of the shared physical downlink channel (PDSCH-NR) in signal/noise ratio

Keywords: 5G mobile network, PDSCH-NR channel, SNR signal-to-noise ratio

خلاصة

تطبيقات أكثر تنوعًا وخدمات ذات جودة أعلى للمستخدمين (5Gسيوفر الجيل الخامس من أنظمة الاتصالات اللاسلكية (5 ترددًا أعلى للناقل، مما يؤدي إلى فقدان أكبر 5Gتستخدم شبكة 5 .(LTE) 5Gمقارنةً بالتطور طويل المدى لشبكة 4 من تحقيق اتصالات عالية 5Gبشكل خطير. غالبًا ما لا يتمكن معظم مستخدمي 5 5Gللمعلومات ويؤدي إلى تدهور تغطية 5 New Radio الجودة بسبب ضوضاء قناة الإرسال وتعقيد القناة. تلعب القناة المشتركة للوصلة الهابطة المادية الهدف من هذا العمل هو دراسة الحلول التي تضمن .5G NRدورًا حاسمًا في تكنولوجيا الاتصالات 5 (PDSCH-NR) .في نسبة الإشارة/الضوضاء (PDSCH-NR) الأداء الجيد لقناة الوصلة الهابطة المادية المشتركة

الكلمات الرئيسية: شبكة الهاتف المحمول

SNR ، نسبة الإشارة إلى الضوضاءPDSCH-NR ، قناة5G

Bibliographie

[1] Samuel Pierre, Max Maurice « introduction aux réseaux mobiles » Geninov Inc, 2008

[2]www.generation-nt.com/dossier-telephonie-mobile-bibop-gsm-gprs-edge-article-465192.html

[3] Moret, Boris. Amplificateur de puissance autonome pour applications OFDM et beamforming de la 5G aux fréquences millimétriques en technologie CMOS avancée. Bordeaux, 2017

[4] Introduction to Wireless Links for Digital Communications: Radio Link Bud

[5] A. Brand and H. Aghvami, Multiple Access Protocols for Mobile Communications :

GPRS, UMTS, and Beyond. New York, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2002.get". Ajouter 29 Novembre, 2007, de la part Enigmatic Consulté le 17/10/14

[6] Dahlman E, Parkvall S, Sköld J. 4G LTE-Advanced Pro and the Road to 5G Elsevier 2016.

[7]. George Lawton, "4G: Engineering versus Marketing", http://ComputingNow.computer.org, MARCH 2011.Consluté le 05/03/2024

[8]. https://developer.orange.com/od-uploads/Generalites-et-architecture-de-la-4G.pdf. Consluté le 10/02/2024

[9]. Learn 2G/3G/4G Mobile Packet Core Network in 5 Hrs | MobilePacketCore (teachable.com) 07/04/2023

[10]. D. MARWA B. ASMA, « Étude et Analyse de Méthodes de Beamforming pour des Systèmes Multi-utilisateurs Pour la 5G », mémoire de master, pages 5, 2019

[11] Dr Slimani, ‘’ Cours de réseau de la 5éme génération, les cinq objectifs de la 5G’’, DE- PARTEMENT : Electronique, Université d’Alger, Algérie, Mars 2020.

[12] : D. Kaoutar & D. Warda, « Étude de massive MIMO pour 5G », mémoire de master, pages 5-6, 2019.

[13] Detti, Andrea. "Functional architecture." CNIT - Electronic Eng. Dept., Université de Rome Tor Vergata

[14] Maha, BenZid and Raoof Kosai.’’Multi User MIMO Communication: Basie Aspects, Benefits and Challenges,’’ Proceedings of Recent Trends in Multi-user MIMO Communication. Algérie 2013.

[15] DAOUD, Khedidja. "Simulation Comparative Des Techniques FBMC et OFDM pour les réseaux 5G". l’université de Tlemcen, Faculté de Technologie, Département de Télécommunications .2016.

[16] Bennaceur. Sofiane, Bellahsene. Houcin. "Etude et modélisation de canaux SISO dans le cas Outdoor". Université Abderrahmane Mira de Bejaïa Faculté de la technologie Département de Génie électrique, 2013.

[17] Belahammou. Oussama, Bassa. Allaeddine. "Performance d’un Système de Communication OFDM". Université Kasdi Merbah Ouargla Faculté des nouvelles technologies de l'information et de la communication Departement d'Electronique et de Telecommunications.2017.

[18] Babu, A. Sudhir, and Dr KV Sambasiva Rao. "Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician fading channels under various modulation schemes." International Journal of Computer Applications 26.9 (2011): 23-28.

[19] https://teletopix.org/fr/quest-ce-que-le-canal-partage-de-liaison-descendante-physique-5g/ Consluté le 25/02/2024