

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université–AinTemouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et des Télécommunications



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en :Réseau et
télécommunication
Domaine : sciences et technologie
Filière : Télécommunication
Spécialité : Réseau et télécommunication
Thème

**Étude, planification et dimensionnement de réseau 5G via
l'outil "ATOLL "**

Présenté Par :

- 1) M LAREF yamna
- 2) M BENAYAD khadidja

Devant le jury composé de :

Dr BOUKHOBZA Abdelkader MCA UAT.B.B (Ain Temouchent) Président

Dr YAGOUB Reda MCB UAT.B.B (Ain Temouchent) Examineur

Dr Hamlili heyem MAB UAT.B.B (Ain Temouchent) Encadrant

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace

Je suis honoré et heureux de consacrer cet humble travail à ma chère famille, qui a toujours été à mes côtés et m'a soutenu tout au long de mes études.

À ma mère, pour son amour, son soutien et ses sacrifices inestimables, dont les mots d'encouragement et les prières résonnent encore à mes oreilles.

A mon père, que Dieu ait pitié de lui, qui était mon soutien

À mon mari qui a toujours cru en moi, même lorsque je doutais de mes capacités. Sa confiance en moi et son amour inconditionnel ont été pour moi une source d'encouragement.

À mes frères qui ont toujours été là pour me soutenir et me donner du courage dans les moments les plus difficiles de ma vie.

À mes chers amis avec qui j'ai partagé les plus beaux et les plus heureux moments de mon parcours universitaire, ainsi qu'à tous mes collègues du service des communications.

Enfin, sans oublier tous ceux qui m'ont aidé par leurs connaissances et leurs actes, et qui m'ont appris et fait de moi la personne que je suis aujourd'hui. Et à tous ceux qui me sont chers, à vous tous.

Laref Yamna

Dédicace

Je vois ma période d'études arriver à son terme, après des années de dur labeur et de sacrifices pour réaliser mes rêves et acquérir des connaissances. Ces années ont été remplies de rêves nocturnes, et aujourd'hui, ma fatigue se transforme en une grande satisfaction. Me voici à l'aube de ma remise de diplôme, récoltant les fruits de mes efforts et levant mon chapeau avec fierté.

Je dédie mon succès et mon diplôme à :

*Celui qui a embelli mon nom des plus beaux titres, à celui qui m'a soutenu sans limites et m'a donné sans compter, à celui qui m'a appris que la vie est un combat dont les armes sont la science et la connaissance : mon premier soutien dans mon parcours, mon pilier, ma force, après Dieu, ma fierté et mon honneur « **mon père** »*

*À celle pour qui le Paradis est sous ses pieds, qui m'a enveloppé de son cœur avant ses mains, et qui a facilité mes épreuves par ses prières :
« **ma mère** ».*

*À ceux avec qui j'ai grandi et sur qui je peux toujours compter, à ceux dont la présence m'apporte force et amour sans limites, à ceux avec qui j'ai découvert le sens de la vie : mes frères et sœurs. « **Rokía, Wafaa, Mohamed Ali, Djawed et Sadjoud** ».*

Je vous dédie une partie de ce succès. Votre soutien, vos encouragements et vos rires ont rendu ces années inoubliables. Vous avez été une source de motivation et de joie, et je suis reconnaissante pour chaque moment partagé avec vous. Mes chères amies.

À toutes les personnes qui m'ont soutenu, je vous remercie d'être toujours là pour moi, Merci.

Benayad Khadidja

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné le courage et la patience de mener à bien ce travail.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements à notre directrice de thèse, Dr Hamlîli Heyem, pour son orientation continue, son intérêt et son suivi de nos travaux, ainsi que pour sa présence et son soutien constants.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury pour leur intérêt pour nos recherches et leur volonté d'évaluer ces travaux.

Nous sommes également reconnaissants à tous ceux qui travaillent au Département d'Electronique et des communications de l'Université pour leur soutien et leur assistance continus pendant notre période d'études.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Résumé

En raison du développement rapide de la technologie mobile, les réseaux 4G sont incapables de répondre aux exigences croissantes des futurs réseaux sans fil, telles qu'une mobilité élevée, un faible délai, une fiabilité améliorée, une consommation d'énergie efficace et des vitesses de transmission de données plus élevées à moindre coût. C'est pour cette raison que la technologie 5G a été développée pour relever ces défis.

À mesure que la technologie des communications sans fil progresse et que la portée du réseau s'étend, la complexité de la planification des réseaux sans fil augmente. De plus, la couverture et la planification du réseau 5G doivent être soigneusement étudiées et optimisées avant son lancement. Dans ce mémoire, nous envisageons d'analyser et de simuler les différents paramètres impliqués dans la planification des réseaux radio 5G, telles que la couverture, la capacité, la qualité de service, etc., en utilisant l'outil Atoll (version 3.4.0) dans la simulation pratique du réseau 5G.

Mots clés : 5G, couverture, capacité, QoS, planification détaillée, ACP et Atoll.

Abstract

Due to the rapid development of mobile technology, 4G networks are unable to keep up with the increasing demands of future wireless networks, such as high mobility, low delay, improved reliability, efficient power consumption, and higher data transmission speeds at lower cost. For this reason, 5G technology was developed to address these challenges. As wireless communications technology advances and network range expands, the complexity of wireless network planning increases. In addition, 5G network coverage and planning must be carefully studied and optimized before its launch.

For our final project, we aim to analyze and simulate various parameters involved in 5G radio network planning, including coverage, capacity, and quality of service. We utilized the Atoll tool (version 3.4.0) to conduct practical simulation of the 5G network.

Keywords: 5G, coverage, capacity, QoS, detailed planning, ACP and Atoll.

ملخص

نظرًا للتطور السريع في تكنولوجيا الهواتف المحمولة، أصبحت شبكات الجيل الرابع غير قادرة على مواكبة المتطلبات المتزايدة للشبكات اللاسلكية المستقبلية، مثل الحركة العالية، والتأخير المنخفض، والموثوقية المحسنة، والاستهلاك الفعال للطاقة، وسرعات نقل البيانات الأعلى بتكلفة أقل. لهذا السبب، تم تطوير تقنية الجيل الخامس لمواجهة هذه التحديات. ومع تقدم تكنولوجيا الاتصالات اللاسلكية وتوسع نطاق الشبكة، يزداد تعقيد تخطيط الشبكات اللاسلكية. بالإضافة إلى ذلك، يجب دراسة تغطية وتحسين تخطيط شبكة الجيل الخامس بدقة قبل إطلاقها. في هذا البحث، نقترح دراسة ومحاكاة الخصائص التي تميز تخطيط شبكة الجيل الخامس، مثل التغطية، القدرة، جودة الخدمة، وغيرها، باستخدام أداة Atoll الإصدار 3.4.0 في المحاكاة العملية لشبكة الجيل الخامس.

كلمات مفتاحية: الجيل الخامس، السعة، التغطية، التخطيط التفصيلي، ACP، برنامج Atoll.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements	ii
Résumé.....	iii
Abstract.....	iv
v.....	ملخص
Liste des figures.....	x
Liste des tableaux.....	xii
Liste d'abréviations.....	xiii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : L'évolution des réseaux mobiles.....	3
I.1 Introduction.....	4
I.2 Evolution des réseaux cellulaires.....	4
I.2.1 Première génération (1G)	5
I.2.2 Deuxième génération (2G)	5
I.2.2.1 Système GSM	5
I.2.2.2 GPRS	7
I.2.2.3 EDGE	7
I.2.3 La troisième génération (3.....	7
I.2.3.1 L'UMTS.....	8
I.2.3.2 HSPA.....	9
I.2.3.3 HSPA+.....	9
I.2.4 La quatrième génération (4G).....	10
I.2.5 Le réseau 5G.....	12
I.4 Conclusion.....	13
Chapitre II : Réseau 5G.....	14
II.1 Introduction	15

II.2 Normalisation de la 5G	15
II.3 L'architecture du réseau 5G	16
II .3.1 Équipements utilisateurs (UE).....	17
II.3.2 Réseau cœur (Core Network).....	17
II.3.3 Réseau d'accès radio (RAN)	19
II.4 Les fréquences utilisées dans la 5G	20
II.5 Les techniques d'accès multiple	21
II.5.1 OFDM	21
II.5.2 OFDMA	22
II.5.3 SC-FDMA	22
II.5.4 La technologie MIMO.....	23
II.5.5 Massive MIMO.....	24
II.5.6 Beamforming	24
II.6 Numérologie.....	25
II.7 Structure des trames dans la 5G.....	26
II.8 Model de propagation.....	28
II.8.1 Modèle OKUMURA-HATA.....	29
II.8.2 Modèle COST 231-HATA.....	30
II.8.3 Modèle de propagation standard	31
II.9 Conclusion.....	32
Chapitre III : Planification du réseau mobile 5G	33
III.1 Introduction.....	34
III.2 Planification de réseau radio.....	34
III.2.1 Objectif de la planification.....	35
III.2.2 Besoin d'un processus de planification.....	35
III.2.3 Processus de planification.....	35
III.2.4 Pré-planification.....	35
III.2.5 Dimensionnement de couverture.....	36
III.3 Planification détaillé	42

III.3.1 Présentation du logiciel de planification atoll	42
III.3.2 Environnement de travail d'Atoll.....	42
III.3.3 Étapes de planification	43
III.3.3.1 Création d'un projet 5G.....	43
III.3.3.2 Importation de la carte	44
III.3.3.3 Choix du système de coordonnées.....	45
III.3.3.4 Ajoute de sites	46
III.4 Conclusion	47
Chapitre IV : Simulation et discussion des résultats.....	48
IV.1 Introduction	49
IV.2 Optimisation	49
IV.3 Résultats de différentes prédictions.....	51
IV.3.1 Couverture 5G par SS-RSRP	51
IV.3.2 Couverture 5G par PDSCH C/(I+N)	52
IV.3.3 Qualité de la liaison montante	52
IV.3.4 Capacité 5G par débit (DL)	53
IV.3.5 Couverture dans les zones de chevauchement	54
IV.4 Analyse de performance du réseau planifié.....	55
IV.4.1 Perte de chemin en 5G en fonction de la distance	55
IV.4.2 Réception 5G.....	56
IV.5 Conclusion.....	57
V. Conclusion générale.....	58
Conclusion générale.....	59
Bibliographie.....	60

Liste des figures

Figure I.1 : L'évolution de réseau cellulaire	04
Figure I.2 : L'architecture du réseau GSM	06
Figure I.3 : L'architecture de réseau UMTS	08
Figure I.4 : L'architecture du réseau LTE	11
Figure I.5 : Réseaux 5G caractéristiques et usages.....	12

Figure II.1 : L'architecture du réseau 5G.....	16
Figure II.2 : L'architecture du cœur 5G.....	17
Figure II.3 : l'architecture du NG-RAN.	20
Figure II.4 : l'utilisation de spectre dans la téléphonie mobile.....	20
Figure II.5 : Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM.....	21
Figure II.6 : La différence entre l'OFDM et l'OFDM.....	22
Figure II.7 : La différence entre l'OFDMA et le SC-FDMA.....	23
Figure II.8 : Schéma d'un système de transmission sans fil MIMO.....	23
Figure II.9 : Illustration des antennes basées sur le Massive MIMO.	24
Figure II.10 : Massive MIMO et le beamforming.....	25
Figure II.11 : Structure générale de trame pour différentes numérolgies.....	26

Figure III.1 : L'architecture du la planification 5G.	34
Figure III.2 : Les étapes de la planification des réseaux cellulaires.....	35
Figure III.3 : Centre-ville d'Aïn Témouchent.....	36
Figure III.4 : Calcule de dimensionnement de couverture.....	37
Figure III.5 : Bilan de liaison 5G.....	38
Figure III.6 : Environnement de travail d'Atoll.....	42
Figure III.7 : Création d'un nouveau projet sur Atoll.....	43

Figure III.8 : Nouveau projet 5G.....	44
Figure III.9 : Importation de la carte d'Algérie.....	44
Figure III.10 : Wilaya d'Aïn Témouchent.....	45
Figure III.11 : Centre-ville D'Ain Témouchent.....	45
Figure III.12 : Choix de système coordonnées.....	46
Figure III.13 : Cartographie des sites.....	46
Figure.III.14. Tableau présente un exemple de données de coordonnées utilisées pour localiser des sites.....	47

Figure IV.1 : Optimisation de la couverture et de la capacité du réseau avec l'ACP.....	49
Figure IV.2 : Modifications de détails après l'optimisation.....	50
Figure IV.3 : Rapport de l'optimisation réalisée.....	50
Figure IV.4 : Couverture 5G par SS_RSRP.....	51
Figure IV.5 : Qualité par PDSCH C/(I+N).....	52
Figure IV.6 : Prédiction de la qualité de la liaison montante.....	53
Figure IV.7 : Prédiction de capacité 5G (DL)	53
Figure IV.8 : Couverture dans les zones de chevauchements.....	54
Figure IV.9 : Histogramme de prédiction de couverture 5G dans les zones de chevauchements.....	55
Figure IV.10 : Pertes de chemin en 5G en fonctions de la distance.....	56
Figure IV.11 : Analyse ponctuelle de la SS_RSRP dans la réception 5G	56

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Numérologie multiples dans NR.....	25
Tableau II.2 : Canaux physiques dans NR.....	27
Tableau II.3 : Signaux physiques NR	28
<hr/>	
Tableau III.1 : Paramètres de la zone.....	36
Tableau III.2 : Paramètres de la transmission.....	39
Tableau III.3 : Résumé des paramètres et du rayon de cellule.....	41

Liste des abréviations

1

1G :la première génération

2

2G :la deuxième génération

3

3G :La troisième génération

3GPP: 3rd Generation Partnership Project .

4

4G :La quatrième génération.

5

5G :La cinquième génération.

5GC : 5G_Core

A

ACP : Automatic Cell Planning.

AMF: Access and Mobility Management Function .

AMPS :Advanced Mobile Phone System .

AUSF:AuthenticationServer Function

ADSP : Actualité et Dossier en Santé Publique

AF : Application Function.

ASCII : American Standard Code for Information Interchange.

B

BTS :Base Transceiver Station.

BSC :Base Station Controller.

C

CN :Core Network .

CDMA :Code Division Multiple Access.

D

DL : Downlink

DN : Data Network

DNS : Domaine Name system.

E

EBCDIC : Extended Binary Coded Decimal Interchange Code .

EDGE :Enhanced Data rates for GSM Evolution.

ETSI : EuropeanTelecommunications Standards Institute .

EIRP : Effective IsotropicRadiated Power.

ENB : Evolved NodeB

F

FDMA :Frequency Division Multiple Access .

FTP : File Transfer Protocol

G

GPRS :General Pack Radio Service.

GSM :Global System for Mobile communications

GMSC :Gateway Mobile Switching Center.

gNB : Next Generation NodeB.

H

HLR :Home Location Register.

HTTP : HyperText Transfer Protocol

I

IOT : Internet of things.

IPV4 : Internet Protocol Version 4.

IPv6 : Internet Protocol Version 6.

ICMP :Inernet Control Message protocol.

IGMP : Internet Group Management Protocol.

ISO :International Organization for Standardization.

J

JPG : Joint Photographic Experts Group.

L

LTE :LongTerm Evolution .

LLC : Logiciel Link control

M

MAC:Media Access control

MAPL: Maximum Allowable Path Loss .

MIDI: Musical Instrument Digital Interface .

MIMO: Multiple-Input, Multiple-Output

MMS: Multimedia Message Service.

MU-MIMO: Multi-User Multiple Input Multiple Output.

MSC: Mobile Switching Center

N

NSSF: Network Slice Selection Function

NEF: Network ExposureFunction.

NMT: Nordic Mobile Telephone.

NSS: Network Switching Subsystem.

NRF: Network Repository Function

NetBIOS: Network Basic Input Output System.

Ng-eNB: next Generation evolved NodeB

O

OSI: Open SystemsInterconnection

OFDM: orthogonal frequency-division multiplexing

P

POP3: Post office Protocol

PCF: Policy Control Function.

PDSCH: Physical DownlinkShared Channel.

R

RAN: réseau Access Network .

RF: Radio Frequency.

RTP: Real-time transport Protocol.

RPC: RemoteProcedure Call.

S

SMTP: Simple Mail Transfer Protocol

SBA: Service-Based Architecture

SMF: Session Management Function

SPX : Sequencedpacket exchange

SMS : Short Message Service .

SSR :Sous-Système Radio.

SSS :Sous-Système Signalisation.

SCTP: Stream Control Transmission Protocol .

SU-MIMO: Single User Multiple Input Multiple Output .

SQL: StructuredQueryLanguage .

SS_RSRP: Synchronization Signal Reference Signal ReceivedPower .

T

TACS: Total Access Communications System.

TDD: Time Division Duplexing .

TDMA: Time Division Multiple Access.

TCP: Transmission Control Protocol

TCAP:Transaction Capabilities Application Part

U

UE : équipements utilisateurs

UL :Uplink

UPF : User Plane Function

UDM : Unified Data Management

UDP: User datagram Protocol

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System.

V

VLR :Visitor Location Register.

Introduction générale

Dans un monde de plus en plus connecté, la transition vers la technologie 5G est devenue incontournable pour répondre aux besoins croissants en connectivité haut débit et en services innovants. Cette évolution est particulièrement cruciale dans les environnements universitaires, où la demande en bande passante et en connectivité mobile est en constante augmentation.

Face à cette réalité, le projet se concentre sur une zone spécifique de la wilaya d'Aïn Témouchent, mettant en avant la nécessité de planifier et de dimensionner efficacement un réseau 5G dans cette région pour répondre aux exigences croissantes en matière de connectivité et de services mobiles. L'objectif principal du projet est de définir une stratégie de déploiement adéquate pour un réseau 5G dans cette zone, en utilisant le logiciel Atoll comme principal outil de planification. Cette initiative vise à garantir une couverture étendue, une capacité suffisante et une qualité de service optimale pour les habitants et les entreprises de la région. En analysant les spécificités de la zone et en utilisant des outils avancés de planification, le projet cherche à fournir des recommandations pratiques pour une mise en œuvre réussie du réseau 5G dans cet environnement dynamique. Ce mémoire vise à explorer en détail les différentes facettes de la planification des réseaux 5G à travers quatre chapitres distincts.

Le premier chapitre offre une vue d'ensemble des différentes générations du réseau cellulaire, du 1G au 5G. Nous examinerons l'évolution des technologies de communication mobile depuis les premiers systèmes analogiques jusqu'à l'ère actuelle de la 5G, en mettant en lumière les avancées technologiques et les défis rencontrés à chaque étape.

Dans le deuxième chapitre, nous explorerons les bases fondamentales du réseau 5G. Nous aborderons les aspects tels que les fréquences utilisées, l'architecture du réseau, la structure des trames, ainsi que les modèles de propagation des ondes radio. Cette compréhension approfondie des principes sous-jacents du réseau 5G jettera les bases nécessaires pour une planification efficace.

Le troisième chapitre se concentrera sur la planification du réseau 5G, en détaillant le processus de planification ainsi que les étapes à suivre. Nous examinerons également le rôle du logiciel Atoll dans la planification des réseaux 5G, en mettant en évidence les fonctionnalités telles que le bilan de liaison pour évaluer les performances du réseau.

Enfin, le quatrième chapitre présentera les résultats de la simulation effectuée dans une zone spécifique de la wilaya de Ain-Temouchent. Nous analyserons les performances du réseau 5G planifié et optimisé dans cette région, en évaluant des paramètres tels que la couverture, la capacité et la qualité de service, afin de tirer des conclusions pratiques pour la mise en œuvre future des réseaux 5G.

Chapitre I : L'évolution des réseaux mobiles

I.1 Introduction

Au fil des dernières décennies, les réseaux de communication mobile ont connu une croissance et des évolutions notables donnant naissance à Plusieurs générations de réseaux mobiles (1G, 2G, 3G, 4G et 5G). Le passage d'une génération à une autre englobe essentiellement des transformations dans divers aspects tels que la vitesse, la technologie, la fréquence, la capacité de données, la latence et l'introduction de nouvelles techniques et fonctionnalités.

La première génération des réseaux de communication mobile, le 1G, était analogique et principalement utilisée pour les appels vocaux. La deuxième génération, le 2G, introduisit la technologie numérique et permit la transmission de messages textuels. Avec l'arrivée de la troisième génération, le 3G, les vitesses de transmission de données augmentèrent, la capacité fut accrue et le support multimédia fut intégré. La quatrième génération, le 4G, fusionna la connectivité de la 3G avec l'internet fixe, facilitant ainsi l'accès à l'internet mobile. Cette évolution technologique surmonta les limitations de la 3G, en augmentant la bande passante et en réduisant les coûts des ressources et bientôt la cinquième génération qui va être la plus puissante. Dans ce chapitre, nous allons présenter chacune des générations citées ci-dessus [1].

I.2 Evolution des réseaux cellulaires

Le réseau cellulaire a parcouru un long chemin au cours des 40 dernières années. Toutes les générations de réseaux cellulaires ont été marquées par diverses améliorations significatives depuis les premiers réseaux analogiques 1G jusqu'aux réseaux 5G actuels [2].

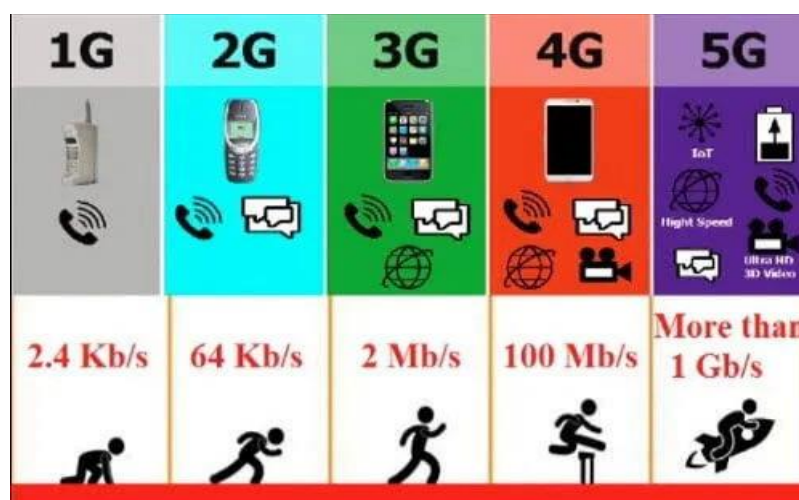


Figure I.1. Evolution des réseaux cellulaires [5].

I.2.1 Première génération 1G

La première génération du réseau cellulaire, a été lancée entre les années 1970 et 1980. Basé sur une transmission analogique avec une modulation de fréquence (utilisé des signaux Radios analogiques), elle a été allouée uniquement pour les échanges vocaux, sous des appels téléphoniques. Constitué d'appareils relativement volumineux

La première génération de systèmes cellulaires utilisait principalement les normes Suivantes :

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) est un réseau analogique lancé aux Etats-Unis, reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).
- **NMT** (Nordic Mobile Telephone) a été principalement conçu dans les pays nord-Européens et utilisés dans d'autres parties de la planète.
- **TACS** (Total Access Communications System), qui dépend de la technologie AMPS.

1G offre un débit allant jusqu'à 2.4 kbps, elle souffre de nombreux inconvénients Tels que la qualité de la voix et les appels abandonnés, la mauvaise vie de la batterie. Ces problèmes ont conduit à la découverte d'une nouvelle génération plus performante qui utilise un système cellulaire numérique [3].

I.2.2 Deuxième génération 2G

La 2G représente la deuxième génération du réseau cellulaire. Il s'agit du premier système numérique introduit en 1990. Ce système utilise une technologie numérique pour les liaisons ainsi que les signaux vocaux. Offre une meilleure qualité et une plus grande capacité à moindre coût pour l'utilisateur. La 2G a joué un rôle clé dans le déploiement du service de données pour les mobiles en lançant le SMS (Short Message Service) pour les messages textuels et en permettant l'envoi de contenus multimédias via les MMS (MultiMedia Message Service). Cette évolution a significativement enrichi les options de communication sur les téléphones portables [4].

I.2.2.1 Système GSM (Global System for Mobile communications)

Le système mondial de communication mobile GSM, appelé aussi la 2G. C'est une norme développée par l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI), a été introduit en 1991 en Finlande. Il a établi les protocoles de réseau cellulaire numérique de

deuxième génération (2G), principalement optimisés pour les appareils mobiles. Cette norme a eu un impact significatif sur l'évolution des communications mobiles.

➤ **L'architecture du GSM**

L'architecture du GSM peut être divisée en trois sous-système comprenant plusieurs éléments essentiels :

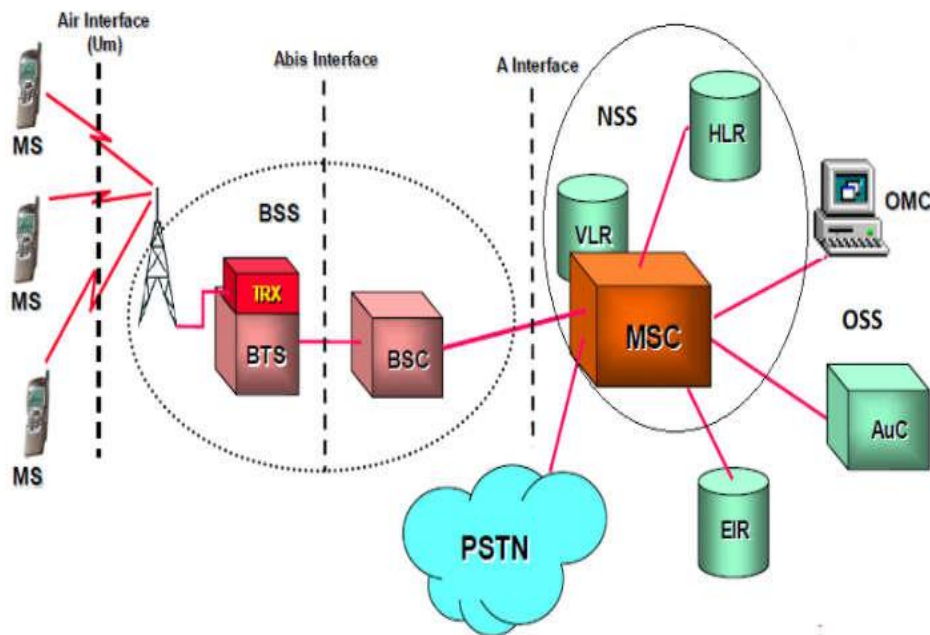


Figure I.2.*L'architecture de réseaux GSM.*

➤ **SSR (Sous-Système Radio)** : est responsable de la gestion de la transmission radio et se compose de diverses entités telles que :

- La station de base (BTS-Base Transceiver Station) : La BTS dans le GSM est une composante cruciale gérant la communication radio avec les téléphones mobiles.
- Contrôleur de station de base (BSC-Base Station Controller) : BSC coordonne les stations de base et alloue les fréquences.
- Équipement utilisateur (UE) : Les téléphones mobiles et autres appareils.

➤ **Sous-Système de Commutation NSS (Network Switch ING subseystme)** : Ce système exécute des fonctions de communication et de routage des appels, comprend le MSC (Mobile Switch ING Center et le Gateway MSC (GMSC).

➤ **Sous-Système de Signalisation (SSS)** : dans le cadre du GSM comprend le Home Location Register (HLR) et le Visitor Location Register (VLR). Ces composants stockent des informations communes et une gestion d'authentification et fournissent des données temporaires pour les utilisateurs errants. HLR conserve des informations permanentes sur les abonnés, tandis que VLR stocke des données temporaires sur les utilisateurs en dehors de leur zone d'origine. Ensemble, ces éléments contribuent efficacement à signaler la gestion et à localiser les abonnés au sein du réseau GSM [6].

I.2.2.2 GPRS (General Pack Radio Service)

Réseau GPRS (2,5G) est une technologie de connexion sans fil appartient au réseau de deuxième génération (2G). Il fournit des améliorations de flux importantes, permettant un transfert de données au lieu du son uniquement. Le GPRS a été une introduction à Internet mobile, car les flux théoriques sont fournis jusqu'à 171,2 kbps, bien que dans la pratique, cela peut varier d'environ 40 Kbps. Il offre également une tarification basée sur le volume échangé [7]. Ces techniques sont généralement diffusées sur 1800 bandes de fréquences MHz [8].

I.2.2.3 EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

EDGE également appelé 2,75G, a facilité la transition entre la deuxième génération (2G) et la troisième génération (3G) en améliorant les débits de données par rapport au GPRS. Cette technologie a été développée pour fournir des taux de transfert de données plus élevés, atteignant théoriquement jusqu'à 384 Kbits/s. EDGE marque une évolution vers des technologies de données plus rapides, préparant ainsi le terrain pour l'avènement des réseaux 3G et 4G [7]. Comme le GPRS, EDGE opère sur les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz [8].

I.2.3 La troisième génération (3G)

La 3G était le premier système de large bande mobile formé pour fournir la voix et améliorer la qualité de service (QoS) avec un peu de multimédia. 3G a utilisé MIMO pour multiplier la puissance du réseau sans fil et utilisée également la commutation de paquets pour une transmission de données rapide. Les normes les plus courantes étaient l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) et le CDMA2000.

I.2.3.1 L'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est une technologie choisie dans la famille IMT 2000 (International Mobile Telecommunications) comme norme pour les systèmes de télécommunications mobiles de troisième génération (3G), qui remplaceront progressivement le standard GSM. Les avancées technologiques liées à la norme UMTS permettent une nette amélioration des vitesses de transmission pouvant atteindre 2 Mbit/s. Ces débits sont considérablement supérieurs à ceux offerts par les réseaux GSM (9,6 kbit/s) ou par le GPRS.

L'UMTS repose sur la technologie d'accès multiple W-CDMA (Wide Band - Code Division Multiple Access) qui utilise le duplexage FDD (Frequency Division Duplex). W-CDMA opère avec deux bandes passantes de 5 MHz, l'une pour la liaison montante (Uplink) et l'autre pour la liaison descendante (Downlink). Le débit maximal pris en charge par un seul code est de 384 kbit/s. Pour les services à haut débit, plusieurs codes sont nécessaires pour atteindre un débit de 2 Mbit/s

➤ **Architecture du réseau UMTS**

L'architecture du réseau UMTS se compose de deux composants, à savoir le réseau d'accès radio (UTRAN) et le réseau cœur (CN) pour offrir des services de communication avancés aux abonnés mobiles. La figure (I.3) présente l'architecture du réseau UMTS.

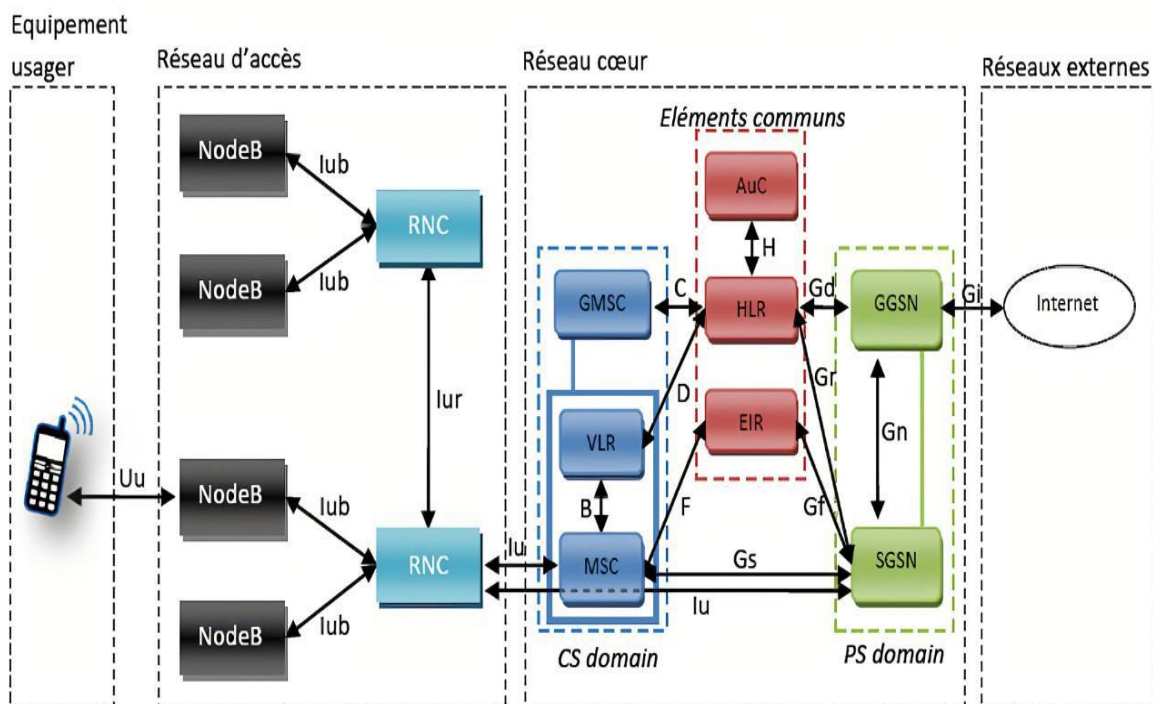


Figure I.3. L'architecture de réseaux UMTS

Le réseau d'accès de l'UMTS est constitué des éléments suivants :

- Le nœud B : Son rôle principal est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager. Il opère au niveau de la couche physique du modèle OSI.
- Le RNC (Radio Network Controller) : Gère les ressources radio de la zone dont il a le contrôle, c'est-à-dire les ressources de la zone de couverture de tous les nœuds B auxquels il est rattaché. Il constitue le point d'accès pour tous les services fournis par l'UMTS.

Concernant le réseau cœur de l'UMTS, il partage les mêmes éléments que le réseau GSM. Ce réseau a pour fonction de gérer les services offerts aux utilisateurs, en assurant la commutation et le routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes.

I.2.3.2 HSPA (High-Speed Packet Access)

La principale innovation du HSPA réside dans la transition de la commutation circuit sur l'interface radio vers la commutation par paquets. La gestion dynamique des ressources est réalisée par la fonction de planification en fonction de la qualité instantanée du canal radio de chaque utilisateur final. Cette augmentation du débit instantané est rendue possible grâce à l'utilisation d'une modulation à un plus grand nombre d'états. La modulation 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) est introduite pour la voie descendante, tandis qu'une modulation QPSK est utilisée pour la voie montante. Pour réduire la latence du système en cas de perte de paquets, un nouveau mécanisme de retransmission rapide des paquets erronés, appelé HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request), est défini entre l'utilisateur final et la station de base. Ces avancées permettent aux utilisateurs d'atteindre des débits maximaux de 14,4 Mbit/s en voie descendante et de 5,8 Mbit/s en voie montante, tout en réduisant la latence.

I.2.3.3 HSPA+ (evolved High-Speed Packet Access)

Les améliorations de la capacité de débit sont rendues possibles grâce à l'introduction de nouvelles techniques. En voie descendante, la modulation 64-QAM est désormais disponible, tout comme la modulation 16-QAM en voie montante. De plus, grâce à la fonctionnalité DC-HSDPA (Dual Carrier-HSDPA), une cellule peut désormais transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante. Ainsi, les débits fournis à l'utilisateur peuvent potentiellement être doublés [9].

I.2.4 La quatrième génération (4G)

La 4G, incarnée par la norme LTE (Long Term Evolution), représente une évolution des standards de téléphonie mobile par rapport aux générations 2G et 3G. Elle offre des débits mobiles très élevés, avec un débit théorique atteignant 150 Mb/s et un débit pratique d'environ 40 Mb/s. De plus, elle permet un accès simultané à plusieurs réseaux. Une caractéristique majeure de la 4G est la transition vers un cœur de réseau basé sur IP, appelé EPC (Evolved PacketCore), simplifiant ainsi l'architecture par rapport aux générations précédentes qui géraient à la fois les domaines des circuits et des paquets. La voix peut être transmise via VoIP (Voice over IP) ou VoLTE (Voice over LTE). De plus, les utilisateurs peuvent passer des appels en mode circuit (CS Callback) sur les réseaux 2G et 3G [10].

➤ Architecture du réseau LTE

Contrairement au passage de la 2G à la 3G, la 4G implique l'adoption d'un nouveau réseau cœur, l'evolved Packet Core. Ce dernier utilise de nouveaux équipements (figure I.4), mais l'on y retrouve toujours un peu l'esprit du réseau cœur 2G et 3G.

Dans la 4G, le SGSN comporte deux entités distinctes : le MME (Mobile Management Entity) pour la gestion du plan « contrôle » et le Serving Gateway pour le plan « usage ». Le MME assure la gestion des sessions (authentification, autorisations, sessions voix et données) ainsi que la mobilité du terminal, incluant la localisation, le « paging » et le « hand-over ». De son côté, le Serving Gateway a pour responsabilité d'acheminer les flux « utiles » dans le réseau cœur, comprenant les communications voix, le trafic de données, etc.

Le GGSN est remplacé par une PDN Gateway (Paquet Data Network Gateway) qui établit le lien avec d'autres réseaux, notamment l'Internet public ou privé. Le HLR est substitué par un HSS (Home Subscriber Server) qui assume essentiellement les mêmes fonctions que le HLR en termes de gestion des profils des abonnés, de leurs droits et de leurs caractéristiques. De plus, le HSS peut également être lié au monde IMS pour la gestion des services de voix enrichis.

Un nouveau composant du cœur de réseau 4G est le PCRF (Policy and Charging Rules Function), permettant la gestion dynamique de la tarification et de la politique de qualité de service des flux. Le PCRF permet de définir des règles pour les flux « best effort » ainsi que pour les flux « premium » bénéficiant de bandes passantes et de latences garanties, avec une tarification adaptée en fonction du flux.

L'IMS (IP Multimedia Subsystem), bien qu'il ne soit pas strictement intégré à la 4G, représente un ensemble d'éléments facilitant la fourniture de services multimédias sur les réseaux IP, y compris sur les réseaux mobiles. L'IMS permet la fourniture de services multimédias interactifs riches, tels que la voix sur IP, la conférence vidéo, les agendas enrichis, la messagerie instantanée, les sonneries sur plusieurs terminaux, et bien d'autres. [10]

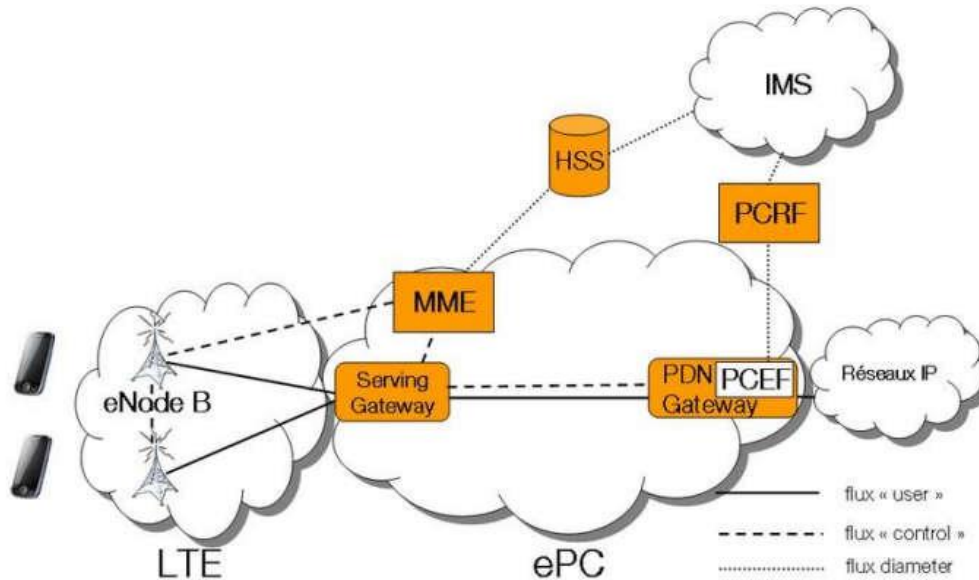


Figure I.4. Architecture du réseau LTE. [10]

➤ Les limitations du réseaux 4G

Le monde s'oriente vers une ère de numérisation et de connectivité accrue, avec l'émergence de nouvelles technologies comme la photographie haute résolution, la réalité mixte, les véhicules autonomes, l'Internet des objets, etc. Cette évolution génère une énorme augmentation des données, qui nécessite la mise en œuvre de nouveaux systèmes de communication dans tous domaines (la santé, les transports, le climat, etc.). Pour répondre à cette croissance des données, des avancées significatives dans les systèmes de communications mobiles sont nécessaires.

La 4G a apporté des améliorations significatives en termes de débit et de bande passante par rapport aux générations précédentes de réseaux mobiles. Elle offre une navigation internet rapide et fiable sur des appareils tels que les smartphones, les tablettes ou les ordinateurs portables. Cependant, la 4G ne peut pas répondre aux besoins spécifiques de certains scénarios présentant une densité de trafic élevée, un grand nombre de connexions et une mobilité accrue [11].

I.2.5 Le réseau 5G

5G est la dernière technologie d'accès radio élaborée par le 3GPP en 2020, destinée à devenir la nouvelle norme pour l'interface radio. Elle apporte avec elle des multitudes de changements technologiques, en changeant complètement l'idée traditionnelle que nous avons des smartphones. La 5G ouvre la voie au développement de nouveaux usages tels que la réalité virtuelle, les véhicules autonomes et connectés, les villes intelligentes (gestion du trafic routier, optimisation énergétique), ainsi que l'industrie du futur (pilotage à distance des équipements industriels, connectivité des machines, etc...) [5].

➤ L'exigence de la 5G :

L'objectif principale de la 5G est d'assurer les améliorations suivantes :

- **Débit élevé** : Jusqu'à 10 Gbit/s de débit de données > de 10 à 100 fois plus que les réseaux 4G ;
- **Latence réduite** : 1 milliseconde de latence ;
- **La bande passante** : 1 000 fois plus de bande passante par unité de surface ;
- **Connectivité massive** : Jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface (par rapport à la 4G LTE) ;
- **Disponibilité** : 99,999 % de disponibilité ;
- **Fiabilité** : 100 % de couverture ;
- **Consommation** : 90 % de réduction de la consommation d'énergie du réseau ;
- Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie pour les appareils IoT à faible consommation.

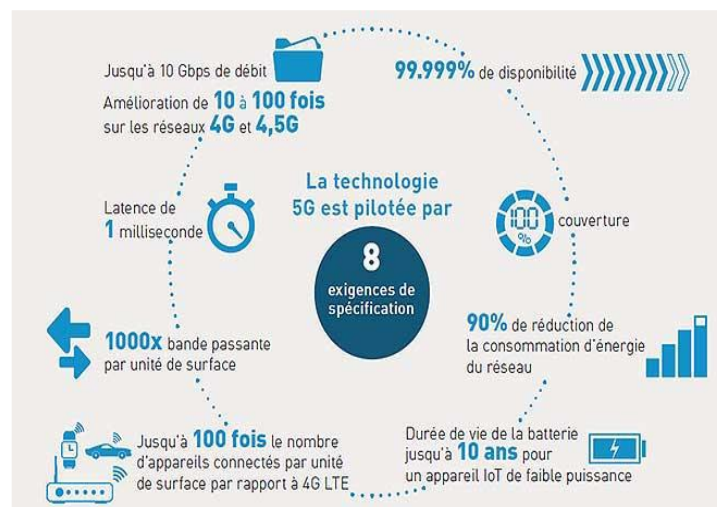


Figure I.5. Réseaux 5G caractéristiques et usages. [12]

I.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu les différentes étapes qu'ont traversés les réseaux mobiles qui sont actuellement en plein essor. Le passage des modèles de circuits analogiques aux modèles de circuits numériques aux modèles de paquet.

Dans le chapitre suivant, en poursuivant de manière cohérente notre étude, nous présenterons l'architecture du réseau 5G ainsi que ses composants principaux, tout en offrant un aperçu global de leur couche physique.

Chapitre II : Réseau 5G

II.1 Introduction

Le développement de la technologie a un grand impact sur notre vie quotidienne et a évolué si rapidement que le développement de la quatrième génération que nous avons vu au premier chapitre touche à sa fin et devient incapable de répondre aux exigences. Ce qui signifie que nous avons besoin d'une nouvelle génération de réseaux mobiles, qui est la cinquième génération, qui est le pic de développement des réseaux de communication actuellement.

Ce chapitre a pour objectif décrire l'architecture globale du réseau 5G, les fréquences utilisés, puis les techniques de multiplexage (OFDM, MIMO, MIMO massive).

II.2 Normalisation de la 5G :

À partir de 2012, l'Union Internationale des Télécommunications - Radiocommunications (UIT-R) a préparé le terrain pour la prochaine génération de systèmes IMT, désignée sous le nom d'IMT-2020. Cela représente une évolution ultérieure de la composante terrestre de l'IMT au-delà de l'année 2020, correspondant à ce que l'on appelle généralement la cinquième génération de systèmes mobiles "5G".

Les fondements et les objectifs de l'IMT-2020 sont exposés dans la recommandation de l'UIT-R M.2083. Cette recommandation marque le début du processus de définition des nouveaux développements de l'IMT, en examinant leurs rôles futurs et leur utilité sociétale, ainsi que les tendances du marché, des utilisateurs et de la technologie, ainsi que les implications du spectre. Ces éléments conduisent à l'identification de différents scénarios d'utilisation envisagés, tant pour la communication centrée sur l'homme que sur la machine.

Les principaux scénarios d'utilisation identifiés sont l'Amélioration du Haut Débit Mobile (eMBB), les Communications Ultra-Fiables à Faible Latence (URLLC) et les Communications Massives Machine-Type (mMTC). En parallèle, l'UIT-R a produit un rapport sur les "Tendances technologiques futures des systèmes IMT terrestres", mettant l'accent sur la période de 2015 à 2020. Ce rapport examine les tendances futures en matière de technologie IMT, en analysant les caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes IMT et leur évolution technologique.

Une nouveauté concernant l'IMT-2020 est sa capacité à opérer dans de nouvelles bandes IMT potentielles au-dessus de 6 GHz, y compris les bandes millimétriques. Dans cette optique,

l'UIT-R a également produit un rapport distinct examinant la propagation des ondes radio, les caractéristiques de l'IMT, les technologies habilitantes et le déploiement dans les fréquences supérieures à 6 GHz.

Lors de la Conférence Mondiale des Radiocommunications de 2015 (WRC-15), de nouvelles bandes potentielles pour l'IMT ont été discutées, et un point de l'ordre du jour 1.13 a été établi pour le WRC-19, couvrant d'éventuelles allocations supplémentaires pour les services mobiles et le développement futur de l'IMT dans des bandes de fréquences allant de 24,25 à 86 GHz.

Après le WRC-15, l'UIT-R a continué le processus d'établissement des exigences et de définition des méthodologies d'évaluation pour les systèmes IMT-2020, basé sur la recommandation Vision et d'autres résultats d'études antérieures. Cette phase du processus a été achevée vers la mi-2017, comme en témoigne le plan de travail IMT-2020. Le résultat a été la publication de trois documents à la fin de 2017 définissant davantage les performances et les caractéristiques attendues de l'IMT-2020, qui seront appliquées lors de la phase d'évaluation. Ces documents comprennent les exigences techniques (Rapport UIT-R M.2410), les lignes directrices d'évaluation (Rapport UIT-R M.2412) et le modèle de soumission (Rapport UIT-R M.2411).[13]

II.3 L'architecture du réseau 5G :

L'architecture réseau de la technologie mobile 5G représente une amélioration significative par rapport aux générations précédentes. Cette dernière repose sur trois composantes essentielles : le réseau d'accès radio (RAN), le réseau cœur (Core Network) et les équipements utilisateurs, voir la figure 1

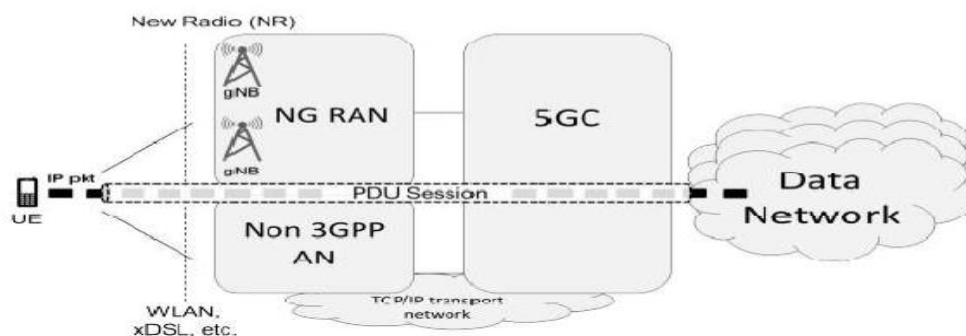


Figure II.1.L'architecture du réseau 5G. [14]

II.3.1 Équipements utilisateurs (UE)

Les équipements utilisateurs (UE) jouent un rôle crucial. Les UE englobent tous les dispositifs se connectant au réseau 5G pour accéder à ses services et applications, tels que les smartphones, les tablettes, les ordinateurs portables, les objets connectés (IoT), les véhicules connectés, et autres dispositifs compatibles avec la technologie 5G. Ces équipements établissent des connexions avec les stations de base du réseau 5G (gNB) pour accéder aux services disponibles, et ils peuvent également interagir avec d'autres éléments du réseau, tels que les points d'accès Wifi, les passerelles, les serveurs de contenu, et les systèmes de gestion.[15]

II.3.2 Réseau cœur (Core Network)

Le réseau cœur de la 5G repose une architecture basée sur les services (SBA), alignée sur le modèle d'informatique en nuage. Cette approche offre une flexibilité, une évolutivité et une efficacité accrues dans la fourniture de services. Le cœur de la 5G gère des fonctions essentielles telles que l'authentification des utilisateurs, la sécurité des données, la gestion des sessions et l'agrégation du trafic des appareils connectés.

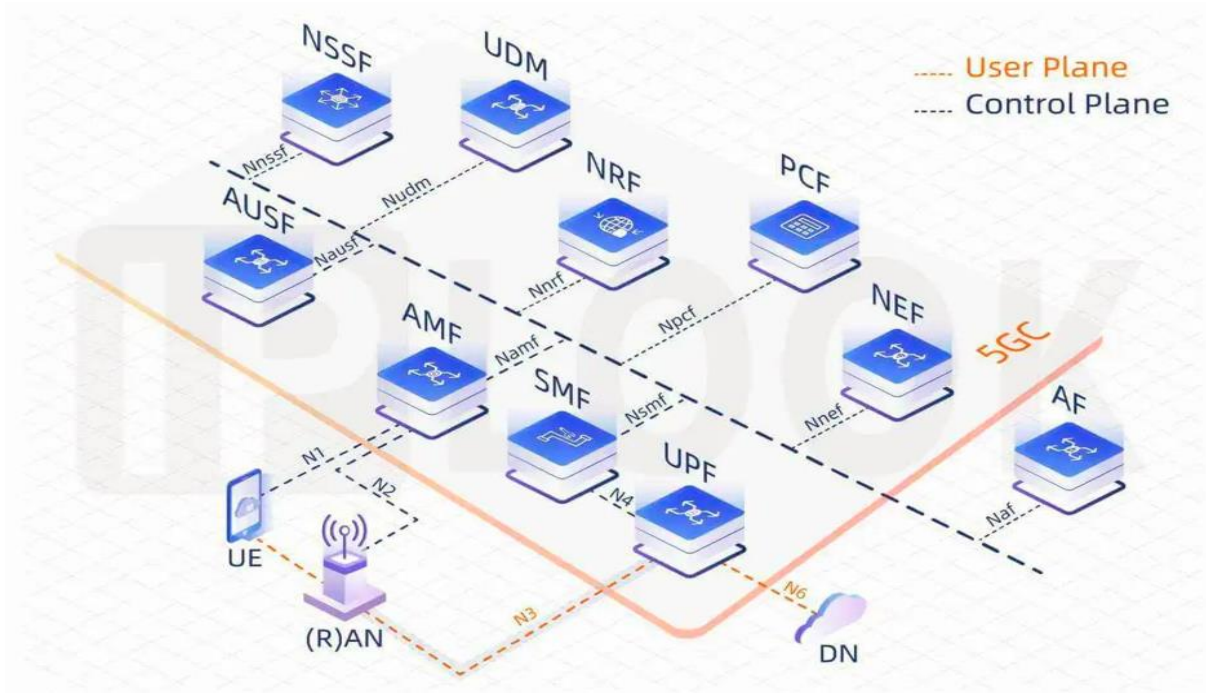


Figure. II.2. Architecture du cœur 5GC.

Le réseau cœur 5G comprend plusieurs composantes essentielles qui travaillent ensemble pour fournir des services de communication avancés :

AMF : La Fonction de Mobilité assure la gestion des flux de données entrants et sortants entre l'Équipement Utilisateur (UE) et le cœur de réseau 5G (5GC). Elle facilite l'accès des utilisateurs au réseau, gère leur mobilité en coopération avec l'UE et d'autres fonctions réseau telles que le SMF ou l'AUSF. De plus, l'AMF intègre une partie des fonctionnalités du MME de la 4G.

SMF : Le Service de Gestion de Session est une composante clé du réseau de communication 5G, responsable de la gestion et du contrôle des sessions utilisateur. Il s'occupe de la configuration et de la supervision des tunnels NG, de l'attribution d'adresses IP via DHCP, de la gestion de la qualité de service (QoS) et de la redirection du trafic conformément aux politiques de sécurité et aux exigences des applications. Le SMF est également chargé de la communication avec l'AMF et l'UPF.

UPF : L'User Plane Function gère la transmission des tunnels NG-U et les services de chemin de données associés, tels que l'ancrage pour le transfert, la qualité de service (QoS) et l'application des politiques de trafic. Plusieurs UPF peuvent être associés à un UE, pouvant être regroupés dans une seule tranche ou répartis sur plusieurs tranches. L'UPF intègre des fonctionnalités du SGW et du PGW de la 4G.

AUSF: c'est un serveur d'authentification crucial dans le réseau 5G. En garantissant l'authentification des utilisateurs et des équipements mobiles, l'AUSF assure la sécurité du réseau 5G, veillant à ce que seuls les équipements mobiles autorisés puissent y accéder.

NSSF : Sélectionne parmi les différentes instances de tranches de réseau qui desservent l'Équipement Utilisateur (UE), ainsi que le AMF le plus approprié.

UDM : S'agit comme un référentiel pour les informations liées à l'UE, telles que les identifiants, les détails de l'AMF et les affectations SMF pour la session en cours. L'UDM vise à centraliser autant que possible les informations de configuration de l'UE, permettant aux NF d'être conçues comme des services sans état, améliorant ainsi l'agilité architecturale. Il intègre des fonctionnalités du HSS de la 4G.

NRF : c'est une partie essentielle du cœur de réseau 5G, jouant un rôle crucial dans la découverte des fonctions réseau (NF) et dans l'établissement de la signalisation lors de la première connexion de l'utilisateur au réseau, ainsi que dans le choix de la tranche à utiliser.

PCF : fournit des règles de politique aux autres fonctions du plan de contrôle, notamment le SMF.

NEF : permet l'accès aux capacités des réseaux et des événements de réseau/UE à des tiers pour diverses applications et utilisations en périphérie.

AF : est une entité similaire à un serveur d'application, interagissant avec d'autres NF du plan de contrôle pour divers services d'application, pouvant être exploités par l'opérateur de réseau ou des tiers de confiance.[14]

II.3.3 Réseau d'accès radio (RAN)

Le réseau d'accès facilite l'échange de données et de signaux entre les terminaux et le réseau cœur. L'accès radio 5G est composé de stations de bases de nouvelle génération qui jouent un rôle crucial en connectant les appareils mobiles au cœur du réseau 5G (5GC). Les appareils mobiles peuvent établir une communication avec ces stations de base via des liens radio 5G ou 4G. Lorsque la communication se fait en 5G, la station de base est appelée gNB (Next Generation Node Base Station), tandis que pour la communication en 4G, la station de base est une station de base 4G évoluée, appelée ng-eNB (Next Generation eNB), conçue pour se connecter au cœur du réseau 5G.

Les fonctions de la station de base gNB sont similaires à celles de l'entité eNB, mais présentent quelques différences notables. Par exemple, la gestion de la qualité de service se fait par flux plutôt que par support (bearer), ce qui permet une allocation plus précise des ressources en fonction des besoins spécifiques de chaque flux de données. De plus, la gestion des tranches de réseau (Slices) sur l'interface radio permet une segmentation et une allocation efficace des ressources pour différents types de services et d'applications, garantissant ainsi une expérience utilisateur optimale dans le réseau 5G.[16]

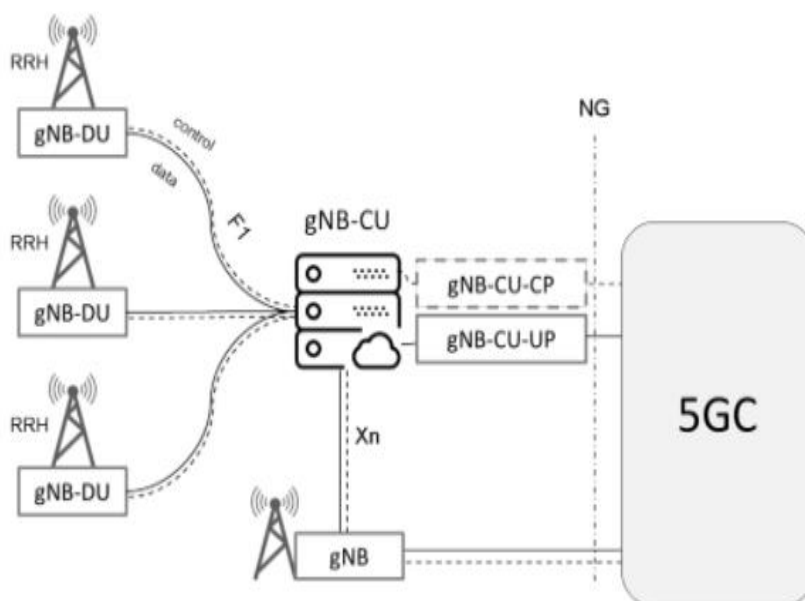


Figure. II.3. Architecture de NG-RAN.[16]

II.4 Les fréquences utilisées dans la 5G :

Les communications numériques s'appuient sur l'utilisation de différentes bandes de fréquences pour la transmission des données. Pour répondre aux diverses exigences et pour réaliser les promesses du réseau 5G, plusieurs bandes de fréquences sont distinguées, notamment les bandes, chacune étant destinée à un usage spécifique. La Figure II.4 illustre l'allocation du spectre pour les bandes déjà assignées aux services mobiles et pouvant être réutilisées en 5G, ainsi que les bandes 5G identifiées en Europe et celles encore à l'étude. [14]

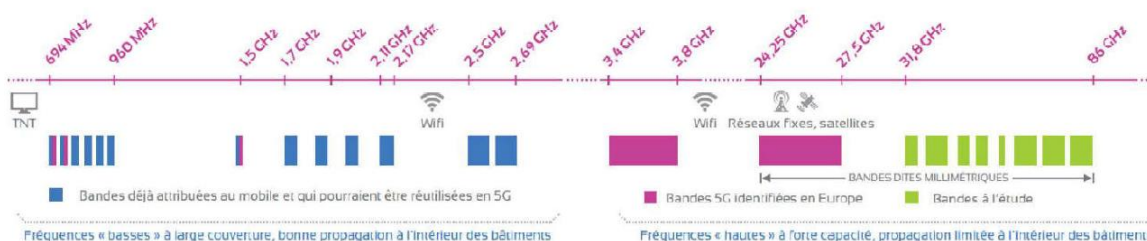


Figure. II.4.L'utilisation de spectre en téléphonie mobile.

- **5G à haute fréquence (mmWave) :** Avec des fréquences allant de 24 GHz à 100 GHz, cette bande offre des vitesses ultra-rapides, atteignant plusieurs gigabits par seconde. Toutefois, sa portée limitée et sa difficulté à traverser les obstacles en font une option viable uniquement sur de courtes distances.[14]

- **5G à fréquence moyenne** : Fonctionnant entre 2 et 6 GHz, cette plage offre une portée plus étendue que la haute fréquence tout en fournissant des vitesses d'environ un gigabit par seconde. Elle est largement utilisée dans les environnements professionnels, offrant un équilibre entre portée et vitesse.[14]
- **5G à basse fréquence** : Opérant en dessous de 2 GHz, cette plage est souvent encombrée par le trafic 4G LTE, mais reste importante pour l'industrie. Offrant une portée étendue mais des vitesses plus modérées, elle est souvent choisie pour des applications de surveillance à grande échelle, telles que la surveillance des parcs éoliens et solaires à l'aide de capteurs IoT.[14]

II.5 Les techniques d'accès multiple

II.5.1 OFDM : L'OFDM, ou Orthogonal Frequency Division Multiplexing, est une technique de transmission numérique qui repose sur le principe du multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence. Dans ce système, la bande passante est divisée en plusieurs sous-porteuses orthogonales étroitement espacées, qui sont ensuite transmises en parallèle. Chaque sous-porteuse est modulée avec un schéma de modulation numérique conventionnel à faible débit de symboles. L'OFDM s'appuie sur la technique FDM (Frequency Division Multiplexing), où différents flux d'informations sont attribués à des canaux de fréquence parallèles. Chaque canal FDM est séparé des autres par une bande de garde en fréquence pour réduire les interférences entre les canaux adjacents.[17]

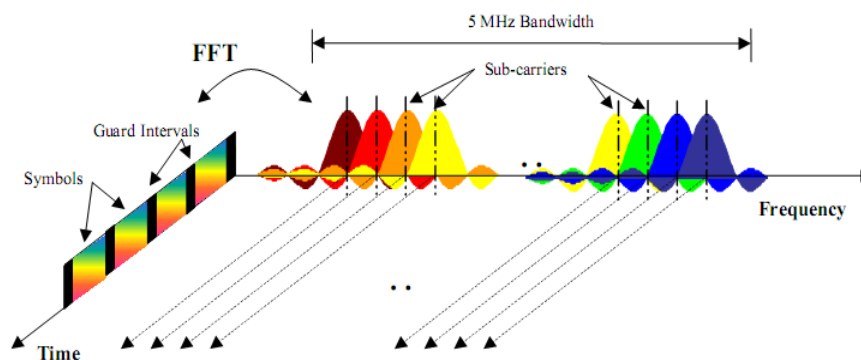


Figure. II.5. Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM.[17]

II.5.2 OFDMA : l'OFDMA, ou (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), est un protocole d'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence utilisé sur la liaison descendante. Dans un système OFDMA, les utilisateurs sont assignés un nombre spécifique de sous-porteuses pour un intervalle de temps prédéterminé, appelé Physical Resource Block (PRB). Chaque PRB a une dimension à la fois en termes de temps et de fréquence. La répartition des PRBs est gérée par une fonction de planification au niveau de la station de base.[18]

- La principale différence entre un système OFDM et un système OFDMA réside dans la manière dont les ressources spectrales sont allouées aux utilisateurs. Dans un système OFDM, un utilisateur est alloué uniquement dans le domaine temporel, tandis que dans un système OFDMA, l'utilisateur est alloué à la fois dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel. Cela signifie que dans OFDMA, chaque utilisateur dispose d'un ensemble spécifique de sous-porteuses sur une plage de fréquences donnée pour un intervalle de temps déterminé, ce qui améliore l'efficacité spectrale et permet une meilleure gestion des ressources.[18]

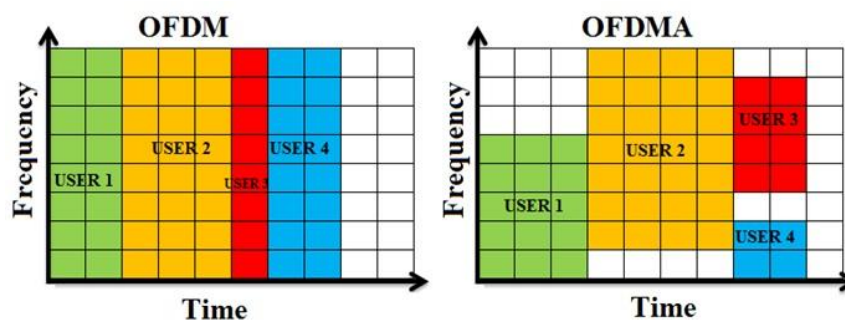


Figure II.6. la différence entre l'OFDM et OFDMA.[19]

II.5.3 SC-FDMA : La technique SC-FDMA est principalement employée dans la liaison montante de la technologie 5G pour transférer les données des appareils mobiles vers la station de base. Contrairement à l'OFDMA, qui distribue les données sur plusieurs sous-porteuses, le SC-FDMA étale les données sur une seule porteuse. Cette approche permet une utilisation plus efficace de la bande passante restreinte de la liaison montante tout en maintenant un PAPR (Peak-to-Average Power Ratio, le rapport entre la puissance crête et la puissance moyenne, exprimé en dB) plus bas.

Cette caractéristique est cruciale pour une amplification de puissance efficace dans les appareils mobiles.[20]

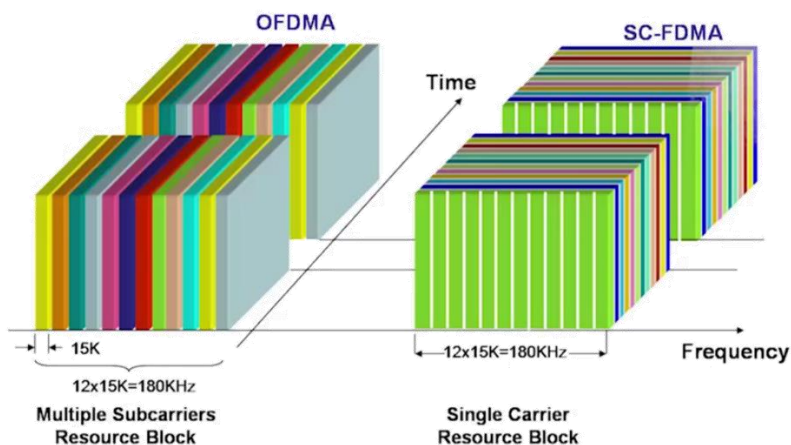


Figure II.7. la différence entre l'OFDMA et SC-FDMA.[21]

II.5.4 La technologie MIMO

Dans un système à antenne unique, l'augmentation de la taille de la modulation ou de la bande de fréquence utilisée est souvent la seule solution pour accroître le débit de données, mais cela peut entraîner des problèmes de complexité ou d'encombrement. Il a été démontré que la capacité des systèmes multi-antennes augmentait de manière linéaire avec le nombre d'antennes émettrices, dépassant significativement la limite théorique de Shannon. De plus, la capacité des systèmes multi-antennes à faire face aux phénomènes d'évanouissement et aux interférences représente un avantage supplémentaire incontestable.[22]

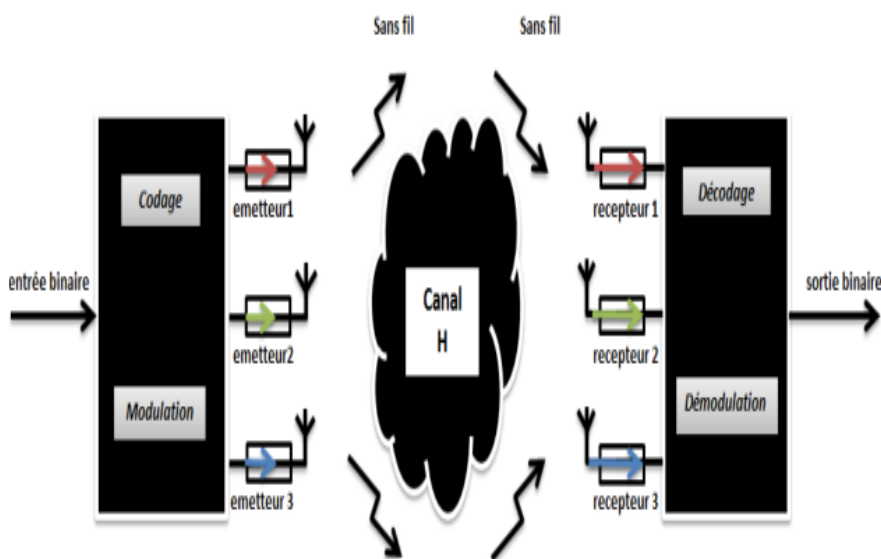


Figure II.8. Schéma d'un système de transmission sans fil MIMO.[22]

➤ Principe de MIMO :

Le canal constitue la principale source de perturbations rencontrées par un signal lors de sa propagation. Les phénomènes de propagation multi-trajets induisent des évanouissements, des décalages fréquentiels et parfois même temporels sur le signal. Contrairement aux systèmes traditionnels, les systèmes utilisant la diversité tirent parti de ces phénomènes de propagation pour améliorer les performances globales du système. Pour mettre en œuvre ces améliorations, les systèmes MIMO (Multiple Input Multiple Output) exploitent différentes techniques telles que la diversité d'espace ; la diversité fréquentielle et temporelle.[22]

II.5.5 Massive MIMO

Les réseaux MIMO traditionnels fonctionnent généralement avec deux ou quatre antennes pour la transmission et le même nombre pour la réception des données. En revanche, Massive MIMO est une variante du système MIMO qui utilise un nombre d'antennes particulièrement élevé. Avec Massive MIMO, le nombre d'antennes d'émission sur une station de base est considérablement augmenté, atteignant souvent des centaines d'éléments.[23]

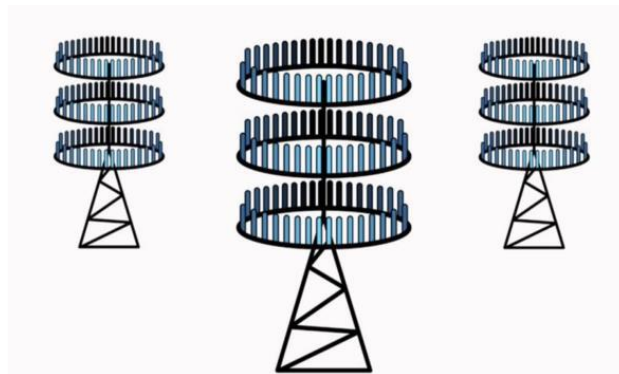


Figure II.9. Illustration des antennes basées sur le Massive MIMO.[23]

L'utilisation d'un nombre considérable d'antennes supplémentaires dans le système Massive MIMO permet de concentrer l'énergie dans une région de l'espace plus restreinte, offrant ainsi une meilleure efficacité spectrale et un débit plus élevé.[23]

II.5.6 Beamforming

Le beamforming, une fonctionnalité cruciale des stations de base, permet d'ajuster le modèle de rayonnement des antennes. Cela aide la station de base à déterminer le chemin optimal pour transmettre les données à l'utilisateur tout en minimisant les interférences avec les utilisateurs voisins le long de la trajectoire, comme le montre la figure.[24]

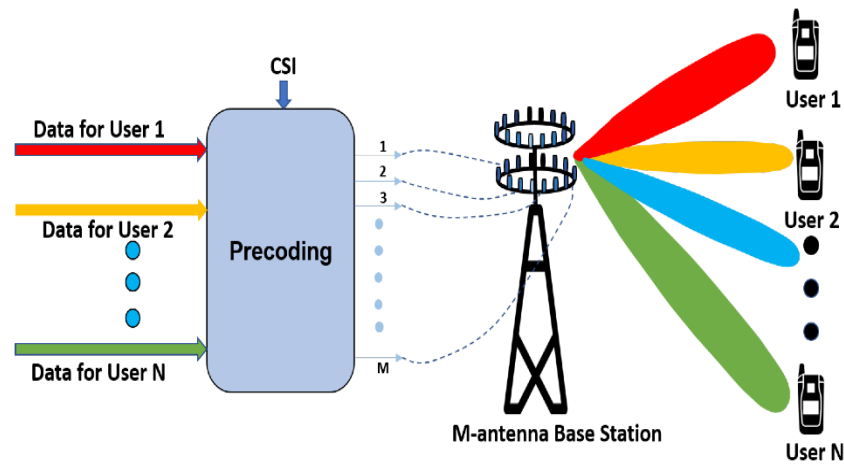


Figure II.10. Massive MIMO & Beamforming.[24]

Dans les systèmes massifs MIMO, le beamforming est utilisé par la station de base pour diriger des faisceaux de données vers les utilisateurs à travers diverses voies, permettant ainsi à plusieurs utilisateurs d'envoyer et de recevoir des données simultanément. C'est particulièrement crucial dans les fréquences millimétriques (mm wave), qui ont des limitations de pénétration et de portée. Le beamforming permet de concentrer les signaux vers les utilisateurs, assurant ainsi une réception optimale sans interférences entre les utilisateurs.[24]

II.6 Numérologie

Dans la norme 5G, la numérologie détermine les différents espacements entre les sous-porteuses (Δf). Contrairement au LTE, qui utilise uniquement un seul espacement de sous-porteuses de 15 kHz, la 5G offre plusieurs options, comprenant des espacements de 15, 30, 60, 120 et 240 kHz. Chaque numérologie est associée à une durée de symbole et à un préfixe cyclique spécifiques, permettant ainsi une personnalisation plus poussée de la configuration de la bande passante pour répondre aux besoins variés des cas d'utilisation de la 5G.[25] Le **tableau II.1** résume les numérolgies multiples dans NR :

Espacement des sous porteuses (Δf)	Durée du symbole	Préfixe cyclique
15 kHz	0 66,67 μ s	4,69 μ s
30kHz	33,33 μ s	2,34 μ s
60 kHz	16,67 μ s	1,17 μ s
120 kHz	8,33 μ s	0,59 μ s
240 kHz	4,17 μ s	0,29 μ s

Tableau II.1. Numérolgies multiples dans NR.[25]

II.7 Structure des trames dans la 5G

Dans le contexte des télécommunications mobiles de cinquième génération (5G), la configuration des trames est essentielle pour organiser de manière efficace la transmission des données. La 5G adopte une méthode avancée qui maximise l'utilisation des ressources en fréquence et en temps afin d'assurer des performances optimales.

Dans la structure des trames temporelles de la 5G, une trame radio typique s'étend sur une durée de 10 ms, se composant de 10 sous-trames de 1 ms chacune. Chaque sous-trame est ensuite subdivisée en emplacements, dont le nombre varie en fonction de l'espacement (slot) des sous-porteuses utilisées pour la transmission des données. Parallèlement, un slot est défini comme une séquence de 14 symboles consécutifs. Cette structure permet de faciliter la gestion des transmissions et de garantir une organisation efficace des données échangées. [25]

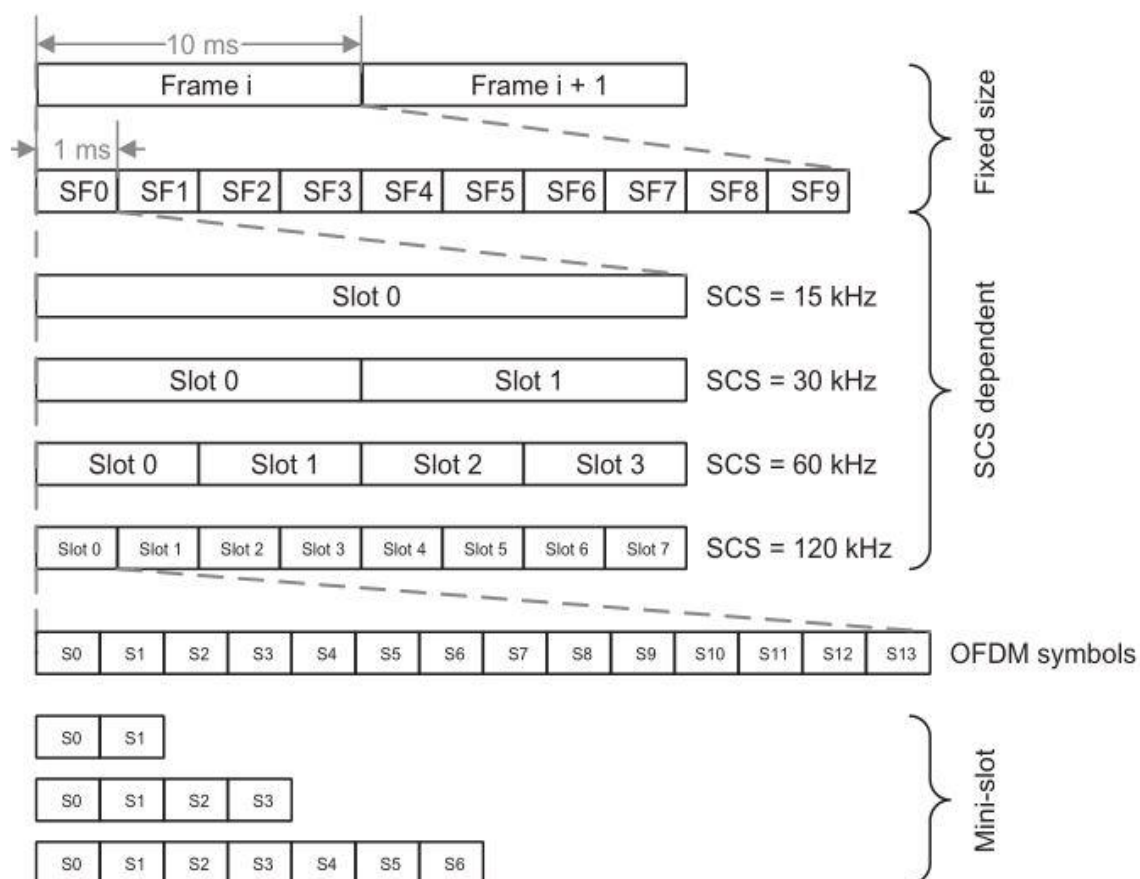


Figure II.11. structure générale de trame pour différentes numéologies. [26]

➤ **Les canaux physiques et signaux en NR**

Les canaux physiques sont les ressources temporelles et fréquentielles qui acheminent les informations des couches supérieures vers la couche PHY (sous-couche au-dessus de la couche physique). Le **tableau II.2** montre les canaux physiques définis dans NR et les schémas de modulation et de codage des canaux correspondants. [27]

DL/UL	Canal physique	Rôle	Modulation	Codage des canaux
DL	PDSCH	Il est principalement utilisé pour la transmission de données unicast et des informations de radio messagerie.	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	LDPC
DL	PDCCH	Il transporte les informations de contrôle de la liaison descendante sous forme de décisions de programmation.	QPSK	Codage polaire
DL	PBCH	Il transporte les informations du système demandées par l'UE pour accéder au réseau	QPSK	Codage polaire
UL	PRACH	Il est exploité par un UE pour demander l'établissement d'une connexion nommée accès aléatoire.	N/A*	N/A*
UL	PUSCH	C'est l'équivalent du PDSCH sur la liaison montante.	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, pi/2 BPSK	Codage LDPC
UL	PUCCH	Il est utilisé par l'appareil pour envoyer des accusés de réception, des rapports sur l'état du canal et pour demander des ressources afin de transmettre des données sur la liaison montante	pi/2-BPSK, BPSK, QPSK	N/A*

Tableau II.2: Canaux physiques dans NR [27] .

Les différents signaux physiques définis dans NR sont:

DL/UL	Physical signal	ROLE
DL/UL	DM-RS	Le DM-RS est spécifique à un UE spécifique et utilisé pour estimer le canal radio.
DL/UL	PT-RS	Le PT-RS joue un rôle crucial en particulier aux fréquences mmWave pour minimiser l'effet du bruit de phase de l'oscillateur sur les performances du système.
DL	CSI-RS	utilisé pour estimer le canal et rapporter les informations de qualité du canal au gNB.
DL	PSS	PSS est un signal spécifique à la couche physique et aide l'UE à obtenir la limite de trame radio.
DL	SSS	SSS est un signal spécifique à la couche physique et aide l'UE à obtenir la limite de sous-trame.
UL	SRS	aider le gNB à obtenir les informations sur l'état du canal (CSI) pour chaque utilisateur. CSI décrit comment le signal NR se propage de l'UE au gNB et représente l'effet combiné de la diffusion, de l'évanouissement et de la décroissance de puissance avec la distance.

Tableau II.3. Signaux physique NR [27].

II.8 Model de propagation :

Le modèle de propagation est un élément essentiel dans les premières étapes du déploiement du réseau. Il vous permet de prédire avec précision la couverture .Un modèle de propagation des ondes radio est un outil mathématique qui simule les pertes entre émetteur et récepteur en utilisant différents paramètres : caractéristiques techniques et environnement spatial.[28]

II.8.1 Modèle OKUMURA-HATA

Ce modèle est utilisé dans les zones urbaines et suburbaines. Il est couramment utilisé pour planifier la couverture de grandes cellules. Il s'agissait d'une combinaison du travail d'Okumura et d'Okumura Hata qui ont pu effectuer des mesures de test au Japon. Ces mesures couvrent différents types de couverture, hauteur de l'émetteur, puissance et fréquence de l'émetteur.[28]

Pour l'environnement urbain la perte de trajet en dB est donnée par :

$$L_{urbain}(dB) = A_{urbain} + B \log(d) \quad (\text{II.1})$$

Où :

d : est la distance en kilomètres.

A_{urbain} : est une perte fixe qui dépend de la fréquence du signal est donnée par :

$$A_{urbain} = 69,55 + 26,16 \log_{10}(f) - 13,82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d) \quad (\text{II.2})$$

B : est une constante définie par:

$$B = 44,9 - 6,55 \log_{10}(h_b). \quad (\text{II.3})$$

- f :est la fréquence mesurée en **MHz**.
- h_b :est la hauteur de l'antenne de la station de base en **mètres**.
- m :est la hauteur de l'antenne mobile en **mètres**.
- $a(h_m)$:est le facteur de correction en **dB**.

Par conséquent,

$L_p, \text{urbain}(dB)$

$$= 69,55 + 26,16 \log_{10}(f) \quad (\text{II.4})$$

$$- 13,82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d).$$

Où :

$$a(h_m) = 3,2 \log_2 10 (11,75 h_m) - 4,97 \quad (\text{II.5})$$

II.8.2 Modèle COST 231-HATA

Le modèle COST 231 Hata est une extension du modèle Okumura-Hata. Il est destiné à être utilisé dans la gamme de fréquences de 500 MHz à 2 000 MHz. Ce modèle comporte des corrections pour les environnements urbains, suburbains et ruraux. En raison de sa simplicité et de ses facteurs de correction, il est largement utilisé pour la prévision des pertes de trajet dans ces bandes de fréquences ,en zone urbaine la perte de trajet est donnée par [28]:

$$L_{\text{urbain}}(dB) = 46,33 \quad (\text{II.6})$$

$$+ 33,9 \log(f)$$

$$- 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \log(h_b)] \log(d)$$

Où :

$$a(h_m) = 1,1 \log(f) - 0,7 h_m - 1,56 \quad (\text{II.7})$$

$$a(h_m) = 1,1 \log(f) - 0,7 h_m - 1,56 \log(f) + 0,8 \quad (\text{II.8})$$

Avec :

- h_b : hauteur de l'antenne de la station de base en mètres.
- h_m : hauteur de l'antenne mobile en mètres.
- $a(h_m)$:facteur de correction en dB.

II.8.3 Modèle de propagation standard

Le modèle de propagation standard (SPM) est basé sur la formule Hatta et utilisé pour les prévisions à longue portée dans la gamme de fréquences 150-3 500 MHz et 1-20 km.

Spécialement adapté aux technologies radio GSM 900, GSM 1800, UMTS, CDMA 2000, WiMAX et LTE, la formule du modèle de propagation standard est [28]:

$$\begin{aligned}
 P_r = P_t & (K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(h_t) + K_4 \text{DiffractionLoss} \\
 & + K_5 \log(d) \log(h_t) + K_6 h_r \\
 & + K_7 \log(h_r) + K_{clutter} f_{clutter} + K_{hill,los}).
 \end{aligned} \tag{II.9}$$

Où :

- P_r : Puissance reçue en **dBm**.
- P_t : Puissance transmise (EIRP) en **dBm**.
- K_1 : Décalage constant en **dB**
- K_2 : Facteur de multiplication pour $\log(d)$.
- d : Distance entre le récepteur et l'émetteur en **mètres**.
- K_3 : Facteur de multiplication pour $\log(d)$
- h_t : Hauteur effective de l'antenne de l'émetteur en **mètres**.
- K_4 : Facteur de multiplication pour le calcul de la diffraction.
- **Diffraction Loss**: Diffraction Lors de pertes dues à la diffraction sur un chemin obstrué (**dB**).
- K_5 : Facteur de multiplication pour $\log(d)$, $\log(ht)$.
- K_6 : Facteur de multiplication pour hr .
- K_7 : Facteur de multiplication pour $\log(hr)$.
- h_r : Hauteur effective de l'antenne du récepteur mobile en **mètres**.
- $K_{clutter}$: Facteur de multiplication pour Moyenne des pertes pondérées dues à l'encom-brement
- $f_{clutter}$: Facteur de correction pour les régions vallonnées.

II.9 Conclusion :

L'architecture de la 5G vise à fournir une connectivité sans fil ultra-rapide, une faible latence et une capacité élevée. Pour comprendre ses caractéristiques clés, l'étude de sa couche physique est indispensable. Dans ce chapitre, nous avons exposé les fondements théoriques nécessaires à notre travail. Dans le chapitre suivant nous examinerons en détail le processus de planification radio que nous avons choisi pour notre étude [29].

Chapitre III : Planification du réseau mobile 5G

III.1 Introduction

La planification du réseau mobile constitue une étape cruciale pour garantir une connectivité de haute qualité aux utilisateurs. Cela implique de définir le nombre optimal de sites, de choisir les emplacements les plus appropriés, et de configurer initialement le réseau pour répondre aux exigences en matière de débit, de qualité de service et de disponibilité. Cette planification repose sur une analyse approfondie de la couverture, de la capacité et sur l'identification des problèmes potentiels susceptibles de perturber les performances du réseau.

Dans ce chapitre, nous examinerons les étapes essentielles de la planification du réseau mobile 5G à l'aide de l'outil radio Atoll, ainsi que les outils et les approches clés nécessaires pour garantir un déploiement efficace du réseau[30].

III.2 Planification de réseau radio

La planification des réseaux sans fil (réseau radio) est un processus important dans la construction d'un réseau de communications mobiles. Elle détermine la disposition optimale des antennes, des équipements de base et des autres composants du réseau afin de garantir une couverture optimale, une qualité de service élevée et une grande fiabilité, capacité suffisante.[31]

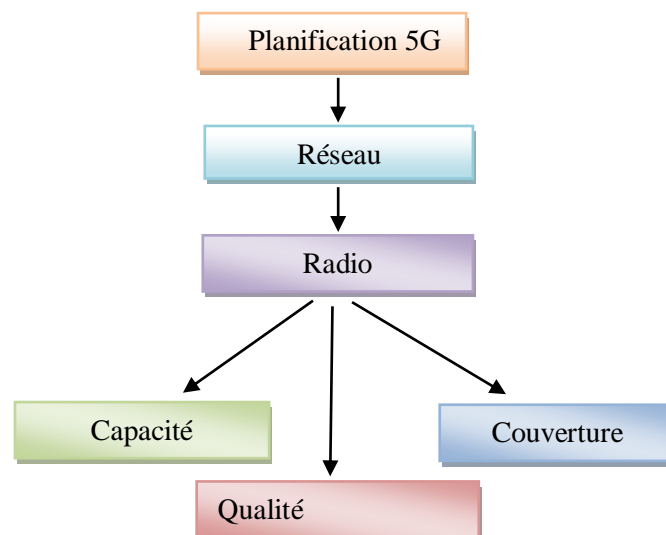


Figure III. 1. Architecture de la planification 5G.

III.2.1 Objectif de la planification

La planification du réseau radio est cruciale pour garantir une performance optimale et satisfaire les exigences des clients en matière d'optimisation de la couverture, de capacité élevée et de qualité de service supérieure, tout en assurant une utilisation efficace des ressources réseau. Elle permet de réduire les coûts et d'accroître la rentabilité pour les opérateurs de réseau. En l'absence d'une planification appropriée, le risque est de surévaluer ou de sous-évaluer la capacité et la couverture nécessaires, ce qui peut conduire à un déploiement excessif de sites et engendrer des coûts additionnels pour l'opérateur

La sous-estimation peut conduire à une qualité de service médiocre pour les utilisateurs et engendrer des coûts supplémentaires pour l'opérateur, qui cherche constamment à résoudre ces types de problèmes.[31]

III.2.2 Besoin d'un processus de planification

Pour atteindre nos objectifs, nous devons mettre en place un processus de planification qui nous permettra d'obtenir :

- Le nombre minimum de sites [N] requis.
- Les emplacements pour le déploiement de ces [N] sites.
- La configuration initiale qui doit être faite.[31]

III.2.3 Processus de planification

La planification d'un réseau cellulaire se décompose en cinq étapes clés, quatre d'entre elles s'effectuent avant le lancement du réseau et la cinquième a lieu après son lancement [31].



Figure III.2. Étapes de planification d'un réseau cellulaire.

III.2.4 Pré-planification

La figure III.3 présente une carte de la zone géographique étudiée pour le centre de ville de la willaya d'Ain Temouchent, couvrant une superficie de 4,34 kilomètres carrés (Tableau III.1).

Paramètre	Valeur
Zone	Centre de ville (Ain Tamouchent)
Superficie	4,34Km ²
Morphologie de la zone	Urbaine
Type de multiplexage	TDD
Bande de fréquence	3,5GHz
Largeur de bande	40GHz
Probabilité de couverture	90%

Tableau III.1. Paramètres de la zone.

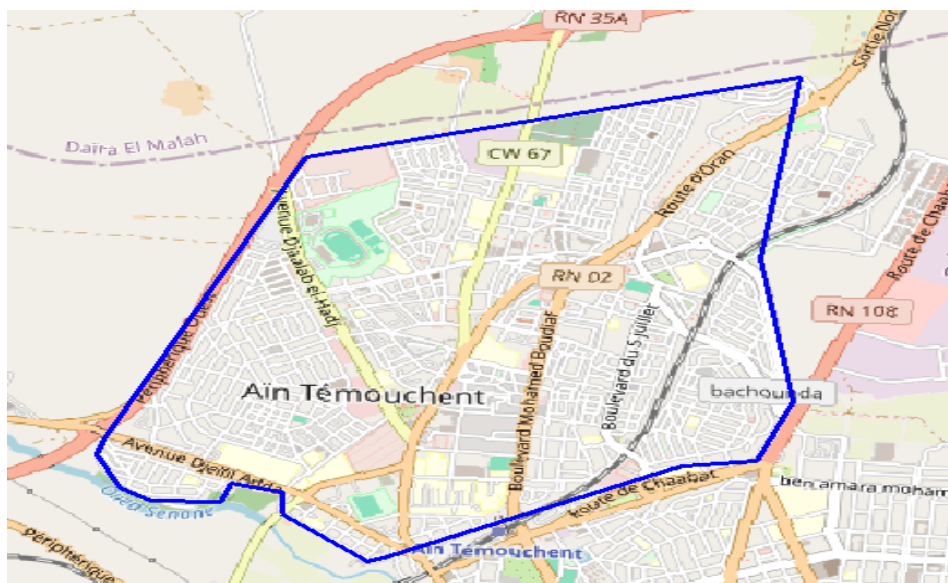


Figure III.3. Centre de ville ain Temouchent.

III.2.5 Dimensionnement de couverture

Le dimensionnement de la couverture d'un réseau de télécommunications sans fil vise à établir le nombre de sites requis pour couvrir une zone spécifique. Cela implique l'utilisation d'un modèle de propagation adéquat et du bilan de liaison pour évaluer le taux de perte de signal.

La planification de couverture sert à définir l'étendue maximale couvrable par une station de base, en se basant sur le budget de liaison radio, la puissance isotrope rayonnée efficace (EIRP), la sensibilité minimale du récepteur, la perte de trajet maximale autorisée

(MAPL), le modèle de propagation et l'analyse de couverture. Les gains et les pertes sur le trajet du signal, du transmetteur au récepteur, sont comptabilisés dans le budget de liaison radio pour les canaux en descente (DL) et en montée (UL). Les éléments cruciaux du budget de liaison incluent la puissance, les gains, les pertes dues aux câbles ou à l'utilisateur, et les pertes corporelles [31]. Cette procédure est illustrée dans la Figure. III.4.

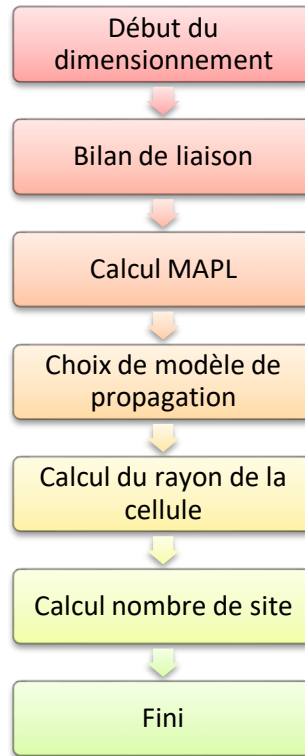


Figure III.4. Calcul de Dimensionnement de couverture [31].

Cette section a pour objectif de calculer le nombre de sites (N) requis pour couvrir une zone spécifique, en tenant compte du rayon d'un site (R) et de la distance entre les sites (D).

- La distance entre deux sites peut être calculée en utilisant la formule suivante [31] :

$$D = 1,5R. \quad (\text{III. 1})$$

- Nombre de site :

$$N = \frac{\text{Surface totale à couvrir}}{\text{Surface couverte par un seul site } A_{\text{site}}} \quad (\text{III. 2})$$

- Pour calculer la surface couverte par un seul site, il existe deux équations qui varient selon le type d'antenne utilisé :
 - ✓ Pour une antenne omnidirectionnelle, la formule est :

$$A_{site} = 3/2\sqrt{(3R_{eff}^2)} \quad (III. 3)$$

✓ Pour une antenne à deux secteurs, la formule est :

$$A_{site} = \sqrt{(3R_{eff}^2)} \quad (III. 4)$$

✓ Pour une antenne à trois secteurs, la formule est :

$$A_{site} = 9/8\sqrt{(3R_{eff}^2)} \quad (III. 5)$$

A. Bilan de liaison

Le bilan de liaison consiste à évaluer les gains et les pertes globales dans un système de communication sans fil pour déterminer le niveau du signal reçu (RxSL) au récepteur (UE). Ensuite, on compare ce niveau de signal reçu à la sensibilité du récepteur (RxS) pour déterminer si le canal est réussi ou non.

Si le niveau du signal reçu (RxSL) dépasse la sensibilité de réception (RxS), le canal est considéré comme "Pass". Sinon, il est classé comme "Fail".

Le bilan de liaison joue le rôle de juge de la qualité de la transmission en évaluant si le signal reçu est suffisamment fort pour assurer une communication efficace.[32]

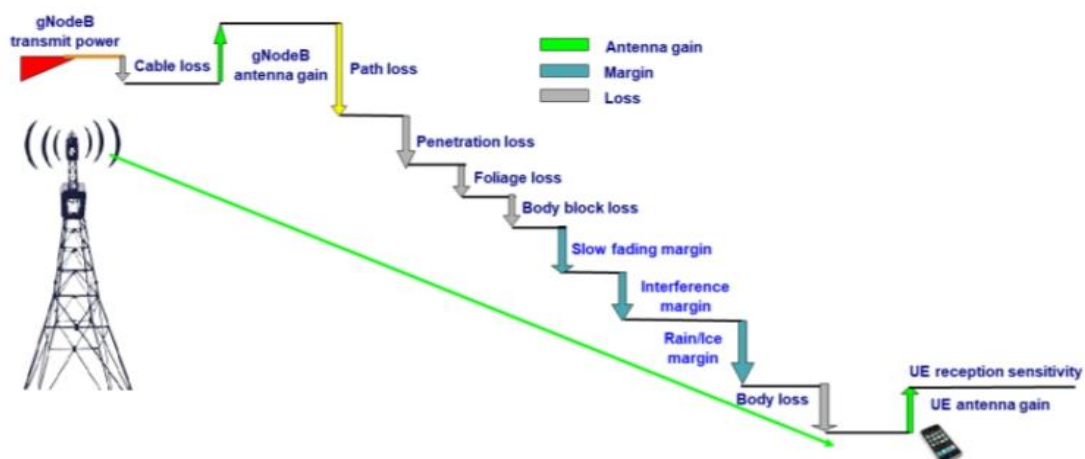


Figure III.5. Bilan de Liaison 5G [32].

La formule ci-dessous est utilisée pour calculer le niveau de signal reçu dans le bilan de liaison 5G [32]:

$$\text{Niveaude signal reçu au récepteur (dBm)} = \text{puissance} \quad (III. 6)$$

$d'émission gNodeB (dBm) - 10 \log_{10}(quantité\ de\ sous$
 $- porteuse) + gain\ d'antenne\ gNodeB (dBi) - perte\ de\ câble\ gNodeB (dB) -$
 $- perte\ de\ pénétration (dB) - perte\ de\ feuillage (dB)$
 $- perte\ de\ bloc\ corporel (dB) - marge\ d'interférence (dB)$
 $- marge\ de\ pluie/glace (dB)$
 $- marge\ d'évanouissement\ lent (dB) - perte\ de\ bloc\ corporel (dB)$
 $+ gain\ d'antenne\ UE (dB)$

La formule (III.7) permet de calculer la perte de trajet d'un signal dans un réseau de télécommunications [32] :

$$\begin{aligned}
 \text{perte de trajet (dB)} = & \text{puissance d'émission gNB} + \text{gain} \\
 & \text{d'antenne gNB} - \text{Perte de câble gNB} - \text{Perte de pénétration} \\
 & - \text{perte de feuillage} - \text{perte de bloc corporel} - \text{marge pluie/glace} \quad (\text{III. 7}) \\
 & - \text{marge d'évanouissement lent} + \text{gain d'antenne UE} \\
 & - \text{Puissance de bruit thermique} - \text{facteur de bruit UE} \\
 & - \text{seuil de démodulation SINR}
 \end{aligned}$$

Après avoir présenté l'étude théorique, le tableau III.2 récapitule les résultats obtenus pour notre travail :

Paramètre	DL	UL
Puissance d'émission gNB (dBm)	71	60
Gain d'antenne gNB (dBi)	24	24
Perte de câble gNB (dB)	0	0
Perte de pénétration (dB)	22	22
Perte de feuillage (dB)	11	11
Perte de bloc corporel (dB)	3	3
Marge d'interférence (dB)	6	6
Marge pluie / glace (dB)	0	0
Marge d'évanouissement lent (dB)	4	4
Gain d'antenne UE (dB)	0	0
Puissance de bruit thermique (dBm)	-173.22	-174.22
Facteur de bruit UE (dB)	7	7
Seuil de démodulation SINR (dB)	-65	-63

Tableau III.2. Paramètres de la transmission.

A. Calcul MAPL

Nous remplaçons les données dans l'équation (3.6) et observons que le MAPL est :

$$MAPL_{DL} = 280,22dB$$

$$MAPL_{UL} = 282,22dB$$

B. Choix du modèle de propagation

Pour calculer le rayon de la cellule, nous utilisons à la fois les chemins de liaison montante (UL) et descendante (DL), en appliquant le modèle standard de propagation. Le rayon effectif sera le plus petit entre les deux rayons de chemins UL et DL. Les hauteurs d'antenne du gNB et de l'UE sont respectivement de 30 et 1,5 mètres. Nous employons la formule d'Okumura-Hata et les valeurs MAPL du budget de liaison radio descendante pour ce calcul. La formule du modèle standard est basée sur la formule d'Okumura-Hata, qui est une approche couramment utilisée pour estimer la perte de propagation dans le réseau 5G.

C. Calcul du rayon de la cellule

Il est faisable de déterminer le rayon d'une cellule pour les chemins en descente (DL) et en montée (UL), comme expliqué ci-après.

$$d_{DL} = 10^{((MAPL_{DL} - 298,81)/(35,23))} = 0,297 \text{ Km}$$

$$d_{UL} = 10^{((MAPL_{UL} - 298,81)/(35,23))} = 0,338 \text{ Km}$$

Le rayon effectif est le minimum entre d_{DL} et d_{UL} .

Donc :

$$R_{eff} = \min(d_{DL}, d_{UL}) = \min(0,297 \text{ Km}, 0,338 \text{ Km})$$

Ce qui donne :

$$R_{eff} = 0,297 \text{ Km.}$$

❖ Le tableau suivant résume nos résultats de calcul :

Paramètre	Liaison descendante	Liaison montante
Hauteur de l'antenne gNB (m)		30
Hauteur de l'antenne UE (m)		1,5
Fréquence en MHz		3500
MAPL (dB)	280,22	282,22
Rayon de cellule (km)	0,297	0,338
Rayon de cellule effectif (km)		0,297

Tableau III.2. Résumé des paramètres et du rayon de cellule.

D. Calcul du nombre de sites

Tout d'abord, pour calculer le nombre de sites nécessaires, il est impératif de déterminer la surface couverte par un seul site en utilisant l'équation (III.2). Comme la zone cible est urbaine (tableau III.1), nous partirons du principe que tous les gNB sont des antennes tri-sectorielles. La superficie d'un site et le nombre total de sites nécessaires basés sur la couverture peuvent être estimés à l'aide de l'équation (III.5) [30].

$$A_{site} = \frac{9}{8}\sqrt{3}R_{eff}^2$$

Avec : $R_{eff} = 0,297km$.

En substituant cette valeur, on obtient :

$$A_{site} = \frac{9}{8}\sqrt{3}(0,297)^2 = 0,172 Km^2$$

Après on va calcul le nombre de site, est donc donné par cette formule :

$$N = \frac{(\text{Surfacetotale})}{(\text{surfacecouverteparunsite})} \\ = \frac{(4,33Km^2)}{(0,172Km^2)} \approx 25,17 \approx 25site$$

Et la distance donné par par cette formule :

$$D = 1,5R = 1,5(0,297) = 0,445 .$$

III.3 Planification détaillé

III.3.1 Présentation du logiciel de planification atoll

Atoll est un logiciel de planification de réseaux sans fil créé par la société française Forsk. Lancé en 2001, il est désormais employé par de nombreux opérateurs de télécommunications à travers le monde, proposant des fonctionnalités de pointe comme le MIMO massif, le beamforming 3D et la propagation mmWave pour la planification des réseaux 5G.

Atoll offre un cadre robuste pour la conception et l'optimisation de réseaux multi-technologies intégrés, destinés aux opérateurs et fournisseurs de télécommunications actuels et futurs. Pour ce projet de fin d'études, la version 3.4.0 d'Atoll a été employée [33].

III.3.2 Environnement de travail d'Atoll

Atoll est un outil de planification radio doté d'une interface Windows qui simplifie le processus. L'interface autorise l'ouverture simultanée de multiples fenêtres de documents et le glisser-déposer des éléments avec aisance. Atoll propose aussi une variété d'options pour la création et l'exportation de résultats adaptés aux exigences du projet. L'environnement de travail d'Atoll est illustré dans la figure (III.6)

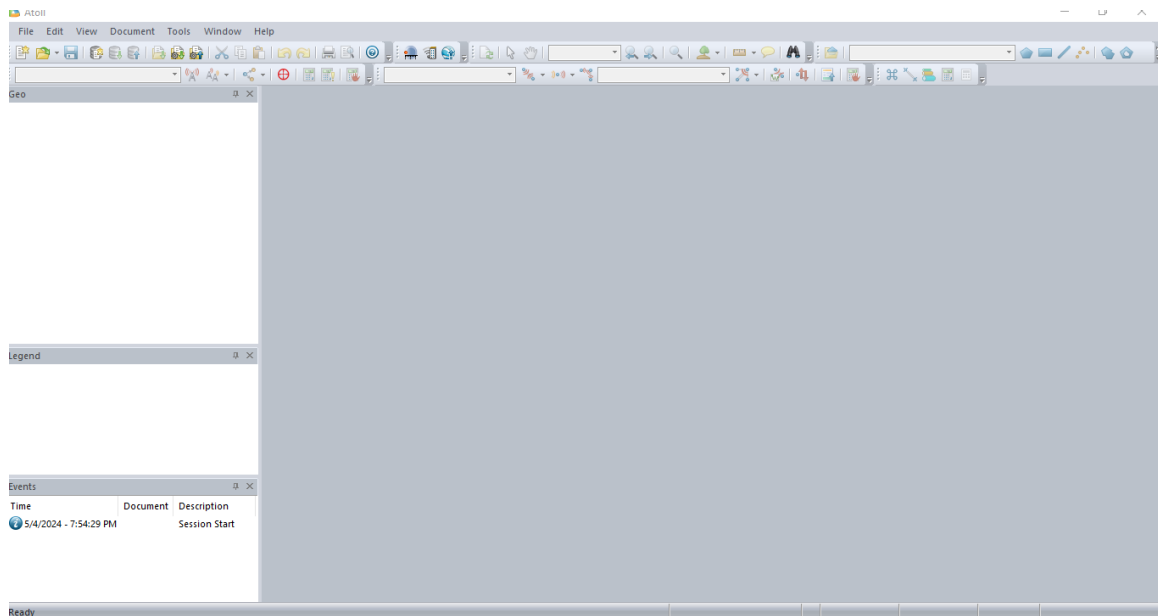


Figure. III.6. Environnement de travail d'Atoll.

L'interface d'Atoll offre un outil de recherche pour identifier des emplacements ou des points d'intérêt sur une carte, ainsi que trois onglets dédiés à la gestion des objets de données

Atoll : les sites, les émetteurs, les calculs, et les informations géographiques (modèles numériques de terrain et cartes de trafic). Il est possible de trier et de filtrer les tables liées à ces données, ainsi que d'importer et d'exporter des informations.

III.3.3 Étapes de planification

Les étapes de configuration d'Atoll sont les suivantes :

1. Création d'un projet 5G.
2. Importation de la carte de la wilaya d'Aïn Témouchent.
3. Sélection de la zone voulue (centre ville d'Ain Temouchent).
4. Sélection du système de coordonnées.
5. Ajout de sites avec position et hauteur spécifiées.

III.3.3.1 Création d'un projet 5G

Atoll peut être utilisé pour gérer diverses technologies d'accès radio 3GPP, y compris la 5G, LTE, UMTS, GSM et CDMA. Ainsi, cette application est multiplateforme (Figure III.7) :

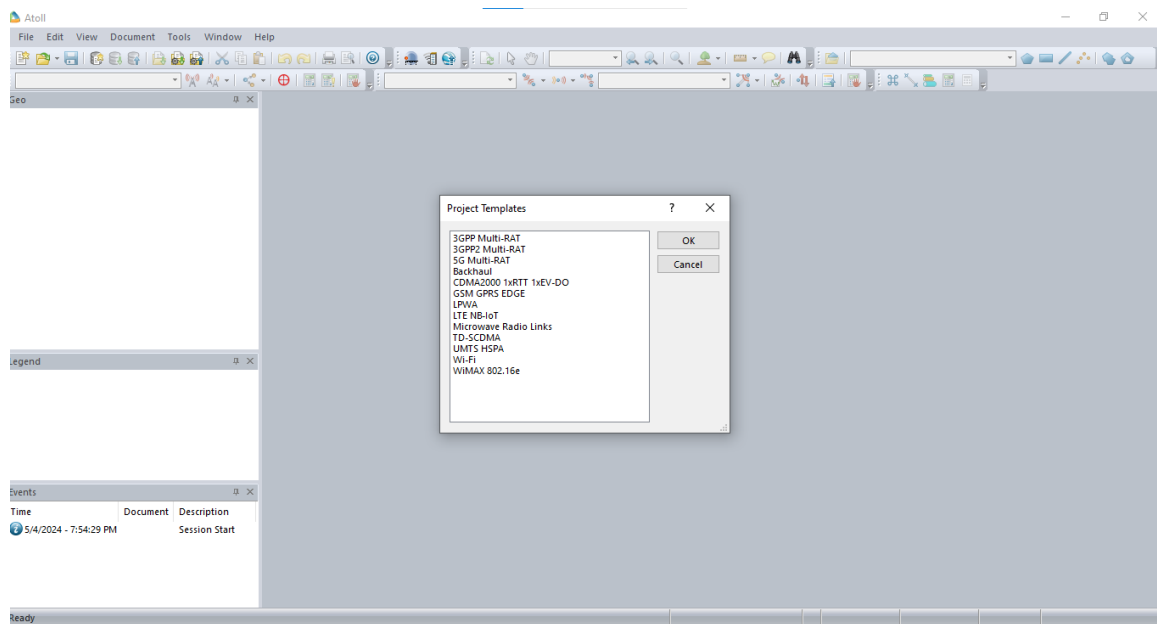


Figure. III.7. Création d'un nouveau projet sur Atoll.

Nous avons opté pour la technologie 5G car notre projet est axé sur la planification d'un réseau 5G.

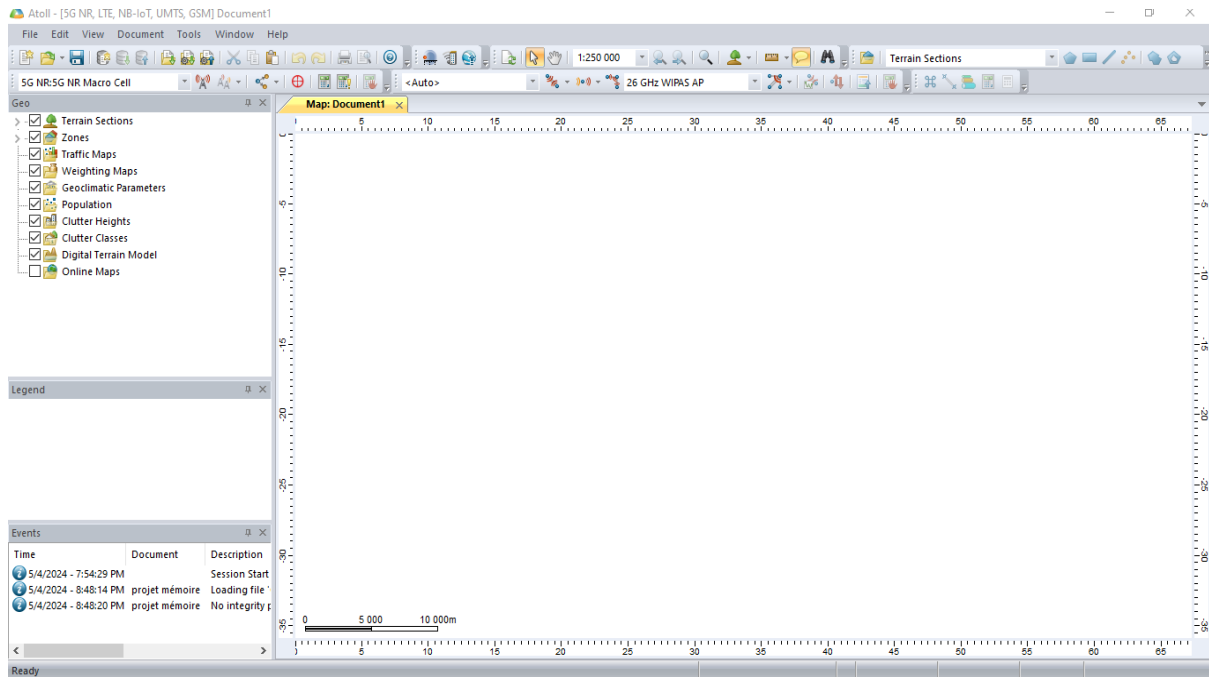


Figure. III.8. Nouveau projet 5G.

III.3.3.1 Importation de la carte

Premièrement, nous importerons la grande carte de l'Algérie (Figure.III.9). Ensuite, nous appliquerons un zoom sur la Wilaya d'Aïn Témouchentet nous préciserons le centre de lawilaya.

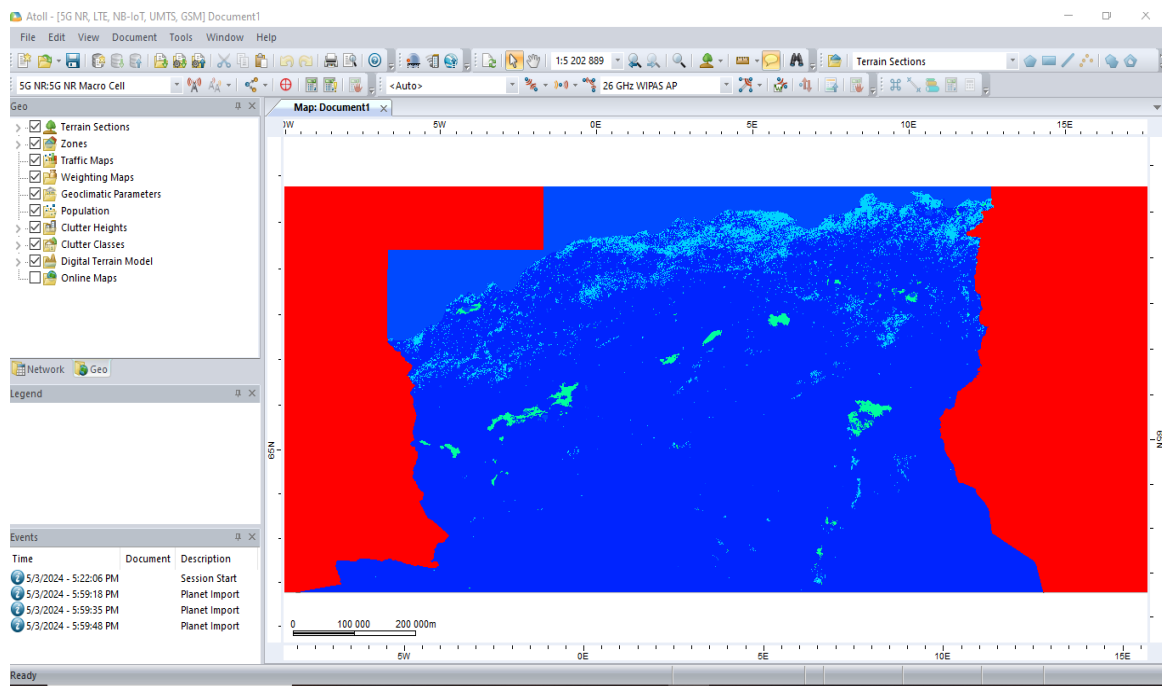


Figure. III.9. Importation la carte d'Algérie.

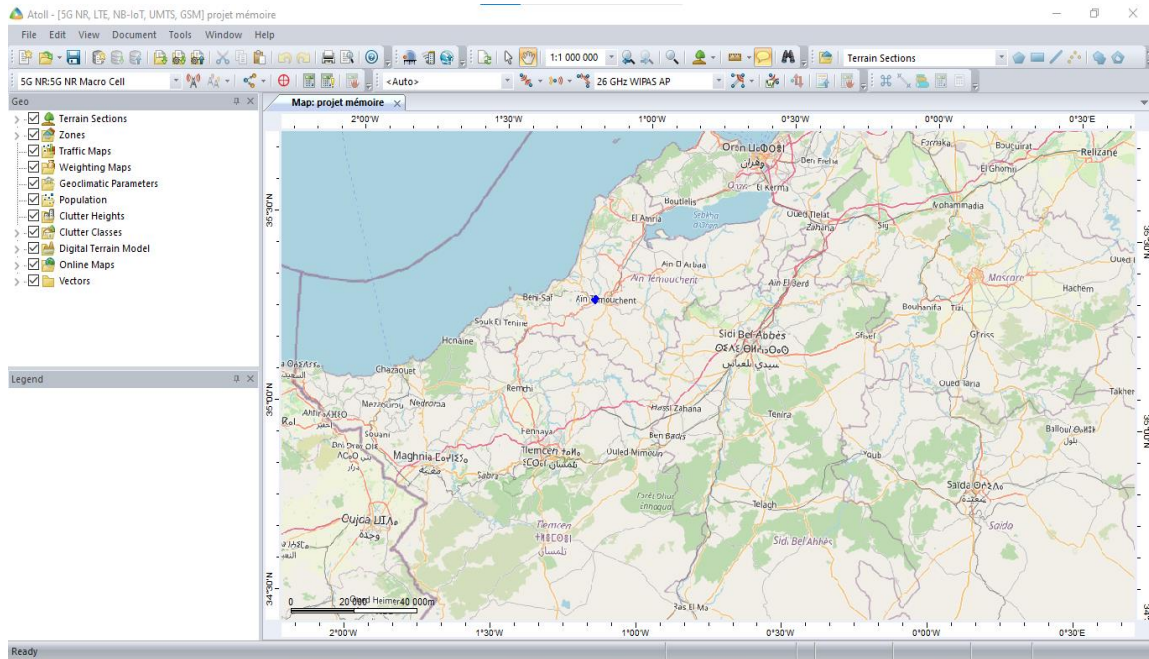


Figure .III.10.wilaya de Ain Temouchent.

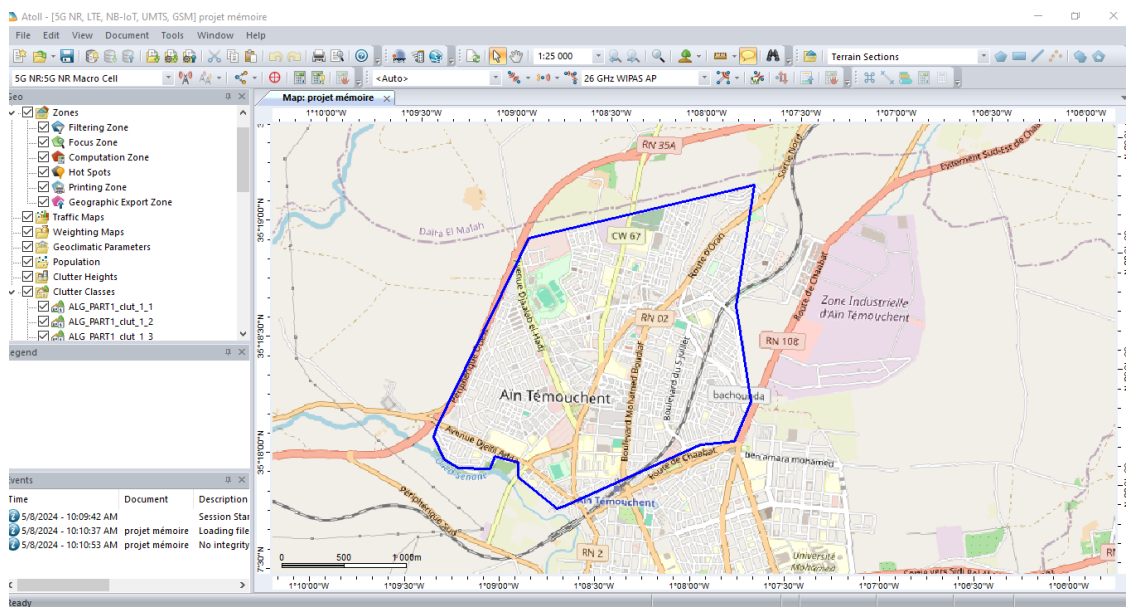


Figure. III.11. Centre de ville Ain Témouchent.

III.3.3.2 Choix du système de coordonnées

Pour sélectionner le système de coordonnées, il faut d'abord accéder au menu du document et cliquer sur Propriétés. La fenêtre des Systèmes de coordonnées de projection apparaît alors (Figure III.12). Le système de coordonnées WGS84 UTM Zones est un standard géodésique couramment.

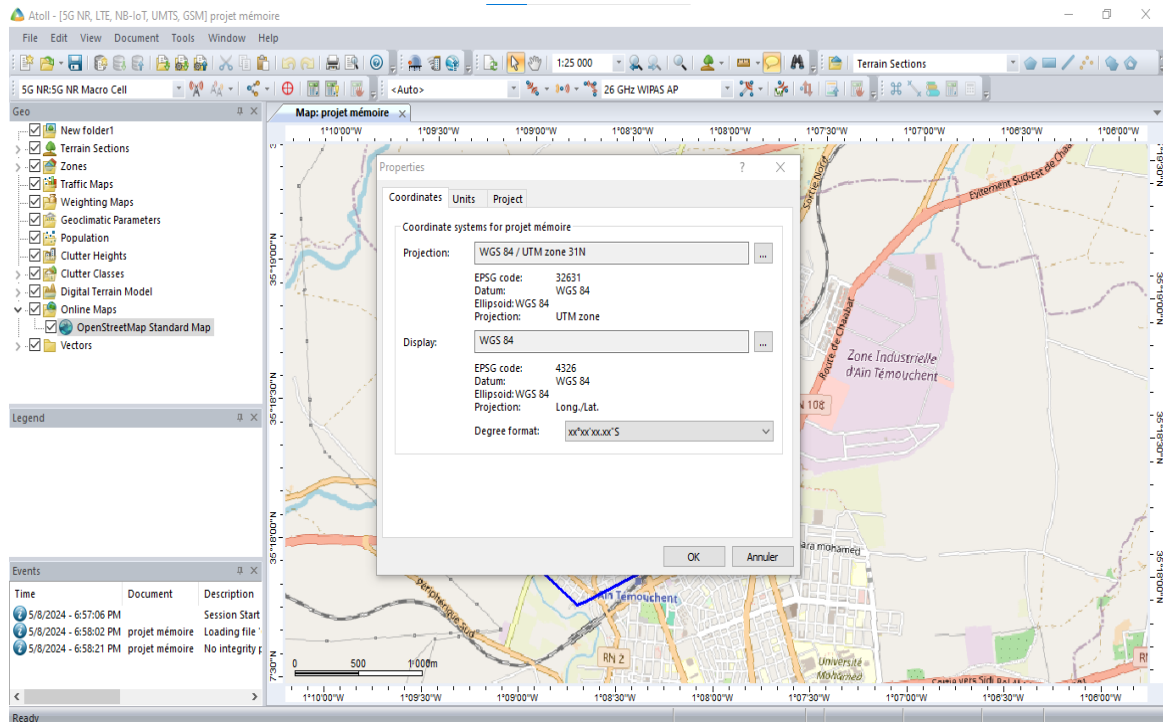


Figure.III.12.Choix du système de coordonnées.

III.3.3.3 Ajoute de sites

Dans cette section, nous avons intégré 25 nouveaux sites (voir Figure.III.13) à notre réseau.

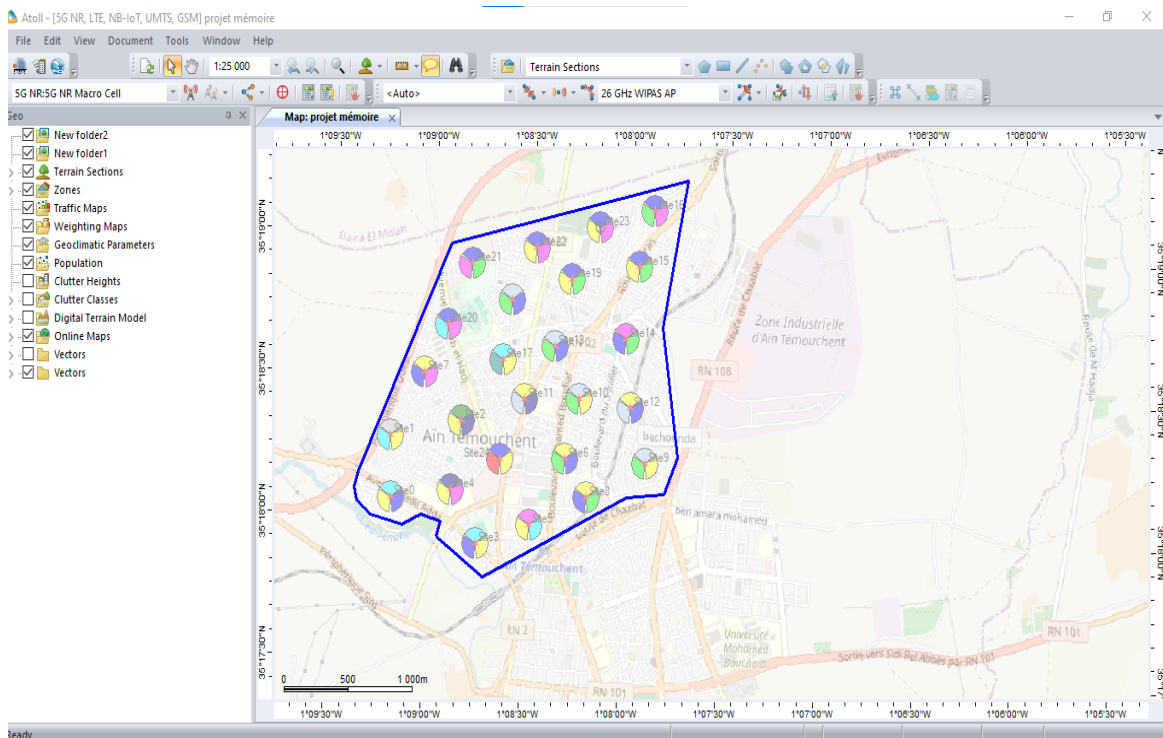


Figure III.13.Cartographie des sites.

Le tableau (Figure.III.14) fournit un exemple des coordonnées employées pour la localisation des sites.

Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Support Height (m)
Site0	1°9'11,36"W	35°18'4,04"N	[226]	30
Site1	1°9'12,03"W	35°18'17,1"N	[229]	30
Site10	1°8'15,67"W	35°18'20,33"	[225]	30
Site11	1°8'31,4"W	35°18'26,01"	[229]	30
Site12	1°7'58,91"W	35°18'25,19"	[217]	30
Site13	1°8'16,46"W	35°18'35,75"	[215]	30
Site14	1°8'0,96"W	35°18'39,71"	[216]	30
Site15	1°7'57,55"W	35°18'55,06"	[209]	30
Site16	1°7'53,45"W	35°19'7"N	[194]	30
Site17	1°8'43,63"W	35°18'34,81"	[231]	30
Site18	1°8'31,72"W	35°18'42,52"	[221]	30
Site19	1°8'18,06"W	35°18'51,78"	[215]	30

Figure.III.14. Tableau présente un exemple de données de coordonnées utilisées pour localiser des sites.

III.4 Conclusion

Ce chapitre s'est concentré sur la planification des réseaux radio afin d'assurer une couverture optimale. Les étapes du processus de planification ont été abordées, incluant la pré-planification, l'évaluation de la couverture, la sélection du modèle de propagation et l'estimation du nombre de sites requis. Le logiciel de planification Atoll, couramment utilisé dans le secteur des télécommunications, a été examiné à travers son interface et ses options de configuration. Les différentes phases de planification ainsi que les résultats obtenus seront détaillées dans le chapitre final.

Chapitre IV : Simulation et discussion des résultats

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous exposerons les conclusions de la planification de couverture réalisée à l'aide de l'outil spécialisé ATOLL. Nous examinerons les paramètres de prédiction calculés et recourrons à l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour améliorer à la fois la couverture et la capacité du réseau.

IV.2 Optimisation

L'ACP est un module avancé pour la planification et l'optimisation automatique intégré au logiciel ATOL. Ce module offre une gamme de fonctionnalités d'optimisation pour les réseaux GSM, UMTS, LTE et 5G. Il facilite l'amélioration des réseaux existants en permettant des ajustements à distance de paramètres tels que l'inclinaison et la puissance des antennes. Pour les réseaux en phase de planification, il offre la possibilité de sélectionner des antennes, de modifier leur azimut, d'ajuster leur inclinaison mécanique, de changer leur hauteur et de sélectionner des emplacements parmi une liste de sites potentiels.[34]

L'ACP est accessible pour les technologies 5G, LTE, NB-IoT, UMTS, GSM, CDMA, WiMax et Wi-Fi. Les buts d'optimisation incluent l'amélioration de la couverture, l'accroissement de la capacité, la gestion du trafic et la maximisation du débit.[34]

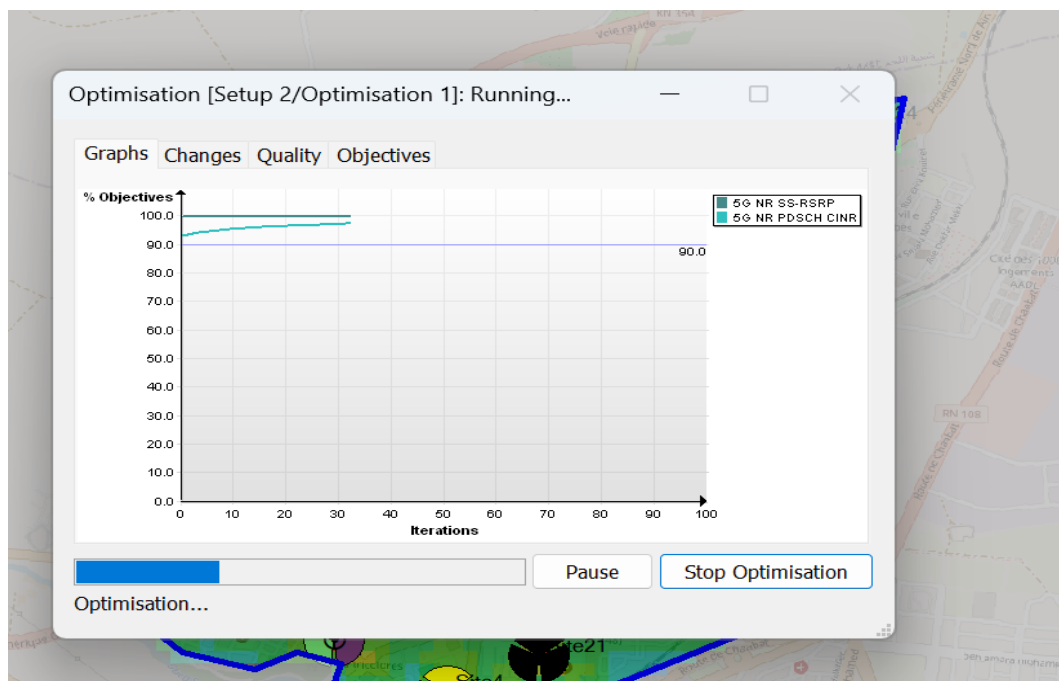


Figure IV.1. Optimisation de la couverture et de la capacité du réseau avec l'ACP.

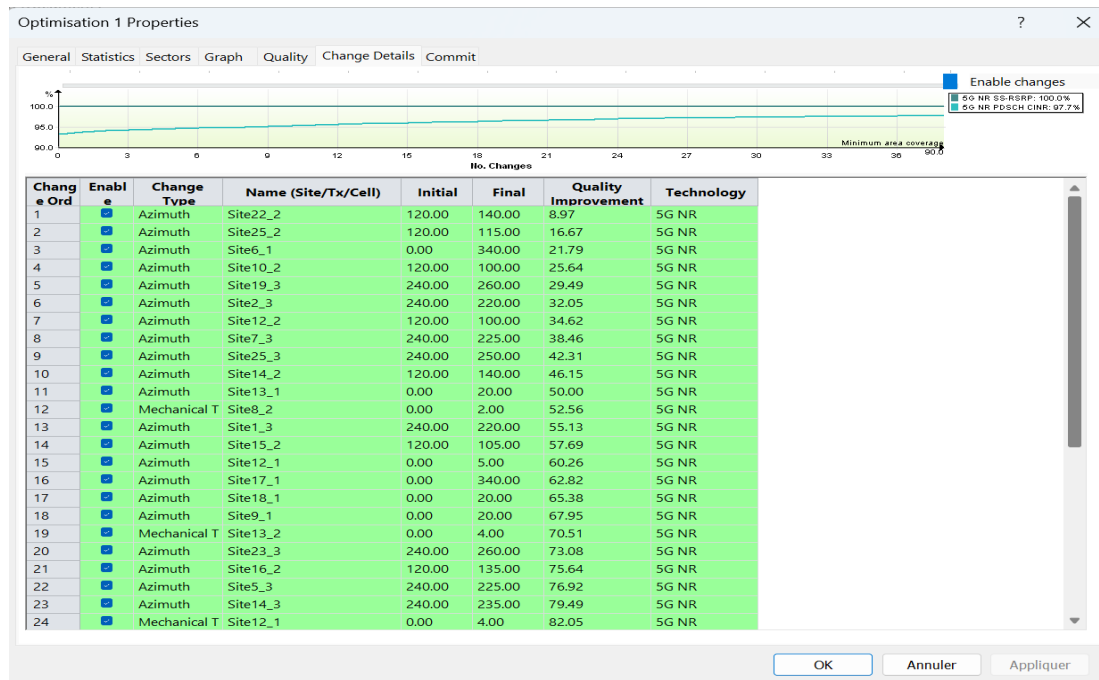


Figure IV.2. Modification de détail après optimisation.

Après l’ACP, Nous avons appliqués les modifications nécessaires selon le tableau présenté dans la figure IV.2. Les résultats après l’optimisation été très satisfaisante comme illustré dans la Figure IV.3.

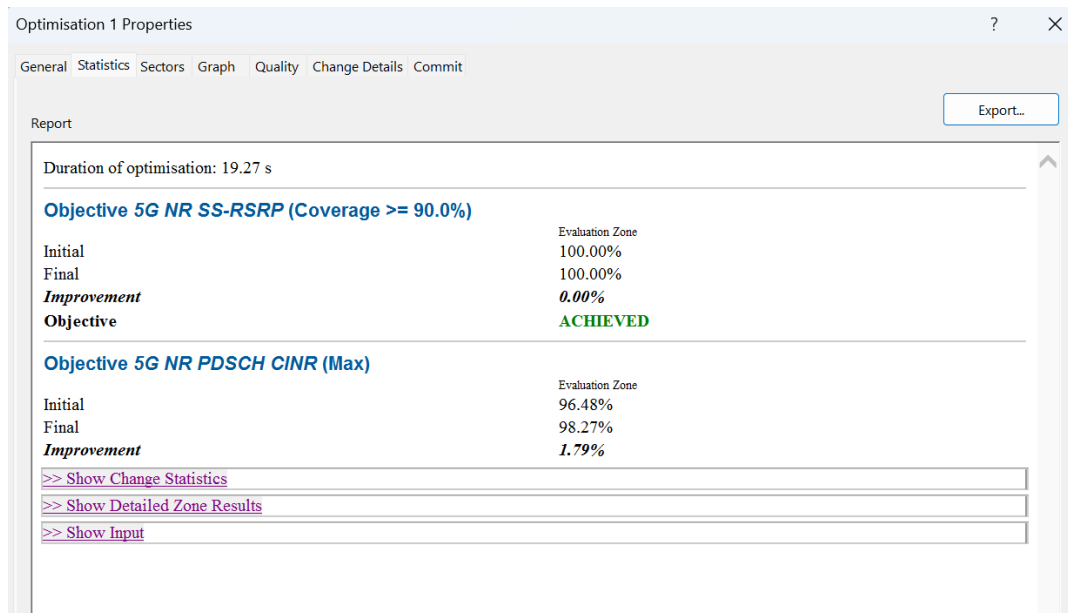


Figure IV.3. Rapport de l'optimisation réalisée.

IV.3 Résultats de différentes prédictions

IV.3.1 Couverture 5G par SS-RSRP

SS-RSRP est un indicateur utilisé dans la technologie 5G pour évaluer la qualité du signal reçu. Les appareils mobiles mesurent la force et la qualité du signal des cellules voisines lorsqu'elles se déplacent d'une cellule à une autre, afin d'identifier et de re-sélectionner les meilleures cellules pour transmettre des données d'une cellule à une autre.

La norme 3GPP relative au SS-RSRP stipule que l'évaluation de la couverture repose sur des simulations, et que:

- SS – RSRP ≥ -90 dBm est considéré comme une condition RF excellente.
- SS – RSRP entre $(-100$ dBm) et $(-90$ dBm) comme une bonne condition RF.
- SS – RSRP entre $(-100$ dBm) et $(-110$ dBm) comme une condition RF moyenne.
- SS – RSRP entre $(-110$ dBm) et $(-125$ dBm) comme une condition RF en limite de portée de la cellule.

Les simulations 5G indiquent que la zone ciblée bénéficie d'une couverture avec un SS-RSRP de $-72,96$ dBm, comme illustré dans la Figure IV.4.

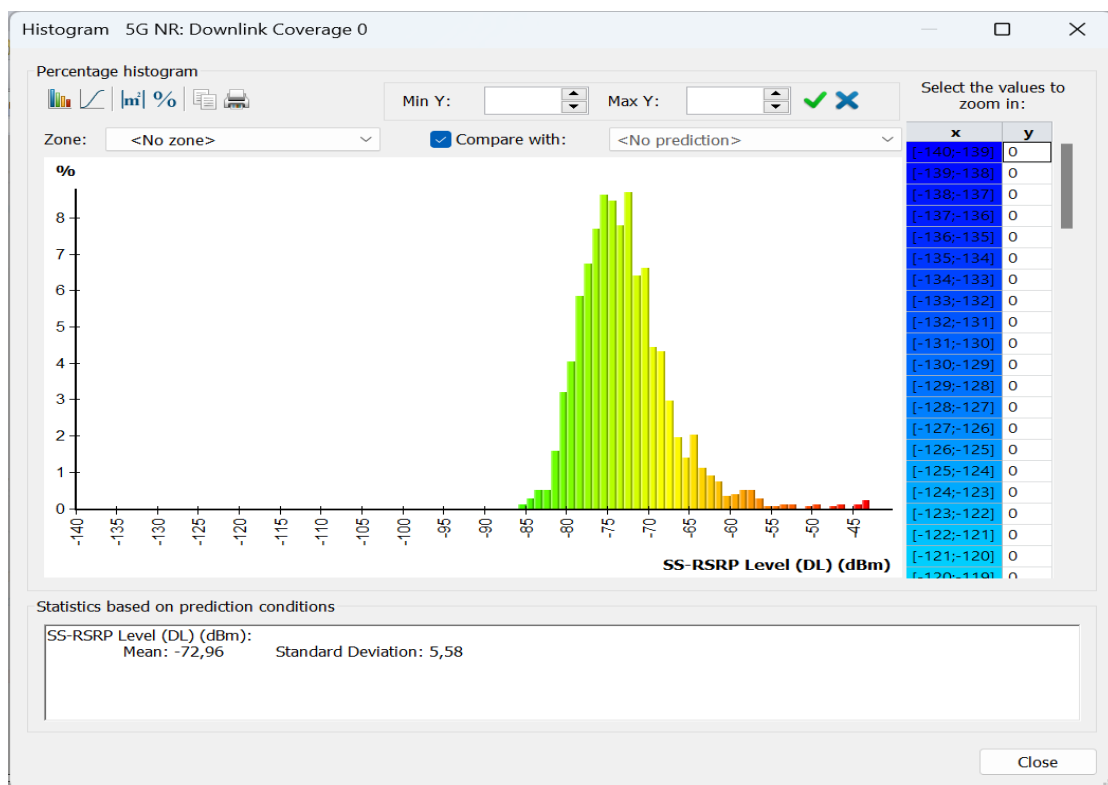


Figure IV.4. Couverture 5G par SS-RSRP.

Le résultat de la simulation indiquant un $SS-RSRP \geq -72,96\text{dBm}$ démontre que la zone cible bénéficie effectivement d'une couverture par un signal de haute qualité.

IV.3.2 Couverture 5G par PDSCH C/(I+N)

Présentation d'un histogramme de zone (pourcentage) en fonction de la prédiction de qualité par PDSCH C/(I+N) dans la liaison descendante.

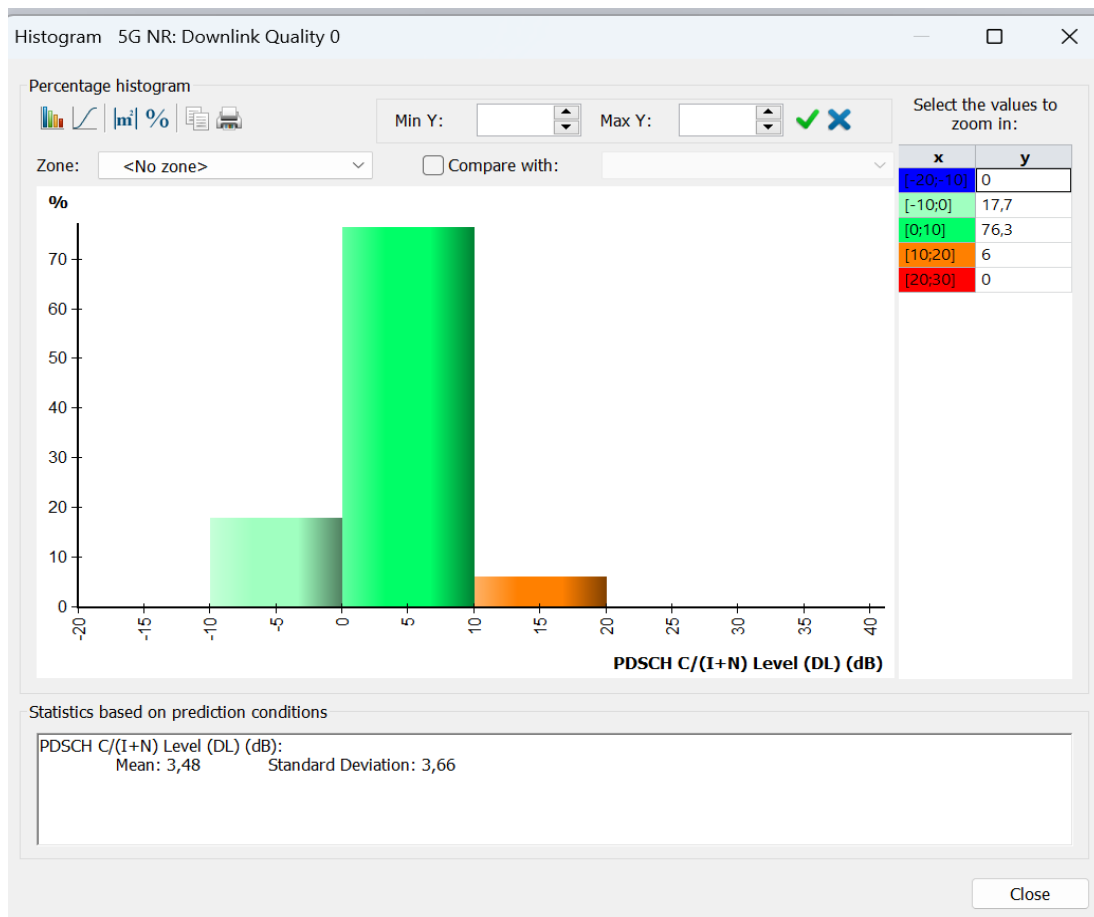


Figure IV.5. Qualité par PDSCH C/(I+N).

L'histogramme indique que les pourcentages de signal de qualité supérieure, bonne et faible sont respectivement de 6% 76,3 % 17,7%.

IV.3.3 Qualité de la liaison montante

D'après les résultats de la simulation du réseau 5G, la zone ciblée bénéficie d'une couverture complète avec un niveau de signal de 10,31 dB (voir Fig. IV.6) pour la liaison montante.

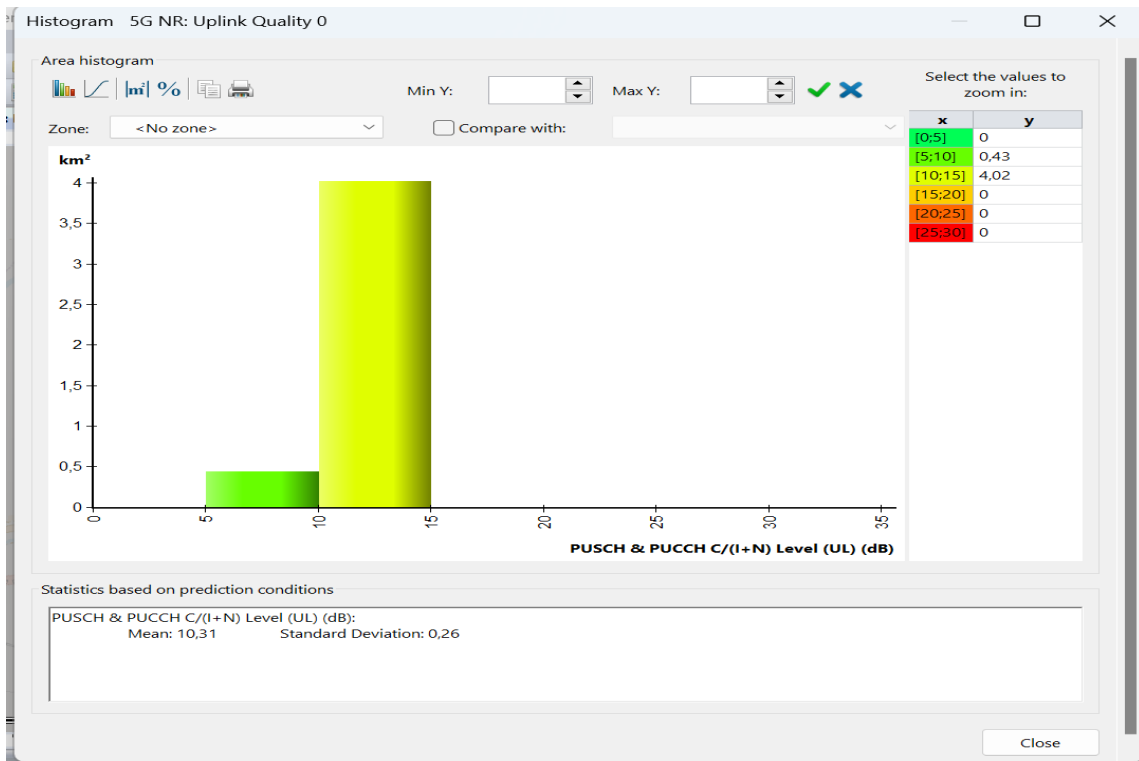


Figure IV.6. Prédiction de la qualité de la liaison montante.

IV.3.4 Capacité 5G par débit (DL)

La prédiction du débit de la capacité 5G pour les liaisons descendantes est cruciale pour l'évaluation des performances des réseaux de télécommunications sans fil.

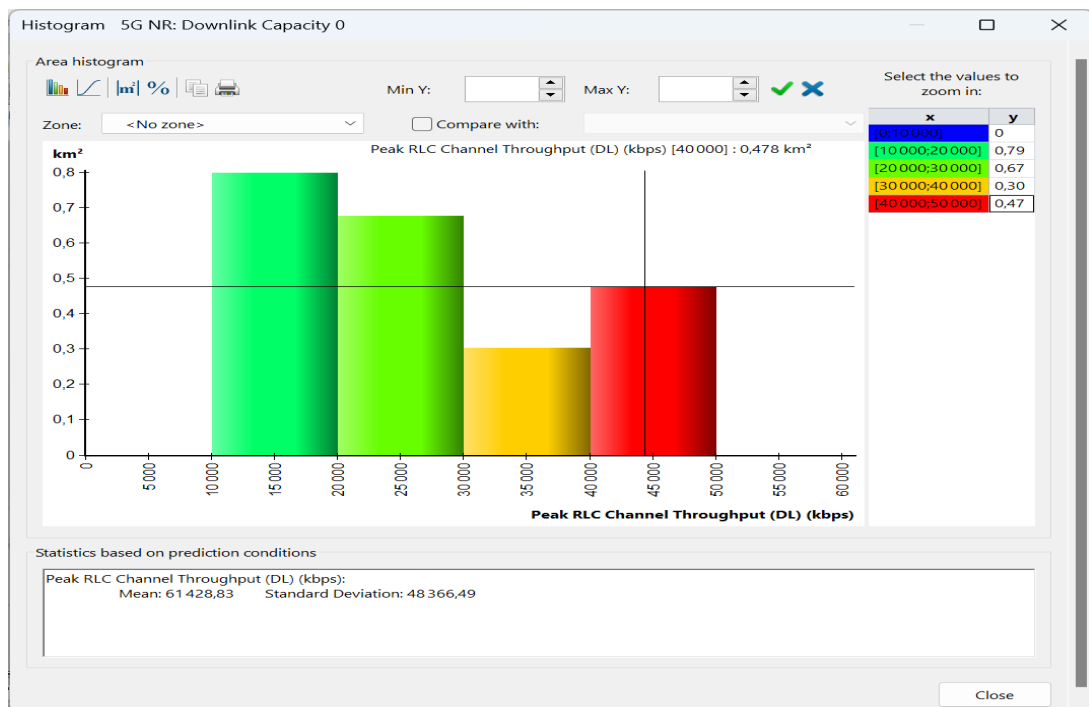


Figure IV.7. Prédiction de capacité 5G (DL).

La figure IV.7 représente la prévision de la capacité 5G en termes de débit descendant. Une large zone affiche un débit élevé qui peut monter jusqu'à 50 Mbps. Les débits maximaux dans les autres zones sont de : 20, 30, 40 Mbps.

IV.3.5 Couverture dans les zones de chevauchement

Les cellules adjacentes se chevauchent pour assurer la continuité de la connexion pour les utilisateurs mobiles. Les zones de chevauchement, qui sont fréquentes, peuvent affecter la qualité du réseau. La présence de multiples zones de couverture par une cellule dominante est désignée comme une zone de chevauchement. Cela résulte souvent du positionnement des antennes à différentes hauteurs, mais peut aussi être causé par des réflexions dues à l'environnement.

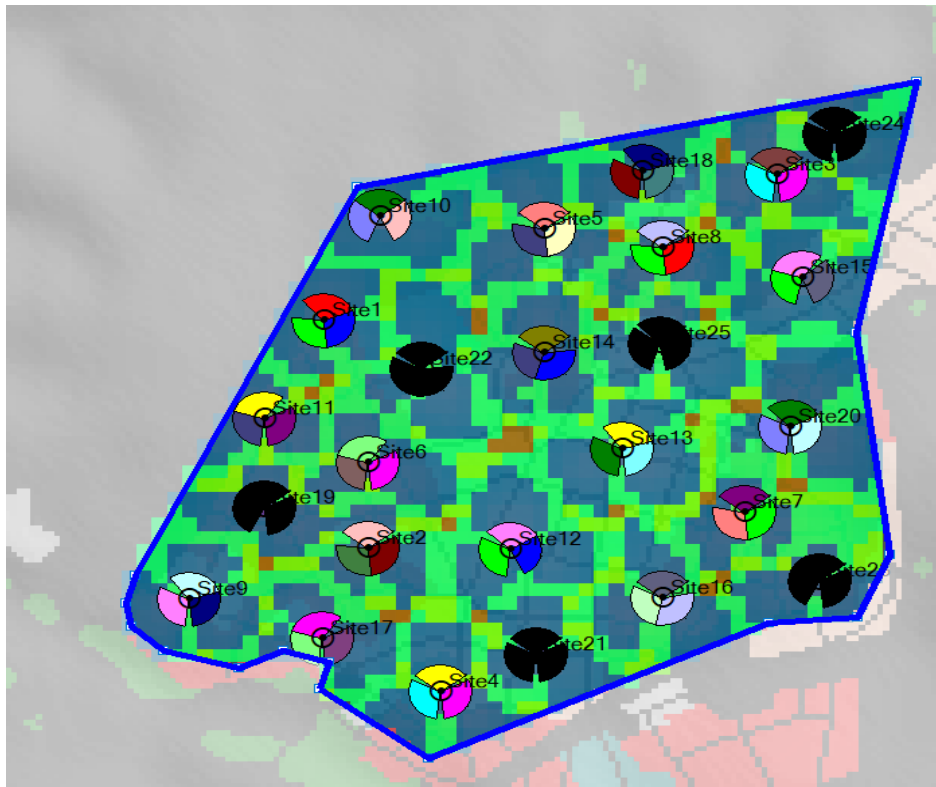


Figure IV.8. Couverture dans les zones de chevauchement.

Comme il est évident sur Figure IV.8 et Figure IV.9, un pourcentage plus important de la zone cible est couvert par un ou deux serveurs, indiquant une amélioration des performances lorsqu'elle est desservie par plus de deux serveurs.

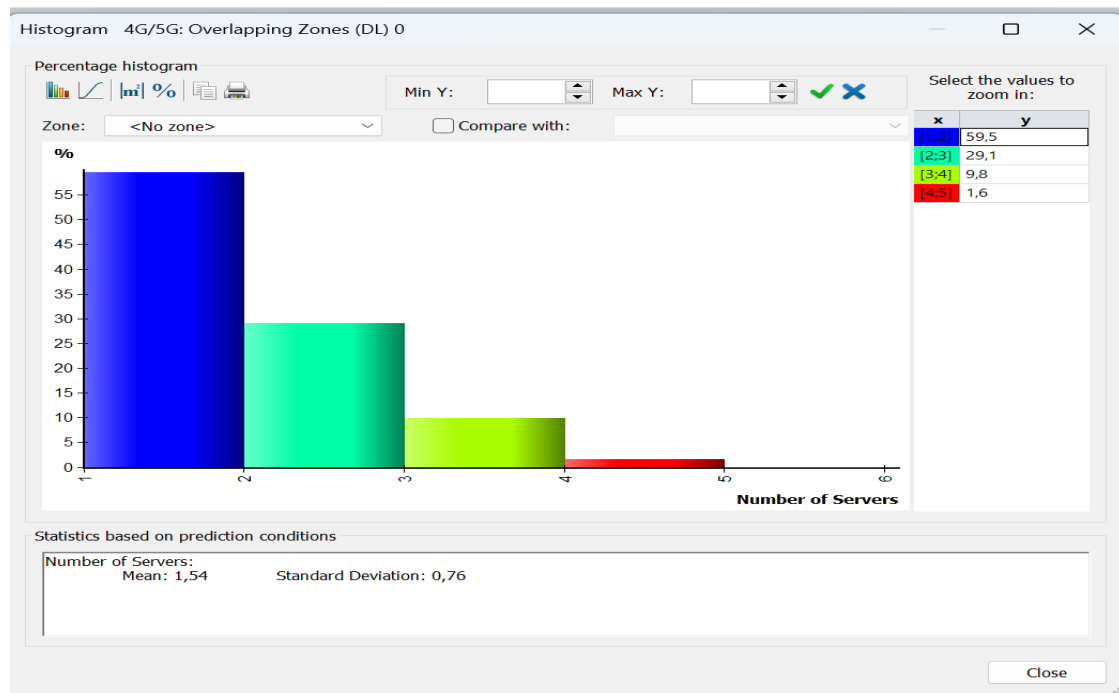


Figure IV.9. Histogramme de Prédiction de couverture 5G dans les zones de chevauchement.

IV.4 Analyse de performance du réseau planifié

IV.4.1 Perte de chemin en 5G en fonction de la distance

D'après les résultats de la planification de couverture, qui se fondent sur des estimations budgétaires de liaison et le modèle de propagation Standard, le rayon de la cellule pour la liaison descendante devrait être d'environ 0,297 km, tandis que celui de la liaison montante devrait être d'environ 0,338 km.

Lors de l'analyse des points, prenons pour exemple une position située à 0,271 km du transmetteur numéro 3 sur le site 5 (voir Figure IV.10). La simulation a confirmé que le signal est capable de couvrir entièrement un utilisateur se trouvant à cette localisation.

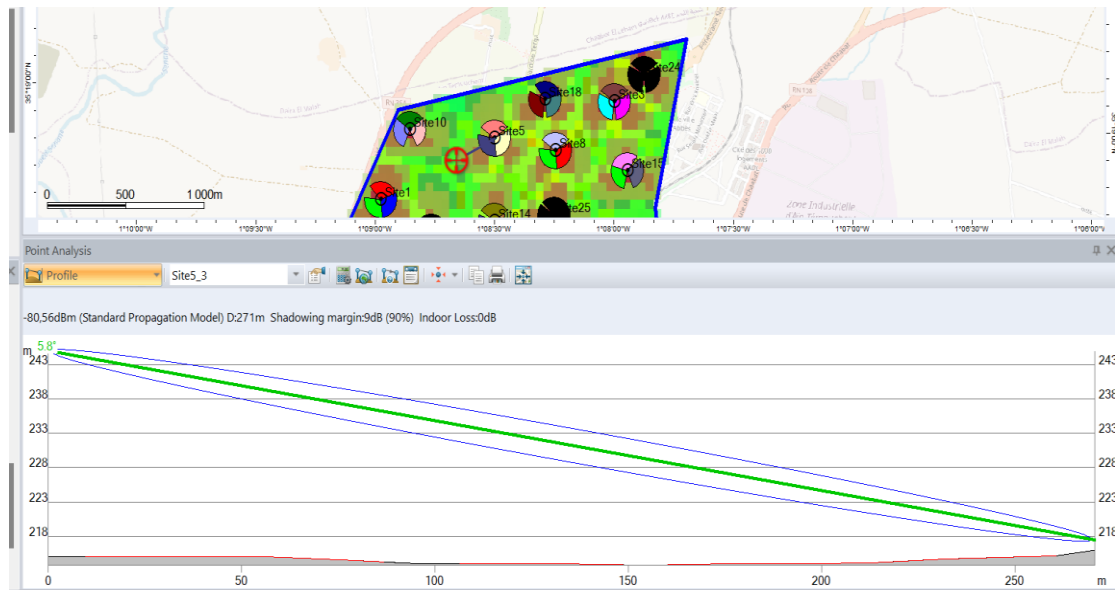


Figure IV.10. Perte de chemin en 5G en fonction de la distance.

IV.4.2 Réception 5G

Les résultats de la simulation pour l'analyse des points d'atoll indiquent qu'un équipement utilisateur (UE) peut capter plusieurs signaux émis par différentes antennes dans un même lieu. Toutefois, le signal le plus puissant sera sélectionné et utilisé pour servir l'utilisateur. La figure IV.11 illustre l'analyse détaillée du SS-RSRP en contexte de réception 5G.

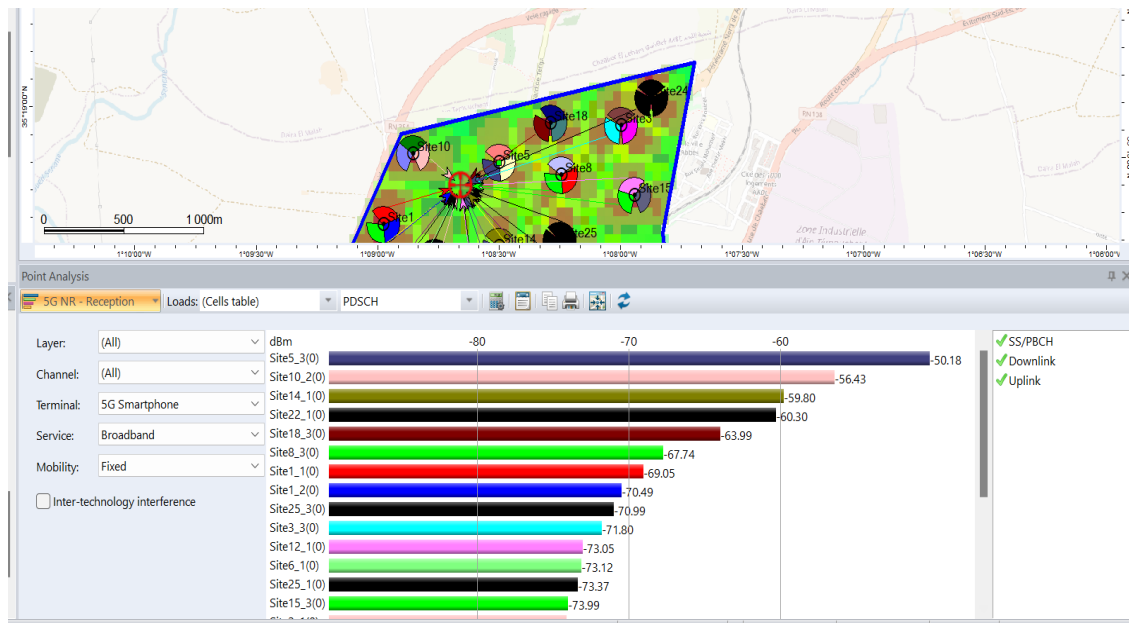


Figure IV.11. Analyse ponctuelle de la SS-RSRP dans la réception 5G.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre, l'utilisation des outils de planification automatique de cellules pour améliorer la couverture du réseau 5G a été explorée. Les résultats de simulation ont été examinés, y compris la prédiction des niveaux de signal, la qualité de la liaison montante et la couverture des zones de chevauchement. Les performances du réseau planifié ont aussi été évaluées en termes de perte de signal et de réception 5G. Pour conclure, cette étude a apporté des contributions significatives à la planification et à l'optimisation des réseaux de télécommunications 5G.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent projet de fin d'étude avait pour objectif de planifier et optimiser le déploiement du réseau 5G dans la région de Ain-Temouchent en utilisant le logiciel Atoll. Ce projet a permis une analyse approfondie du réseau 5G, en se concentrant sur des aspects clés tels que son architecture, ses fréquences et ses caractéristiques de trame. Après une analyse approfondie et une série de simulations et d'évaluations, plusieurs conclusions clés peuvent être tirées.

Premièrement, le déploiement de la 5G dans cette zone offre un potentiel significatif pour améliorer la connectivité et répondre à la demande croissante de bande passante. Grâce à Atoll, nous avons pu effectuer des simulations précises et déterminer les emplacements optimaux pour les stations de base, en tenant compte des caractéristiques géographiques et des obstacles potentiels.

Deuxièmement, les techniques d'optimisation appliquées, telles que l'utilisation de réseaux d'antennes massives (Massive MIMO), se sont avérées efficaces pour maximiser la couverture et la capacité du réseau. Atoll a permis de modéliser ces techniques avec précision, ce qui a facilité l'identification des meilleures configurations pour minimiser les zones d'ombre et assurer une qualité de service (QoS) élevée.

Cette étude détaillée a jeté les bases d'une planification précise en mettant en avant les principaux éléments tels que l'établissement du bilan de liaison et le choix des modèles de propagation adaptés.

En conclusion, le projet de déploiement et d'optimisation du réseau 5G à Ain-Temouchent est non seulement réalisable mais également stratégique pour le développement socio-économique de la région. Les résultats obtenus grâce à l'utilisation d'Atoll fournissent une feuille de route claire pour les opérateurs de télécommunications et les décideurs politiques, soulignant les avantages considérables d'un réseau 5G bien planifié et optimisé.

Bibliographie

- [1] «Chapitre I : l'évolution des réseaux mobiles », document-569882437, publié le 14 Avril 2021. Consulté 12 février 2024, <https://fr.scribd.com/document/569933466/Chapitre-I>
- [2] The Evolution of Wireless Technology: 1G to 5G Complete Guide ;17th March, 2023 ; SatyanshuPathak.
- [3] Formations "Répondre aux AO pour les entreprises" <https://www.marche-public.fr/index.htm>
- [4] « Presentations 5 G f o r h i g h s c h o o l » . Marie-Paule Odi, HPE 2019.
- [5] 1G, 2G, 3G, 4G – « The Evolution of Wireless Generations ».Posté par NA - on 23 08 2008 02:37 AM .
- [6] C. DEMOULES , M. VAN DROOGENBROECK . Principes de base du fonctionnement du réseau GSM , Revue de l'AIM , pages 3-18 , N ° 4 , 2004 .
- [7] <https://fr.scribd.com/document/657024487/Re-seaux-mobiles-1G-2G-3G-4G-et-5G-lessentiel-a-savoir>
- [8] « WIRELESS AND MOBILE NETWORK » . Présentée par : GHULAM MUJTABA: CIIT/FA14-BCS-063/VHR (A). Le 7 avril 2018.
- [9] Yannick Bouguen, EricHardouin, François-Xavier Wolff, ' LTE et les rÈseaux 4G ^a, Édition groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.
- [10] <https://developer.orange.com/od-uploads/Generalites-et-architecture-de-la-4G>.
- [11] L'avantage Et L'inconvénient De La 4G LTE Dans La Tablette 4G De Voiture En Gros , Mar 08, 2024 .
- [12] <https://www.thalesgroup.com/fr/europe/france/dis/mobile/inspiration/5g>
- [13] 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology ; August 9, 2018 par : Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold.
- [14] Réseau 5G : L'essentiel à savoir ; Abdelkader El Fayedh ; 2021.
- [15] Planing your journey to 5G Harald Remmert, Directeur Technique, Solutions Cellulaires, Digi International ; 19 mars 2021

- [16] Principes du réseau cœur 5G ;Auteur(s) : Xavier LAGRANGE ;Date de publication : 10 mai 2022.
- [17] RADAR-ANTENNA ; Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Overview in a simple way ; Abid Jamal ; August 19, 2016.
- [18] Prédiction de performance de réseau 5G présentée par BOULEGHALEGH Aya , GHERSES bouthaina ; 2021.
- [19] Is WiFi-6 is preferable than 5G? technievimal Jun 16, 2020.
- [20] Attribution de sous-porteuse SC-FDMA distribuée pour satellite mobile numérique ALEXANDRIA ENGINEERING JOURNAL ; décembre 2021.
- [21] 4G LTE-LTEA, Coursework for Computer Networks II .
- [22] Antenas MIMO en Sistemas de Comunicación 5G. Par Escobar Cesar-Gómez Paola.
- [23] Massive MIMO in 5G networks, N.Arunkumar. professeur de l'institution SNS .25 septembre 2023.
- [24] 5G Beamforming ; LUMENCI TEAM ; OCTOBER 28, 2021.
- [25] Extrait du livre : NG-RAN et 5G-NR : *L'accès radio 5G et l'interface radioélectrique – sortie prévue juillet 2021.*
- [26] 3GPP TS 38.211 , NR , Physical Channels and Modulation (Release 15) , December 2018.
- [27] 3GPP , " Release 15 , TR 21.915 ; septembre - 2019 .
- [28] S. I. Popoola et O. F. Oseni, "Empirical path loss models for GSM network deployment in Makurdi, Nigeria," *International Refereed Journal of Engineering and Science*, t. 3, n° 6, p. 85-94, 2014.
- [29] EVALUATION DES PERFORMANCES DES TECHNIQUES D'ACCÈS OFDMA ET SC - FDMA DANS LA TECHNOLOGIE LTE ; présentée par YEO Sienpegnou Hippolyte Alwi Sharif ; Soutenue en Juillet 2012.
- [30] Etude et déploiement de réseaux 5G via l'outil de planification radio<ATOLL> , MOUMEN Bochraayatallah ;Hachemi wafaa ; 10/06/2023. Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE.

- [31] M. E. Mohammed et K. H. Bilal, “Coverage and QoS Analysis of LTE Radio Network Planning Considering Khartoum City,” *International Journal of Science and Research (IJSR)*, p. 1465-1468, 2014.
- [32] 5G Network RF Planning – Link Budget Basics ; septembre 2020.
- [33] How to use Atoll RF Planning Tool BY AUTHOR · PUBLISHED FEBRUARY 20, 2024 · UPDATED FEBRUARY 21, 2024
- [34] Automatic Cell Planning Method for Radio Network Optimization Hasanah Putri Izanoordina Ahmad, Alfin Hikmaturokhman, DwiHauraPutri. 31 mars 2023.