

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Télécommunication

Spécialité : Réseau de télécommunication

Par: Nekkache Abdennour Abdelkader

Attia Ahmed-Nadir

Thème

Dimensionnement et planification d'un réseau de cinquième génération

Soutenu publiquement, le 22/06/2023, devant le jury composé de :

M/ R. MERZOUGUI

Mme/ Z. SLIMANE

M/ A. DJEMAI

Professeur

MCA

MCB

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Président

Examinatrice

Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا محمد وعلى آله

وصحبه ومن اتبع هداهم بإحسان إلى يوم الدين وبعد.

فإننا نحمد الله تعالى الذي وهبنا التوفيق والسداد ومنحنا الثبات وأعاننا لإنجاز وإتمام هذا

العمل الذي نتمنى أن يكون خير منفعة لمن بعدنا، فله الحمد أولا وآخرا.

كتعبير عن امتناننا وشكرنا الخاص والعميق يسرنا إهداء ثمرة الجهد إلى من قال فيهما الله

سبحانه وتعالى:

﴿وَإِخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا﴾

{ الإسراء / 24 }

إلى الوالدين الكريمين حفظهما الله تعالى.

إلى الأهل والأقارب.

يسرنا أيضا أن نوجه شكرنا لكل من نصحننا أو أرشدنا أو وجهنا من بعيد أو من قريب في

إعداد هذا العمل.

والله ولي التوفيق.

Dédication et remerciement

*Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre gratitude envers **ALLAH** pour nous avoir accordé la force et le courage nécessaires pour accomplir ce modeste travail.*

Au nom de la science, de la technologie, de l'esprit scientifique et de la vertu du travail en vue d'accroître les connaissances, nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude envers notre superviseur Monsieur Djemai Abderrezzak pour son aide précieuse, ses conseils éclairés et ses remarques constructives.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers Mr Merzougui Rachid et Mme Slimane Zohra membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont accordé en évaluant ce travail. Nous souhaitons également les remercier chaleureusement pour leur précieux enseignement, leur rigueur et leur dévouement tout au long de notre parcours universitaire.

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à tous nos enseignants. Ce fut un privilège d'être leurs étudiantes et nous les en sommes reconnaissantes.

Nous tenons aussi à adresser nos plus sincères remerciements à tous nos camarades de promo 2022/2023 pour leur soutien indéfectible et leur précieuse amitié.

Merci.

Table des matières

<i>Dédication et remerciement</i>	III
<i>Liste des figures</i>	VI
<i>Liste des tableaux</i>	VIII
<i>Résumé</i>	IX
<i>Abstract</i>	X
<i>ملخص</i>	XI
<i>Listes des abréviations</i>	XII
<i>Introduction générale</i>	15
<i>I. Chapitre 1 : Présentation et description de la 5^{ème} génération</i>	18
I.1 Introduction	18
I.2 La quatrième génération 4G LTE	19
I.2.1 Définition	19
I.2.2 Principe de fonctionnement du 4G	19
I.2.3 Les limitations du réseau 4G	20
I.3 La 5 ^{ème} génération 5G	21
I.3.1 Présentation de la 5G.....	21
I.3.2 Domaine et cas d'application de la 5G	23
I.3.3 Besoins techniques et bandes de fréquences	24
I.3.4 Forme d'onde, numérotage et structure du cadre	26
I.3.5 Schémas duplex.....	27
I.3.6 Couche physique de la 5G.....	28
I.3.7 Transmission multi-antennes.....	31
I.3.8 Communications par ondes millimétriques	34
I.3.9 Beamforming.....	35
I.4 Conclusion.....	36
<i>II. Chapitre 2 : Dimensionnement et planification de la 5^{ème} génération</i>	39
II.1 Introduction	39
II.2 Architecture	39
II.2.1 NG-RAN.....	41
II.2.2 La séparation CP/UP.....	43
II.2.3 La structure NSA versus SA	45
II.3 Modèle de propagation	47
II.3.1 Modèle de propagation en espace libre.....	48
II.3.2 Modèle de OKUMARA-HATA	49
II.3.3 Extension de COST 231 au Modèle HATA.....	50

II.3.4	Modèle standard de propagation (SPM)	50
II.4	Les zones de distribution	52
II.5	Hierarchie des cellules.....	53
II.6	Le bilan de liaison	55
II.6.1	Cas d'utilisation du bilan de liaison	58
II.6.2	Les pertes.....	59
II.7	Planification des ressources.....	59
II.7.1	Planification des ressources PCID	60
II.7.2	Les principes de planification PCI du réseau 5G	61
II.7.3	PRACH planification.....	63
II.8	Planification de voisinage.....	64
II.8.1	Planification de réseau pour la 5G NR.....	65
II.8.2	Types de Voisins.....	65
II.8.3	Planification et la gestion des voisins	67
II.9	Conclusion.....	69
III.	Chapitre 3 : Simulation et résultats	71
III.1	Introduction	71
III.2	Outil de planification d'Atoll pour les réseaux 5G NR	71
III.2.1	Etapes de planification d'un réseau avec le logiciel Atoll	72
III.3	Démarrage d'un projet ATOLL.....	73
III.3.1	Présentation de l'interface utilisateur d'Atoll	73
III.3.2	Importation de la carte et des coordonnées numériques	74
III.4	Importation des sites et des transmetteurs (gNB).....	79
III.4.1	Tours cellulaires 5G(transmetteur)	79
III.4.2	Les paramètres de la cellule.....	80
III.4.3	Comparaison de la surface de couverture des différents modèles de propagation	82
III.4.4	Niveau du signal en dbm avec variation du gain d'antenne.....	83
III.4.5	Débit maximum atteindre en download.....	86
III.5	ACP - Automatique Cell Planning	87
III.6	Fonctionnalités massive MIMO sur la 5G.....	90
III.6.1	Simulation 3D avec mu-mimo et beamforming.....	91
III.7	Conclusion.....	92
IV.	Conclusion Générale.....	94
	Références bibliographique.....	96

Liste des figures

Figure I.1 : L'évolution de la technologie sans fil	18
Figure I.2 : Principales caractéristiques de la 5G.....	22
Figure I.3 : Cas d'application de la 5G	23
Figure I.4 : Structure de cadre de la 5G	27
Figure I.5 : Schémas duplex.....	27
Figure I.6 : Ensemble des protocoles du plan utilisateur.	28
Figure I.7 : Antenne réseau à commande de phase.....	32
Figure I.8 : Panneau d'antenne avec 64 dual polarization éléments.....	33
Figure I.9 : Schéma MIMO massif	34
Figure I.11 : Antennes de Beamforming.....	36
Figure I.12 : Architecture de formation de faisceau adaptative.....	36
<hr/>	
Figure II.1 : La topologie du système 5GC	40
Figure II.2 : Relation entre NG-RAN et système 5G	41
Figure II.3 : Equipements gNB.....	42
Figure II.4 : Architecture RAN globale avec séparation CU-CP et CU-UP	44
Figure II.5 : Architecture non CUPS	44
Figure II.6 : Architecture avec CUPS	45
Figure II.7 : Architecture NSA	46
Figure II.8 : Architecture SA	47
Figure II.9 : Modèle de perte de chemin d'espace libre	49
Figure II.10 : Hiérarchie des cellules	54
Figure II.11 : Bilan de liaison 5G NR	55
Figure II.12 : ID de cellule de la couche physique (PCI).	60
Figure II.13 : Collisions PCI.....	61
Figure II.14 : Confusion PCI.	62
Figure II.15 : Composition de PRACH préambule	63
Figure II.16 : Différents formats de préambule	64
Figure II.17 : Relation de voisinage pour le déploiement en mode autonome (SA)	66
Figure II.18 : Relation de voisinage pour le déploiement en mode non autonome (NSA)	67
Figure II.19 : Gestion des relations de voisinage (NBR).....	68
<hr/>	

Figure III.1 : Interface de démarrage du logiciel ATOLL.....	72
Figure III.2 : Milieu de travail situé dans l'atoll.	73
Figure III.3 : Les modèles Templates.....	74
Figure III.4 : Clutter classes.	75
Figure III.5 : Digital Terrain Model D'ORAN.....	76
Figure III.6 : Vectors.	77
figure III.7 montre les étapes de l'importation de la carte D'ORAN dans l'interface du l'logiciel atoll.....	77
Figure III.8 : Importation de la carte D'ORAN.	77
Figure III.9 : Carte d'ORAN.....	78
Figure III.10 : Importation des coordonnées géographique pour ORAN.....	78
Figure III.11 : Anciennes génération 63 sites.....	79
Figure III.12 : 5G 77 sites.....	79
Figure III.13 : Réseau 5G NR ORAN.	81
Figure III.14 : Caractéristiques techniques de type de l'antenne utilisé.....	81
Figure III.15 : Couverture par transmetteurs Standard Propagation Model.	82
Figure III.16 : Couverture par transmetteurs Okumura-Hata	82
Figure III.17 : Couverture par transmetteurs Microwave Propagation Model.	83
Figure III.18 : Couverture par transmetteurs 3GPP 38.900 Propagation Model.....	83
Figure III.19 : Couverture par niveau du signal.	85
Figure III.20 : Simulation SINR.....	85
Figure III.21 : Peak RLC allocated bandwidth throughput kbps.....	86
Figure III.22 : Niveau de distribution RSRP avec beamforming et sans beamforming.	87
Figure III.23 : Résultats du ACP.	87
Figure III.24 : Changement en temps réel du RSRP et PDSCH.....	88
Figure III.25 : PDSCH avant et après ACP.	88
Figure III.26 : RSRP avant et après ACP	89
Figure III.27 : Distribution du niveau de signal RSRP avant et après ACP.....	89
Figure III.28 : Distribution du niveau de PDSCH avant et après ACP.	90
Figure III.29 : Débit sans utilisation du massive mimo.....	90
Figure III.30 : Débit avec utilisation du massive mimo.	91
Figure III.31 : Simulation avec mimo et beamforming.....	91
Figure III.32 : Simulation sans mimo et sans beamforming.....	92

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison des technologies 4G et 5G.....	22
Tableau I.2 : Performances techniques minimales exigences pour IMT-2020	24
Tableau I.3 : Les Bandes de fonctionnement 5G	26
Tableau I.4 : Canaux physiques dans NR	29
<hr/>	
Tableau III.1: Template de la station 5G NR.	80
Tableau III.2 : Débit atteindre en kbps.	86

Résumé

Une densité de trafic élevée, un grand nombre de connexions et la mobilité sont quelques-uns des besoins spéciaux que le système de communications mobiles de quatrième génération (4G) est maintenant incapable d'atteindre. De plus, l'année 2018 était le début de la commercialisation et du déploiement de systèmes de communications mobiles de cinquième génération (5G) pour les nouveaux services mobiles. Ces fonctionnalités comprennent des communications ultra-fiables à faible latence et un débit mobile amélioré.

L'Union internationale des télécommunications a identifié et annoncé la vision 5G et ses indicateurs de performance clés sur l'efficacité du spectre, l'efficacité énergétique, le débit de données maximal, la densité du trafic, la connectivité des appareils, la latence radio et la fiabilité pour une mise en œuvre plus complète et une meilleure prestation de services.

Dans ce cadre, notre projet est d'étudier cette nouvelle génération de communication du réseau mobile 5G mobile avec planification et le dimensionnement, dans lequel nous avons fait une démonstration, en utilisant le Logiciel "Atoll".

Mots clés : 5G ,4G, gNB, Atoll, planification, couverture

Abstract

High traffic density, a large number of connections and mobility are some of the special needs that the fourth generation (4G) mobile communications system is now unable to reach. In addition, 2018 was the start of the commercialization and deployment of fifth generation (5G) mobile communications systems for new mobile services. These features include ultra-reliable low-latency communications and improved mobile throughput.

The International Telecommunication Union has identified and announced the 5G vision and its key performance indicators on spectrum efficiency, energy efficiency, maximum data rate, traffic density, device connectivity, radio latency and reliability for more comprehensive implementation and better service delivery.

In this context, our project is to study this new generation of mobile network communication 5G mobile with planning and sizing, in which we made a demonstration, using the "Atoll" Software.

Keywords: 5G, 4G, gNB, Atoll, planning, coverage

ملخص

تعد الكثافة المرورية العالية والعدد الكبير من الاتصالات والتنقل من بعض الاحتياجات الخاصة التي لا يستطيع نظام الاتصالات المتنقلة من الجيل الرابع 4G تلبيةها الآن. بالإضافة إلى ذلك، لقد شهد عام 2018 بداية تسويق ونشر أنظمة الاتصالات المتنقلة من الجيل الخامس 5G لخدمات الهاتف المحمول الجديدة. تتضمن هذه الميزات اتصالات فائقة الموثوقية وذات زمن انتقال منخفض وإنتاجية متنقلة محسنة.

حدد الاتحاد الدولي للاتصالات وأعلن عن رؤية الجيل الخامس ومؤشرات أدائها الرئيسية بشأن كفاءة الطيف، وكفاءة الطاقة، ومعدل البيانات الأقصى، وكثافة حركة المرور، وتوصيل الأجهزة، والكهون اللاسلكي، والموثوقية من أجل تنفيذ أكثر شمولاً وتقديم خدمة أفضل.

في هذا السياق، يهدف مشروعنا إلى دراسة هذا الجيل الجديد من اتصالات شبكة الهاتف المحمول G5 مع التخطيط والتحجيم، حيث قدمنا عرضاً توضيحياً باستخدام برنامج "أتول".

الكلمات المفتاحية: 5G، 4G، gNB، Atoll، تخطيط، تغطية

Listes des abréviations

3GPP :3rd génération partnership Project Communication.

4G: Forth Generation

5G: Fifth Generation

5GC: 5G Core

A

ACP: Automatic Cell Planning

AF: Application Function

AMF: Access and Mobility Management Function

AN: Access Network

ANR: Automatic Neighbor Relation

ARQ: Automatic Repeat Request

AUSF: Authentication Server Function

B

BPSK: Binary Phase-Shift Keying

BLER: Block Error Rate

BW: Bandwidth

C

CGI: Cell Global Identifier

CN: Network Core

CP: Cyclic Prefix

CUPS: Control and User Plane Separation

CSI-RS: Channel State Information Reference Signal

D

dB: Decibel

dBm: Decibel-milliwatt

DMRS: Demodulation Reference Signal

DN: Data Network

DL: Downlink

E

E-UTRA: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

eMBB: Enhanced Mobile Broadband

EPC: Enhanced Packet Core

F

FDD: Frequency-division duplexing

FSPL: Free-Space Path Loss

FR1: Frequency Range 1

FR2: Frequency Range 2

G

gNB: gNodeB B

gNB-CU: gNB Centralized Unit

gNB-CP: Central Processor

gNB-DU: gNB Distributed Unit

GZC: Generator Zadoff-Chu

I

IDLE: which stands for Idle Downlink Data Transmission

IMT-2000: International Mobile Telecommunications 2000 (ITU's name for the family of 3G standards)

IMT-2020: International Mobile Telecommunications 2020 (ITU's name for the family of 5G standards)

IOT/IDO: internet des objets/ Internet of thing

IP: protocol Internet

K

KPI: Key Performance Indicators

L

LDPC: Low-Density Parity Check Code

LTE: Long term Evolution

LOS: Line of Sight

M

M2M: Machine to-Machine

MAC: Medium Access Control
MAPL: Maximum Allowable Path Loss
MME: Mobility Management Entity
mMTC: Massive Machine-Type Communications
MN: Master Node
MIB: Master Information Block
MIMO: Multiple-Input Multiple-Output
MU-MIMO: Multi-User MIMO

N

NAS: Non-Access Stratum
NBRs: Neighbor Base Stations
NG-RAN: Next-generation Radio Access Network
NF: Network Functions
NR-HF: High Frequency
NR: New radio
NSA: Non Stand-Alone

O

O&M: Operations and Maintenance
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

P

PBCH: Physical Broadcast Channel
PCF: Policy Control Function
PCID: Physical Cell Identity
PDCCH: Physical Downlink Control Channel
PDCP: Packet Data Convergence Protocol
PDSCH: Physical Downlink Shared Channel
PRACH: Physical Random Access Channel
PUCCH: Physical Uplink Control Channel
PUSCH: Physical Uplink Shared Channel
PT-RS: Phase Tracking Reference Signal

Q

QAM: Quadrature Amplitude Modulation
QOS: Quality-of-Service
QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying

R

RAT: Radio Access Technologies
RB: Resource Block
RF: Radio Frequency
RLC: Radio Link Control
RMa: Rural Macrocell
RRC: Radio Resource Control
RSL: Received Signal Level

S

SA: Stand Alone
SBA: Service-Based Architecture
SCG: Secondary Cell Group
SDAP: Service Data Adaption Protocol
SGW-C: S Gateway Control Plane
SINR: Signal-to-Interference-and-Noise Ratio
SMF: Session Management Function
SON: Self Organizing Networks
SPM: Standard Propagation Model
SRS: Sounding Reference Signal
SUL: Supplementary Uplink
SU-MIMO: Single-User MIMO
SIB: System Information Block
SN: Secondary Node
SSS: Secondary Synchronization Signal
SS: Secondary Synchronization
SS-RSRP: SS Reference Signal Received Power

T

TDD: Time Division Duplex
TDF-C: Traffic Detection Function Control Plan

U

UDM: Unified Data Management
UE: User Equipment
UMa: Urban Macrocell
UMi: Urban Microcell
UPF: User Plane Function
URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communications
UIT : Union Internationale des Télécommunications
UL : Up link

W

WiMAX: Worldwide Interoperability for
Microwave Access

X

X2AP : X2 Application Protocol

Z

ZC : Zadoff-Chu

Introduction générale

La technologie a eu des répercussions sur de nombreux aspects de notre vie quotidienne pendant plusieurs décennies de développement rapide. La communication mobile est devenue un produit de tous les jours, au cours des dernières décennies elle est passée d'une technologie coûteuse pour quelques individus sélectionnés à des systèmes omniprésents utilisés aujourd'hui par une majorité de la population mondiale. Les réseaux téléphoniques publics sont des réseaux de communication électroniques utilisés pour fournir des services téléphoniques au public, ils permettent la transmission entre les points de terminaison du réseau, principalement de la parole, mais aussi d'autres formes de communication telles que la transmission de données (vidéo, musique, texte, etc.). Il existe cinq générations de systèmes de communication mobile qui font généralement référence à un changement dans la nature du système et qui sont chacun liés à une technologie particulière et à un certain ensemble de cas d'utilisation assistée ont été observés partout dans le monde. Notre objectif par ce modeste travail est de planifier et dimensionner un réseau de cinquième génération et de vous faire savoir pourquoi est-il différent et pourquoi il sera au cœur du futur des communications.

Le manuscrit est organisé comme suit : le *1^{er} chapitre* est consacré à l'étude de la génération précédente la 4G LTE, son principe de fonctionnement et sa limitation qui la rendent nécessaire de passer à la 5G qui est la nouvelle génération pour répondre aux nouveaux besoins dans les différents domaines dont nous avons parlé.

Le *2^{ème} chapitre* sera réservé à la description du dimensionnement et la planification de la 5^{ème} génération il décrit l'architecture, en se concentrant sur des aspects tels que le modèle de propagation, la hiérarchie des cellules et la planification des ressources et des voisins. Ce chapitre explore en détail la façon dont les réseaux 5G sont construits et comment ils fonctionnent pour permettre des vitesses de connexion ultra-rapides

Le *3^{ème} chapitre* comprendra les différentes étapes de notre travail de simulation. Il présente une introduction à la planification et à l'optimisation des réseaux 5G NR faites dans une zone en ORAN à l'aide d'Atoll, un puissant logiciel. Il couvre les étapes essentielles de la planification du réseau, notamment le démarrage du projet, l'importation de cartes numériques et de coordonnées, et la configuration des paramètres de cellule. Le chapitre met également en évidence les fonctionnalités d'Atoll, telles que la comparaison des zones de couverture, l'analyse de la puissance du signal et la détermination du débit maximum en téléchargement. De plus, il explore brièvement l'Automatique cell planning (ACP) et présente des simulations 3D avec MU-MIMO et Beamforming.

Présentation et description de la 5^{ème} génération

I. Chapitre 1 : Présentation et description de la 5^{ème} génération

I.1 Introduction

Parmi les éléments essentiels à l'existence humaine, le besoin de communiquer arrive juste après le besoin de survie. Le besoin de communiquer est aussi important pour nous que l'air, l'eau, et la nourriture. Les réseaux de communications permettent aux personnes de communiquer de manière illimitée. Chacun peut se connecter, partager et exploiter au mieux ses opportunités.

Les méthodes que nous utilisons pour communiquer changent et évoluent en permanence. Alors que nous avons été par le passé limités aux interactions en face à face, les innovations technologiques ont considérablement augmenté la portée de nos communications. Des peintures rupestres à la radio et la télévision, en passant par la presse écrite, chaque innovation a développé et amélioré nos possibilités de connexion et de communication avec les autres.

La création et l'interconnexion de réseaux de données fiables ont eu un impact important sur la communication et ces réseaux sont aujourd'hui une nouvelle plate-forme sur laquelle les communications modernes s'effectuent.

Aujourd'hui, grâce aux réseaux de communication, nous sommes plus connectés que jamais. Il existe différentes générations des réseaux de communication de la 1G à la 5G, La 5G est la plus récente. Mais d'abord pour comprendre la cinquième génération il faut avoir un background sur La 4G ce que nous verrons au cours de ce chapitre

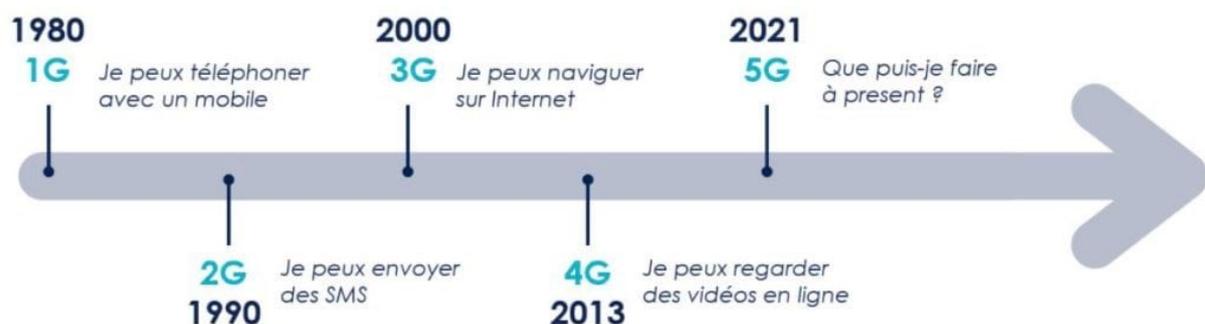


Figure I.1 : L'évolution de la technologie sans fil [1]

I.2 La quatrième génération 4G LTE

I.2.1 Définition

La 4G (quatrième génération) est une technologie de télécommunications sans fil qui a succédé à la 3G (troisième génération). Elle représente un grand pas en avant dans la technologie mobile à large bande, offrant des vitesses de transmission de données plus rapides, une couverture réseau améliorée et une capacité accrue par rapport aux générations précédentes de technologie mobile. Le principal objectif de la 4G était de fournir une expérience mobile à large bande qui serait sur le même pied que les services à large bande de ligne fixe. Avec la 4G, les utilisateurs peuvent profiter d'un large éventail de services multimédias, y compris la diffusion vidéo haute définition, les jeux en ligne et la vidéoconférence, le tout avec un retard ou un retard minimal.

La 4G fonctionne dans la bande de fréquences d'environ 700 MHz à 2600 MHz et utilise des technologies avancées telles que l'évolution à long terme (LTE) et WiMax (Worldwide Interopérabilité for Microwave Access) pour fournir un transfert de données à haute vitesse. LTE est actuellement la technologie la plus utilisée pour les réseaux 4G. La 4G offre également un certain nombre d'avantages aux opérateurs et aux fournisseurs de réseau, tels qu'une efficacité accrue du réseau et une congestion réduite du réseau, ce qui se traduit par une meilleure expérience utilisateur globale. En outre, les réseaux 4G peuvent prendre en charge un grand nombre d'appareils simultanément, ce qui le rend idéal pour des applications telles que la communication Machine-to-Machine (M2M) et l'Internet des objets (IoT).

I.2.2 Principe de fonctionnement du 4G

Les principales technologies clés du réseau de communication 4G (quatrième génération) comprennent :

- (OFDM) Orthogonal Frequency Division Multiplexing : OFDM est une technique de modulation numérique qui permet de transmettre plusieurs signaux simultanément sur un seul canal. Il est utilisé dans les réseaux 4G pour augmenter les taux de transfert de données et améliorer l'efficacité du réseau.
- Multiple Input Multiple Output (MIMO) : MIMO est une technologie de communication sans fil qui utilise plusieurs antennes à la fois à l'émetteur et au récepteur pour augmenter

les taux de transfert de données et améliorer la qualité du signal. Il permet la transmission simultanée de multiples flux de données sur la même bande de fréquences.

- Technologie d'antenne avancée : les réseaux 4G utilisent des technologies d'antenne avancées telles que la formation de faisceaux et les antennes intelligentes pour améliorer la qualité du signal et réduire les interférences.
- LTE (Long-Term Evolution) : LTE est un standard pour la communication sans fil à large bande qui fournit à haute vitesse, transfert de données à faible latence. C'est la technologie la plus utilisée dans les réseaux 4G.
- Réseau IP (IP-based network) : Les réseaux 4G sont basés sur IP (protocole Internet), ce qui permet une intégration transparente avec d'autres réseaux, comme Internet.
- Qualité du service (QoS) : Les réseaux 4G utilisent QoS pour prioriser le trafic réseau et s'assurer que le trafic hautement prioritaire, comme la vidéo et la voix, reçoit la bande passante et les ressources nécessaires.

En principe, ces technologies clés fonctionnent ensemble pour fournir des taux de transfert de données plus rapides, une latence plus faible et une fiabilité et une efficacité réseaux améliorés dans les réseaux de communication sans fil 4G.

1.2.3 Les limitations du réseau 4G

Les réseaux 4G ont des limites qui ont une incidence sur la qualité du service. Ces limites devront être corrigées à mesure que nous nous dirigeons vers l'adoption des réseaux 5G, qui offrent des améliorations plus importantes en matière de vitesse, de capacité et de fiabilité. Les principales raisons pour lesquelles les performances en 4G atteignent leurs limites sont les suivantes :

- Couverture limitée : Les réseaux 4G ne sont pas encore disponibles partout, et même dans les zones où ils sont disponibles, la couverture peut ne pas être cohérente. Les obstacles tels que les bâtiments et les arbres peuvent causer la dégradation des signaux et réduire la vitesse de transfert des données.
- Brouillage des signaux : Les signaux 4G sont vulnérables au brouillage des signaux provenant de diverses sources comme les grands bâtiments, les caractéristiques naturelles et d'autres appareils électroniques. Cette interférence peut entraîner des vitesses de transfert de données lentes et des problèmes de connectivité.

- Haute consommation d'énergie : Les réseaux 4G consomment plus de puissance de batterie que les technologies de réseau précédentes comme 2G et 3G. En effet, les réseaux 4G nécessitent plus d'énergie pour maintenir une connexion stable et un transfert de données à haute vitesse.
- Capacité de réseau limitée : Les réseaux 4G ont une capacité de réseau limitée, ce qui peut entraîner une congestion du réseau, en particulier aux heures de pointe. Cela peut conduire à ralentir les vitesses de transfert de données et les connexions abandonnées.
- Coût : La technologie 4G est relativement coûteuse à mettre en œuvre et à maintenir, et ce coût est souvent refilé au consommateur par des frais d'abonnement élevés.
- Problèmes de sécurité : Avec l'utilisation accrue des appareils mobiles et d'Internet, la sécurité des réseaux 4G est devenue une préoccupation majeure. Les acteurs malveillants peuvent exploiter les vulnérabilités du réseau pour voler des renseignements personnels ou lancer des cyberattaques.
- Soutien limité de l'IdO : Bien que les réseaux 4G puissent prendre en charge l'Internet des objets (IdO), ils ont une capacité limitée et pourraient ne pas être en mesure d'accueillir le nombre massif d'appareils qui devraient se connecter à Internet à l'avenir.

I.3 La 5^{ème} génération 5G

I.3.1 Présentation de la 5G

La 5G aussi connu par la 5G new radio (5G NR) est la cinquième génération de technologie de réseau mobile. Elle représente un bond important par rapport à la 4G en termes de vitesse, capacité et performance, il a été développé par le projet de partenariat de troisième génération (3GPP).

Aujourd'hui, les utilisateurs mobiles veulent des vitesses de données plus rapides et un service plus fiable. Cette prochaine génération de réseaux sans fil promet d'offrir cela, et bien plus encore. Avec la 5G, les utilisateurs devraient pouvoir télécharger un film haute définition en moins d'une seconde une tâche qui pourrait prendre 10 minutes sur 4G LTE.

Et les ingénieurs disent que ces réseaux stimuleront le développement d'autres nouvelles technologies, comme les véhicules autonomes, la réalité virtuelle et l'Internet des objets.

Spécification	4G	5G
Taux de données (débit perçu par utilisateur) et débit crête (throughput)	La moyenne 25 Mbps Crête 300 Mbps	100 Mb/s en moyenne 20 Gb/s en crête
La latence	~10 – 50 ms	~1 ms
La mobilité	Jusqu'à 350 km/h	>500 Km/h
L'efficacité spectrale	DL – 6 bits/Hz UL- 4 Bits/Hz	X3 Mieux DL-30 bits/Hz UL-15 bits/Hz
La densité des utilisateurs	~2000 utilisateurs/square Km	~1 million utilisateur/square Km
L'efficacité énergétique	Modérée	x100 mieux
Les services offerts	eMBB	eMBB, mMTC et URLLC

Tableau I.1 : Comparaison des technologies 4G et 5G [2]

Grâce à une série de nouvelles technologies. Ensemble, ces ingénieries fourniront des données avec moins d'une milliseconde de retard (comparativement à environ 70 ms sur les réseaux 4G actuels) et apporteront des vitesses de téléchargement maximales de 20 gigabits par seconde (comparativement à 1 Gb/s sur la 4G) aux utilisateurs.

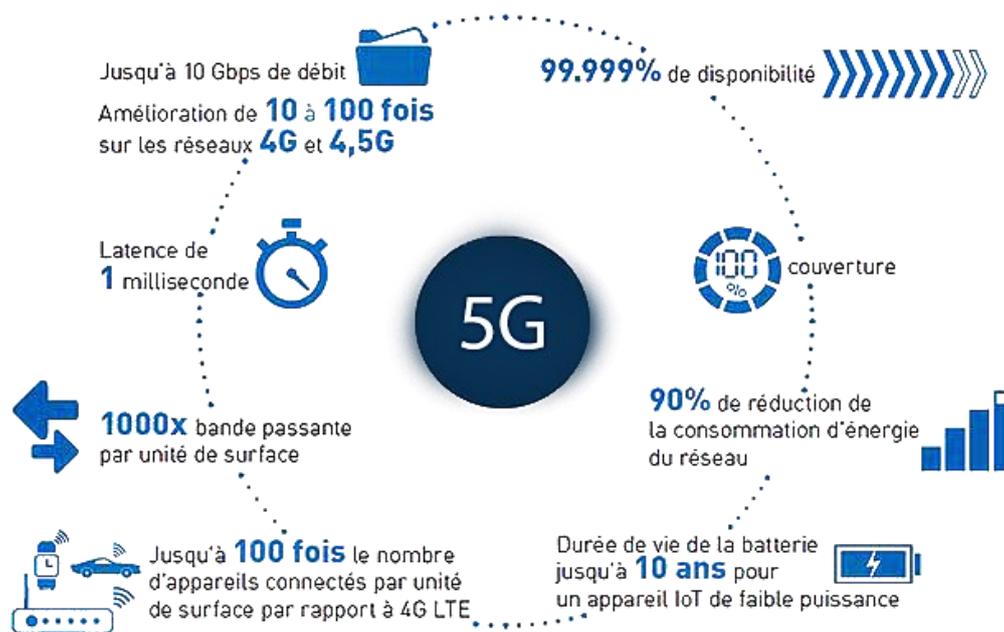


Figure I.2 : Principales caractéristiques de la 5G

I.3.2 Domaine et cas d'application de la 5G

La 5G couvre trois cas d'utilisation principaux :

- Haut débit mobile amélioré (eMBB) : services qui exigent des tarifs de données et des volumes de trafic élevés et une couverture étendue.
- Communication massive de type machine (mMTC) : services caractérisés par un nombre massif d'appareils, tels que les capteurs, les appareils portables, IOT, etc., qui ne nécessitent pas une consommation d'énergie élevée et à faible coût. Ces appareils consomment et génèrent une petite quantité de données, par conséquent, le support de taux de données élevés n'est pas important. C'est un cas d'utilisation centré sur la machine.
- Communication ultra-fiable et à faible latence (URLLC) : les services qui nécessitent une latence très faible et une fiabilité et une disponibilité très élevées. La sécurité routière, l'automatisation en usine, les services de santé en ligne, les voitures autonomes, etc. en sont quelques exemples.

Même s'il s'agit de trois cas d'utilisation distincts, il existe des scénarios où les cas d'utilisation peuvent être combinés, en raison du large éventail de possibilités pour des services spécifiques que cette technologie apporte.

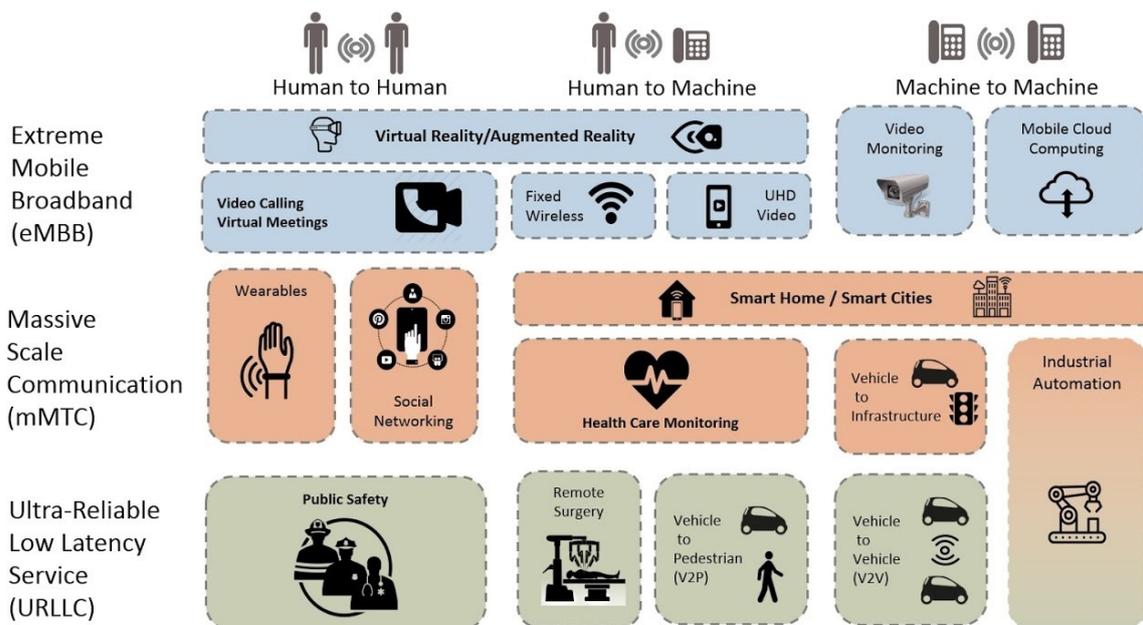


Figure I.3 : Cas d'application de la 5G [3].

I.3.3 Besoins techniques et bandes de fréquences

Dans le cadre du processus de normalisation de la 5G, l'UIT-R, le secteur dès l'Union internationale des télécommunications (UIT), chargée d'assurer une utilisation efficace du spectre RF, a émis l'International Mobile Telecommunications-2020 (IMT-2020), une série d'exigences pour les réseaux 5G.

Le **tableau I.2** résume les exigences minimales relatives aux performances pour les interfaces radio IMT-2020, qui sont basées sur un ensemble de capacités nécessaires soutenir les cas d'utilisation et les scénarios d'utilisation de la 5G.

Paramètre	Exigence de performance technique minimale
<i>Débit binaire maximal</i>	Liaison descendante : 20 Gbps Liaison montante : 10 Gbps
<i>Efficacité spectrale maximale</i>	Liaison descendante : 30 bit/s/Hz Liaison montante : 15 bit/s/Hz
<i>Taux de données expérimentées par l'utilisateur</i>	Liaison descendante : 100 Mbps Liaison montante : 50Mbps
<i>Capacité de trafic régional</i>	10 Mbps/m ² (hot spot intérieur pour eMBB)
<i>Latence du plan utilisateur</i>	4 ms for eMBB 1 ms for URLLC
<i>Latence du plan de contrôle</i>	20 ms
<i>Densité de connexion</i>	1 000 000 dispositifs par km ²
<i>Efficacité énergétique</i>	Transmission efficace des données dans un cas chargé
	Faible consommation d'énergie en l'absence de données Taux de sommeil élevé Longue durée de sommeil
<i>Fiabilité</i>	1-10 ⁻⁵ probabilité de succès de transmission d'une PDU de couche 2 De 32 octets en 1 ms, à la couverture Edge in Urban Macro pour URLLC
<i>Mobilité</i>	1,5 bit/s/Hz à 10 km/h pour les hot spot d'intérieur eMBB 1,12 bit/s/Hz à 30 km/h pour un eMBB urbain dense 0,8 bit/s/Hz à 120 km/h pour le eMBB rural 0,45 bit/s/Hz à 500 km/h pour le eMBB rural
<i>Temps d'interruption de mobilité</i>	0 ms
<i>Bande passante</i>	Au moins 100 MHz et jusqu'à 1 GHz en fréquence supérieure bandes. La bande passante évolutive doit être prise en charge

Tableau I.2 : Performances techniques minimales exigences pour IMT-2020 [4].

La 5G peut être déployé dans différentes bandes de fréquences, qui ont été définies par 3GPP sur la release 15 . En raison de différentes exigences RF (p. ex., transmission maximale puissance), ces bandes ont été divisées en deux gammes de fréquences :

- **Rang du fréquence (FR1)** qui comprend toutes les bandes existantes et nouvelles inférieures à 6 GHz.
- **Rang du fréquence (FR2)** incluant les nouvelles bandes de l'ordre de 24,25 à 52,6 GHz.

Dans le même temps, 3GPP a défini les bandes d'exploitation, correspondant à différentes gammes de fréquence pour les liaisons descendantes et ascendantes.

Bande de fonctionnement 5G	Liaison montante (MHz)	Liaison descendante (MHz)	Mode duplex
Rang du fréquence (FR1)			
n1	1920 – 1980	2110 – 2170	FDD
n2	1850 – 1910	1930 – 1990	FDD
n3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
n5	824 – 849	869 – 894	FDD
n7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
n8	880 – 915	925 – 960	FDD
n12	699 – 716	729 – 746	FDD
n20	832 – 862	791 – 821	FDD
n25	1850 – 1915	1930 – 1995	FDD
n28	703 – 748	758 – 803	FDD
n34	2010 – 2025	2010 – 2025	TDD
n38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
n39	1880 – 1920	1880 – 1920	TDD
n40	2300 – 2400	2300 – 2400	TDD
n41	2496 – 2690	2496 – 2690	TDD
n50	1432 – 1517	1432 – 1517	TDD
n51	1427 – 1432	1427 – 1432	TDD
n66	1710 – 1780	2110 – 2200	FDD
n70	1695 – 1710	1995 – 2020	FDD
n71	663 – 698	617 – 652	FDD
n74	1427 – 1470	1475 – 1518	FDD
n75	N/A	1432 – 1517	SDL
n76	N/A	1427 – 1432	SDL
n77	3300 – 4200	3300 – 4200	TDD
n78	3300 – 3800	3300 – 3800	TDD
n79	4400 – 5000	4400 – 5000	TDD
n80	1710 – 1785	N/A	SUL

n81	880 – 915	N/A	SUL
n82	832 – 862	N/A	SUL
n83	703 – 748	N/A	SUL
n84	1920 – 1980	N/A	SUL
n86	1710 – 1780	N/A	SUL
Rang du fréquence (FR2)			
n257	26500 – 29500	26500 – 29500	TDD
n258	24250 – 27500	24250 – 27500	TDD
n260	37000 – 40000	37000 – 40000	TDD
n261	27500 – 28350	27500 – 28350	TDD

Tableau I.3 : Les Bandes de fonctionnement 5G [5]

I.3.4 Forme d'onde, numérolgie et structure du cadre

La 5G NR utilise le multiplexage par division de fréquence orthogonale (OFDM) avec préfixe cyclique (CP) pour liaison descendante et liaison montante.

L'une des principales caractéristiques de la 5G NR est sa numérolgie OFDM évolutive ($\mu=0,1,2,3,4$), qui adopte un espacement de $2^\mu \cdot 15$ kHz (de 15 kHz à 240 kHz). Par conséquent, la CP est également proportionnellement évolutive. Cela permet un large éventail de scénarios de déploiement, des bandes de fréquences inférieures à 1 GHz aux bandes d'ondes millimétriques [5].

La structure du domaine temporel de la 5G se compose d'un cadre de 10 ms divisé en dix 1 ms sous-cadres. Un sous-cadre est divisé en fentes de 14 symboles OFDM chacun, et sa durée en millisecondes dépend de la numérolgie.

Sur le domaine des fréquences, le bloc de ressources (RB) se compose de 12 sous-porteuses. Une porteuse radio NR est limitée à 3300 sous-porteuses actives (275 RB) ce qui entraîne dans des largeurs de bande porteuse de 50, 100, 200 et 400 MHz pour un espacement de 15, 30, 60 et 120 kHz, respectivement. Si des largeurs de bande encore plus grandes doivent être supportées, agrégation porteuse peut être utilisé, où plusieurs transporteurs NR peuvent être agrégés et transmis en parallèle à ou à partir du même appareil. Jusqu'à 16 supports, peuvent être agrégés permettant des largeurs de bande jusqu'à 6,4 GHz.

La *figure I.4* montre la structure de trame discutée précédemment.

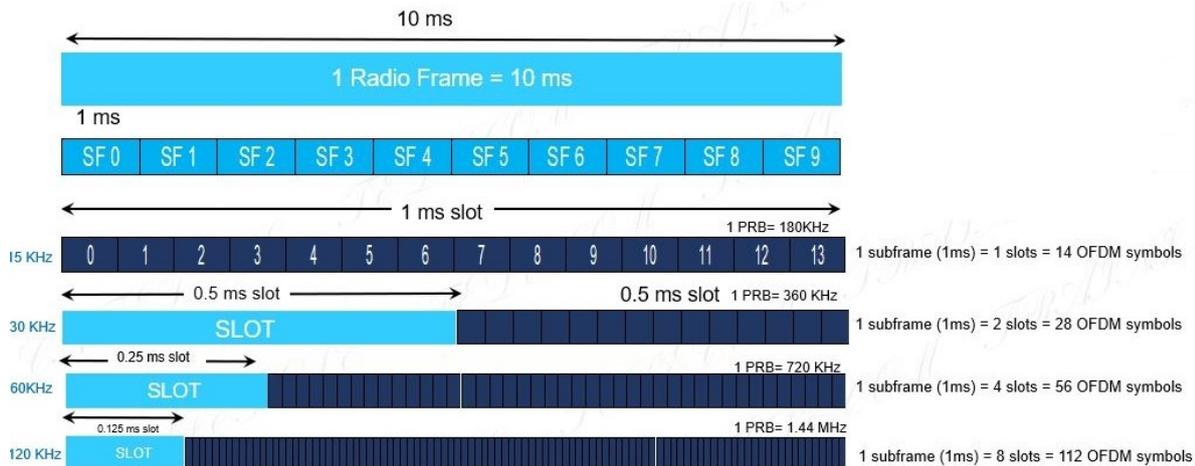


Figure I.4 : Structure de cadre de la 5G [6].

I.3.5 Schémas duplex

La 5G prend en charge le duplex à répartition de fréquence (FDD) pour les bandes de fréquences inférieures et le duplex à répartition temporelle (TDD) pour les bandes de fréquences plus élevées, sous réserve du semi-duplex ou du duplex intégral.

Dans le cas d'un fonctionnement TDD, une fréquence porteuse unique est utilisée pour la liaison descendante séparée et les transmissions en liaison montante. NR utilise TDD dynamique où une fente peut être allouée dynamiquement vers le haut ou vers le bas dans le cadre de la décision de l'ordonnanceur. Les systèmes TDD fournissent un temps de garde où ni les transmissions descendantes ni montantes se produisent, ce qui permet de commutation la direction de transmission et pour éviter les interférences à la station de base [7].

D'autre part, pour les opérations FDD, des transmissions en liaison montante et descendante se produisent simultanément mais en utilisant des fréquences porteuses différentes. Il est également possible un demi-duplex mode, où les transmissions sont séparées en fréquence et en temps.

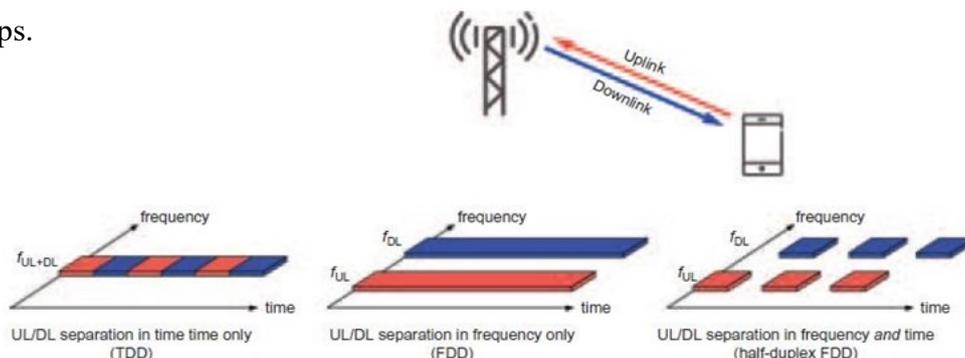


Figure I.5 : Schémas duplex

I.3.6 Couche physique de la 5G

L'architecture de protocole 5G est séparée en plan de contrôle et plan de données. Le plan utilisateur est responsable des données utilisateur et le plan de contrôle est responsable de la configuration de la connexion, de la mobilité et la sécurité.

La pile de protocole plan utilisateur est divisée en couches suivantes : couche physique (PHY), couche de contrôle d'accès moyen (MAC), couche de contrôle de liaison radio (RLC), données de paquets couche de protocole de convergence (PDCP) et couche de protocole d'adaptation des données de service (SDAP). Fonctionnalités de ces couches. En particulier, la couche PHY gère le codage/décodage, modulation/démodulation, traitement multi-antennes et mappage des signaux au physique ressources temps-fréquence.

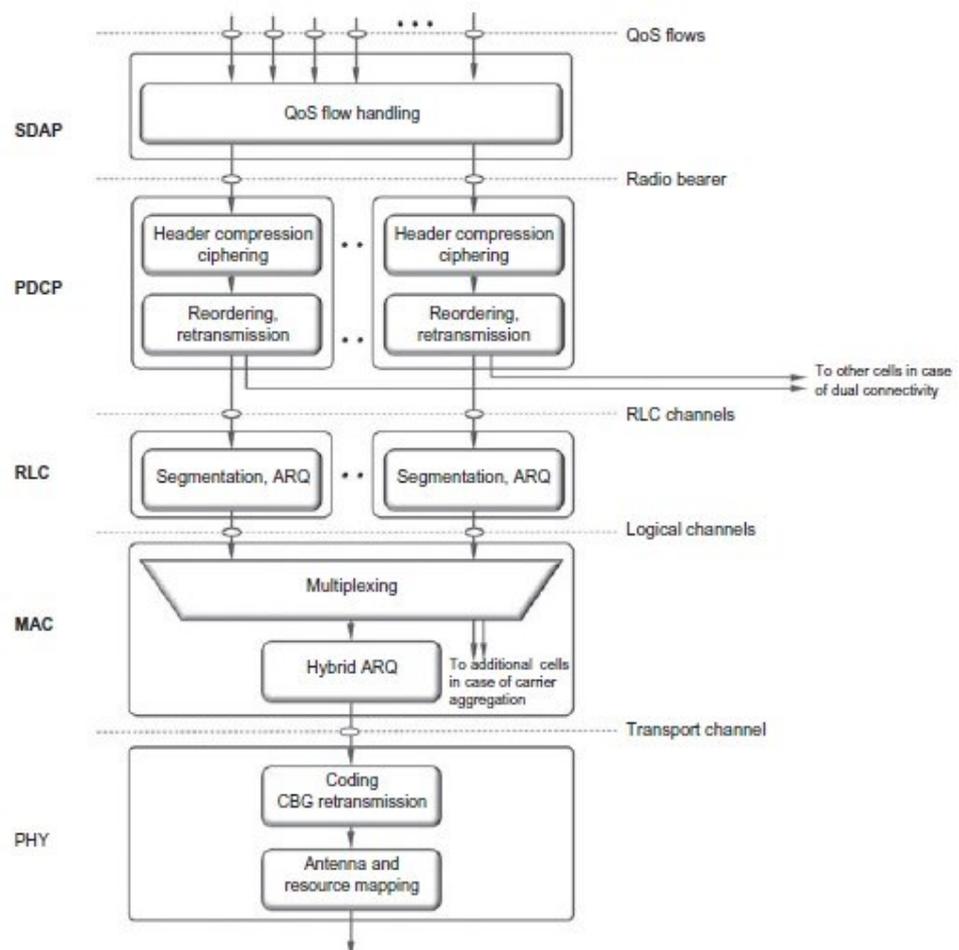


Figure I.6 : Ensemble des protocoles du plan utilisateur.

Les ressources de fréquence temporelle transportant l'information des couches supérieures (au-dessus de PHY) sont canaux physiques [8].

DL/UL	Canal physique	Rôle	Modulation	Codage des canaux
DL	PDSCH	Utilisés pour transmettre des données d'utilisateur du gNB à l'UE, et représentent la majeure partie de la trame.	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	LDPC
DL	PBCH	Contient la partie Master Information Block (MIB) du canal de couche MAC.	QPSK	Codage polaire
DL	PDCCH	Utilisé pour envoyer des informations de contrôle aux UE sur une base par créneau. Il est utilisé pour programmer les transmissions de liaison descendante, les transmissions de liaison montante.	QPSK	Codage polaire
UL	PUSCH	Le canal partagé de liaison montante physique (PUSCH) sont utilisés pour transmettre des données d'utilisateur du UE à le gNB, et représentent la majeure partie de la trame.	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, $\pi/2$ BPSK	Codage LDPC
UL	PUCCH	Utilisé par l'UE pour envoyer à gNB une variété d'informations de contrôle, y compris les ACK HARQ, les SRs et les CSI.	$\pi/2$ -BPSK, BPSK, QPSK	N/A*
UL	PRACH	Utilisé par les UE pour demander une allocation de liaison montante à la station de base.	N/A*	N/A*

Tableau I.4 : Canaux physiques dans NR [9].

Les canaux physiques définis pour la 5G sont les suivants :

- Canal partagé physique en liaison descendante (PDSCH) : principal canal physique utilisé pour transmission de données. Il a également utilisé pour la transmission d'informations de fourniture d'une partie des informations du système.
- Canal de diffusion physique (PBCH) : transporte une partie de l'information du système, requis par l'appareil pour accéder au réseau.
- Canal de contrôle physique en liaison descendante (PDCCH) : utilisé pour le contrôle en liaison descendante informations, principalement des décisions de programmation, nécessaires à la réception du PDSCH et pour l'ordonnancement des subventions permettant la transmission sur le PUSCH.
- Canal partagé de liaison montante physique (PUSCH) : est la contrepartie de liaison montante de la PDSCH.
- Canal de contrôle de liaison montante physique (PUCCH) : utilisé par l'appareil pour envoyer des accusés de réception hybridARQ, pour envoyer des rapports d'état de canal et pour demander ressources pour transmettre des données en liaison montante sur.
- Canal d'accès aléatoire physique (PRACH) : utilisé par l'EC pour demander la configuration de connexion appelée accès aléatoire.

La liaison descendante et la liaison montante entre gNB (le nœud du réseau d'accès radio) et le travail de l'EC comme suit [10].

Dans la liaison descendante, l'UE surveille le PDCCH, généralement une fois par fente. Après avoir détecté un PDCCH valide, l'UE reçoit une unité de données (bloc de transport) sur le PDSCH suivant la décision de programmation du gNB. Ensuite, l'UE répond avec un ARQ hybride accusé de réception indiquant si les données ont été décodées ou non avec succès. Dans la liaison montante, l'UE demande au gNB de transmettre des ressources physiques de fréquence temporelle données (demande de planification) et cette demande est envoyée par le PUCCH. En réponse, le gNB envoie une subvention de planification sur le PDCCH, qui donne la permission à un UE d'utiliser certaines ressources pour la transmission. Après la subvention de programmation, l'UE planifie ses données transmission sur le PUSCH, les données qui sont reçues par le gNB et envoie ARQ hybride accusé de réception indiquant si les données ont été

décodées correctement ou non. D'autre part, les signaux physiques correspondent à un ensemble de ressources temps-fréquence utilisés par la couche PHY mais ne transportent pas d'informations provenant de couches supérieures. Ces les signaux sont des signaux de référence utilisés à des fins telles que démodulation, estimation de canal, synchronisation et informations sur l'état du canal.

Les signaux physiques en liaison descendante sont

- Signal de Référence de Démodulation (DM-RS)
- Signal de référence de suivi de phase (PT-RS)
- Signal de Référence d'informations sur l'état du Canal (CSI-RS)
- Signal de Synchronisation Principal (PSS)
- Signal de Synchronisation Secondaire (SSS)

En outre, les signaux physiques de liaison montante sont :

- Signal de référence de démodulation (DM-RS)
- Signal de référence de suivi de phase (PT-RS)
- Signal de référence sonore (SRS)

En particulier, le PSS et le SSS sont des signaux utilisés dans le processus de recherche de cellules, utilisés par UE pour trouver une nouvelle cellule. Le PSS est le premier signal que l'UE recherche et le SSS est un signal transmis pour permettre la détection de l'ID de cellule physique, un identifiant d'une cellule à couche physique.

En outre, 3GPP définir certaines mesures de couche physique. L'une de ces mesures est la puissance reçue du signal de référence SS (SS-RSRP), qui est définie comme la moyenne linéaire sur les apports de puissance (en watts) des éléments de ressources signaux de synchronisation (SSS) [10], Cette mesure est pertinente dans les chapitres suivants pour comprendre le rendement de la cellule.

I.3.7 Transmission multi-antennes

La transmission multi-antennes, grâce à une massive utilisation de multi entrée et sortie (MIMO) et la beamforming, est une caractéristique clé de 5G et son utilisation peut améliorer la performance mobile du système de communication. Il est possible d'utiliser plusieurs antennes sur l'émetteur pour fournir la diversité contre décoloration (fading) en utilisant le fait

que différentes antennes peuvent être au moins partiellement non corrélées, due à l'espacement entre les antennes ou en raison de polarisation différente entre les antennes.

En ajustant la phase de chaque élément d'antenne, plusieurs antennes sur l'émetteur peuvent être utilisées pour fournir la directivité, c'est-à-dire pour concentrer la puissance émise dans une certaine direction [7]. Cela correspond au concept de formation de faisceaux, qui est en fait juste une implémentation spéciale de MIMO. Cette directivité peut augmenter le débit et la plage de données en raison de la puissance plus élevée atteignant un emplacement spécifique dans l'espace, et réduit également les interférences, qui améliore l'efficacité du spectre.

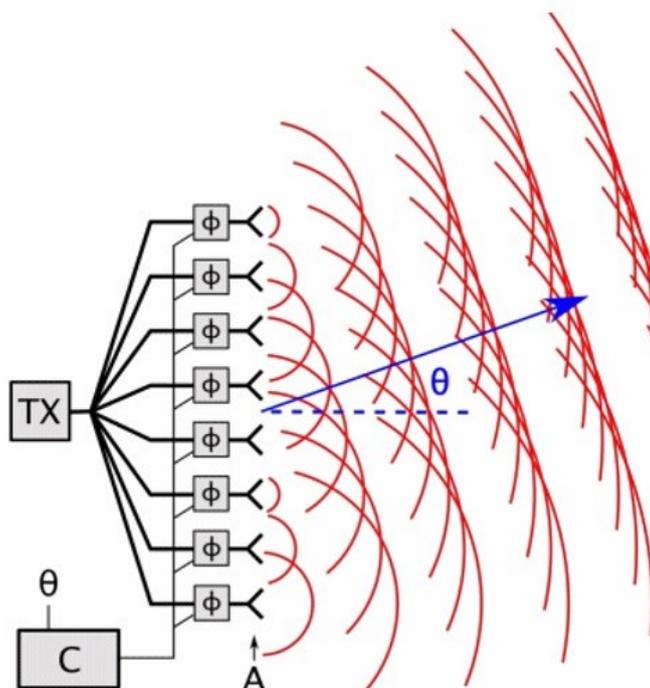


Figure I.7 : Antenne réseau à commande de phase

De même, plusieurs antennes sur le récepteur peuvent fournir la diversité, limitant la réception seulement dans la direction d'un signal cible, tout en supprimant les interférences provenant d'autres directions.

Plusieurs antennes peuvent être utilisées à la fois au niveau de l'émetteur et du récepteur, avec lequel multiplexage spatial est atteint. Cela correspond à la transmission de plusieurs couches de informations en parallèle en utilisant les mêmes ressources de temps et de fréquence.

Les panneaux d'antenne, comme celui illustré à la figure 8, consistant en un grand nombre de petites antennes peuvent être utilisées pour changer la direction du faisceau en ajustant individuellement la phase des signaux appliqués à chaque élément d'antenne. Ceci peut être fait

à la fois dans le côté émetteur et côté récepteur. L'utilisation de faisceaux focalisés maximise l'utilisateur équipement (UE) SNR, améliorant ainsi la liaison de communication pour systèmes de modulation et de codage [13].

Comme la séparation des éléments d'antenne est proportionnelle à la longueur d'onde, ces panneaux d'antenne peuvent avoir une taille très réduite à haute fréquence. Le panneau d'antenne *figure I.8* : 64 éléments d'antenne à double polarisation ciblant la bande de 28 GHz bande.

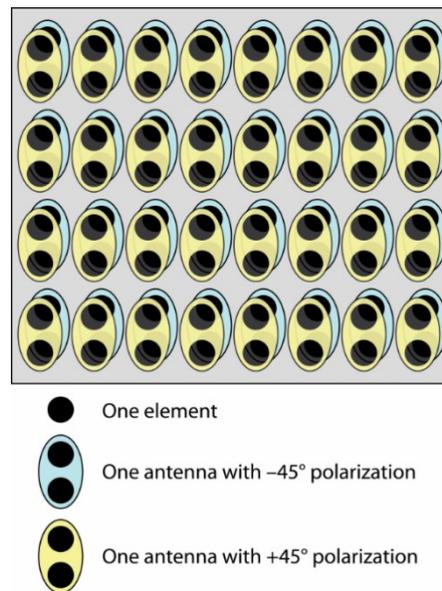


Figure I.8 : Panneau d'antenne avec 64 dual polarization éléments[14]

D'autre part, en fonction du nombre d'utilisateurs, différents schémas multi-antennes peut être envisagé : MIMO mono-utilisateur (SU-MIMO) ou multiplexage spatial et multi-utilisateur MIMO (MU-MIMO).

Dans SU-MIMO, un seul utilisateur est programmé dans une ressource temps/fréquence donnée avec transmission d'un grand nombre de couches en parallèle (jusqu'à 8 couches). En d'autres termes, une UE peut recevoir au maximum 8 flux différents de la station de base dans la liaison descendante. Ce schéma cible principalement les utilisateurs centrés sur les cellules avec suffisamment d'interférence porteuse et de bruit $C(I+N)$, afin d'améliorer le débit de données [15].

Dans MU-MIMO, plusieurs utilisateurs sont programmés simultanément dans le même ressources temps/fréquence, mais avec un nombre limité de couches spatiales par dispositif programmé, dans ce cas, un maximum de 4 couches. Contrairement à SU-MIMO, où l'espace du gain de multiplexage est limité à un seul utilisateur, MU-MIMO permet à plusieurs utilisateurs co-programmés d'exploité ce gain parmi deux équipements utiliser ou plus.

Un avantage important de l'utilisation de MU-MIMO, est la possibilité de réduire la complexité des circuits sur les équipements des utilisateurs, puisqu'elles n'auraient besoin que d'une seule antenne pour bénéficier du gain. Ceci est contraire à SU-MIMO qui ne fournit des gains considérables avec plus d'une antenne au niveau de l'équipement utilisateur.

Dans la 5G, tous ces avantages des modèles MIMO peuvent être pris à une plus grande échelle avec l'utilisation de centaines à des milliers d'antennes à la station de base. Ceci est appelé MIMO massif, comme vu sur la *figure I.9*. Un plus grand nombre d'antennes offre les avantages augmentation du gain, du rapport signal-bruit, de la couverture, de la capacité, des débits de données et diminution latence, par rapport aux systèmes MIMO conventionnels avec moins d'antennes [15].

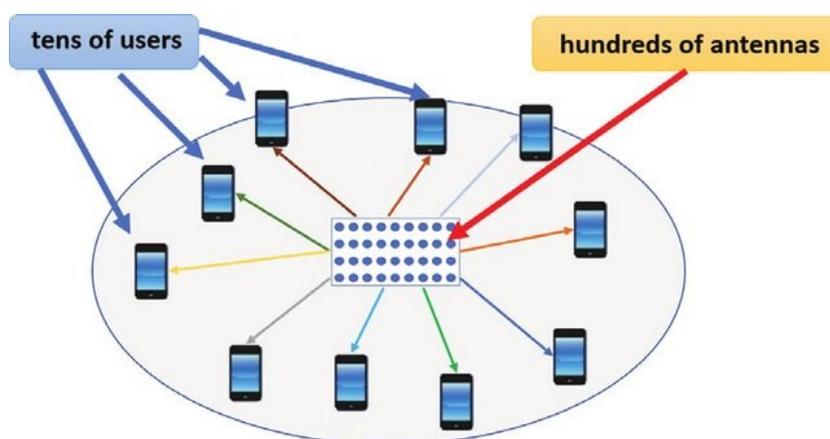


Figure I.9 : Schéma MIMO massif [16]

I.3.8 Communications par ondes millimétriques

Les ondes millimétriques connues sous le nom de fréquence extrêmement élevée (EHF). Sont des fréquence radio qui permettrait des fréquences de transmission entre 30 GHz et 300 GHz, par rapport aux fréquences de 5 GHz utilisées par les appareils mobiles précédents.

La 5G peut fonctionner dans des fréquences supérieures à 24,25 GHz, correspondant à la gamme de fréquences 2 (FR2). Cette plage de fréquences est également connue sous le nom de fréquences d'ondes millimétriques (mmWave).

La principale raison d'intérêt derrière l'utilisation de mmWave est l'énorme quantité de spectre disponibles dans ces bandes supérieures. Alors que les bandes inférieures à 6 GHz offrent des largeurs de bande de canaux de à 100 MHz, la bande mmWave offre des largeurs de bande beaucoup plus grandes de 500 MHz ou même 1 GHz [17].

Ces fréquences devraient toutefois soutenir les taux de données dans l'ordre de Gbps, en raison des hautes fréquences, mmWave présente des obstacles majeurs, tels que la perte de trajectoire élevée, effet accru de l'obstruction en raison de voies non en ligne de vue plus faibles et d'atténuation en raison de la pluie et de l'absorption atmosphérique.

Il est connu que les pertes d'espace libre (pathos) dépendent du carré du fréquence porteuse f_c^2 et donc, Par exemple, Augmentation de la fréquence de 3 GHz à 30 GHz et rajoutée une perte de puissance de 20 dB, quelle que soit la distance entre l'émetteur et le destinataire [18].

Avec les petites longueurs d'onde, la bande mmWave est sensible au blocage par des obstacles avec une taille beaucoup plus grande que la longueur d'onde (p. ex., le corps humain). Des études ont montré que le corps humain peut atténuer les signaux mmWave jusqu'à 35 dB. [19]. En outre, les signaux mmWaves sont affectés par de nombreux facteurs atmosphériques tels que les précipitations en raison de la pluie, puisque les gouttes de pluie sont approximativement de la même taille que les longueurs d'onde interaction avec des molécules de gaz comme l'oxygène, le dioxyde d'azote et la vapeur d'eau l'atmosphère; et la perte de puissance due à l'obstruction du feuillage causée par la végétation et là les effets de la dispersion, de la diffraction et de la réflexion par trajets multiples [20].

Cependant, les technologies telles que le MIMO massif et la formation de faisceaux qui utilisent des centaines d'éléments d'antenne, par conséquent, offrant des gains élevés aider à surmonter la haute perte de trajectoire et blocages [21].

I.3.9 Beamforming

Le Beamforming est une autre technologie de réseau de la 5G qui permet d'optimiser la transmission de données entre la station de base et l'utilisateur en dirigeant les signaux radio directement vers l'utilisateur. Cette technologie utilise un grand nombre d'antennes pour créer

un faisceau de signaux radio qui suit l'utilisateur à mesure qu'il se déplace. Cette approche permet d'améliorer la qualité de la connexion et de réduire l'interférence avec d'autres utilisateurs, ce qui permet d'augmenter la capacité du réseau et d'améliorer la qualité du service. Le Beamforming est particulièrement utile dans les environnements à haute densité d'utilisateurs, tels que les centres urbains et les événements publics. Comme on peut le voir sur la *figure I.11*

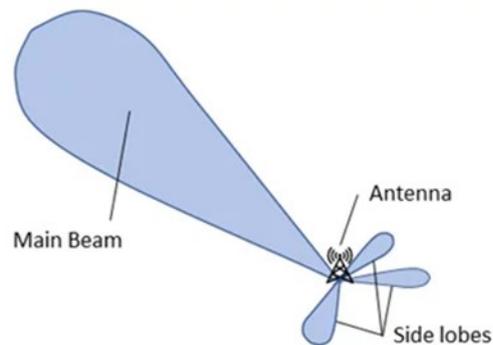


Figure I.10 : Antennes de Beamforming

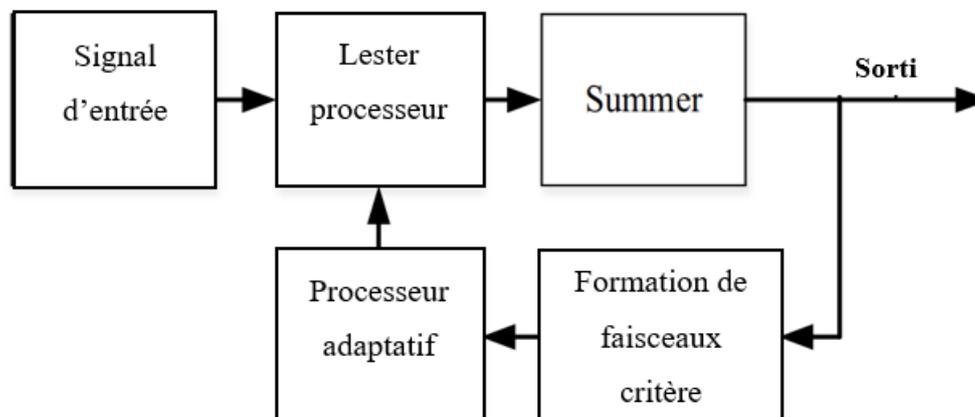


Figure I.11 : Architecture de formation de faisceau adaptative

I.4 Conclusion

Pour conclure, dans ce chapitre nous avons donné une brève définition de la 4^{ème} génération et son principe de fonctionnement qui a changé la donne dans le monde des télécommunications mobiles, offrant des vitesses de données plus rapides et une connectivité améliorée par rapport

à ses prédécesseurs. Mais elle a aussi ses limites la raison pour lesquelles était nécessaire de passer à une nouvelle génération 5G.

La technologie 5G promet de surmonter ces limites et de fournir des vitesses de données encore plus rapides, une latence plus faible et une meilleure fiabilité du réseau. Il a le potentiel de permettre une toute nouvelle gamme d'applications et de services. Bien que la 5G en soit encore aux premières étapes de son déploiement, il est clair qu'elle entraînera des changements importants, et ses avantages se feront sentir dans diverses industries. Toutefois, il est important de noter que le déploiement de la 5G nécessitera des investissements importants qui est le sujet de notre prochain chapitre.

Dimensionnement et planification de la 5^{ème} génération

II. Chapitre 2 : Dimensionnement et planification de la 5^{ème} génération

II.1 Introduction

Le processus de planification du réseau sans fil est conçu pour maximiser la couverture du réseau tout en fournissant la capacité requise. La conception d'un réseau est une tâche complexe et chronophage avec de nombreuses étapes et processus, Ce chapitre décrit l'aspect le plus important de la planification d'un réseau cellulaire.

II.2 Architecture

Le réseau 5G Core (5GC) est l'architecture de réseau central qui permet la prochaine génération de technologie de communication mobile, la 5G, Le 5GC est conçu pour être un réseau entièrement virtualisé et défini par logiciel qui offre des services de communication flexibles, évolutifs et à faible latence, Le 5GC repose sur l'architecture du cœur de réseau EPC existante, mais avec l'ajout de trois nouveaux domaines d'amélioration :

Une architecture basée sur les services pour les fonctions de réseau, la prise en charge de la découpe du réseau permettant des réseaux virtuels personnalisés, et une répartition claire entre les plans de contrôle et utilisateur pour une plus grande efficacité.

L'architecture basée sur les services est fondamentale pour le noyau 5G car elle met l'accent sur les services et les fonctionnalités du réseau central plutôt que sur les nœuds individuels. Cette approche est justifiée par la virtualisation élevée du réseau central, qui permet de faire fonctionner les fonctions de réseau central sur du matériel informatique générique.

Le 5G Core repose sur une architecture basée sur les services (SBA), dans laquelle les éléments d'architecture sont définis en termes de fonctions réseau (NF) plutôt que d'entités réseau traditionnelles. Grâce à des interfaces standardisées, chaque NF offre ses services à tous les autres NF autorisés et/ou à tous les consommateurs autorisés à utiliser ces services. Cette approche SBA offre une grande modularité et une réutilisation optimale des fonctions réseau [22].

La *figure II.1* de la topologie montre les composants clés du réseau central 5G :

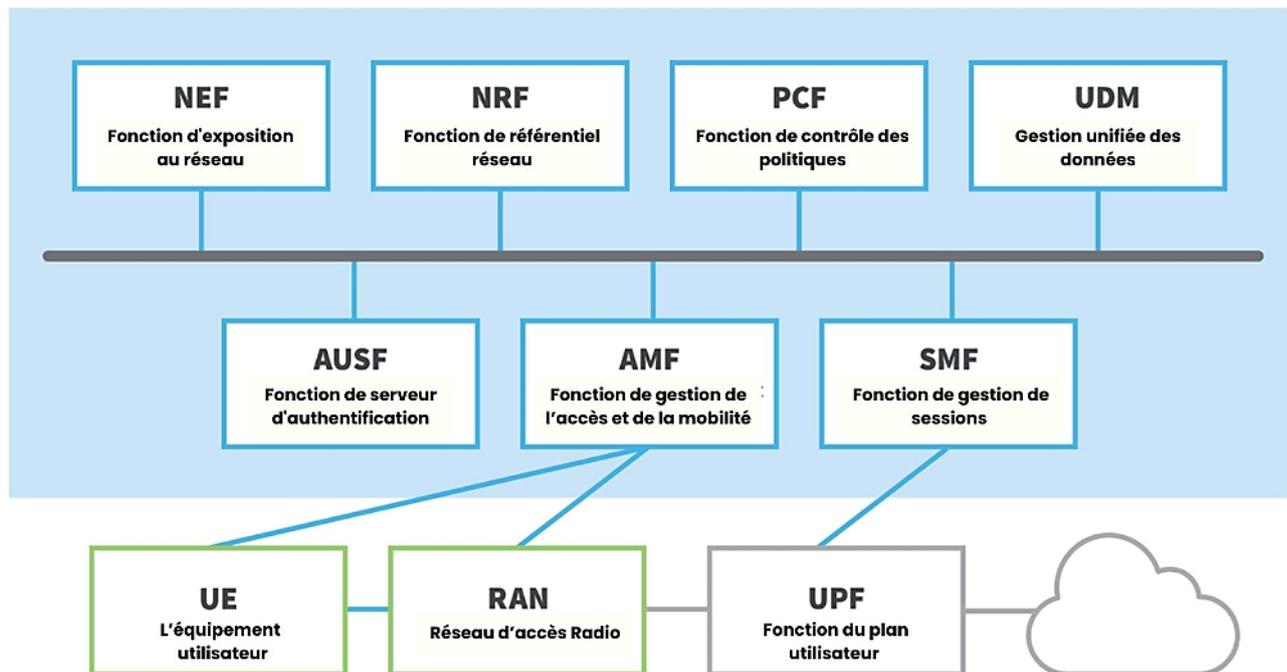


Figure II.1 : La topologie du système 5GC [23].

Voici comment les éléments essentiels fonctionnent :

- **Les équipements utilisateur (UE)** : tels que les smartphones 5G ou les dispositifs cellulaires 5G, se connectent au réseau d'accès radio 5G (New Radio) puis au cœur de réseau 5G, avant de se connecter aux réseaux de données (DN) tels que l'Internet.
- **La fonction de gestion d'accès et de mobilité (AMF)** agit comme un point d'entrée unique pour la connexion de l'UE.
- En fonction du service demandé par l'UE, l'AMF sélectionne **la fonction de gestion de session (SMF)** respective pour gérer la session utilisateur.
- **La fonction de plan utilisateur (UPF)** transporte le trafic de données IP (plan utilisateur) entre l'équipement utilisateur (UE) et les réseaux externes.
- **La fonction serveur d'authentification (AUSF)** permet à l'AMF d'authentifier l'UE et d'accéder aux services du cœur de réseau 5G.
- D'autres fonctions telles que **la fonction de gestion de session (SMF)**, **la fonction de contrôle de la politique (PCF)**, **la fonction d'application (AF)** et **la fonction de gestion de données unifiée (UDM)** fournissent le cadre de contrôle de la politique, appliquant les

décisions de politique et accédant aux informations d'abonnement, pour gouverner le comportement du réseau.

La complexité de l'architecture du réseau 5G en coulisses est une nécessité pour offrir un service amélioré et personnalisé, répondant ainsi à la variété des cas d'utilisation de la 5G. [23]

II.2.1 NG-RAN

Le NG-RAN représente le nouveau réseau d'accès radio défini pour la 5G. Le NG-RAN fournit à la fois l'accès radio NR et LTE. Un nœud NG-RAN peut être soit :

- Un gNB (c'est-à-dire une station de base 5G), fournissant des services de plan utilisateur et de plan de contrôle NR.
- Ou un ng-eNB (c'est-à-dire une station de base existante), fournissant des services de plan utilisateur et de plan de contrôle E-UTRA/LTE.

Les stations de base gNB et ng-eNB sont connectées les unes aux autres via l'interface Xn. De plus, elles sont également reliées au 5G Core (5GC) via les interfaces NG. En particulier, l'interface NG-C permet la connexion à la fonction AMF (La fonction de gestion d'accès et de mobilité), tandis que l'interface NG-U permet la connexion à la fonction UPF (La fonction de plan utilisateur).

La **figure 11** fournit un aperçu de la place qu'occupe le NG-RAN dans architecture globale du système 5G.

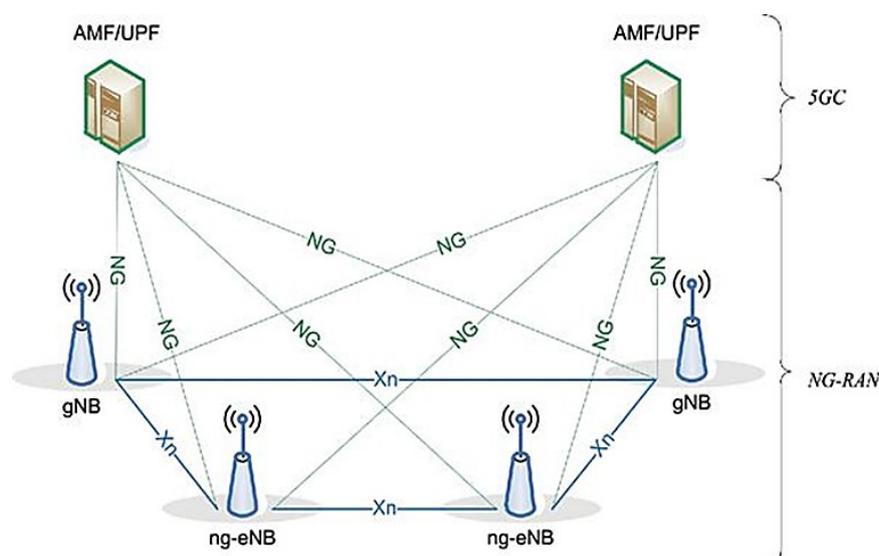


Figure II.2 : Relation entre NG-RAN et système 5G [24].

Sachant que le gNB peut être subdivisé en une unité centrale gNB (gNB-CU) et une ou plusieurs unités de distribution gNB (gNB-DU) connectées via l'interface F1. Chaque unité gNB-DU est reliée à une seule unité gNB-CU [22].

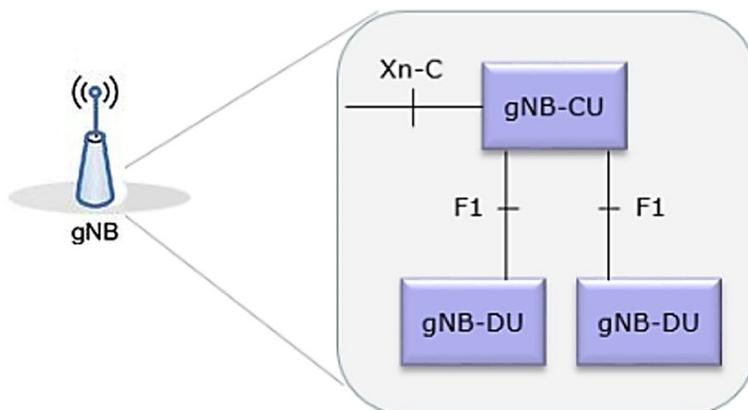


Figure II.3 : Equipements gNB

Cette capacité à être en mode double permet aux opérateurs d'utiliser leur infrastructure LTE existante tout en déployant la 5G, ce qui peut contribuer à minimiser le coût et la complexité de la mise à niveau de leurs réseaux pour supporter la 5G. Cela permet également une transition en douceur vers la 5G pour les utilisateurs qui utilisent encore des appareils LTE, car ils peuvent continuer à utiliser leurs appareils existants.

Les architectures de plan utilisateur et de plan de contrôle pour le NG-RAN suivent toutes deux le même schéma d'architecture générale.

Les fonctions suivantes sont effectuées par le gNB [22].

- Fonctions assurées par NG-RAN pour la gestion des ressources radio : le contrôle des liaisons radio, le contrôle de l'admission des connexions, le contrôle de la mobilité, l'allocation dynamique des ressources aux UE dans les liaisons montantes et descendantes (planification).
- La compression de l'en-tête IP, le chiffrement et la protection de l'intégrité des données.
- La sélection d'un AMF lors de l'attachement de l'UE lorsqu'aucun itinéraire vers un AMF ne peut être déterminé à partir des informations fournies par l'UE.
- Le routage des données du plan utilisateur vers les UPF.
- Le routage des informations du plan de contrôle vers l'AMF.

- L'établissement et la libération de connexions la planification et la transmission des messages de recherche ; la planification et la transmission des informations de diffusion du système (provenant de l'AMF ou de l'O&M).
- La configuration des mesures et des rapports de mesure pour la mobilité et la planification ; le marquage des paquets au niveau de transport dans la liaison montante.
- La gestion des sessions ; le support de la découpe réseau.
- La gestion de la qualité de service (QoS) et la cartographie vers les porteuses radio de données.
- Le support des UE en état RRC_INACTIVE.
- La fonction de distribution pour les messages NAS.
- Le partage du réseau d'accès radio.
- La connectivité double.
- Une interopérabilité étroite entre NR et E-UTRA.

II.2.2 La séparation CP/UP

CUPS est une technique qui permet la séparation des fonctions de contrôle et utilisateur dans les nœuds SGW, PGW et TDF du cœur de réseau évolué. Cette séparation offre une grande flexibilité dans le déploiement et l'exploitation du réseau, car elle permet un déploiement distribué ou centralisé et une mise à l'échelle indépendante entre les fonctions de contrôle et d'utilisateur. Tout cela peut être réalisé sans perturber le fonctionnement des nœuds existants [25].

Le gNB-CU peut être séparé en parties plan de contrôle CP et plan d'utilisateur UP (gNB-CU-CP et gNB-CU-UP) pour optimiser l'emplacement des différentes fonctions RAN en fonction des scénarios et des exigences de performance. L'interface de plan de contrôle entre CU-CP et CU-UP s'appelle E1. L'architecture RAN globale avec la séparation CU-CP et CU-UP est illustrée dans la *figure 13*.

Le gNB-CU-CP héberge le RRC et la partie de plan de contrôle du protocole PDCP. Il termine également l'interface E1 connectée au gNB-CU-UP et l'interface F1-C connectée au gNB-DU. Le gNB-CU-CP gère la partie de plan utilisateur du protocole PDCP pour un en-gNB, ainsi que la partie de plan utilisateur du protocole PDCP (Protocole de convergence des données par paquets) et du protocole SDAP (Protocole d'adaptation de données de service) pour

un gNB. Le gNB-CU-UP termine l'interface E1 connectée au gNB-CU-CP et l'interface F1-U connectée au gNB-DU.

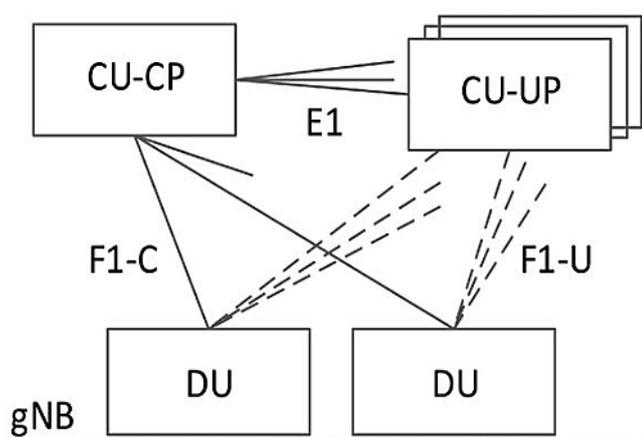


Figure II.4 : Architecture RAN globale avec séparation CU-CP et CU-UP [24]

Un gNB peut être composé d'un gNB-CU-CP, de plusieurs gNB-CU-UP et de plusieurs gNB-DU. Le gNB-CU-CP est connecté au gNB-DU via l'interface F1-C, et le gNB-CU-UP est connecté au gNB-DU via l'interface F1-U. Chaque gNB-CU-UP est connecté à un seul gNB-CU-CP, mais il est possible d'envisager des mises en œuvre permettant à un gNB-CU-UP de se connecter à plusieurs gNB-CU-CP, par exemple pour une meilleure résilience.

Un gNB-DU peut être connecté à plusieurs gNB-CU-UP sous le contrôle du même gNB-CU-CP. De même, un gNB-CU-UP peut être connecté à plusieurs DUs sous le contrôle du même gNB-CU-CP. Les fonctions de base de l'interface E1 comprennent la fonction de gestion de l'interface E1 et la fonction de gestion de contexte de support E1 [24].

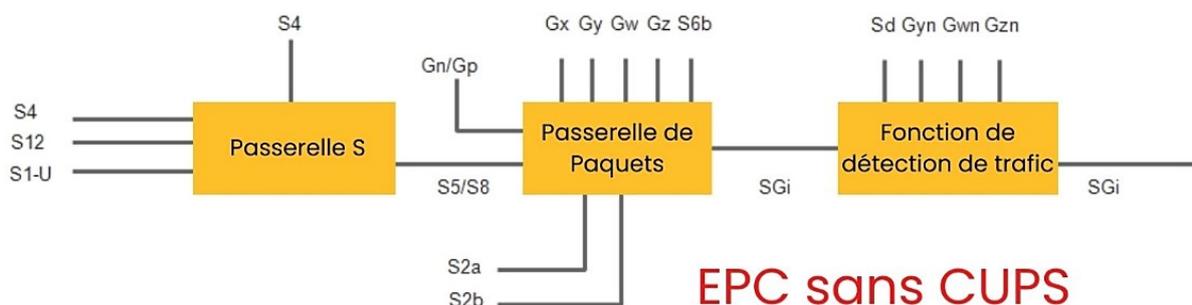


Figure II.5 : Architecture non CUPS [25].

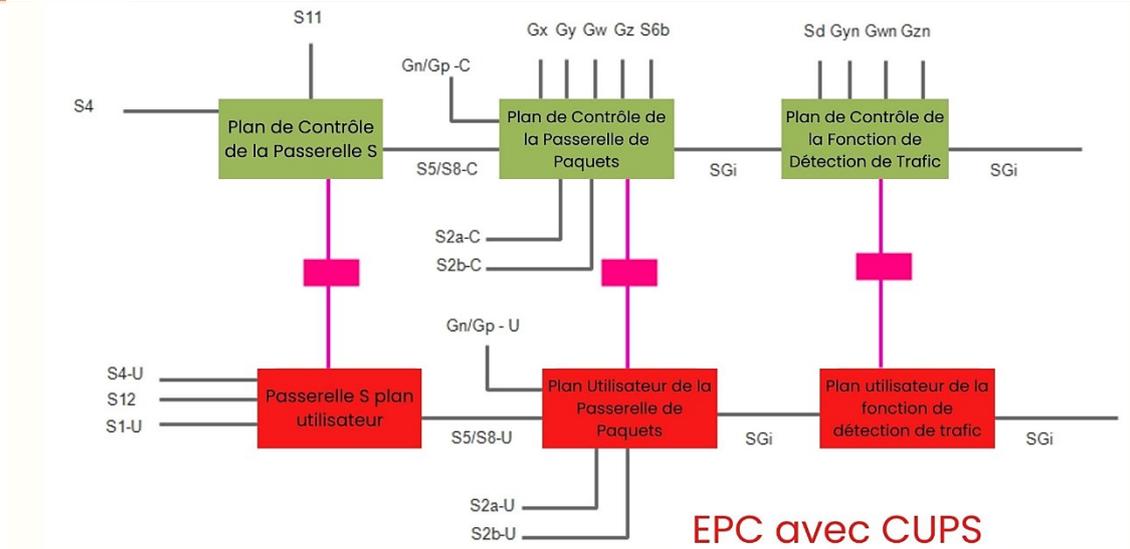


Figure II.6 : Architecture avec CUPS [25].

Les atouts de la structure CUPS :

- Réduction de la latence sur les services d'application en sélectionnant des nœuds de plan utilisateur plus proches du RAN ou plus adaptés à l'utilisation prévue de l'UE, sans augmenter le nombre de nœuds de plan de contrôle.
- Possibilité d'augmenter le trafic de données en ajoutant des nœuds de plan utilisateur sans changer le nombre de SGW-C, PGW-C et TDF-C dans le réseau.
- Localisation et mise à l'échelle indépendante des ressources de plan de contrôle et de plan utilisateur des nœuds EPC.
- Évolution indépendante des fonctions de plan de contrôle et de plan utilisateur.
- Possibilité d'implémenter le Réseau Défini par Logiciel pour fournir les données de plan utilisateur de manière plus efficace [26].

II.2.3 La structure NSA versus SA

Il existe deux options de déploiement définies pour la 5G [22] :

- L'architecture "Non-Stand Alone" (NSA) permet d'utiliser l'interface radio 5G et sa technologie New Radio (NR) en parallèle avec l'infrastructure LTE et EPC existante du cœur de réseau (Radio 4G et Core 4G). Cette approche permet de profiter des avantages de la technologie NR de la 5G (réduction de la latence, etc.) tout en offrant uniquement les services 4G. Le NSA est également appelé "Connectivité Double E-UTRA-NR (EN-DC)" ou "Option d'architecture 3".

- L'architecture "Stand-Alone" (SA) permet de connecter la technologie New Radio (NR) directement au cœur de réseau (CN) de la 5G, offrant ainsi l'ensemble des services de la Phase 1 de la 5G.

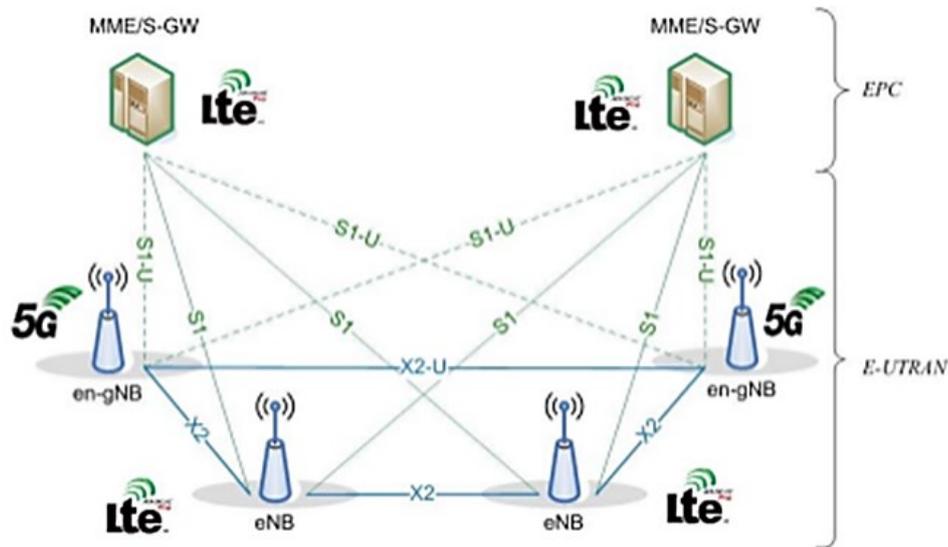


Figure II.7 : Architecture NSA [22].

L'architecture NSA peut être vue comme une étape intermédiaire vers le déploiement complet de la technologie 5G, où le réseau d'accès 5G est connecté à l'infrastructure réseau 4G existante. Dans cette architecture, la station de base NR (nœud logique "en-gNB") est connectée à la station de base LTE (nœud logique "eNB") via l'interface X2, qui a été initialement introduite pour connecter deux eNBs et étendue dans la version 15 pour permettre la connexion d'un eNB et d'un en-gNB, offrant ainsi une connectivité double via les réseaux d'accès 4G (E-UTRA) et 5G (NR). Cette architecture est également connue sous le nom de "EN-DC" pour "E-UTRAN and NR Dual Connectivite". Dans EN-DC, l'eNB du réseau 4G est le nœud maître (MN) tandis que l'en-gNB du réseau 5G est le nœud secondaire (SN).

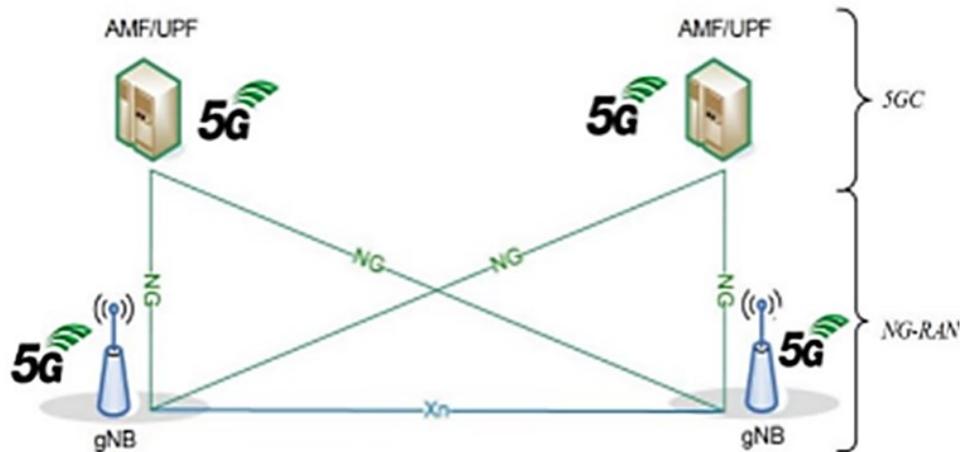


Figure II.8 : Architecture SA [22].

La structure SA peut être considérée comme une implémentation complète de la 5G, ne nécessitant aucune partie d'un réseau 4G pour fonctionner. La station de base NR (nœud logique "gNB") se connecte à d'autres stations de base NR via l'interface Xn, et le réseau d'accès (appelé "NG-RAN pour l'architecture SA") se connecte au réseau 5GC en utilisant l'interface NG [22].

II.3 Modèle de propagation

Un modèle de propagation est une représentation mathématique de la façon dont les ondes électromagnétiques telles que les ondes radio, se propagent à travers un milieu. Il prend en compte des facteurs tels que la fréquence de l'onde, le terrain, l'environnement et les obstacles éventuels sur la trajectoire, et prédit la force du signal à différents points de l'espace.

Les modèles de propagation sont largement utilisés dans les systèmes de communication sans fil, tels que les réseaux cellulaires, pour planifier l'emplacement des stations de base et des antennes, optimiser la couverture du réseau et prédire les performances du système. Ils sont également utilisés dans d'autres applications, telles que la communication par satellite, les systèmes radar et la diffusion.

Il existe de nombreux modèles de propagation et différents conçu pour répondre à leurs besoins de réalisation et d'action diverses conditions, chaque modèle de propagation est validé dans des scénarios et des fréquences claires. Si le modèle n'est pas choisi correctement, la perte sera surestimée ou sous-estimée routes et donc la couverture prévue [27], notamment les modèles empiriques, qui sont basés sur des mesures des caractéristiques de propagation réelles

d'une zone particulière, et les modèles théoriques, qui sont basés sur des modèles mathématiques des processus physiques impliqués dans la propagation. Certains modèles de propagation couramment utilisés comprennent le modèle Okumura-Hata, le modèle COST 231 et d'autres.

Le choix d'un modèle de propagation est important. Vous devez également ajuster votre modèle les bandes de fréquences NR pour des régions et des empreintes spécifiques et les modèles.

Voici un résumé des principaux modèles empiriques de propagation RF actuellement utilisés pour prédire la perte de chemin NR. Ces modèles sont développés à partir de mesures sur le terrain, telles que la perte de chemin et l'étalement du retard, et nécessitent une calibration précise des coefficients en fonction des conditions spécifiques de la zone, de l'encombrement et de la fréquence pour des prévisions précises.

II.3.1 Modèle de propagation en espace libre

En matière de télécommunications, lorsqu'il y a une ligne de vue directe entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice dans un environnement sans obstacles, la puissance du signal de l'onde électromagnétique transmise diminue, ce phénomène est appelé perte de trajet en espace libre (FSPL). La FSPL ne prend en compte aucun des facteurs tels que le gain de l'antenne d'émission ou de réception. La perte de trajet en espace libre est définie pour les antennes isotropes idéales et est exprimée par [27].

$$L_{FS}(d) = 20 \log 10 \frac{4\pi d}{\lambda} = 20 \log 10 \left(\frac{4\pi d f}{c} \right) \quad (II.1)$$

La valeur d représente la distance de séparation entre les antennes d'émission et de réception, et est mesurée en mètres, comme illustré dans la *figure 16*. La lettre grecque λ représente la longueur d'onde de l'onde électromagnétique transmise, et est mesurée en mètres. La lettre f représente la fréquence du signal en Hertz, et C est la vitesse de la lumière dans le vide

$$C = 2.9979 * 10^8 \text{ m/s}$$

En l'absence d'obstacles entre les antennes qui pourraient provoquer des réflexions ou des diffractions, la puissance du signal reçu peut être calculée en utilisant l'équation de *Friis*.

$$P_r[db] = P_t + G_r + G_t - L_{FS} \quad (II.2)$$

Les termes P_t et P_r représentent la puissance d'émission et la puissance de réception, respectivement, tandis que les termes G_t et G_r représentent le gain de l'antenne d'émission et le gain de l'antenne de réception, respectivement.

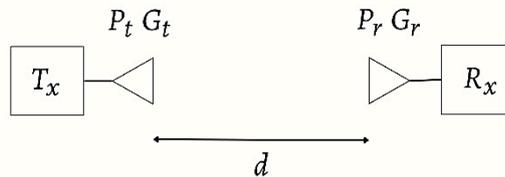


Figure II.9 : Modèle de perte de chemin d'espace libre

II.3.2 Modèle de OKUMARA-HATA

Le modèle d'Okumura-Hata est un modèle empirique couramment utilisé pour prédire l'atténuation du signal dans un environnement de macro-cellules. Il utilise un composant qui se base sur la perte d'espace libre et est basé sur des mesures de terrain. Les résultats de ces mesures ont été publiés sous forme graphique par Okumura à Tokyo, et ont été ensuite transformés en équations par Hata. Le modèle peut être utilisé sans facteurs de correction dans des zones urbaines quasi-lisses, mais d'autres facteurs de correction sont nécessaires pour d'autres types de terrains. Toutefois, le principal inconvénient du modèle Okumura-Hata est qu'il ne tient pas compte des réflexions et des ombres.

L'expression de la perte de trajet pour une zone urbaine à une distance d est donnée par [27] :

$$\left\{ P_{L, urban}(d) \text{ db} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(fc) - 13.82 \log_{10}(ht) - a(hr) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(ht)) \log_{10}(d) \right\} \quad (II.3)$$

Avec :

- fc : la fréquence porteuse.
- ht : la hauteur de l'antenne émettrice (station de base).
- hr : la hauteur de l'antenne de réception (mobile).
- $a(hr)$: utilisée pour ajuster la hauteur de l'antenne du terminal mobile en fonction de la taille de la zone de couverture. C'est un facteur de correction de la hauteur de l'antenne mobile.

Le modèle Hata est similaire au modèle Okumura pour les distances supérieures à 1 km. Il est adapté pour une utilisation dans des cellules de grande taille où la station de base est située plus haut que les toits des environs. Les deux modèles sont conçus pour des fréquences de 150-

1500 MHz, il est donc possible qu'ils ne fonctionnent pas correctement pour les systèmes LTE utilisant des fréquences et des tailles de cellules plus élevées [27].

II.3.3 Extension de COST 231 au Modèle HATA

L'extension de COST 231 au modèle Hata, également connue sous le nom de modèle Hata-COST 231, a été développée pour améliorer le modèle Hata. Il s'agit d'un modèle empirique de propagation des ondes radio qui prend en compte les pertes de trajet dues à l'atténuation et à la diffraction des ondes radio dans les zones urbaines et suburbaines. Le modèle Hata-COST 231 utilise des paramètres tels que la fréquence, la hauteur de l'antenne, la distance de propagation, la taille des bâtiments et d'autres facteurs pour calculer l'atténuation du signal dans les zones urbaines et suburbaines. La recherche européenne COST (Coopérative scientifique et technique) a étendu le modèle Hata à 2 GHz en tant que boursier :

$$\left\{ P_{L\text{ urban}}(d)\text{dB} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(fc) - 13.82 \log_{10}(ht) - a(hr) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(ht)) \log_{10}(d) + C_M \right\} \quad (II.4)$$

La valeur de C_M est de 0 dB pour les villes et banlieues de taille moyenne, tandis qu'elle est de 3 dB pour les zones métropolitaines.

Le modèle Hata-COST 231 est destiné aux fréquences comprises entre 150 MHz et 2 GHz, avec des tailles de cellules allant jusqu'à 20 km. Il utilise des paramètres spécifiques à la région pour déterminer l'atténuation du signal en fonction de la densité des bâtiments, de la hauteur de l'antenne, de la distance de propagation et d'autres facteurs. Le modèle Hata-COST 231 est largement utilisé dans l'industrie des télécommunications pour la planification de réseaux sans fil et la conception de systèmes de communication mobiles.

II.3.4 Modèle standard de propagation (SPM)

Le modèle standard de propagation (SPM) est un modèle de propagation d'onde électromagnétique qui décrit l'affaiblissement du signal en fonction de la distance de propagation, de la fréquence, de la hauteur des antennes et de la topographie de la zone. Le modèle est basé sur des mesures expérimentales et des simulations numériques et est utilisé pour prédire la force du signal dans les systèmes de communication sans fil.

Le SPM est largement utilisé dans l'industrie des télécommunications pour la planification du réseau et l'optimisation de la couverture. Il prend en compte des facteurs tels que la perte d'espace libre, l'affaiblissement par trajet multiple, la réfraction atmosphérique et la diffraction, ainsi que des effets liés à la topographie, tels que la présence de collines et de bâtiments.

Le modèle SPM est applicable dans différents environnements, notamment les zones urbaines, suburbaines, rurales et montagneuses. Il est généralement considéré comme un modèle de propagation plus précis que les modèles empiriques tels que le modèle d'Okumura-Hata et le modèle COST 231-Hata. Cependant, il nécessite des données plus précises et des calculs plus complexes pour être appliqué avec succès cette modèle de propagation standard repose sur la formule suivante [27].

$$Pr = Pt - \{ K_1 + \text{Log}(d) + K_3 \text{Log}(ht) + K_4 * \text{DiffractionLoss} + K_5 \text{Log}(d) * \text{Log}(ht) + K_6 * hr + K_7 * \text{Log}(hr) + K_{clutter} * f_{clutter} + K_{hill,los} \} \quad (II.5)$$

Avec :

- ***Pr*** : Puissance reçue en dBm.
- ***Pt*** : Puissance transmise (EIRP) en dBm.
- ***K1*** : Décalage constant en dB.
- ***K2*** : Facteur de multiplication pour $\text{Log}(d)$.
- ***d*** : Distance entre le récepteur et l'émetteur en mètres.
- ***K3*** : Facteur de multiplication pour $\text{Log}(d)$.
- ***ht*** : Hauteur effective de l'antenne de l'émetteur en mètres.
- ***K4*** : Facteur de multiplication pour le calcul de la diffraction.
- ***DiffractionLoss*** : Diffraction lors de pertes dues à la diffraction sur un chemin obstrué (dB).
- ***K5*** : Facteur de multiplication pour $\text{Log}(d) * \text{Log}(ht)$.
- ***K6*** : Facteur de multiplication pour hr .
- ***K7*** : Facteur de multiplication pour $\text{Log}(hr)$.
- ***hr*** : Hauteur effective de l'antenne du récepteur mobile en mètres.
- ***Kclutter*** : Facteur de multiplication pour Moyenne des pertes pondérées dues à l'encombrement.
- ***Fclutter*** : Facteur de correction pour les régions vallonnées.

Il existe d'autres modèles de propagation : modèle 3GPP 38.900, modèle WINNER II, modèle de Saleh-Valenzuela et modèles de traçage de rayons.

Le choix du modèle de propagation dépend des exigences spécifiques du réseau sans fil et du niveau de précision requis dans les prévisions. Différents modèles peuvent être utilisés pour différentes parties du réseau, selon la bande de fréquences et l'environnement.

II.4 Les zones de distribution

La qualité de la couverture dans une cellule dépend de la zone qui est atteinte par le signal, tandis que la distance parcourue par le signal dépend des caractéristiques de la propagation radio dans cette zone. Ces caractéristiques peuvent varier d'une région à l'autre et doivent être étudiées attentivement avant de faire des prévisions de couverture et de capacité. Les planificateurs radio ont pour objectif de concevoir un réseau qui couvre la zone visée à 100%.

En général, il est difficile de répondre à cette exigence de couvrir 100% de la zone, c'est pourquoi des efforts sont déployés pour concevoir un réseau qui couvre toutes les zones susceptibles de générer du trafic et qui ne présente de "trous" que dans les zones où il n'y a pas de trafic. Pour atteindre cet objectif, le territoire est divisé en trois grandes classes, à savoir les zones urbaines, suburbaines et rurales, en fonction de critères tels que les structures artificielles ou humaines ainsi que les caractéristiques naturelles du terrain.

- **Les zones urbaines denses** : Les zones urbaines denses font référence à des régions urbaines où la population est concentrée dans un espace relativement restreint. Ces zones ont généralement une densité de population élevée, avec de nombreux bâtiments résidentiels et commerciaux de grande hauteur. Les zones urbaines denses sont souvent caractérisées par une grande activité économique et une forte demande de services de télécommunications, ce qui en fait des zones clés pour le déploiement de réseaux de télécommunications.
- **L'urbain** : Ces zones sont généralement constituées de bâtiments à usage mixte résidentiel, commercial et multifamilial, qui peuvent comporter des structures de hauteur variable allant de 5 à 15 mètres. Des bâtiments tels que des hôtels, des hôpitaux et des immeubles de bureaux peuvent également être présents dans ces zones.

- **La banlieue** : Les zones résidentielles situées dans les villes de plus de 100 000 habitants qui ont une densité supérieure à 6500 habitants par kilomètre carré sont considérées comme des zones urbaines denses. Les zones suburbaines situées à proximité des régions métropolitaines sont caractérisées par des maisons unifamiliales et multifamiliales d'une hauteur d'environ 5 à 15 mètres. Ces zones ont généralement moins d'arbres matures et peuvent comprendre des bâtiments résidentiels denses tels que des complexes d'appartements et des communautés résidentielles nouvellement construites.
- **Régions rurales** : Cette description concerne les zones résidentielles à faible densité qui ont une densité de population inférieure à 2600 habitants par kilomètre carré. Elles se trouvent habituellement en dehors des zones métropolitaines et sont principalement constituées de maisons individuelles d'une hauteur d'environ 5 mètres, avec peu d'arbres et séparées par des cours ou d'autres types de végétation. Ces zones peuvent également inclure de petites villes et villages. Les cellules (sites) construites dans ces zones peuvent être classées en tant que cellules extérieures ou intérieures, avec les cellules extérieures pouvant être subdivisées en macro-cellulaires, micro-cellulaires ou pico-cellulaires.

II.5 Hiérarchie des cellules

La hiérarchie des cellules dans un réseau mobile est définie par la portée et la capacité de chaque cellule. Les différentes cellules sont organisées en fonction de leur taille et de leur capacité à gérer le trafic des utilisateurs. Voici les principales catégories de cellules dans un réseau mobile :

- **Les macro-cellules** : Sont des unités de base utilisées pour décrire les réseaux de téléphonie mobile. Elles couvrent des zones géographiques relativement larges, telles que des quartiers ou des zones suburbaines, et sont équipées d'une station de base pour fournir des services de voix et de données à de nombreux utilisateurs simultanément. Les macro-cellules sont souvent utilisées pour fournir une couverture de base dans les zones urbaines et rurales, en particulier dans les zones où la densité de population est relativement faible. En général, leur portée de couverture est de plusieurs kilomètres, variant de 2 à 35 km selon les conditions du terrain et de propagation.

- **Les micro-cellules** : Sont des unités plus petites que les macro-cellules dans les réseaux cellulaires. Elles ont une portée de couverture plus limitée et sont utilisées pour fournir une capacité supplémentaire dans des zones où la demande est plus élevée, telles que des zones urbaines densément peuplées, des stades ou des centres commerciaux. Les micro-cellules peuvent également être utilisées pour fournir une couverture intérieure dans des bâtiments tels que des centres commerciaux, des aéroports ou des immeubles de bureaux. En général, les micro-cellules ont une portée de quelques centaines de mètres à un kilomètre et sont souvent déployées en grand nombre pour assurer une couverture complète et une capacité suffisante dans les zones urbaines denses.
- **Les pico et small cellules** : Sont les plus petites unités de couverture dans les réseaux cellulaires. Elles sont souvent utilisées pour fournir une couverture supplémentaire et améliorer la capacité dans les zones densément peuplées telles que les centres-villes, les halls d'aéroport ou les gares. Les pico-cellules ont une portée de couverture très limitée, généralement de quelques dizaines à quelques centaines de mètres, et peuvent desservir un nombre limité d'utilisateurs simultanément. Les pico-cellules peuvent également être utilisées dans des environnements où une faible puissance de transmission est requise pour éviter les interférences avec d'autres systèmes de communication sans fil.
- **Relay nodes** : il s'agit de nœuds qui sont utilisés pour relayer les signaux entre les macrocellules et les small cells. Les relay nodes sont utilisés pour améliorer la qualité de la couverture mobile et pour étendre la portée des small cells.

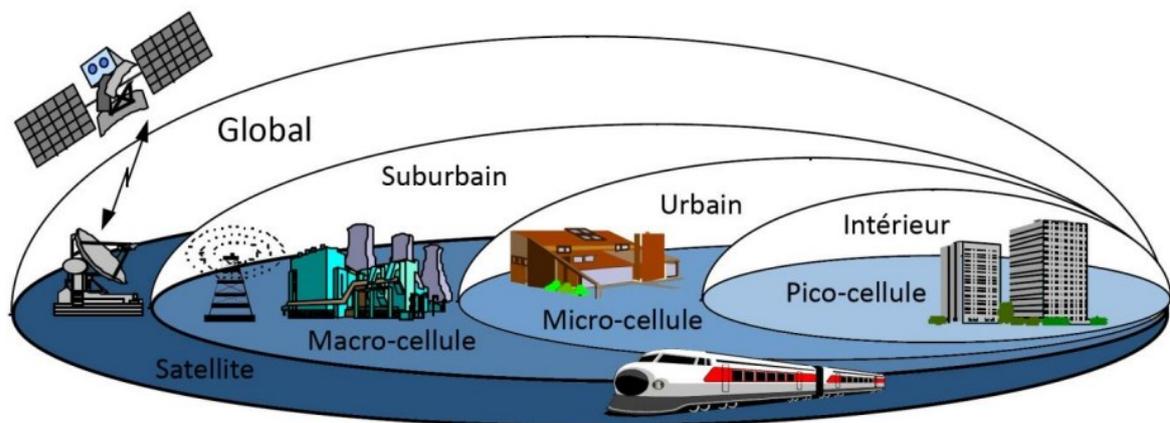


Figure II.10 : Hiérarchie des cellules [28].

Globalement, la structure hiérarchique des cellules dans un réseau 5G NR ressemble à celle des générations de réseaux mobiles antérieures, mais avec une importance accrue accordée aux small cells dans le but d'améliorer la qualité de la couverture et la capacité du réseau. En outre, l'utilisation des distributed cells et des relay nodes est en croissance, afin d'améliorer également la qualité de la couverture et la capacité du réseau 5G NR.

II.6 Le bilan de liaison

Le budget de liaison (link budget) est un calcul qui permet de prendre en compte à la fois les gains et les pertes du système afin de déterminer le niveau de signal reçu (RxSL) au niveau du récepteur (UE). Ce niveau de signal est ensuite comparé à la sensibilité du récepteur (RxS) pour évaluer la qualité de la liaison, Si le niveau de signal reçu (RxSL) est supérieur à la sensibilité de réception (RxS), le statut du canal est considéré comme "Pass", sinon il est considéré comme "Fail".

La figure suivante montre quelques exemples de valeurs pour illustrer les différents paramètres d'entrée utilisés pour le calcul du budget de liaison.

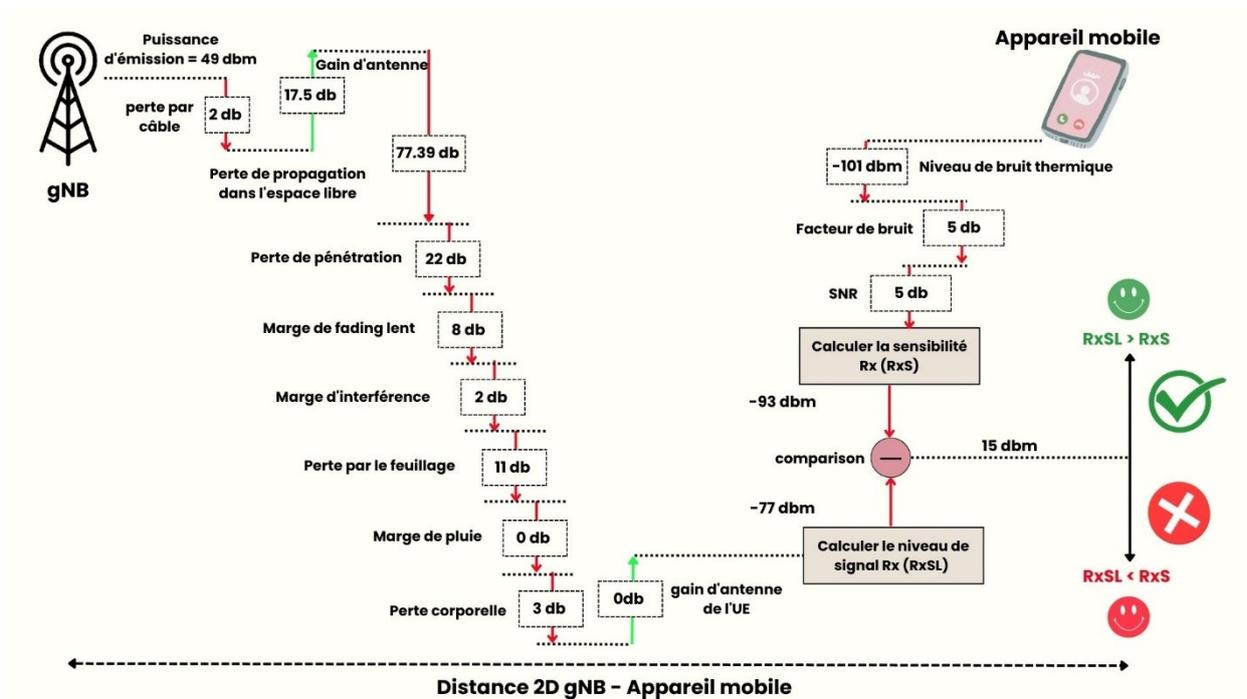


Figure II.11 : Bilan de liaison 5G NR [29].

La formule suivante est utilisée pour calculer le niveau de signal reçu (RxSL) du budget de liaison 5G [29].

$$\begin{aligned} \text{Niveau du signal reçu au niveau du récepteur (dBm)} = & \text{puissance de transmission du} \\ & \text{gNodeB (dBm)} - 10 * \log_{10}(\text{quantité de sous-porteuses}) + \text{gain d'antenne du gNodeB (dBi)} - \\ & \text{perte de câble du gNodeB (dB)} - \text{perte de trajet (dB)} - \text{perte de pénétration (dB)} - \text{perte de} \\ & \text{feuillage (dB)} - \text{perte de blocage corporel (dB)} - \text{marge d'interférence (dB)} - \text{marge de} \\ & \text{pluie/neige (en dB)} - \text{marge de fading lent (dB)} - \text{perte due au blocage du corps humain (dB)} \\ & + \text{gain d'antenne de l'UE (dB)} \end{aligned} \quad (\text{II.6})$$

Dans l'exemple ci-dessus, la valeur calculée du RxSL est de 77 dBm, la sensibilité de réception (RxS) est de -93 et le statut de liaison est "Pass". Habituellement, le maillon limitant est la liaison montante et il est recommandé de calculer séparément les budgets de liaison montante et descendante, puis de prendre en compte la liaison la plus faible.

Pour calculer la perte de chemin, il est nécessaire d'utiliser un modèle de propagation adapté pour la technologie 5G (5G utilise des modèles de propagation en 3D définis dans le document 3GPP 36.873. Les modèles UMa, UMi et RMa sont applicables aux bandes de fréquence de 2 à 6 GHz, et ont ensuite été étendus à la plage de fréquences de 0,5 à 100 GHz dans le document 3GPP 38.901).

Par exemple, si nous prenons le modèle UMa pour le cas de la ligne de vue (LOS), la formule de perte de chemin est la suivante :

$$\left\{ \text{Perte de trajet} = 28,0 + 22 * \log_{10}(d) + 20 * \log_{10}(fc) \right\} \quad (\text{II.7})$$

Il est évident, d'après la formule ci-dessus, que pour calculer la perte de chemin, il est nécessaire de disposer de deux informations : la distance "d" entre l'émetteur et le récepteur (rayon de la cellule) et la fréquence centrale "fc". Si le rayon de la cellule correspond à la portée maximale de la cellule, la perte de chemin calculée sera la perte de chemin maximale autorisée (MAPL).

En prenant $d=20000$ m et $fc = 3,5$ GHz alors la valeur de perte de trajet : 164.9 dB

Une fois que la valeur de la perte de trajet est connue, il est possible de calculer le niveau de signal reçu qui sera comparé à la sensibilité du récepteur pour déterminer si le signal peut

être reçu avec succès, La sensibilité du récepteur dépend de la puissance du bruit thermique (dBm), du facteur de bruit (dB) et du seuil de démodulation SNR (dB). La sensibilité du récepteur est calculée à l'aide de la formule suivante [29].

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Sensibilité du récepteur (dBm)} = \text{Facteur de bruit (dB)} + \text{Bruit thermique (dBm)} + \text{SNR (dB)} \\ \text{(II.8)} \end{array} \right\}$$

Le bruit thermique est calculé en utilisant la formule suivante : $K * T * BW$ où :

- K : la constante de Boltzmann.
- T : la température en Kelvin
- BW : la bande passante.

Les valeurs de figure de bruit et de SINR dépendent du fournisseur et sont principalement influencées par les performances matérielles et de décodage du schéma de modulation et de codage.

Il est possible de mettre l'équation (II.6) en pratique sur Excel en variant le rayon de la cellule jusqu'à ce que le niveau de signal reçu soit supérieur ou égal à la sensibilité du récepteur. Si vous souhaitez déterminer directement le rayon de cellule correspondant à une sensibilité de réception spécifique, vous pouvez utiliser la formule du budget de liaison (II.6) en remplaçant le niveau de signal reçu au récepteur (en dBm) par la sensibilité de réception. La sensibilité de réception correspond à :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Puissance de bruit thermique (dBm)} + \text{facteur de bruit UE (dB)} + \text{seuil de démodulation SNR} \\ \text{(dB)} \\ \text{(II.9)} \end{array} \right\}$$

En substituant la formule (II.9) dans l'équation (II.6) on obtient la perte de propagation qui est égale à :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Perte de propagation (dB)} = \text{puissance d'émission du gNodeB (dBm)} - 10 * \log_{10} (\text{quantité de} \\ \text{sous-porteuses}) + \text{gain de l'antenne du gNodeB (dBi)} - \text{perte de câble du gNodeB (dB)} - \text{perte} \\ \text{de pénétration (dB)} - \text{perte de feuillage (dB)} - \text{perte de blocage corporel (dB)} - \text{marge} \\ \text{d'interférence (dB)} - \text{marge de pluie/neige (dB)} - \text{marge de fading lent (dB)} - \text{perte de blocage} \\ \text{corporel (dB)} + \text{gain d'antenne de l'UE (dB)} - \text{puissance de bruit thermique (dBm)} - \text{figure de} \\ \text{bruit de l'UE (dB)} - \text{seuil de démodulation SNR (dB)} \\ \text{(II.10)} \end{array} \right\}$$

Une fois que la perte de propagation est calculée et que la fréquence centrale est connue, il est possible de déduire le rayon de la cellule en utilisant la formule de la perte de trajet :

$$\left\{ \text{Perte de trajet (PL)} = 28,0 + 22 * \log_{10} (d) + 20 * \log_{10} (fc) \right\} \quad (\text{II.11})$$

Nous pouvons conclure le rayon de la cellule "d" à partir de la formule (II.10) qui est donnée par la formule suivante :

$$\left\{ \text{Distance (d)} = 10^{((PL-28-20 * \text{Log}_{10} (fc)) / 22)} \right\} \quad (\text{II.12})$$

En regardant de nouveau la formule de perte de trajet (II.10), on constate que le facteur principal qui contrôle la valeur de la perte de trajet est le seuil de démodulation SNR (dB). Cela signifie que pour des valeurs de SINR plus élevées (meilleure modulation), la perte de trajet est plus faible et donc le rayon de la cellule est plus petit ! ... Cela nécessite un plus grand nombre de stations de base 5G pour maintenir un certain niveau de qualité de signal [29].

II.6.1 Cas d'utilisation du bilan de liaison

Le calcul du budget de liaison nous permet soit de déterminer le rayon de la cellule (R) en fonction d'une sensibilité de réception donnée, soit de calculer le niveau de signal reçu (RSL) pour un rayon de cellule donné et de le comparer à la sensibilité de réception pour vérifier l'état du canal (passer ou échouer), la sensibilité de réception dépend essentiellement des exigences de capacité (débit) puisque la valeur de SNR est directement liée à la quantité de débit que nous voulons atteindre à la limite de la cellule !

En connaissant le rayon de la cellule (R), nous pouvons déterminer la superficie couverte par une station de base en utilisant la formule suivante [29].

$$\left\{ \text{Zone de couverture} = \pi * R^2 \right\} \quad (\text{II.13})$$

Enfin On peut calculer le nombre de stations de base 5G nécessaires de la manière suivante :

$$5G \text{ gNodeB} = \text{Superficie totale de la zone en km}^2 / \text{Zone de couverture d'un seul gNB} \quad (\text{II.14})$$

Il est crucial de connaître le nombre de stations de base 5G nécessaires pour un cluster donné lors des activités de prévente car la création du projet dans l'outil de planification prend beaucoup de temps. L'un des principaux cas d'utilisation du budget de liaison est l'activité de prévente pour les propositions de déploiement 5G. En connaissant le nombre de sites 5G nécessaires, les vendeurs et les opérateurs peuvent estimer avec précision les coûts et les efforts

requis pour le projet. De plus, le calcul du budget de liaison permet d'estimer la capacité réalisée en fonction de différentes exigences de qualité (SNR).

II.6.2 Les pertes

- **La perte de pénétration** : se réfère à la diminution de la qualité du signal radio lorsqu'il est bloqué ou affaibli par des obstacles tels que des bâtiments, affectant ainsi les communications entre un terminal intérieur et une station de base dans les deux sens. Cette perte de signal dépend du type d'encombrement et de la nature des bâtiments dans la zone de couverture visée.
- **La perte de corps** : elle est causée par le blocage et l'absorption du signal lorsque l'antenne d'un terminal est proche du corps de l'utilisateur, affectant principalement les téléphones portables. Cette perte de signal est déterminée par la position du terminal et de l'utilisateur.

II.7 Planification des ressources

La planification des ressources PCID (Physical Cell ID) est une étape importante dans la planification des réseaux cellulaires. Le PCID est un identificateur unique attribué à chaque cellule physique, qui est utilisé pour identifier les cellules voisines et coordonner la communication entre les stations de base voisines. La planification des ressources PCID consiste à attribuer les identificateurs PCID de manière à éviter les interférences entre les cellules voisines et maximiser la capacité de la cellule.

Lors de la planification des ressources PCID, il est important d'éviter les interférences co-canal (entre des cellules utilisant le même canal) et les interférences adjacentes (entre des cellules utilisant des canaux voisins). Pour éviter les interférences co-canal, il est généralement recommandé d'attribuer des PCID différents aux cellules voisines utilisant le même canal. Pour éviter les interférences adjacentes, il est recommandé d'attribuer des PCID avec un écart minimum de 3 à 6 entre les cellules voisines utilisant des canaux voisins.

La planification des ressources PCID est généralement effectuée à l'aide de logiciels de planification de réseau qui utilisent des algorithmes pour déterminer les PCID optimaux pour chaque cellule. Les ingénieurs de réseau doivent également prendre en compte d'autres facteurs tels que la densité de la population, la topologie du terrain, la disponibilité des fréquences radio et les interférences provenant d'autres sources telles que les brouilleurs

En général, la planification des ressources PCID est une étape importante pour garantir la performance optimale du réseau cellulaire en minimisant les interférences et en maximisant la capacité de la cellule.

II.7.1 Planification des ressources PCID

Chaque cellule 5G NR est identifiée par un ID de cellule physique (PCID ou PCI) qui permet de distinguer les cellules du côté radio. La planification du PCI pour 5G NR est très similaire à celle pour LTE et la planification du code de brouillage pour 3G UMTS. Une planification incorrecte peut avoir des effets négatifs sur la procédure de synchronisation, la démodulation et la signalisation de transfert intercellulaire, et peut dégrader les performances du réseau. La planification du PCI devrait être plus simple pour NR que pour LTE, car il y a deux fois plus de PCI disponibles pour l'allocation. Dans la nouvelle radio 5G, il y a 1008 PCI uniques, comparativement aux 504 PCI disponibles pour LTE, et cela est exprimé par la formulation suivante [30].

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^1 + N_{ID}^2 \tag{II.14}$$

N_{ID}^1 : Signal de synchronisation secondaire (SSS) et sa plage est comprise entre $\{0,1 \dots 335\}$

N_{ID}^2 : Signal de synchronisation principal (PSS) et sa plage est comprise entre $\{0, 1, 2\}$

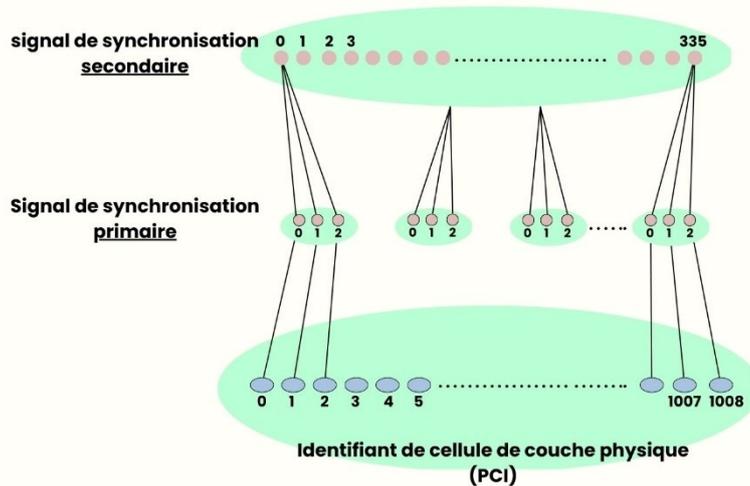


Figure II.12 : ID de cellule de la couche physique (PCI).

II.7.2 Les principes de planification PCI du réseau 5G

Lors de la planification du PCI 5G, il est important de prendre en compte les éléments suivants :

1. éviter les collisions PCI : lors de la planification Dans le cadre de la planification de réseau, il est essentiel de veiller à ce que les cellules voisines ne se voient pas attribuer la même identité physique de cellule (PCI). Le non-respect de cette règle peut entraîner des problèmes de synchronisation lors de la recherche initiale de cellules dans les zones de chevauchement, ce qui conduit à une sélection de cellules sous-optimale. On appelle communément cela une collision PCI. Afin d'éviter de telles collisions, il est recommandé de maintenir une séparation physique suffisante entre les cellules utilisant le même PCI, en veillant à ce que l'équipement utilisateur (UE) ne reçoive jamais le même PCI de plus d'une cellule, On peut atteindre cet objectif en maximisant la distance de réutilisation des PCI :

Lorsque deux cellules voisines ont le même PCI, cela peut causer un retard dans la synchronisation de la liaison descendante dans la zone de chevauchement, ce qui peut entraîner des problèmes de performance du réseau

Cela peut causer une augmentation du taux d'erreur de bloc (BLER) et des échecs de décodage des canaux physiques brouillés à l'aide de PCI.

Échecs de transfert.

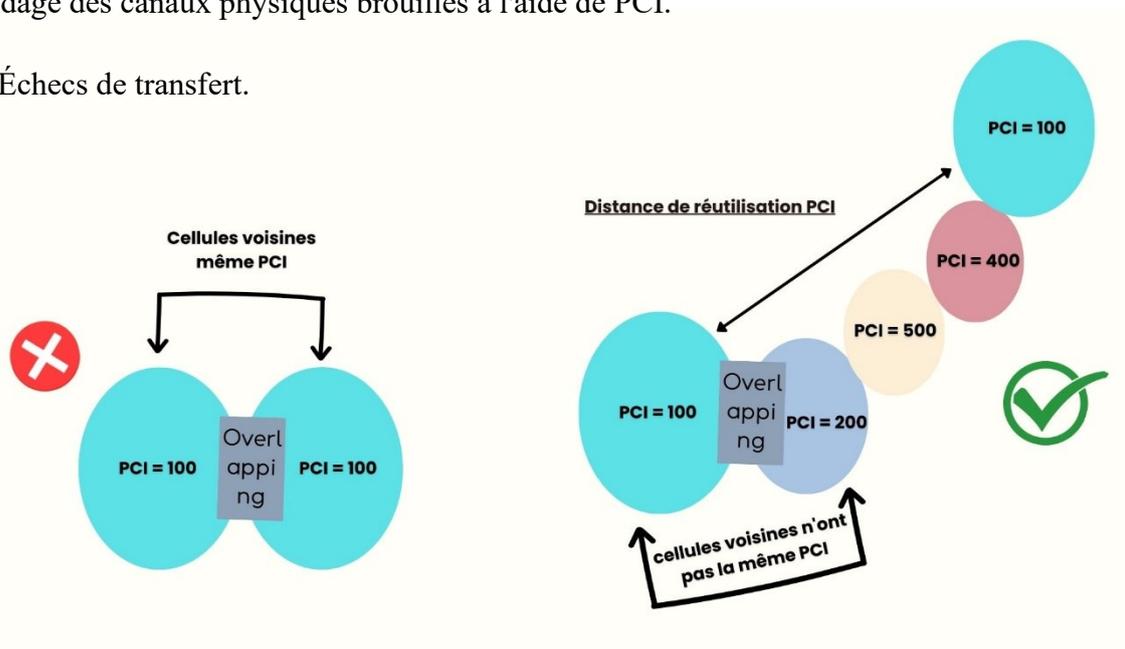


Figure II.13 : Collisions PCI.

2. **éviter la confusion PCI** : Lors de la planification d'un réseau, il est important de veiller à ce que les cellules voisines ne partagent pas le même identifiant PCI (Physical Cell Identity) que la cellule cible. Si c'est le cas, cela peut causer de la confusion pour la station de base lorsqu'une UE effectue une demande de transfert de connexion. Par conséquent, l'attribution des identifiants PCI doit être réalisée de manière à éviter qu'une cellule n'ait plusieurs voisins qui utilisent le même identifiant PCI. De plus, la séparation physique entre les cellules qui utilisent le même identifiant PCI doit être suffisamment grande pour éviter toute confusion entre les voisins.

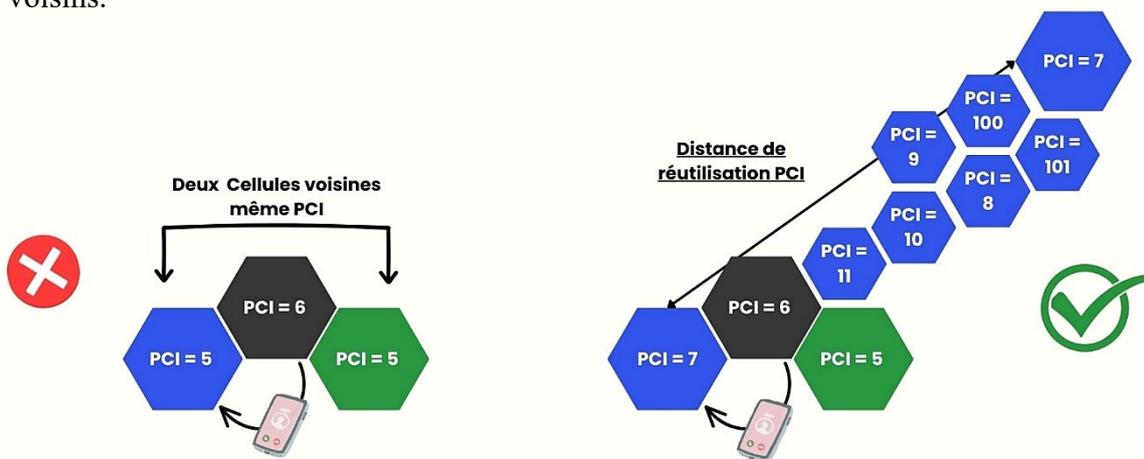


Figure II.14 : Confusion PCI.

3. Minimiser l'impact sur les performances du réseau En se basant sur la conception de différents signaux de couche physique (PSS, DMRS et SRS), canaux (PUSCH, PUCCH) et l'allocation temps-fréquence, la planification du PCI doit prendre en compte les modes suivants pour réduire les interférences. Selon ce principe de Mod, une UE ne devrait pas être capable de recevoir simultanément plusieurs PCI avec les modes suivants :

- PCI mod 3
- PCI mod 4
- PCI mod 30

Voici un exemple de "Mod 3 PCI" : la cellule voisine devrait se voir attribuer les PCI 25 et 28, car les deux ont une valeur de 1 pour le Mod 3.

Pourquoi le mode 3 ? La règle PCI Mod 3 repose sur la relation entre le PCI et la séquence générée par PSS. Les PSS 0, 1 et 2 sont réutilisés dans tout le réseau. Les cellules ayant le même "PCI Mode 3" utiliseront le même PSS. Les résultats de simulation ont montré qu'une UE recevant le même PSS de plusieurs cellules entraîne un retard dans l'acquisition de la cellule et une estimation de canal trompeuse, ce qui a un impact sur le délai de synchronisation et

l'expérience utilisateur. Il est donc important de suivre la règle PCI Mod 3 pour éviter les interférences et améliorer la qualité de service pour les utilisateurs.

Pourquoi le mode 4 ? La règle du PCI Mod 4 est établie en fonction des positions des sous-porteuses de DMRS pour le PBCH. Les sous-porteuses sont attribuées aux DMRS à l'aide d'un calcul "Mod 4". Si une cellule voisine utilise un PCI ayant la même valeur "Mod 4", cela peut entraîner une interférence entre les DMRS.

Pourquoi le mode 30 ? Pour éviter les interférences intercellulaires en liaison montante, la conception du signal de référence de démodulation (DMRS) pour les canaux PUCCH/PUSCH et SRS est basée sur la séquence ZC, qui comporte 30 groupes de racines. Les racines sont associées au PCI, ce qui signifie que les cellules voisines ne doivent pas avoir de PCI ayant la même valeur "Mod 30" pour assurer une faible interférence entre les cellules.

II.7.3 PRACH planification

L'UE envoie un préambule au gNB sur le canal PRACH pour obtenir la synchronisation UL. De même que pour LTE, 64 préambules sont définis en 5G NR pour chaque occasion PRACH temps-fréquence. Le préambule est composé de deux parties : le préfixe cyclique (CP) et la séquence de préambule [30].

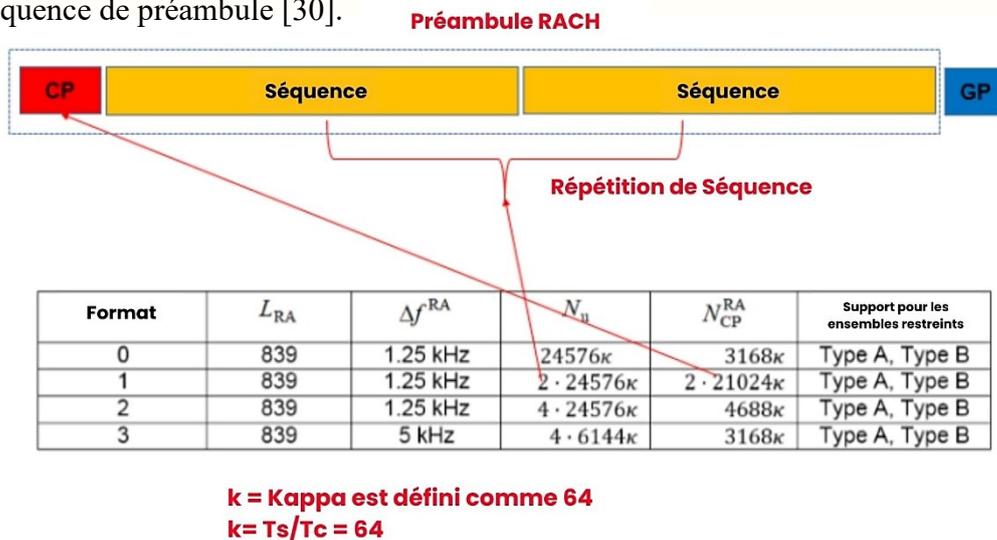


Figure II.15 : Composition de PRACH préambule

En 5G NR, il y a 13 types de formats de préambules pris en charge, désignés comme Format 0, Format 1, Format 2, Format 3, Format A1, Format A2, Format A3, Format B1, Format B2, Format B3, Format B4, Format C0 et Format C1. Ces formats de préambule peuvent être regroupés en deux catégories pour l'accès initial et la synchronisation préambule long et préambule court.

- **Le préambule long** est utilisé lorsque l'UE est loin du gNB et nécessite plus de temps pour la synchronisation. Le préambule long est composé de 1392 échantillons, avec un préfixe cyclique de 316 échantillons et une longueur de 1076 échantillons. Le préambule long utilise deux types de séquences : la séquence Zadoff-Chu (ZC) et la séquence Zadoff-Chu généralisée (GZC).
- **Le préambule court** est utilisé lorsque l'UE est proche du gNB et nécessite moins de temps pour la synchronisation. Le préambule court est composé de 839 échantillons, avec un préfixe cyclique de 159 échantillons et une longueur de 680 échantillons. Le préambule court utilise uniquement la séquence ZC.

En général, le préambule long est utilisé pour la synchronisation initiale et le préambule court pour les procédures de canal d'accès aléatoire (RACH).

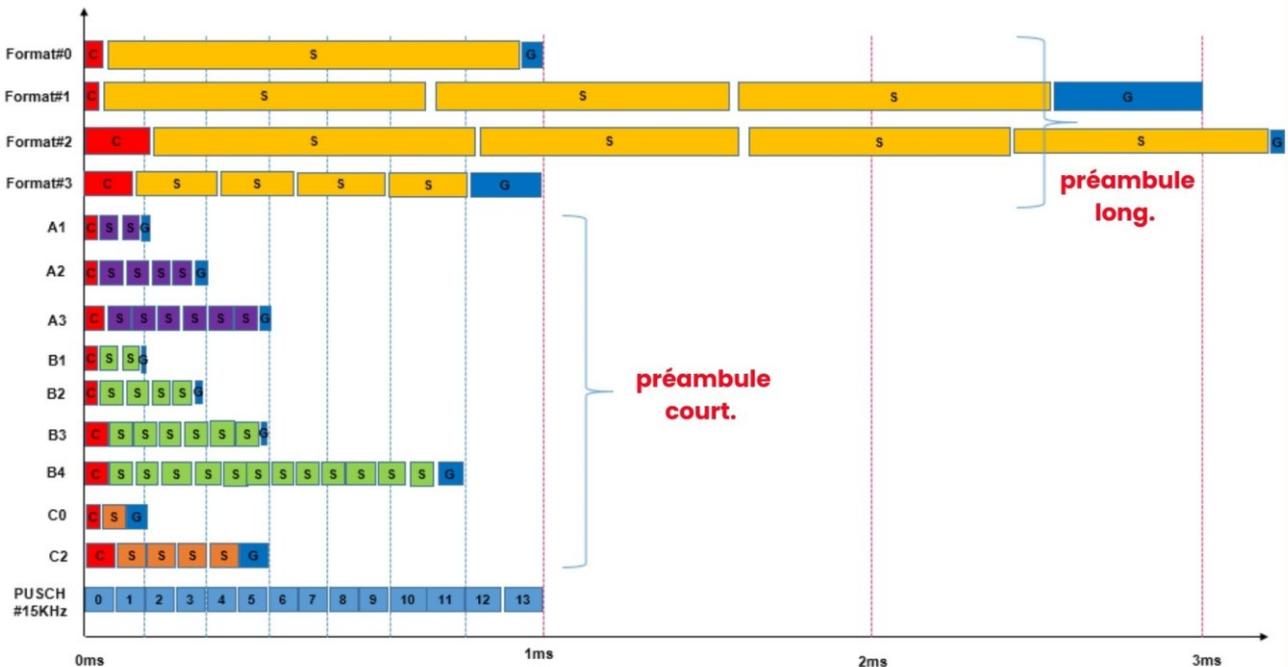


Figure II.16 : Différents formats de préambule [31].

II.8 Planification de voisinage

Dans toute technologie de télécommunication, allant de la 2G à la 5G, la relation entre voisins ou la planification des voisins est une activité importante. Les informations sur la relation entre voisins sont très critiques pour la sélection de cellules lorsque le dispositif mobile est en mode IDLE et pour les transferts lorsqu'il est en mobilité.

Historiquement, le planificateur de réseau radio et l'ingénieur d'optimisation maintenaient manuellement la relation entre voisins avec un seul voisin RAT configuré lors de la mise en service initiale du système. Souvent, la configuration des voisins était manquante et identifiée lors de tests de conduite du réseau. À mesure que la technologie évoluait, la 2G commençait à avoir des nœuds 3G comme voisins et la 4G utilisait la 3G/2G pour la gestion de la mobilité inter-RAT. Grâce aux fonctionnalités d'Auto-Organisation de Réseau (SON) qui rendent la configuration de la relation entre voisins facile et efficace, la configuration des voisins est désormais plus aisée. Les fonctionnalités SON ajoutent automatiquement des voisins en utilisant le sniffing de réseau lors de la mise en service et plus tard, les procédures d'assistance UE et de mise à jour de voisins X2 [32].

II.8.1 Planification de réseau pour la 5G NR

Pour les réseaux 5G, il est indispensable d'établir une relation de voisinage spécifique pour chaque cellule, permettant ainsi de mettre certaines cellules sur liste noire ou d'appliquer un décalage de puissance à une cellule particulière afin de favoriser la resélections de cellule en mode IDLE.

Type d'Information Système #3 (SIB3), Type d'Information Système #4 (SIB#4) et Type d'Information Système #5 (SIB#5) sont utilisés respectivement pour la resélections de cellules en intra-fréquence, inter-fréquence et inter-RAT. Les SIB#4 et SIB#5 diffusent les ARFCN de fréquence pour la resélections de cellules en inter-fréquence et inter-RAT. L'État 15 de la 3GPP a introduit le Type d'Information Système #24 (SIB#24) pour diffuser les informations de resélections de cellule pour les cellules 5G NR.

II.8.2 Types de Voisins

Les types de voisins peuvent être catégorisés en fonction des deux modes de déploiement possibles pour 5G NR : le mode autonome (SA) et le mode non autonome (NSA).

1. *Relations de voisinage pour le déploiement SA.*

- **NR - NR Voisins** : une cellule NR peut avoir une autre cellule NR comme voisin intra-fréquence (opérant sur la même fréquence) ou comme voisin inter-fréquence (opérant sur une fréquence différente).

- **NR – LTE Voisins** : Lorsqu'un opérateur déploie des réseaux 4G et 5G, il est possible d'utiliser une cellule LTE existante comme voisin pour la gestion de la mobilité inter-RAT.

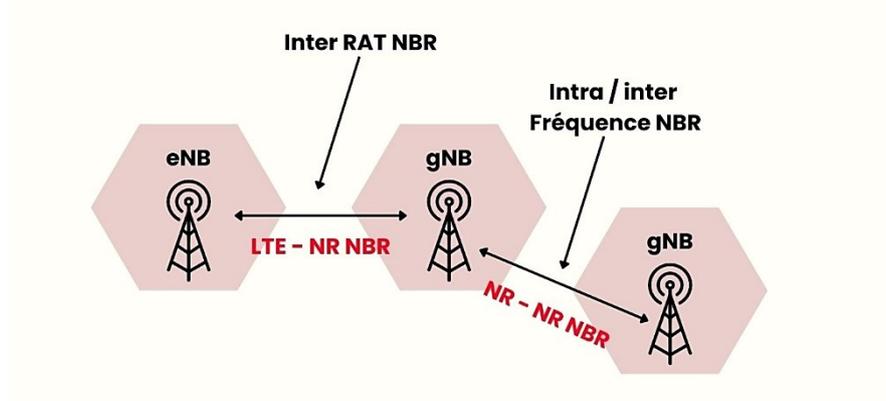


Figure II.17 : Relation de voisinage pour le déploiement en mode autonome (SA) 5G [32].

2. Relations de voisinage en déploiement non autonome (NSA)

- **LTE - LTE Voisins** : une cellule LTE peut avoir une autre cellule LTE comme voisin intra-fréquence ou inter-fréquence pour la gestion de la mobilité.
- **LTE – NR Voisins** : En mode NSA, une cellule LTE peut être configurée pour avoir une cellule NR comme voisin EN-DC. Cette configuration est effectuée via une procédure d'ajout de nœud secondaire avec X2 setup pour la cellule SCG primaire. Cette configuration permet une gestion efficace de la mobilité des utilisateurs entre les réseaux 4G et 5G.
- **NR - NR Voisins** : La relation de voisinage entre les cellules NR peut être utilisée pour changer la cellule SCG primaire. Cette modification de la cellule SCG primaire peut être intra ou inter gNB. En tant que ligne directrice de planification de réseau, il est recommandé de définir au moins une relation de voisinage avec les secteurs NR gNB adjacents.

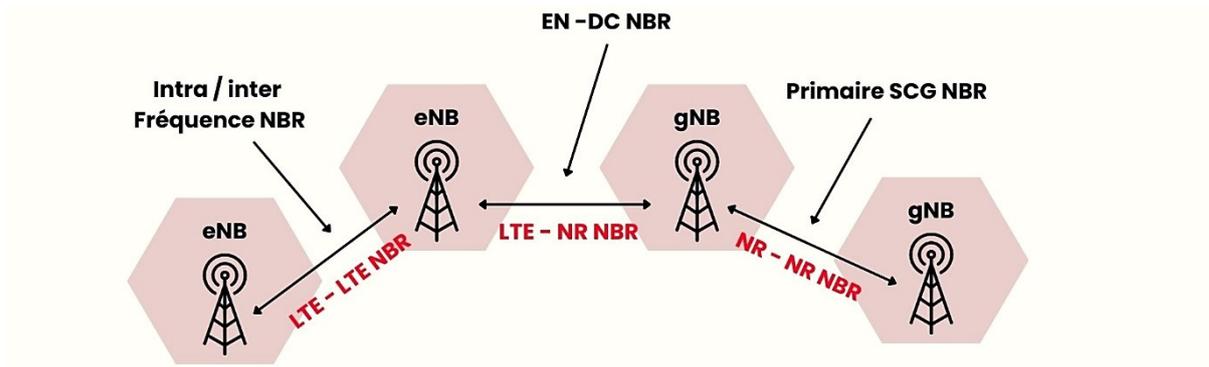


Figure II.18 : Relation de voisinage pour le déploiement en mode non autonome (NSA) 5G [32].

II.8.3 Planification et la gestion des voisins

Au premier niveau, les relations de voisinage (NBRs) peuvent être générées manuellement ou à l'aide d'outils de planification RF. Lors de la définition des relations de voisinage, l'ingénieur de planification doit effectuer une vérification des identifiants de cellule physique pour les voisins adjacents afin d'éviter les collisions et les confusions d'identifiants de cellule physique (PCI). Ces situations peuvent avoir un impact sur les KPI de transfert et de main-d'œuvre du réseau. Il est donc important de suivre des directives générales pour assurer une planification et une gestion appropriées des voisins dans un réseau sans fil.

Pour établir le premier niveau de la relation NBRs, il est possible de le provisionner dès la configuration initiale du système. Certains systèmes permettent également de scanner les réseaux environnants (en particulier les petites cellules) afin d'obtenir les informations NBRs des cellules déjà en service grâce à la découverte des informations de diffusion. Une fois le système en fonctionnement, les relations NBRs supplémentaires peuvent être ajoutées grâce à des procédures de mise à jour de configuration eNB et d'ANR assistées par l'UE via le protocole X2AP [32].

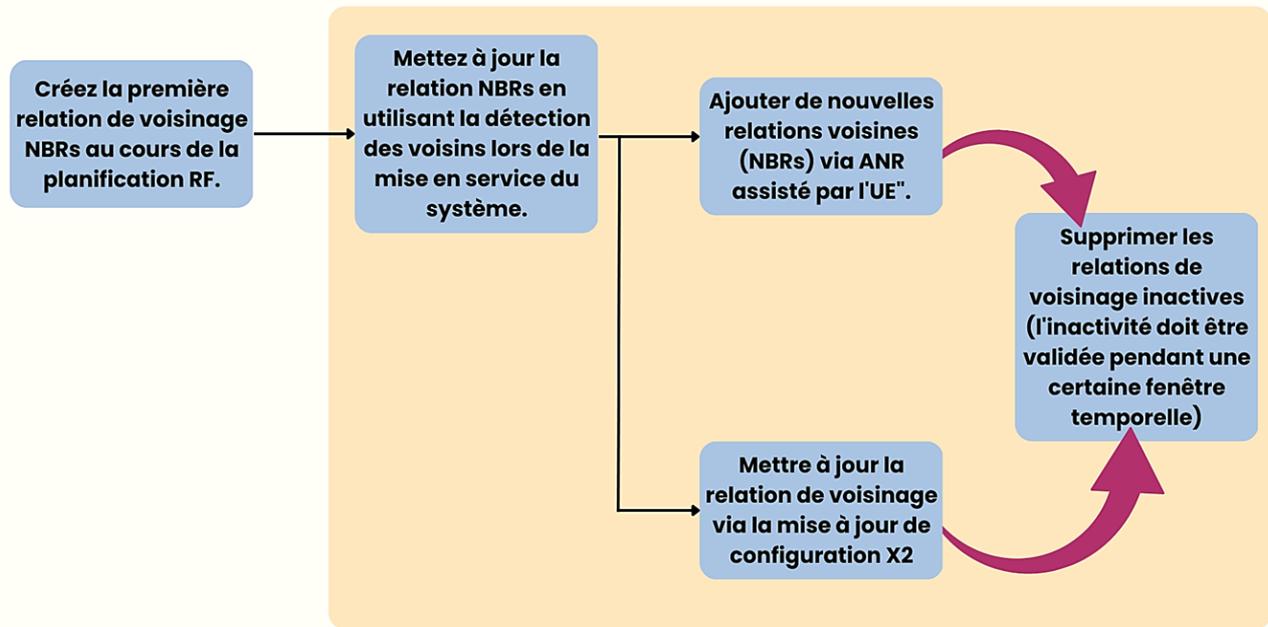


Figure II.19 : Gestion des relations de voisinage (NBR).

L'ANR assistée par l'UE permet à la SON de peupler la relation NBRs en se basant sur les rapports de mesure fournis par l'UE. Lorsque l'UE signale un identifiant de cellule physique (PCI), la fonction SON vérifie si cet identifiant est présent dans la table de relation NBRs. Si ce n'est pas le cas, elle peut demander à l'UE de signaler l'identifiant de cellule globale (CGI), où l'UE lit les informations SIB#1 de la cellule voisine et les signale à la station de base de service. L'ANR assistée par l'UE peut être configurée en fonction d'un événement de mesure ou être périodique, la périodicité pouvant être définie par l'opérateur car cela peut avoir un impact sur les KPIs moyens de débit de la cellule globale, car à chaque fois que l'UE effectue une mesure et décode les informations des cellules voisines, il doit entrer en période de lacune de mesure et la planification des données pendant la période de lacune n'est pas autorisée [32], Alors si la périodicité de l'ANR assistée par l'UE est trop fréquente, alors l'UE entrera en période de lacune de mesure très fréquemment, ce qui pourrait affecter l'expérience utilisateur. L'ANR assistée par l'UE peut ne pas être possible pour les déploiements NSA (non stand-alone) car dans la configuration EN-DC, la station de base NR (Nouvelle Radio) ne diffuse pas les informations SIB#1, ce qui signifie que l'UE ne sera pas en mesure de décoder et de signaler les informations CGI. De plus, si la station de base NR n'est pas connectée au MME (Mobility Management Entity) mais seulement connectée au plan utilisateur, alors les informations de couche de transport pour mettre en place X2 entre LTE (Long Term Evolution) et NR ne seront pas disponibles via la procédure de découverte de tunnel [32].

En outre, les déploiements de réseaux 5G étant prévus pour être très denses, il est possible que certaines stations de base se retrouvent hors service puis reprennent du service. Par conséquent, il est nécessaire de disposer d'une relation NBR dynamique, ce qui implique que les NBR qui ne sont pas utilisées pendant une longue période doivent être supprimées et que de nouveaux NBR signalés via l'ANR assistée par l'UE et l'ANR assistée par X2 doivent être ajoutés pour maintenir une table de relation NBR propre.

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré l'architecture de la 5G, les modèles de propagation, les zones de distribution et le bilan de liaison. L'architecture de la 5G est caractérisée par une infrastructure réseau complexe, comprenant des stations de base, des unités centrales, des réseaux de transport à haut débit et des centres de données.

Ces éléments fonctionnent ensemble pour offrir une connectivité rapide et fiable. Les modèles de propagation sont utilisés pour étudier la manière dont les ondes radio se propagent dans l'environnement. Ils prennent en compte des facteurs tels que la distance, les obstacles et le terrain pour estimer la qualité du signal. Les zones de distribution déterminent la portée et la couverture d'un réseau 5G. Elles sont classées en zones macro, micro, pico et en fonction de la taille et de la densité du trafic. Cela permet d'optimiser l'utilisation des ressources et d'offrir une expérience utilisateur optimale. Le bilan de liaison évalue les pertes de signal et les gains de puissance tout au long de la transmission, de la station de base à l'appareil utilisateur. Il permet d'évaluer la qualité de la connexion et d'optimiser les performances du réseau.

Dans le troisième chapitre nous envisagerons l'analyse de résultats de simulation.

Simulation et résultats

III. Chapitre 3 : Simulation et résultats

III.1 Introduction

Le déploiement des réseaux 5G a apporté de nouveaux défis et opportunités pour les opérateurs de réseaux mobiles (MNOs). Avec la demande croissante de services mobiles à haute vitesse et fiables, il est crucial de planifier et d'optimiser l'infrastructure du réseau pour répondre à ces exigences. Dans ce contexte, les outils de simulation tels que la nouvelle version Atoll 3.4.0 qui support la planification d'un réseau d'une cinquième génération sont devenus essentiels pour la planification et l'optimisation [33].

Ce chapitre présente la méthodologie de simulation et les résultats d'une étude menée avec Atoll pour la planification des réseaux 5G NR. L'objectif de l'étude était d'évaluer les performances du réseau dans différents scénarios et d'identifier les domaines d'amélioration. Les simulations ont été réalisées en utilisant différents modèles de propagation, des motifs de trafic variés et des stratégies de planification de capacité [33].

Les caractéristiques clés d'Atoll ainsi que les paramètres configurés relatifs au calcul radio, aux modèles de propagation, à la planification du trafic et de la capacité pour les réseaux 5G NR. Ces configurations sont utilisées pour les études menées dans les chapitres précédents et doivent être considérées en permanence, sauf mention contraire. Il convient de souligner que la majorité des informations présentées dans ce chapitre ont été recueillies à partir du manuel d'utilisation d'Atoll [34], du guide de référence technique d'Atoll [35], du manuel d'utilisation d'Aster [36] et du guide de référence technique d'Aster [37].

III.2 Outil de planification d'Atoll pour les réseaux 5G NR

Atoll est une plateforme de la société Forsk, destinée à la conception et à l'optimisation de réseaux sans fil, qui prend en charge une large gamme de technologies d'accès radio telles que 5G NR, LTE, NB-IoT, UMTS, GSM, CDMA ainsi que les dernières avancées technologiques telles que MIMO, le Beamforming 3D et la propagation mmWave. Cette plateforme peut fournir un cadre aux opérateurs et aux fournisseurs pour la conception, l'optimisation et la planification de leurs réseaux, alors que la technologie continue d'évoluer et que les utilisateurs exigent des services de plus en plus performants.

Un logiciel de simulation qui exploite différentes données en entrée pour définir le modèle de propagation, le type d'antennes, les caractéristiques du site et bien plus encore. Une fois le réseau déployé, Atoll offre la possibilité de réaliser de multiples prédictions, telles que la capacité

de la cellule, la couverture par niveau de champ, la couverture par émetteur, l'étude du trafic, la zone de recouvrement, la couverture par niveau de C/I et le débit moyen. Ces prédictions sont ensuite utilisées pour évaluer les performances du réseau et optimiser sa conception afin d'améliorer l'expérience utilisateur.

Parmi ses caractéristiques :

- Des options avancées pour la conception de réseaux : des capacités de calcul performantes, une planification automatique des codes/fréquences, un support de différentes technologies d'accès et un support de réseaux multi-technologies.
- Une architecture flexible et ouverte : un support de formats standards de fichiers et de bases de données provenant d'autres logiciels.
- Atoll se compose d'un noyau principal et de modules optionnels tels que le module LTE et le module de calibration de modèles de propagation.

La figure suivante montre son interface de démarrage :

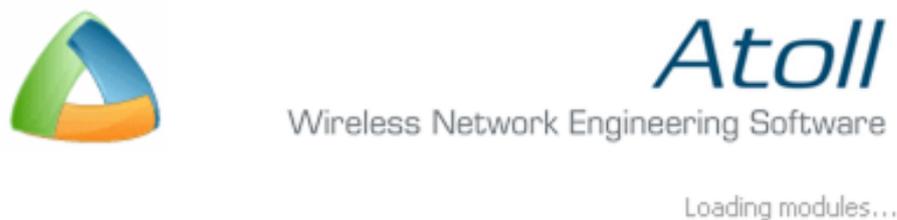


Figure III.1 : Interface de démarrage du logiciel ATOLL.

III.2.1 Etapes de planification d'un réseau avec le logiciel Atoll

- **Pré-planification** : C'est la première étape qui consiste à préparer la planification réelle du réseau, elle consiste à faire la collecte des informations sur la région (mode de vie, les heures d'occupation, la population ...). Et la définition de Cartes topographique, la zone géographique à planifier, les informations de l'abonné, le nombre d'utilisateurs... [38]
- **Planification** : c'est la deuxième étape qui a pour but d'avoir une bonne couverture pour le réseau et ceci en trouvant les emplacements pour les gNodeB. A la fin de cette étape, on aura la couverture finale détaillée et le plan de capacité [38].
- **Vérification** : cette étape vient après l'installation du site, elle a pour but d'assurer un fonctionnement optimal du réseau, et ceci grâce à des réglages de paramètres pour

corriger les erreurs qui auraient pu survenir lors de l'installation et aussi faire des tests Drive qui est une méthode d'essai pour vérifier la fonctionnalité du réseau soit en couverture capacité soit en exigences de qualité [38].

- **Optimisation** : c'est la phase finale qui permet de vérifier la satisfaction des clients et de résoudre leurs plaintes [38].

III.3 Démarrage d'un projet ATOLL

III.3.1 Présentation de l'interface utilisateur d'Atoll

Avant de commencer un nouveau projet avec Atoll, il est important d'avoir un modèle contenant les informations nécessaires sur les données et la structure des dossiers liées à la technologie utilisée. Ensuite, une fois le projet lancé, les paramètres du réseau peuvent être ajustés en fonction des besoins spécifiques du projet. Atoll propose une variété de modèles préexistants pour faciliter cette étape initiale : 3GPP Multi-Rat, 3GPP2 Multi-Rat, 5G Multi-Rat, Backhaul, CDMA2000 1xRTT 1xEV-DO, GSM GPRS EDGE, LPWA, LTE, Microwave Radio Links, TD-SCDMA, UMTS HSPA, Wi-Fi, WiMax 802.16e.

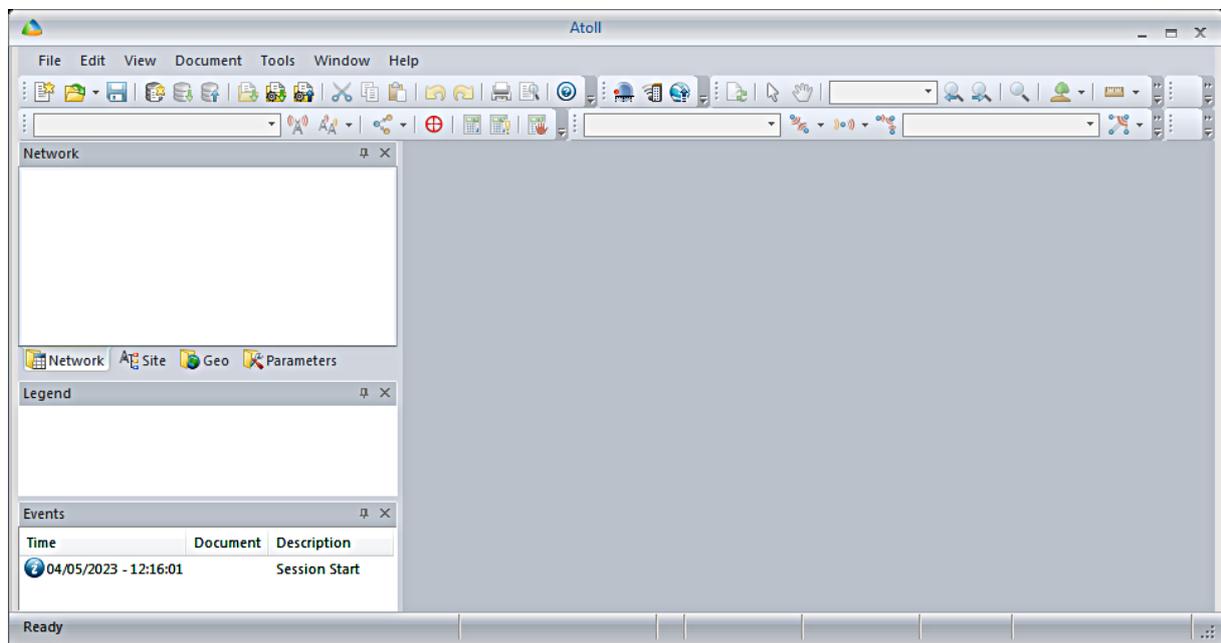


Figure III.2 : Milieu de travail situé dans l'atoll.

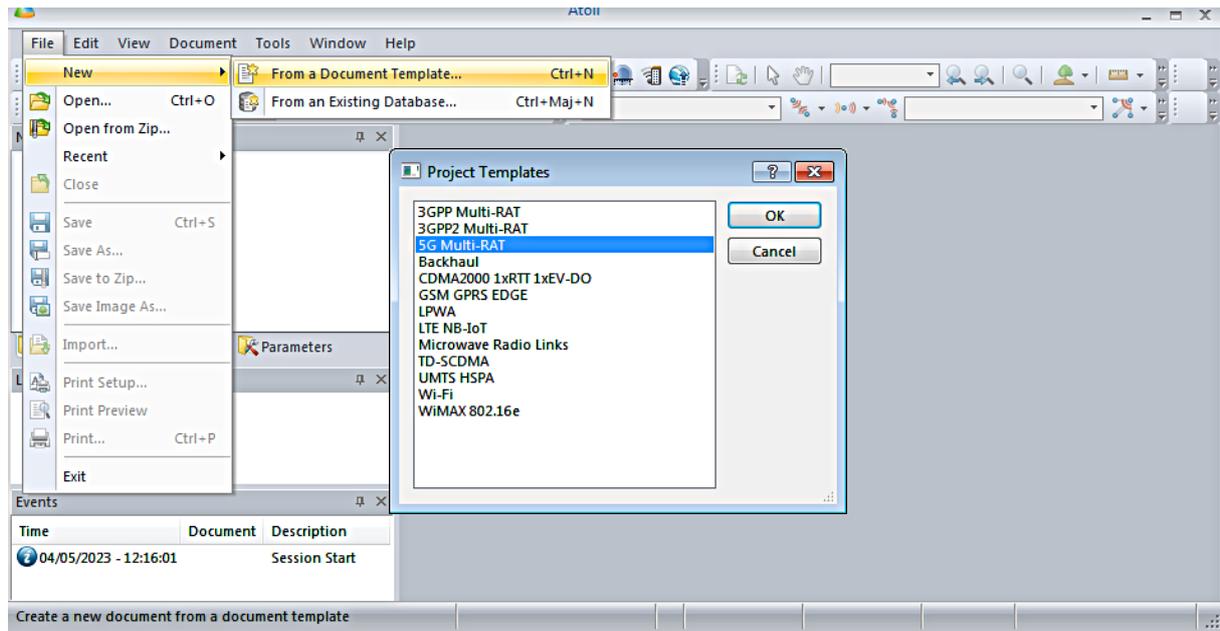


Figure III.3 : Les modèles Templates.

Il suffit de choisir le modèle adapté aux données à faire introduire au logiciel 5G Multi-Rat dans notre cas.

III.3.2 Importation de la carte et des coordonnées numériques

Dans le cadre de la planification d'un réseau 5G, la première étape consiste à importer la carte numérique de la zone à couvrir. Cette carte numérique est généralement constituée de trois parties clutter classes, height (altitudes) et les Vectors, dans notre cas, nous allons importer la carte numérique de la ville d'Oran. Cette carte est une composante essentielle pour pouvoir débiter la planification de la couverture et des performances du réseau 5G.

- **Clutter classes** : sont des grilles numériques qui incluent une représentation spatiale de la classification des terres ou de leur utilisation, avec un index de noms associé à chacune de ces classes (par exemple : mer, zone urbaine, forêt, etc.). Ces fichiers peuvent être générés à partir d'images satellites ou aériennes, ou encore à partir de cartes numérisées. Chaque pixel dans le fichier de classement des obstacles contient un code (parmi un maximum de 256 classes possibles) qui correspond à une classe d'obstacle ou à un certain type de sol utilisé ou couvert.

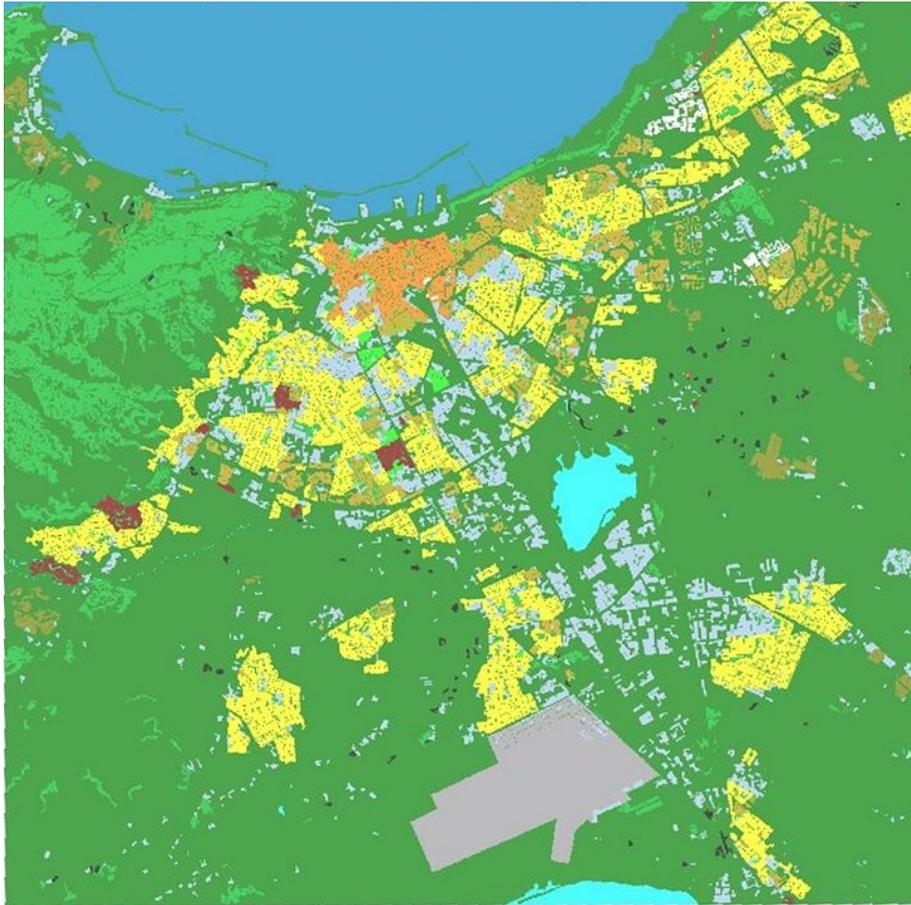


Figure III.4 : Clutter classes.

Ci-dessous se trouve une figure indiquant les correspondances entre les codes et les noms des différentes classes d'encombrement.



- **Height (altitudes)** : Le dossier d'altitudes est un ensemble de données qui fournit des informations sur l'élévation des terrains par rapport au niveau de la mer. Ces données sont utilisées pour le calcul du niveau de signal dans une zone donnée, en prenant également en compte l'élévation des bâtiments dans cette zone.
- **Digital Terrain Model (DTM)** : Décrit l'élévation du sol par rapport au niveau de la mer. Il est automatiquement pris en compte par le modèle de propagation lors des calculs. Dans le fichier utilisé, chaque pixel d'image stocke la valeur de l'élévation du terrain, avec une plage allant de 0 à 1000 mètres.

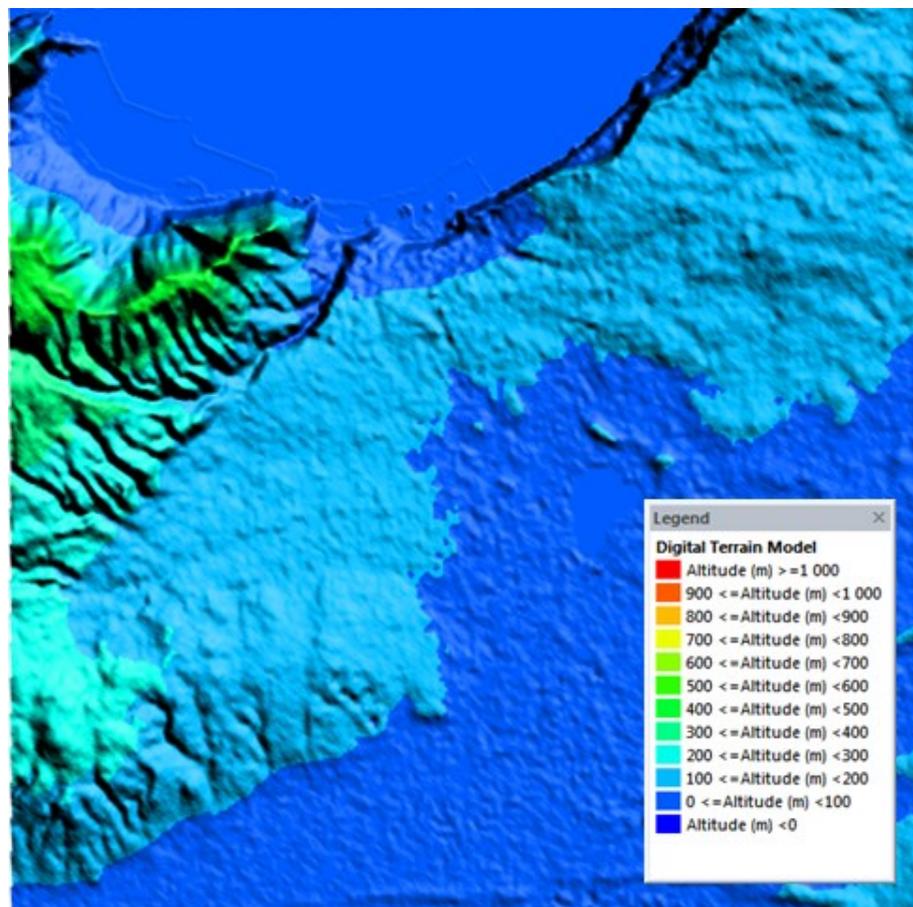


Figure III.5 : Digital Terrain Model D'ORAN.

- **Vectors** : Le fichier contient des informations pour cartographier les différents types de chemins dans une zone donnée, tels que les routes principales et secondaires, les rues, les aéroports, les autoroutes et les voies ferrées.



Figure III.6 : Vectors.

La *figure III.7* montre les étapes de l'importation de la carte D'ORAN dans l'interface du logiciel atoll.

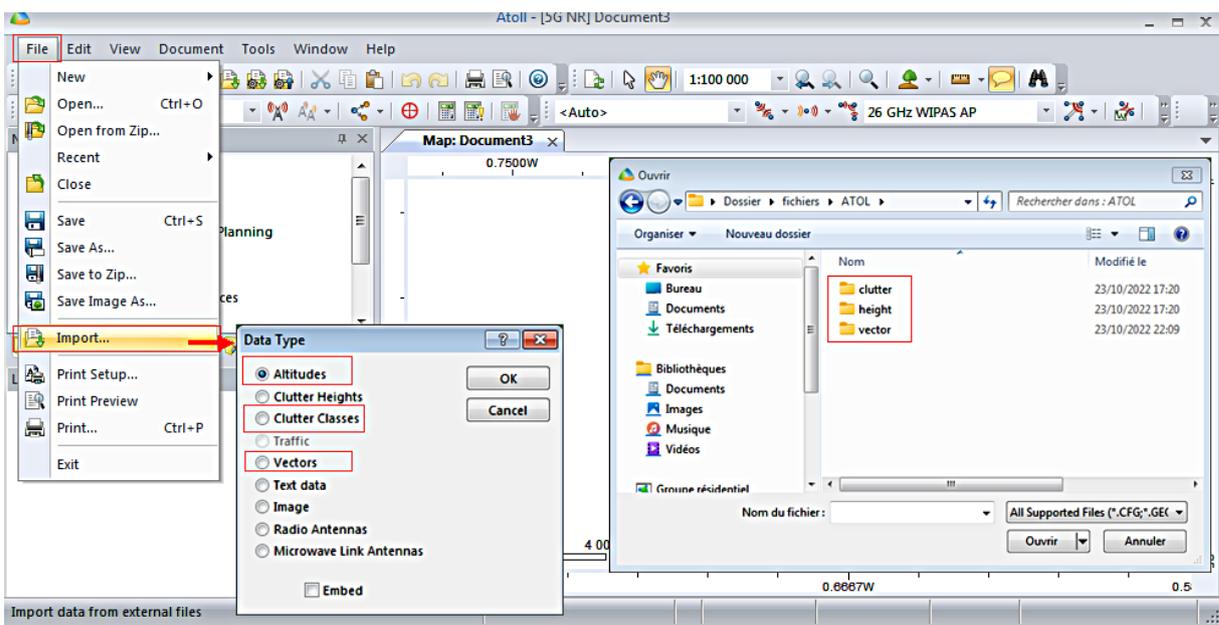


Figure III.8 : Importation de la carte D'ORAN.

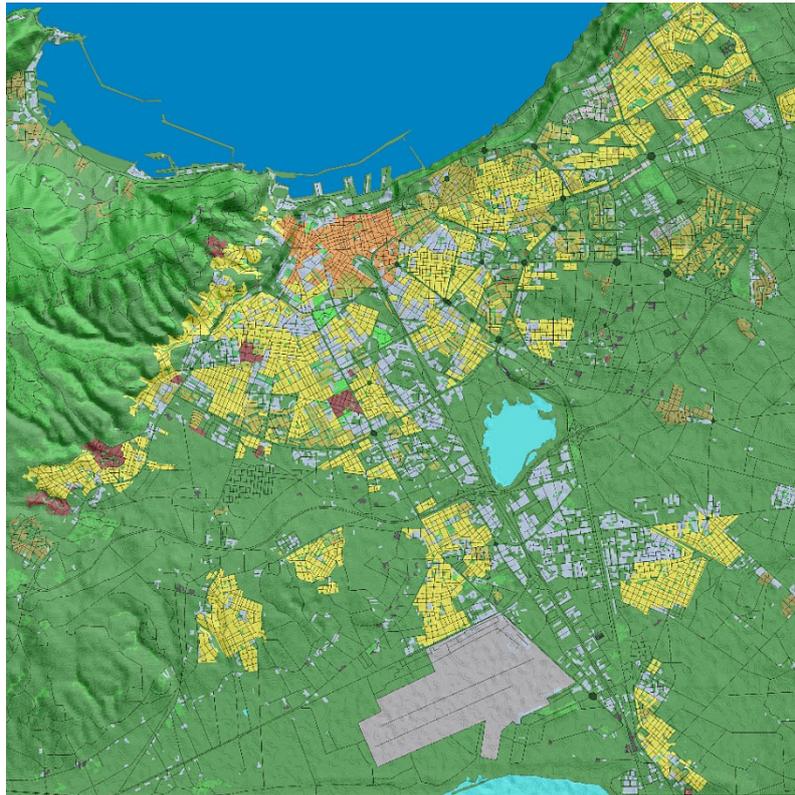


Figure III.9 : Carte d'ORAN

- Importation des coordonnées géographiques : sont un système de référence qui permet de définir une position sur la surface de la Terre en utilisant des mesures angulaires. Ce système utilise généralement la latitude et la longitude pour déterminer les coordonnées d'un point donné, et peut être utilisé pour localiser n'importe quel endroit sur la planète. L'étude se déroule dans une zone 226 km² du d'Oran (Algérie) Le système de coordonnées utilisé est la zone WGS 84, Nord Sahara 1959 / UTM zone 31N.

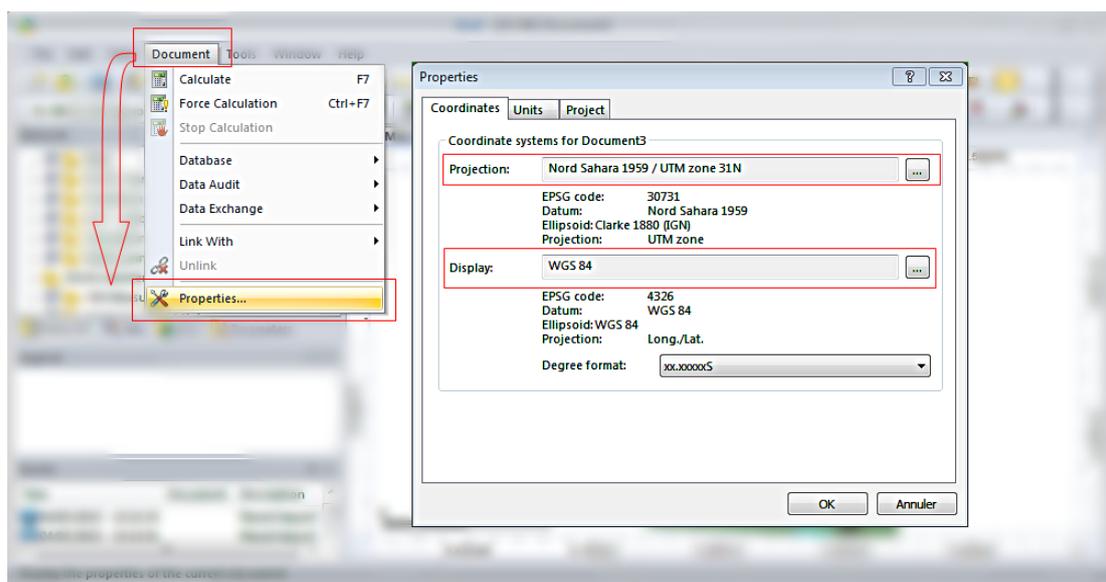


Figure III.10 : Importation des coordonnées géographiques pour ORAN.

III.4 Importation des sites et des transmetteur (gNB)

III.4.1 Tours cellulaires 5G(transmetteur)

Les tours cellulaires 5G seront radicalement différentes des technologies précédentes. Elles sont beaucoup plus avancées et utilisent des fréquences beaucoup plus élevées et plus intenses. Les fréquences millimétriques qu'elles utilisent peuvent transporter d'énormes quantités de données, mais elles rencontrent plus de difficultés à traverser des obstacles tels que les murs, les arbres et même la pluie.

Dans notre projet on a utilisé le même emplacement des sites déjà utilisés dans la précédente génération avec des modifications, on a ajouté des nouveaux sites et modifié l'emplacement des autres parce que les tours de téléphonie cellulaire 5G sont beaucoup plus avancées et fonctionnent différemment des générations précédentes de réseaux cellulaires. En fait, les tours cellulaires de la 3G ou bien la 4G ne transmettront pas de signaux 5G. De nouveaux émetteurs 5G devront être installés sur les anciennes tours cellulaires.

Et parce que les fréquences de cette nouvelle génération sont beaucoup plus élevées que celles des générations précédentes, les longueurs d'onde sont beaucoup plus courtes. Ces ondes plus courtes (de l'ordre du millimètre) transportent plus de données, mais ne se déplacent pas aussi bien à travers des obstacles tels que les murs, les arbres et la pluie. En raison de cela, nous devons avoir plus de ces mini-tours que les anciennes générations.

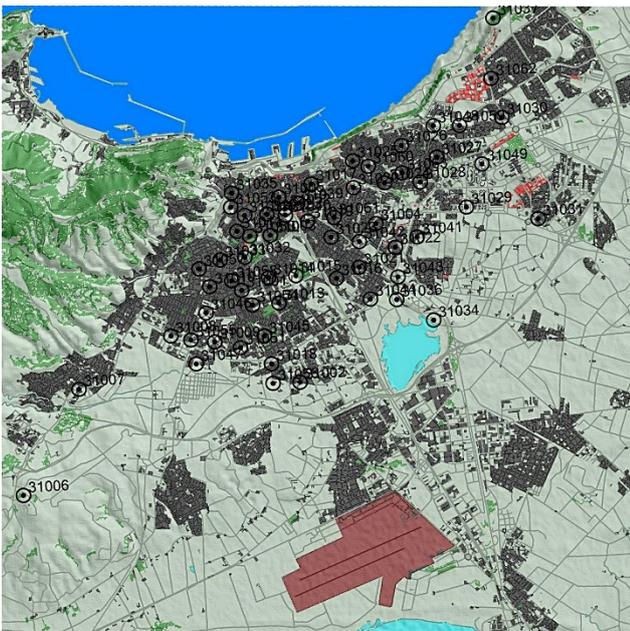


Figure III.11 : Anciennes génération 63 sites

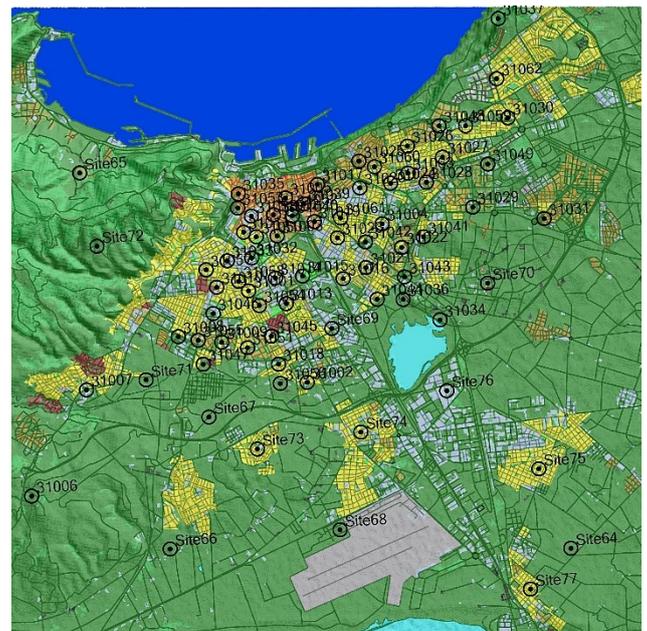


Figure III.12 : 5G 77 sites

III.4.2 Les paramètres de la cellule

Pour atteindre des débits en gb/s la figure ci-dessous présente un exemple de configuration du modèle de station gNB 5G NR avec les paramètres nécessaires :

- La bande de fréquence : 400 MHz - NR-ARFCN 2232499 - 37.2 GHz
- Puissance maximale sur full bandwidth : 100 dBm.

Frequency band	n260
Carrier	400 MHz - NR-ARFCN 2232499
Max power (dBm)	100
SSS EPRE (dBm)	15
PSS EPRE offset / SSS (dB)	0
Layer	Macro layer
Cell type	PCell;SCell (DL);SCell (UL)
Min SS-RSRP (dBm)	-140
SS/PBCH numerology	4(240kHz)
SS/PBCH periodicity	10 ms
SS/PBCH OFDM symbols	{4,8,16,20}+28n [Lmax=64]
PDCCH overhead (OFDM symbols)	4
Traffic numerology	3(120kHz)
TDD DL OFDM symbols (%)	50
Radio equipment	5G NR Radio Equipment
Scheduler	Proportional Fair
Diversity support (DL)	Transmit Diversity;SU-MIMO;MU-MIMO
Diversity support (UL)	Receive Diversity;SU-MIMO;MU-MIMO
Number of MU-MIMO users (DL)	1
Number of MU-MIMO users (UL)	1
Number of users (DL)	/
Number of users (UL)	/
Traffic load (DL) (%)	100
Traffic load (UL) (%)	100
Max traffic load (DL) (%)	100
Max Traffic Load (UL) (%)	100
UL noise rise (dB)	0
Fractional power control factor	/
Number of required PRACH RSI	10
Max number of 4G/5G neighbors	16
Max number of inter-technology neighbors	16

Tableau III.1: Template de la station 5G NR.

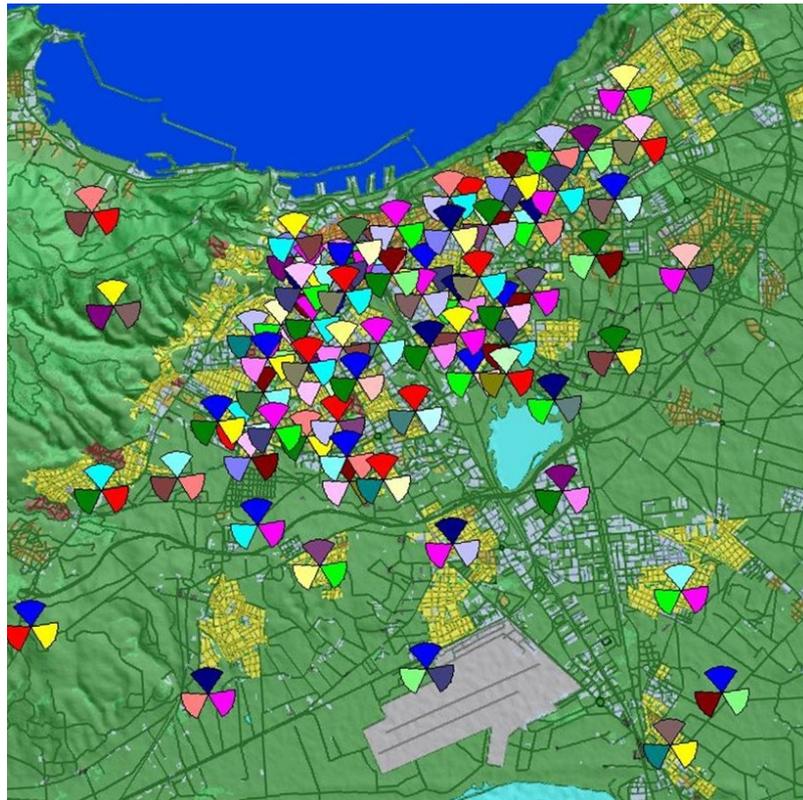


Figure III.13 : Réseau 5G NR ORAN.

Différents modèles de propagation ont été testés pour comprendre et comparer leurs capacités de couverture et le niveau du signal, Les modèles de propagation choisis pour l'étude étaient 3GPP 38.900 Propagation Model, Okumura-Hata, Microwave Propagation Model et Standard Propagation Model. La raison de choisir ces modèles était que, détours les modèles de propagation disponibles dans Atoll, se sont adaptés pour la 5G NR.

Les caractéristiques techniques de type de l'antenne utilisé et qui doté de la fonctionnalité de beamforming et donné dans le tableau suivant

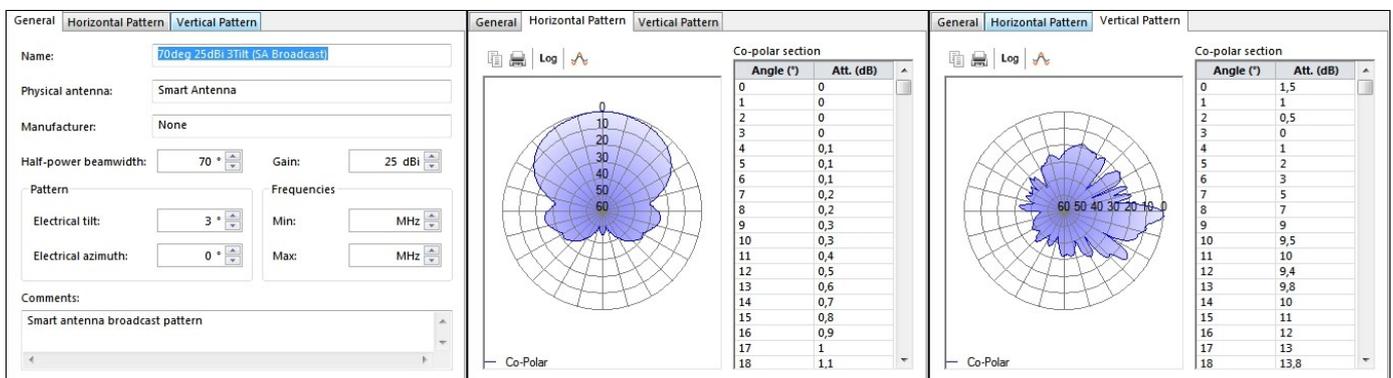


Figure III.14 : Caractéristiques techniques de type de l'antenne utilisé.

III.4.3 Comparaison de la surface de couverture des différents modèles de propagation

On a gardé les paramètres par défaut de chaque modèle de propagation donné par atoll et on a utilisé un radius de 5000 mètres :

<p>Main matrix Propagation model: Microwave Propagation Model</p> <p>Radius: 5 000 m</p> <p>Resolution: 5 m</p> <p>Available results: Display all matrices</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Transmitter</th> <th>Locked</th> <th>Valid</th> <th>Reason for ii</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31001_31001</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31004_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii	31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes		<p>Extended matrix Propagation model: (none)</p> <p>Radius: m</p> <p>Resolution: m</p> <p>Available results: Display all matrices</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Transmitter</th> <th>Locked</th> <th>Valid</th> <th>Reason for ii</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31001_31001</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31004_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii	31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes		<p>Main matrix Propagation model: Okumura-Hata</p> <p>Radius: 5 000 m</p> <p>Resolution: 5 m</p> <p>Available results: Display all matrices</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Transmitter</th> <th>Locked</th> <th>Valid</th> <th>Reason for ii</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31001_31001</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31004_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii	31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes		<p>Extended matrix Propagation model: (none)</p> <p>Radius: m</p> <p>Resolution: m</p> <p>Available results: Display all matrices</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Transmitter</th> <th>Locked</th> <th>Valid</th> <th>Reason for ii</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31001_31001</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31004_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii	31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes		<p>Main matrix Propagation model: Standard Propagation Model</p> <p>Radius: 5 000 m</p> <p>Resolution: 5 m</p> <p>Available results: Display all matrices</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Transmitter</th> <th>Locked</th> <th>Valid</th> <th>Reason for ii</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31001_31001</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31004_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii	31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes		<p>Extended matrix Propagation model: (none)</p> <p>Radius: m</p> <p>Resolution: m</p> <p>Available results: Display all matrices</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Transmitter</th> <th>Locked</th> <th>Valid</th> <th>Reason for ii</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>31001_31001</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31001_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31002_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_2</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31003_3</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> <tr><td>31004_1</td><td><input type="checkbox"/></td><td>Yes</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii	31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes		31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes		31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes	
Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii																																																																																																																																																																																																																																																																										
31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii																																																																																																																																																																																																																																																																										
31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii																																																																																																																																																																																																																																																																										
31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii																																																																																																																																																																																																																																																																										
31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii																																																																																																																																																																																																																																																																										
31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
Transmitter	Locked	Valid	Reason for ii																																																																																																																																																																																																																																																																										
31001_31001	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31001_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31002_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_2	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31003_3	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											
31004_1	<input type="checkbox"/>	Yes																																																																																																																																																																																																																																																																											

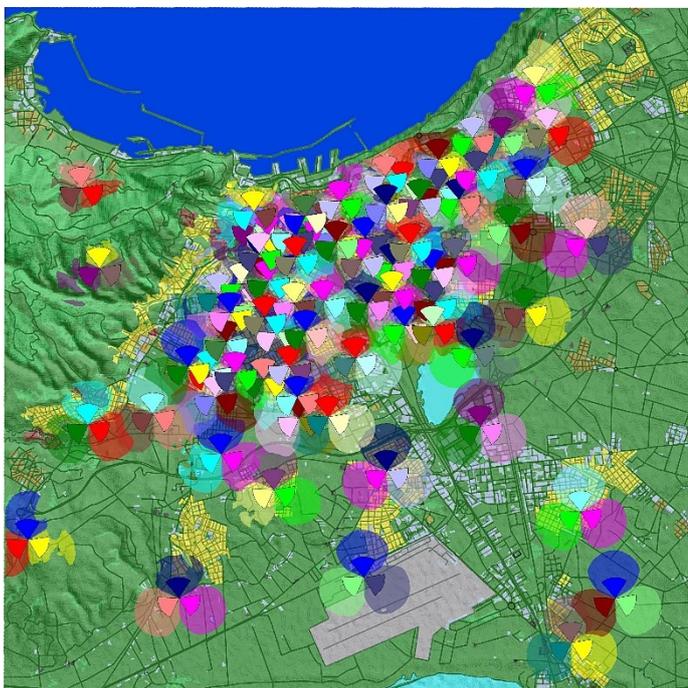


Figure III.16 : Couverture par transmetteurs Okumura-Hata

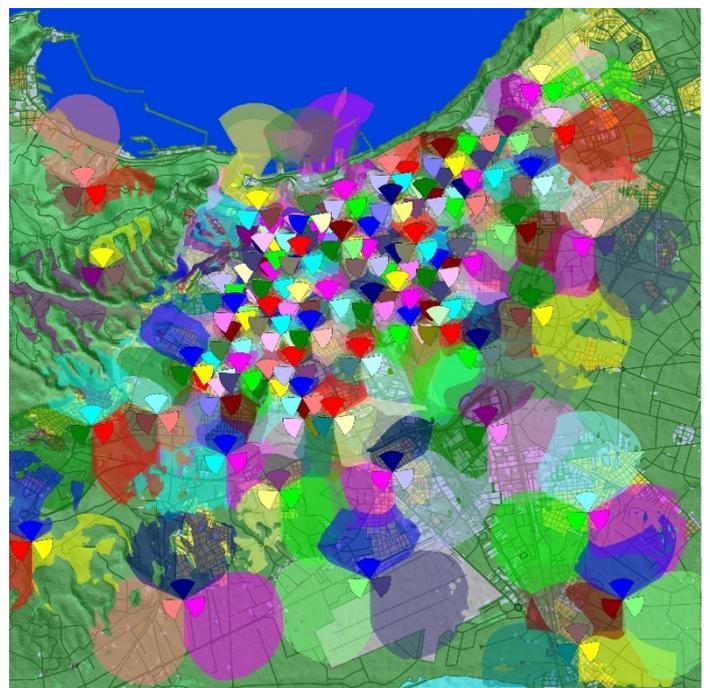


Figure III.15 : Couverture par transmetteurs Standard Propagation Model.

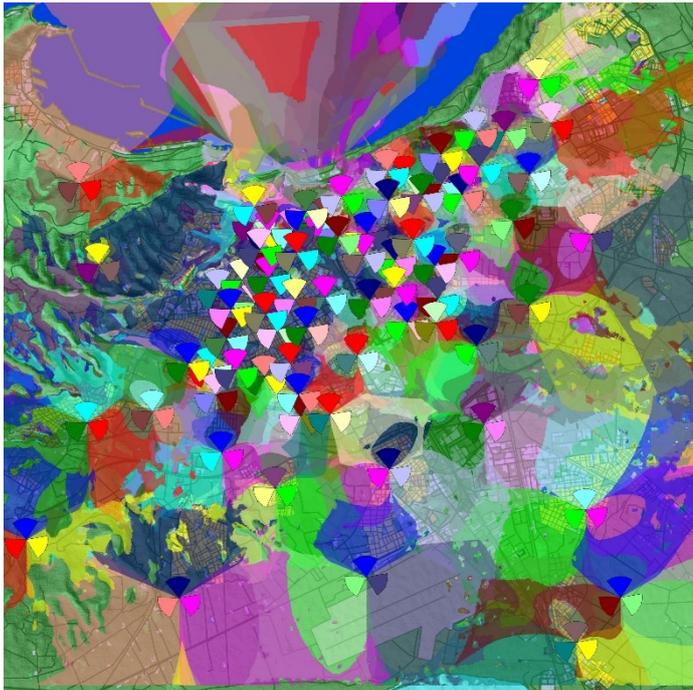


Figure III.17 : Couverture par transmetteurs Microwave Propagation Model.

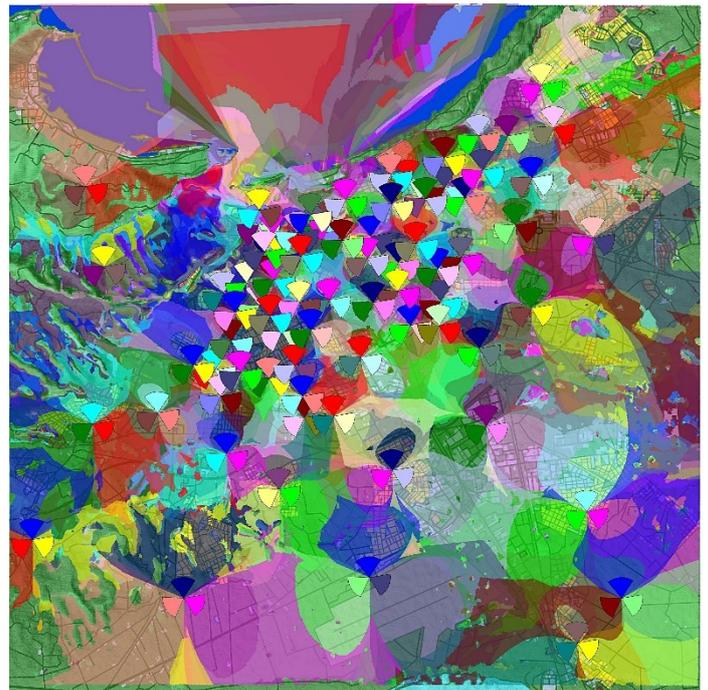


Figure III.18 : Couverture par transmetteurs 3GPP 38.900 Propagation Model.

Modèles de propagation	Surface couverte (km ²)
Okumura-Hata	78,21
Standard Propagation Model	147,85
Microwave Propagation Model	202,33
3GPP 38.900 Propagation Model	205,38

Chaque station gNB contient 3 antennes directionnelle de 70° et d'un gain de 25 dbi la surface couverte par chaque antenne et représenté par une couleur dans les cartes. D'après les résultats de prédiction et la comparaison les deux modèles de propagation Microwave et 3GPP 38.900 Propagation Model et couvre la surface la plus grand 202,33 km² et 205,38 km² de la surface totale 224 km².

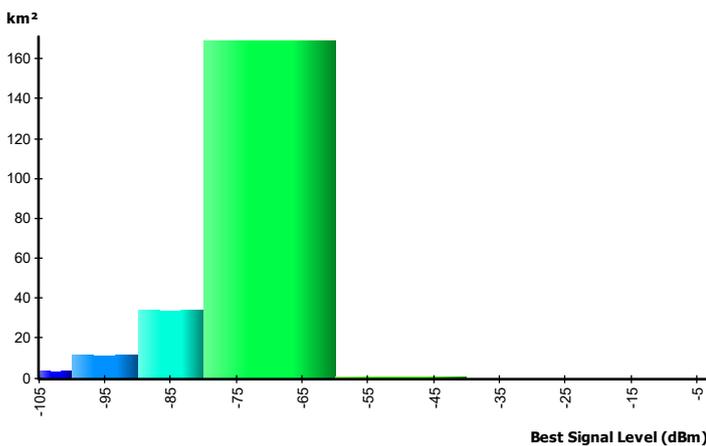
III.4.4 Niveau du signal en dbm avec variation du gain d'antenne

Si quelqu'un demande : "Quelle est la force de ton signal mobile en ce moment ?". Tu regardes probablement l'écran de ton smartphone et tu peux dire, par exemple : « 4 barres ». Nous utilisons ces barres pour décrire la puissance de notre signal mobile à différents endroits et à différents moments de la journée.

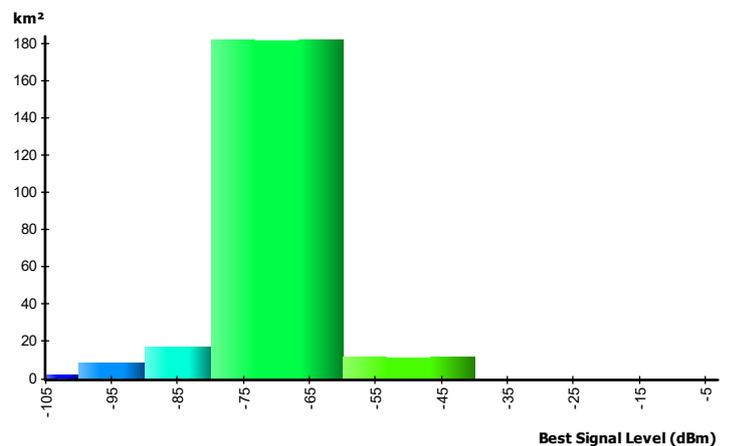
Il est important de comprendre que les barres que vous voyez sur l'écran ne constituent pas une unité de mesure, mais plutôt une représentation visuelle de cette mesure.

Un signal dans la plage entre -50 et -70 dBm est considéré comme bon, tandis qu'un signal en dessous de -100 dBm est un signe que votre connexion sera très instable (ou proche de zéro). Il est intéressant de noter que la puissance du signal double tous les 3 dBm. Cela signifie qu'un signal de -50 dBm est deux fois plus puissant qu'un signal de -53 dBm. Et un signal de -60 dBm sera 4 fois plus puissant qu'un signal de -66 dBm.

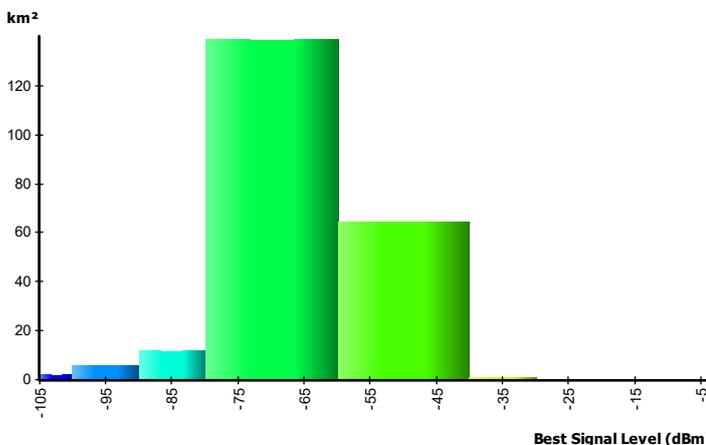
-30 ... -50	Excellent
-51 ... -60	Bon
-60 ... -70	Moyenne
-71 ... -85	Faible
< -100	Très faible



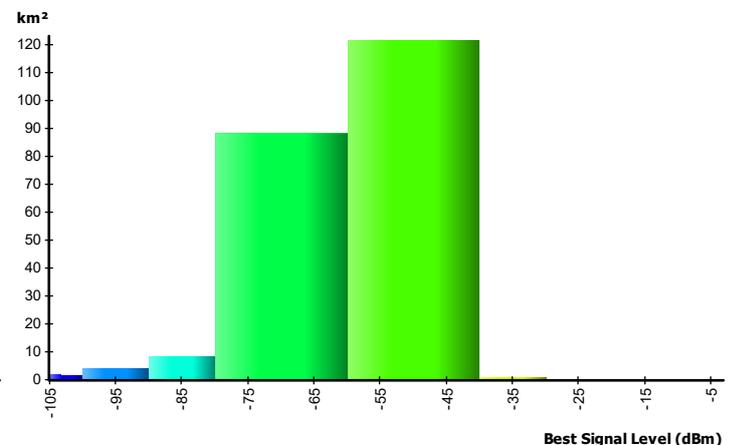
Gain = 10 dBi



Gain = 15 dBi



Gain = 20 dBi



Gain = 25 dBi

D'après les histogrammes on peut conclure qu'avec un gain de 25 dBi on obtient un meilleur niveau de signal entre -40 dbm et -60 dbm sur une surface de 120 km².

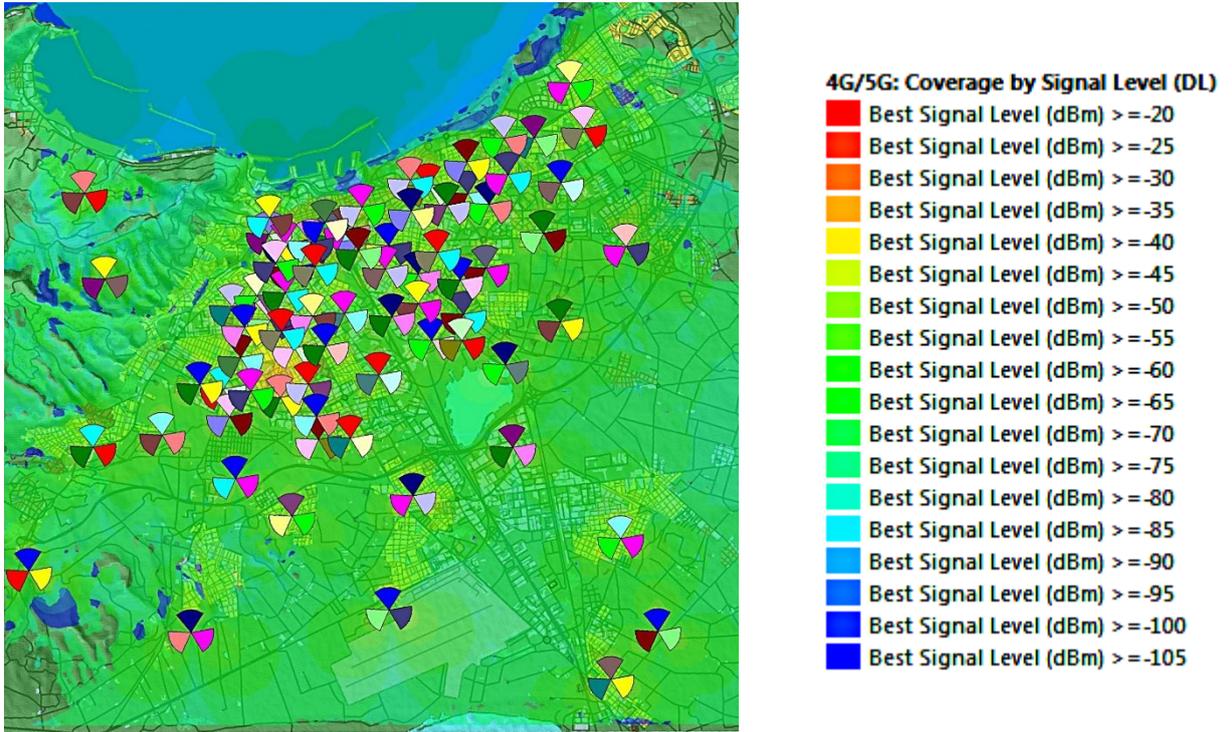


Figure III.19 : Couverture par niveau du signal.

La simulation présentée permet d'estimer et d'évaluer le niveau d'interférence présent dans ce réseau en se concentrant sur le rapport SINR (Signal to Interference Noise ratio).

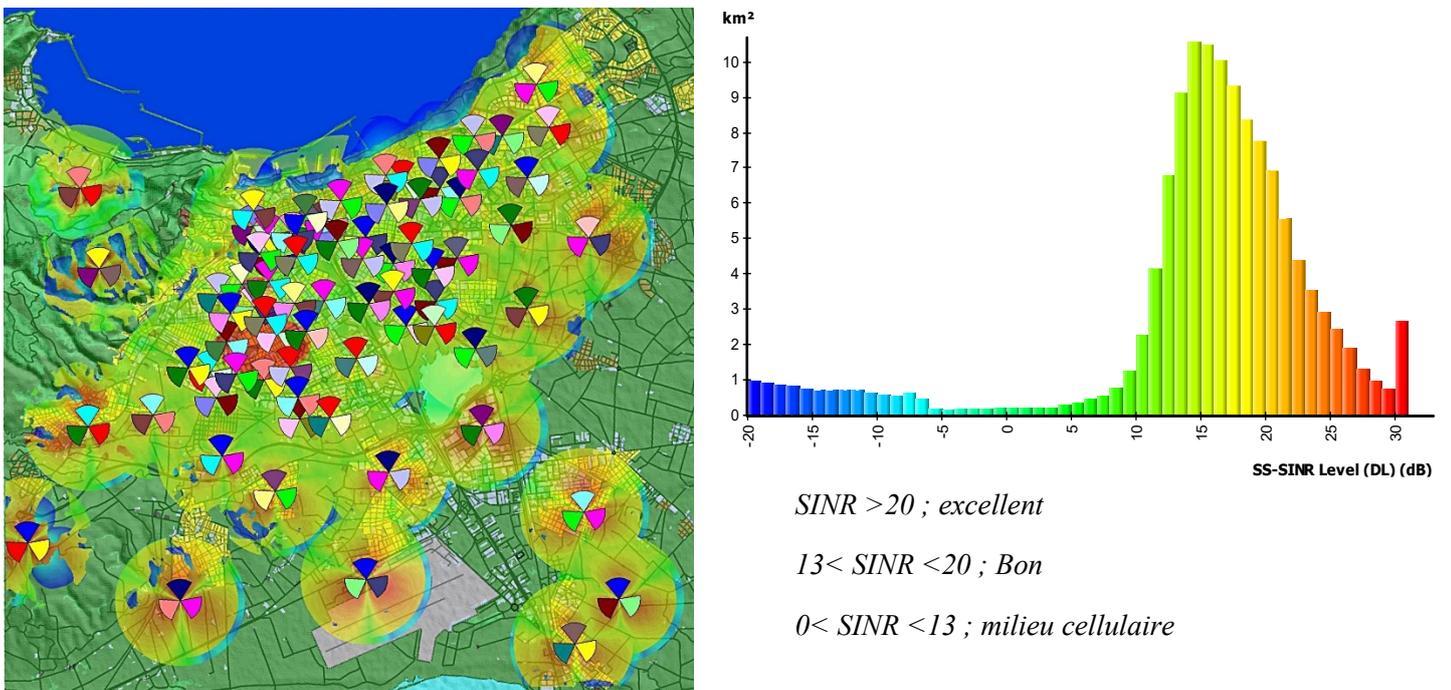


Figure III.20 : Simulation SINR.

III.4.5 Débit maximum atteindre en download

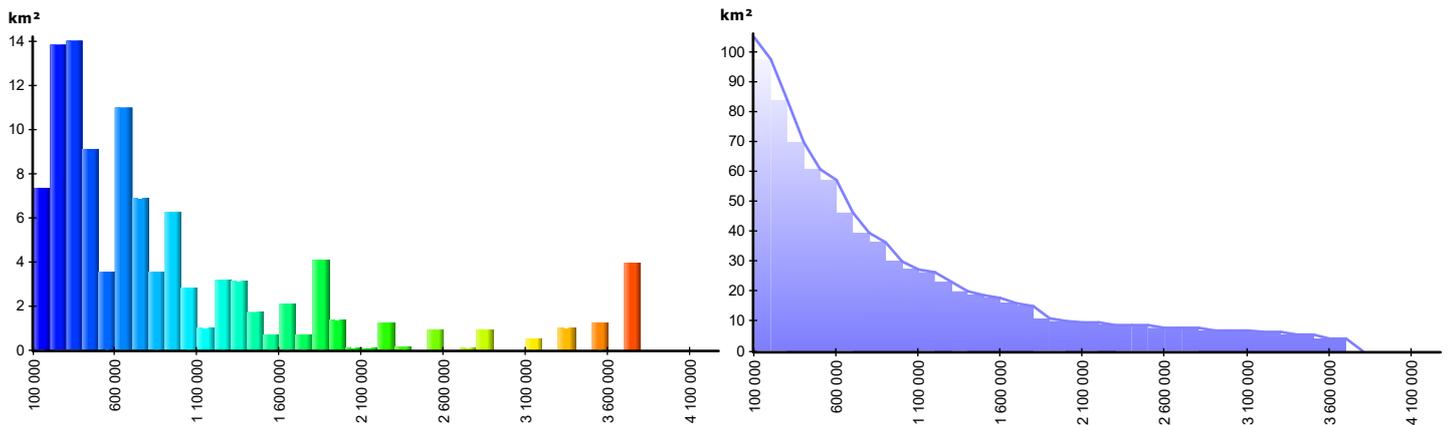


Figure III.21 : Peak RLC allocated bandwidth throughput kbps.

Peak RLC Débit (kbps)	Surface(km ²)	% du surface couvrais
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=3 750 000	3,7388	2,1609
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=2 000 000	11,8896	6,8717
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=1 000 000	57,2868	33,1093
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=950 000	61,1888	35,3645
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=900 000	70,4088	40,6933
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=850 000	71,7512	41,4691
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=800 000	77,736	44,9281
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=750 000	82,0624	47,4286
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=700 000	86,7512	50,1385
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=650 000	95,6824	55,3003
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=600 000	109,2636	63,1497
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=550 000	111,3068	64,3306
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=500 000	118,018	68,2094
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=450 000	126,764	73,2642
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=400 000	134,5236	77,7489
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=350 000	138,1096	79,8214
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=300 000	151,2028	87,3887
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=250 000	152,3744	88,0659
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=200 000	165,2612	95,5139
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=150 000	169,9152	98,2037
Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=100 000	173,0232	100

Tableau III.2 : Débit atteindre en kbps.

Résultats :

D'après les résultats de la prédiction on a réussi à atteindre une vitesse maximale en téléchargement de **3.75 gbs** sur une surface de 2% de la surface d'oran et une vitesse comprise entre **100 Mbps** et **450 Mbps** presque sur toute la surface.

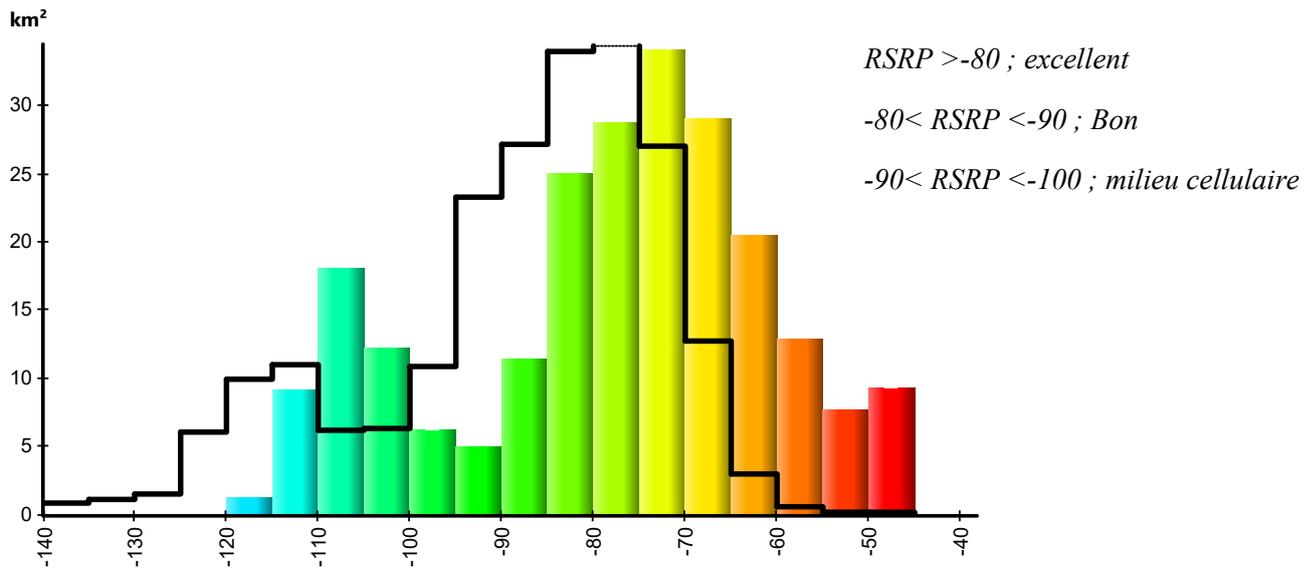


Figure III.22 : Niveau de distribution RSRP avec beamforming et sans beamforming.

L'histogramme montre la distribution du niveau RSRP (*Reference Signals Received Power*) (*indicateur de performance*) pour le cas avec beamforming, représenté par les barres en couleurs, et pour le cas sans beamforming, représenté par les lignes noires. Le beamforming a amélioré la couverture de 15%, permettant aux signaux de référence d'atteindre une plus grande distance.

III.5 ACP - Automatique Cell Planning

L'outils de Planification Automatique de Cellules (ACP) permettent aux opérateurs de trouver automatiquement les meilleures options pour planifier de nouveaux sites ou augmenter la capacité des sites existants.

Duration of optimisation: 13 min 46.64 s

Objective 5G NR SS-RSRP (Coverage >= 95.0%)

	Evaluation Zone
Initial	52.83%
Final	98.19%
Improvement	41.22%
Objective	ACHIEVED

Objective 5G NR PDSCH CINR (Max)

	Evaluation Zone
Initial	66.56%
Final	95.09%
Improvement	28.53%

Figure III.23 : Résultats du ACP.

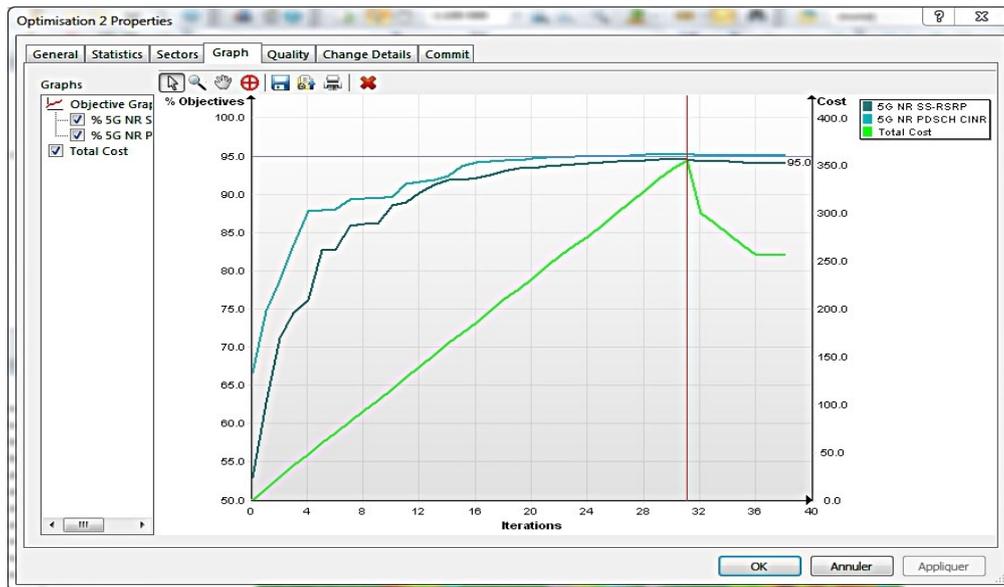


Figure III.24 : Changement en temps réel du RSRP et PDSCH.

Résultats :

Après l'utilisation de l'outil ACP on a réussi à améliorer le niveau du RSRP (*Reference Signals Received Power*) en passant d'une couverture de 52.83 % au 98.19 % (amélioration de 41.22%) et PDSCH (*Physical Downlink Shared Channel*) en passant d'une couverture de 66.56 % au 95.05% (amélioration de 28.53%)

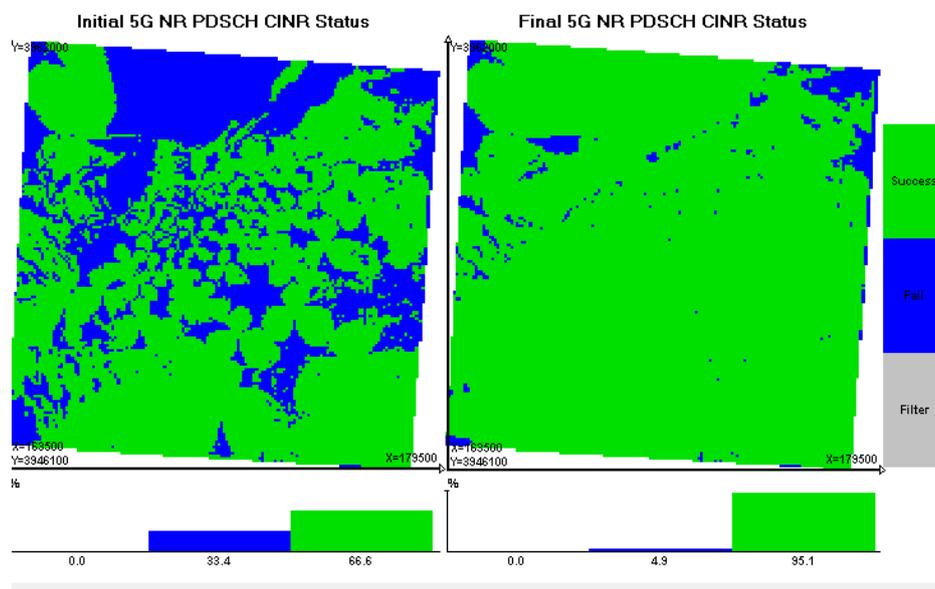


Figure III.25 : PDSCH avant et après ACP.

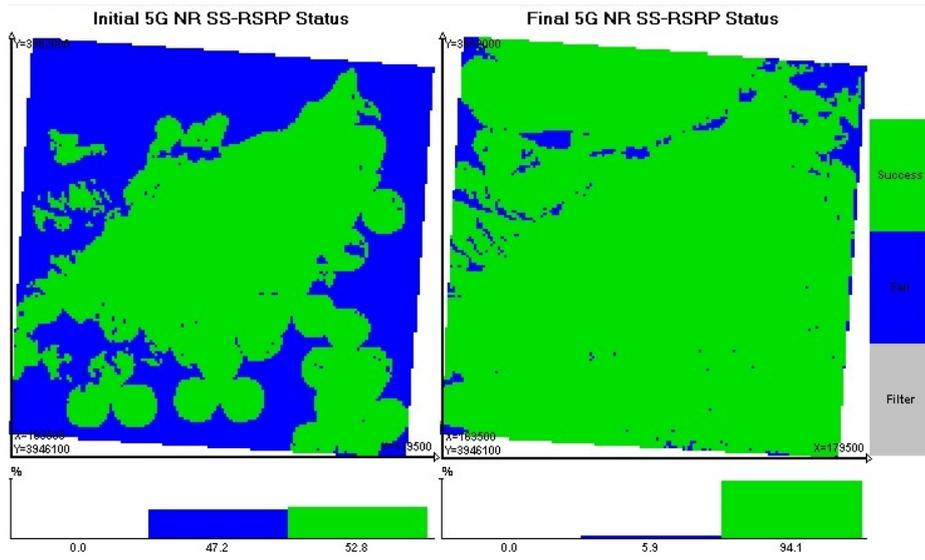


Figure III.26 : RSRP avant et après ACP

Les histogrammes ci-dessus montre le niveau du RSRP et PDSCH avant et après l'utilisation de ACP. Les barres en couleur après l'utilisation et les lignes noires avant.

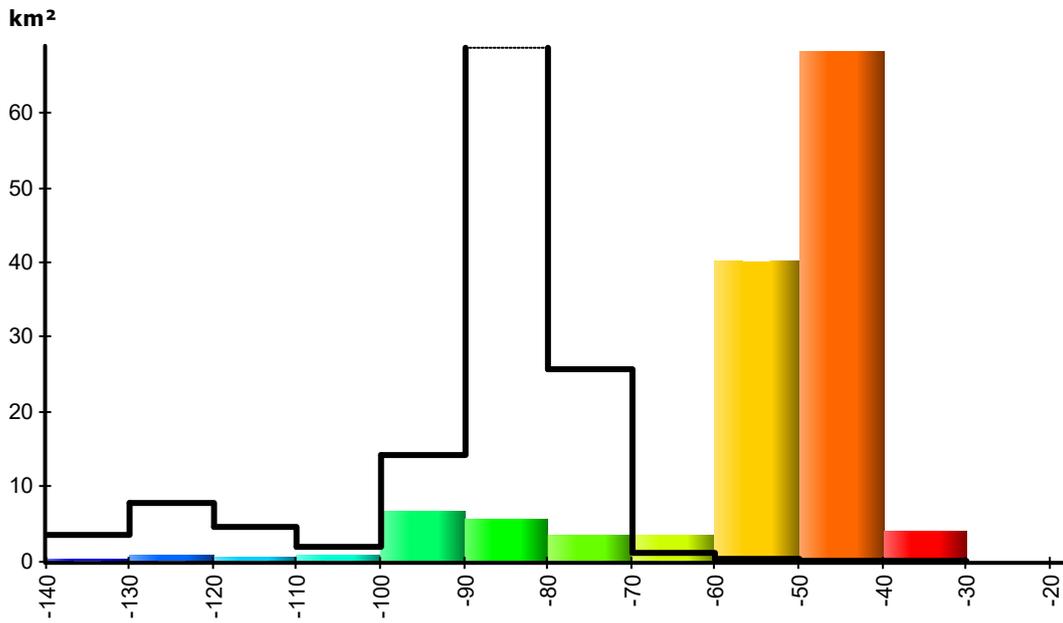


Figure III.27 : Distribution du niveau de signal RSRP avant et après ACP.

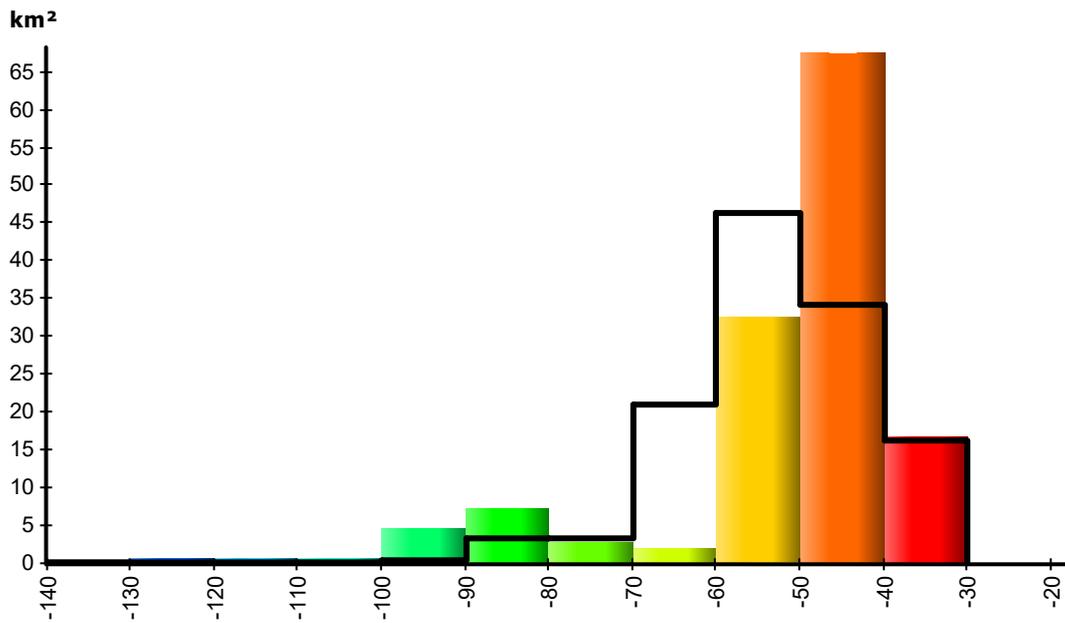


Figure III.28 : Distribution du niveau de PDSCH avant et après ACP.

III.6 Fonctionnalités massive MIMO sur la 5G

La fonction MIMO dans Atoll permet de modéliser et d'analyser les performances des systèmes et amélioration du débit

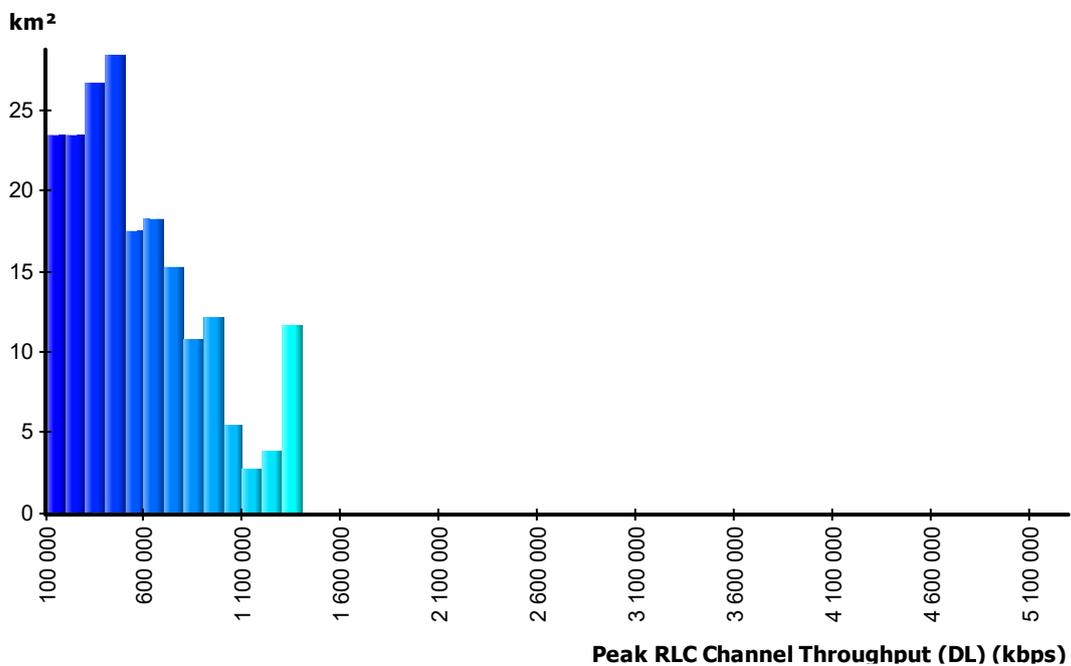


Figure III.29 : Débit sans utilisation du massive mimo.

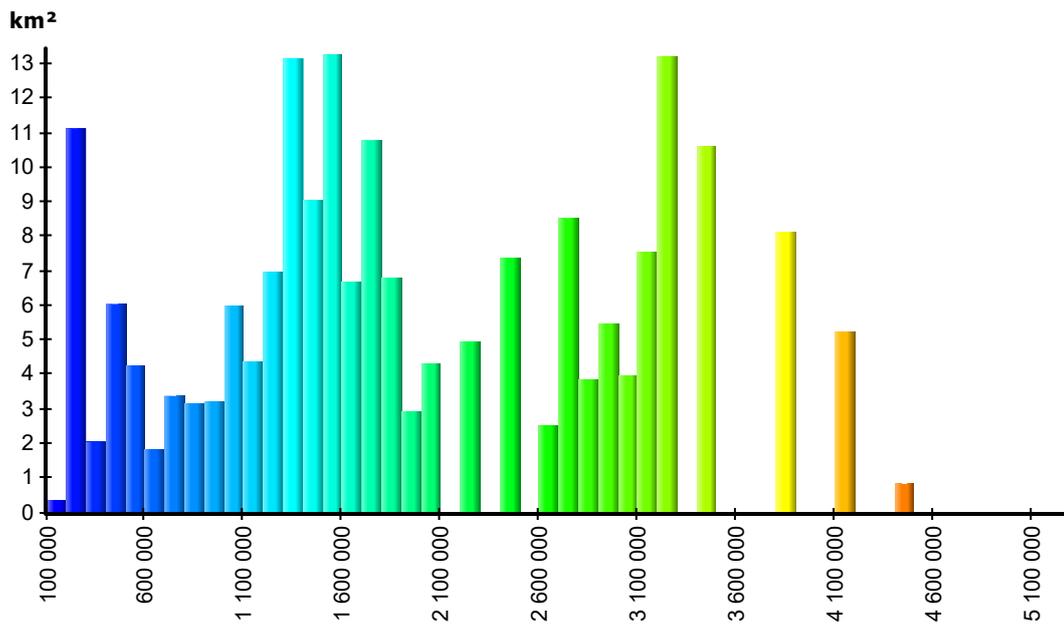


Figure III.30 : Débit avec utilisation du massive mimo.

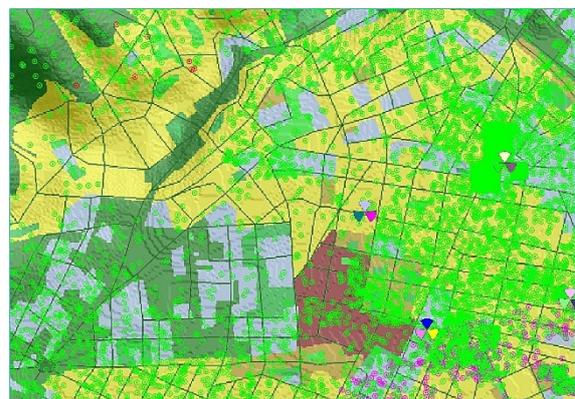
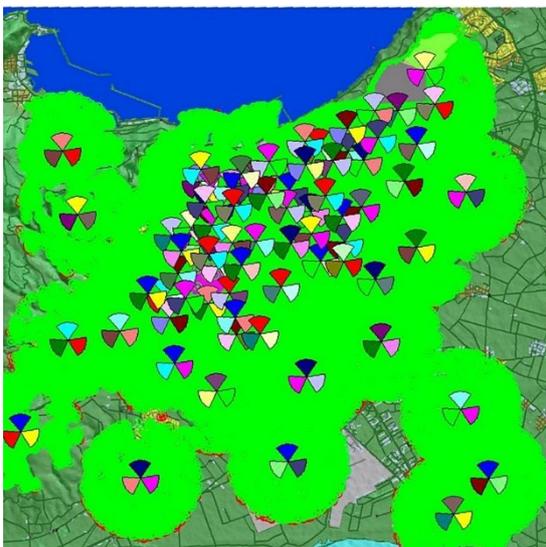
III.6.1 Simulation 3D avec mu-mimo et beamforming

Les figures suivantes représentent une simulation de la 5g avec et sans la technologie du mu mimo et le beamforming

La couleur verte représente des utilisateurs connecter en up Link et down link. ■

La couleur mauve représente une saturation des ressources. ■

La couleur rouge représente une zone hors couverture. ■



Zoom sur la carte

Figure III.31 : Simulation avec mimo et beamforming.

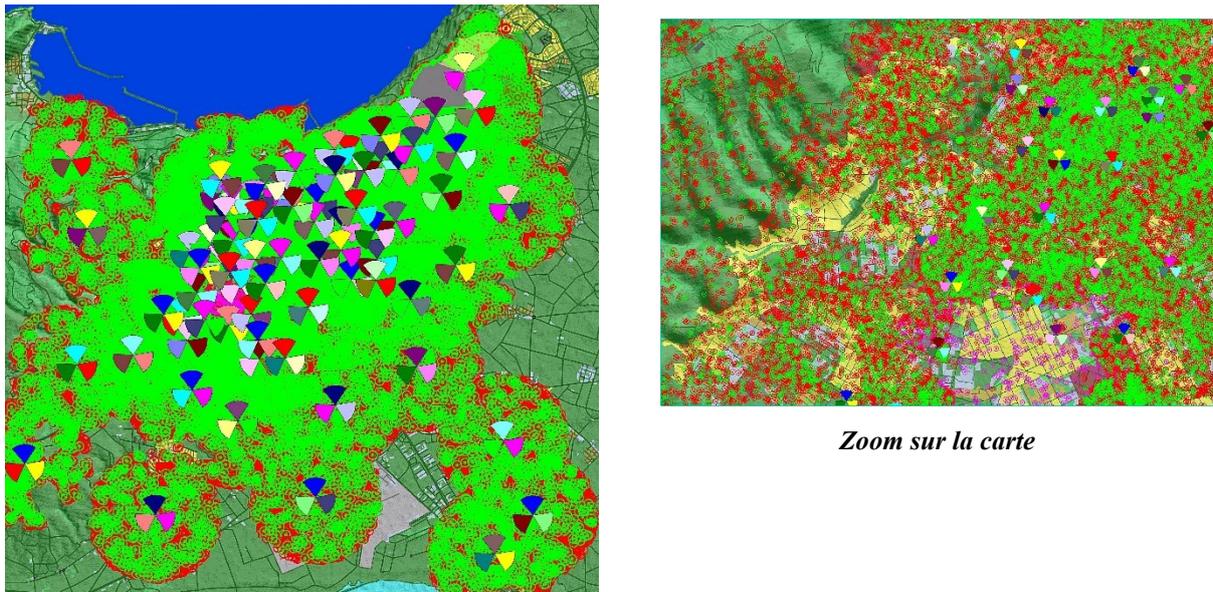


Figure III.32 : Simulation sans mimo et sans beamforming.

Paramètres	Avec mimo et avec beamforming	Sans mimo sans beamforming
Nombre d'utilisateurs essayant de se connecter	113 639	113 639
Nombre d'utilisateurs connectés	110 730 (97,4%)	53 086 (46,7%)
Nombre total d'utilisateurs non connectés (rejetés)	2 909 (2,6%)	60 553 (53,3%)
Pas de couverture	169	3 744
Saturation des ressources	2 701	60 384

III.7 Conclusion

Au cours de ce dernier chapitre, une brève description du logiciel Atoll et de ses différentes fonctionnalités ont été donnée. Nous avons réalisé une simulation de couverture pour la cinquième génération (5G) et comparé différents modèles de propagation.

Notre objectif principal était de prédire le niveau du signal en tenant compte des variations du gain de l'antenne. Tout d'abord, nous avons examiné les modèles de propagation existants pour la 5G et sélectionné ceux qui semblaient les plus appropriés à notre étude. Ces modèles ont été utilisés pour simuler la propagation des ondes radio dans notre zone d'intérêt.

Ensuite, nous avons procédé à une analyse détaillée en utilisant différents scénarios de gain d'antenne. Nous avons constaté que le gain de l'antenne avait un impact significatif sur le niveau du signal reçu. Des augmentations du gain de l'antenne ont entraîné une amélioration de la qualité du signal, tandis que des diminutions ont conduit à une dégradation de la réception.

Ces conclusions constituent une base solide pour la poursuite de nos travaux de recherche dans le domaine de la couverture et de la prédiction du signal pour les réseaux de télécommunication de prochaine génération.

IV. Conclusion Générale

Dans notre étude nous avons examiné en profondeur la planification, le dimensionnement et la simulation de la technologie 5G. nous avons analysé les divers aspects de la 5G et exploré les défis et les possibilités qu'elle est présente dans les communications sans fil. Notre recherche fournit une compréhension complète de la technologie 5G.

Atoll a été utilisé pour effectuer des prédictions de couverture, prédictions de capacité et simulations réalistes afin d'étudier la propagation du signal en utilisant les différents modèles de propagation et les avantages de l'utilisation du beamforming et du MIMO.

La planification de la 5^{ème} génération est un processus complexe qui exige une compréhension approfondie de ses caractéristiques particulières, telles que les fréquences utilisées, les besoins en capacité et en couverture, ainsi que les aspects liés à la densification du réseau. Nous avons exploré diverses techniques et méthodes de planification, telles que la planification radio, la planification de capacité, la planification d'antennes et la planification de déploiement.

Le modèle de propagation 3GPP 38.900 Propagation Model a amélioré les calculs de couverture sur les microcellules par rapport à les autres modèles

Pour l'analyse de beamforming, les résultats ont montré que le beamforming peut améliorer couverture, la qualité du signal et donc le débit en raison de son gain de directivité élevé par rapport à l'antenne sans faisceau.

Pour le MU-MIMO il a été démontré qu'en combinant le beamforming avec MIMO, une seule cellule peut augmenter sa capacité de couverture par rapport à une cellule sans beamforming et sans MIMO.

Atoll est un logiciel qui permet de considérer de nombreux paramètres liés à la propagation modèles, le trafic et les conditions d'utilisation et la technologie d'accès radio, en outre des modifications pourraient être testées afin d'améliorer les résultats obtenus.

Pour des prochaines études et recherches il peut être considéré l'étude de :

- L'aster propagation model
- Les caractéristiques des antennes beamformer et massive mimo
- Les ondes millimétriques (millimeter waves)

- Comment l'utilisation de beamforming et MIMO peut aider à réduire la perte de chemin et le problème de blocage et d'interférence.

References bibliographique

- [1] 5G Americas, “5G Services and Use Cases,” 2017, pdf
- [2] <https://www.techplayon.com/5g-and-4g-comparison>, may 2020
- [3] <https://www.5gworldpro.com/blog/2019/05/28/84-summary-of-5g-use-cases/>
- [4] ITU-R, “Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s),” 2017.
- [5] 3GPP, “Release 15 Description,” 2018.vcb
- [6] J. L. X. Lin, R. Baldemair, T. Cheng, S. Parkvall, D. Larsson, H. Koorapaty, M. Frenne, S. Falahati and A. G. a. K. Werner, “5G New Radio: Unveiling the Essentials of the Next Generation Wireless Access Technology,” 2018.
- [7] E. Dahlman, S. Parkvall and J. Skold, 5G NR The Next Generation Wireless Access Technology, 2018.
- [8] 3GPP, “TS 38.211 NR Physical channels and modulation,” 2018.
- [9] 3GPP, “Release 15, TR 21.915; septembre-2019.
- [10] A. Zaidi, F. Athley, J. Medbo, U. Gustavsson, G. Durisi and X. Chen, “5G Physical Layer: Principles, Models and Technology Components,” 2018.
- [11] 3GPP, “TS 38.215 5G NR Physical layer measurements,” 2018.
- [12] Analog Devices, “Phased Array Beamforming ICs Simplify,” 2019.
- [13] Keysight Technologies, “White Paper "3 Key Challenges Implementing and Testing MIMO and Beamforming in 5G Base Stations and Components",” 2019.
- [14] <https://ma-mimo.ellintech.se/2018/08/22/64-or-128-antennas/>
- [15] L. Liu, R. Chen, S. Geirhofer, K. Sayana, Z. Shi and Y. Zhou, “Downlink MIMO in LTE Advanced,” 2012.
- [16] https://www.researchgate.net/publication/330952838_Smart_Antenna_Systems_Model_Simulation_Design_for_5G_Wireless_Network_Systems
- [17] Qualcomm, “White Paper: Exploring the Potential of mmWave for 5G Mobile Access,” 2016.
- [18] Y. Niu, Y. Li, D. Jin, L. Su and A. V. Vasilakos, “A Survey of Millimeter Wave (mmWave) Communications for 5G: Opportunities and Challenges,” 2015.
- [19] Lu, J. S., D. Steinbach, P. Cabrol and P. Pietraski, “Modeling Human Blockers in Millimeter Wave Radio Link,” 2012.
- [20] Y. Bandy, G. M. Rather and G. R. Begh, “Effect of atmospheric absorption on millimeter wave frequencies for 5G cellular networks,” 2018.
- [21] F. Al-Ogaili and R. M. Shubair, “Millimeter-Wave Mobile Communications for 5G: Challenges and Opportunities,” 2016.
- [22] 3GPP, “Release 15, TR 21.915; septembre-2019
- [23] <https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>
- [24] https://www.riverpublishers.com/journal_read_html_article.php?j=JICTS/6/1/4#fig6

- [25] https://www.techplayon.com/control-and-user-plane-separation-for-next-generation-epc-cups-architecture-3gpp-release-14/?fbclid=IwAR3jFqRh44rbu71KFbqYymnevr_Hgn9eIxLlVf6lcmEYBG8BbqRxn-ZjPWw
- [26] <https://www.techplayon.com/control-and-user-plane-separation-for-next-generation-epc-cups-architecture-3gpp-release-14/> septembre-2020
- [27] BOUCHERIT Yassamine, MADANI Samir, LTE RAN Design and Optimisation, Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication, 2015.
- [28] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php
- [29] <https://www.techplayon.com/5g-network-rf-planning-link-budget-basics/>
- [30] <https://www.techplayon.com/5g-nr-physical-cell-id-pci-planning/>
- [31] https://www.techplayon.com/5g-nr-rach-preamble-types-long-and-short-preambles/?fbclid=IwAR0h9Mk4xTBoS84f__Aa6NiH4H684hc2wwjzPqHbzhHyH02tLlG9ustDFY
- [32] https://www.techplayon.com/5g-nr-network-relationship-neighbor-planning/?fbclid=IwAR2l0InDbczMa4jnjqULBgpYZ4eZN5jcwJjFjpd6GZ2NfKgJR3_Vy7xl_s.
- [34] Forsk, "Atoll 3.4.0: User Manual for Radio Networks," 2019.
- [35] Forsk, "Atoll 3.4.0: Technical Reference Guide for Radio Networks," 2018.
- [36] Forsk, "Aster 2.7.1: User Manual," 2019.
- [37] Forsk, "Aster 2.7.1: Technical Reference Guide," 2019.
- [38] Widad B. et Cherine A. (Etudes et analyse des réseaux mobiles 3G et 4G Université Mohammed Seddik BEN YAHIA - Jijel (2021).