

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique  
جامعة سعد دحلب البلدية  
Université SAAD DAHLAB BLIDA 1  
كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie  
قسم الإلكترونيك  
Département d'Électronique



# Mémoire De Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunications (ST)

*Etude et Ingénierie du Déploiement du Réseau 5G NSA Dans  
La Bande C*

Réaliser par :

- Melle : **BELLAHSENE Meriem**
- Melle : **MEDJADI Ilham**

Encadré par :

- Promoteur : **Dr. BOUZANA Zouheyre (ORANGE France)**
- Co-Promoteur: **Pr. BENSEBTI Messaoud (USDB)**

Année universitaire 2022/2023

## *Remerciements*

Nous profitons de cette occasion pour remercier : Avant tout, ALLAH, le tout puissant, de nous avoir donné le Courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche Tous ceux qui de près ou de loin ont participés à notre Éducation.

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à **Mr. BOUZANA Zouheyer** pour l'opportunité qu'il nous a offerte de travailler sur ce projet intéressant, ainsi que pour sa disponibilité et son soutien tout au long du processus

Nous adressons nos sincères remerciements à notre promoteur **Mr. BENSEBTI Messaoud**, pour ses nombreux conseils.

Nos plus sincères remerciements vont également à **Mr AITSAADI Hocine** et **Mme AITSAADI** pour leurs disponibilités et pour nous guider et conseiller dans notre projet.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du **jury** d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous tenons tout d'abord à remercier **nous chers parents** qui ont soutenue et encouragée tout au long de mon cursus.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidées de près ou de loin durant notre travail et en particulier tous nos collègues de la promotion.



# Dédicace



*Ce mémoire est l'accomplissement de toutes ces années d'études, il est le fruit de mon acharnement et de ma persévérance.*

*Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté. Ainsi que la conscience, d'avoir pu terminer mes études.*



*Je dédie ce mémoire à ...*

*A mon professeur **Dr Hocine AIT SAADI** pour ces conseils et encouragements.*

*A mon père **RABAH** pour tous sacrifice, leur amour, leur tendresse, leur soutien.*

*A ma maman **CHAHRAZED** qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'étude.*

*A mes chères sœurs **ROMAISSA** et **AHLEM** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.*

*A mes chers frères **ABDELLAH** et **ZINEDINE** pour leur appui et leur encouragement.*

*A mon binôme **MERIEM** avec qui j'ai partagé ce modeste travail.*

*A toute la **promo** merci pour les bons moments ensemble. A tous ceux qui m'on prêter aide, soutien et encouragement de Près ou de loin.*



**ILHAM**

## *Dédicace*

**Je tiens à dédier cet humble travail à**

*A mes chers parents, Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je vous porte. Je mets entre vos mains, le fruit de longues années d'études, de votre tendresse, de longs jours d'apprentissage. Votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie. Chaque ligne de cette thèse chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents.*

*A mon chère frère **Oussama**, et mon adorable sœur **Asma** pour leurs soutient inestimables, et pour leur encouragement, et leurs supports pertinents.*

*A mes chers amis **Salsabile** et **Amel** et **Chaima** pour leurs présences.*

*A mon binôme **Ilham** avec qui j'ai partagé ce travail.*

*A toute ma famille, mes proches et ceux qui j'aime.*

***MERJEM***

## ملخص

لا يمكن لنظام اتصالات الهاتف المحمول من الجيل الرابع G4 تلبية متطلبات محددة معينة، بما في ذلك كثافة حركة المرور العالية وعدد الاتصالات والتنقل.

أدت الحاجة إلى استيعاب عدد أكبر من المستخدمين بمعدلات بيانات أعلى مع موثوقية أفضل مع استهلاك طاقة أقل إلى ولادة جيل جديد من الاتصالات المتنقلة، تقنية G 5.

يهدف هذا المشروع إلى فحص شبكة RN G 5 بالتفصيل مع التركيز بشكل خاص على الجزء الإذاعي (NAR). الهدف الرئيسي هو توسيع النطاق هذه الشبكة وتخطيطها وتحسينها باستخدام برامج محاكاة التي تبسط وتسهل هذه المهمة.

تتم معالجة العديد من الجوانب الأساسية لتكنولوجيا RN G 5، مما يبسط الضوء على خصائصها وبارا متراتها ومواصفاتها الفنية. كما يركز على مفهوم تحجيم الشبكة الخوية باستخدام معيار التغطية كأساس لحساب عدد المواقع اللازمة لتحقيق أهداف التسويق بمؤشرات الأداء الرئيسية المقبولة.

أخيراً من خلال التخطيط الدقيق واستخدام أداة تصميم IIoT، تمكنا من نشر شبكة G 5 بنجاح في النطاق C والاستفادة من شبكة G 4 الحالية وضمان جودة الخدمة ممتازة مع تحسين التكاليف.

## **Abstract**

Today, the fourth-generation (4G) mobile communication system cannot meet certain specific requirements, particularly high traffic density, number of connections, and mobility. The need to accommodate more users at higher data rates with better reliability while consuming less energy has led to the emergence of a new generation of mobile communication technology; 5G technology.

This project aims to thoroughly examine the 5G NR network, specifically focusing on its radio component (RAN). The main objective is to dimension, plan, and optimize this network using simulation software that simplifies and streamlines these tasks.

Multiple crucial aspects of 5G NR technology are addressed, highlighting its characteristics, parameters, and technical specifications. It also emphasizes the concept of sizing a cellular network using coverage criteria as the basis for calculating the required number of sites to achieve marketing objectives with acceptable key performance indicators (KPIs).

Ultimately, through meticulous planning and the use of the Atoll design tool, we successfully deployed a 5G NR network in the C-band, leveraging the existing 4G network and ensuring excellent quality of service while optimizing costs.

**Keywords:** 4G, 5G NR, LTE, NSA, C Band, Planning, Dimensioning, Propagation Model, Optimisation, Atoll, Coverage

## Résumé

Aujourd'hui, le système de communication mobile de quatrième génération (4G) ne peut répondre à certaines exigences particulières, notamment une densité de trafic élevée, nombre de connexions et mobilité. Le besoin d'accueillir plus d'utilisateurs à des débits de données plus élevés avec une meilleure fiabilité tout en consommant moins d'énergie a imposé la naissance d'une nouvelle génération de communication mobile ; technologie 5G.

Ce projet vise à examiner en détail le réseau 5G NR, en se concentrant spécifiquement sur sa partie radio (RAN). L'objectif principal est de dimensionner, planifier et optimiser ce réseau en utilisant un logiciel de simulation qui simplifie et facilite cette tâche.

On aborde plusieurs aspects essentiels de la technologie 5G NR, en mettant en évidence ses caractéristiques, ses paramètres et ses spécifications techniques. Il se concentre également sur le concept de dimensionnement d'un réseau cellulaire en utilisant le critère de couverture comme base pour calculer le nombre de sites nécessaires afin d'atteindre les objectifs marketing avec des indicateurs clés de performance (KPI) acceptables.

Finalement, grâce à une planification méticuleuse et à l'utilisation de l'outil de conception Atoll, nous avons pu déployer avec succès un réseau 5G NR dans la bande C, en exploitant le réseau 4G existant et en assurant une excellente qualité de service tout en optimisant les coûts.

**Mots clé :** 4G, 5G NR, LTE, NSA, La Bande C, Planification, Dimensionnement, Model de propagation, Optimisation, Atoll, Couverture.

## Table des matières

<b>CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA 5EME GENERATION NR</b>	
I.1 Introduction .....	5
I.2 La limitation de réseau 4G LTE .....	5
I.3 LA 5eme génération new radio .....	6
I.3.1 Définition de la new radio .....	6
I.3.2 Domaine D’application .....	7
I.3.3 Architecture des réseaux 5G .....	8
I.4 Interface Air .....	12
I.4.1 Spectre et bandes de fréquences 5G .....	12
I.4.2 Numérogie et espacement entre sous porteuses (scs).....	13
I.4.3 Grille de ressources (RB, PRB ET RE).....	14
I.4.4 Structure de trame 5G en mode TDD.....	15
I.4.5 Canaux 5G NR, signaux de référence et de synchronisation.....	16
I.4.6 Beamforming et gestion des faisceaux .....	18
I.4.7 Technologies d'amélioration de la liaison montante 5G .....	22
I.8 Conclusion.....	26
<b>CHAPITRE II : PLANIFICATION D’UN RESEAU RADIO 5G NR.</b>	
II.1 Introduction.....	28
II.2 Principe dimensionnement d’un réseau radio mobile .....	28
II.2.1 Dimensionnement par couverture radio .....	28
II.2.2 Bilan de liaison (BL).....	29
II.2.3 Les modèles de propagation RF .....	33
II.2.4 Types des modèles de propagation .....	34

II.2.5 Phénomènes de propagation des ondes .....	37
II.3 Planification 5G NR .....	39
II.3.1 Processus de planification du réseau radio mobile .....	40
II.3.2 Paramétrage du réseau radio.....	40
II.3.3 Analyse des KPI .....	42
II.3.4 Planification des ressources.....	44
II.4 Conclusion. ....	47

### **CHAPITRE III : *SIMULATION DE LA 5G NR SUR ATOLL.***

III.1 Introduction .....	49
III.2 Démarrage d'un projet Atoll Pour démarrer.....	49
III.2.1 Etude du cas de la ville Blida .....	50
III.2.2 Mise en place des site .....	51
III.2.3 Attribution automatique des voisins .....	52
III.2.4 Allocation automatique de PCI et PRACH.....	53
III.3 Etudes de prédiction 4G-LTE.....	54
III.3.1 Prédiction de la couverture par niveau de signal .....	54
III.3.2 Prédiction de la couverture par RSRQ (PDSCH C/ (I+N)).....	56
III.3.3 Prédiction de zone de recouvrement (Overlapping Zone) .....	57
III.3.4 Prédiction de la couverture par émetteur (DL).....	58
III.4 Optimisation du réseau radio 4G-LTE.....	59
III.4.1 Etudes de prédiction 4G-LTE Optimisée .....	62
III.4.1.1 Prédiction de la couverture par niveau de signal .....	62
III.4.1.2 Prédiction de la couverture par RSRQ (PDSCH C/ (I+N)) .....	63
III.4.1.3 Prédiction de zone de recouvrement (Overlapping Zone) .....	64
III.5 Planification réseau radio 5G a partir d'un réseau 4G LTE existant .....	66
III.5.1 Attribution automatique des voisins .....	67

III.5.2 Allocation automatique de PCI et PRACH.....	67
III.5.3 Etudes de prédiction du réseau 5G NR.....	68
III.5.3.1 Prédiction de la couverture par niveau de signal .....	68
III.5.3.2 Prédiction de la couverture par RSRQ (PDSCH C/ (I+N)) .....	70
III.5.3.3 Prédiction de zone de recouvrement (Overlapping Zone) .....	71
III.5.3.4 Prédiction de la couverture par émetteur (DL).....	73
III.6 Conclusion.....	73

## TABLE DES FIGURES

### CHAPITRE I :

<i>FIGURE I.1: CATEGORIE D'USAGES DE 5G</i> .....	8
<i>FIGURE I.2: L'ARCHITECTURE DU SYSTEME 5G</i> .....	9
<i>FIGURE I.3 : LES OPTIONS DE CONFIGURATION NSA</i> .....	11
<i>FIGURE I.4 : L'ARCHITECTURE NSA ET SA</i> .....	11
<i>FIGURE I.5 : LA BANDE DE FREQUENCE 5G</i> .....	12
<i>FIGURE I.6 : LA GRILLE DE RESSOURCES</i> .....	15
<i>FIGURE I.7 : SYNCHRONISATION DE TRAME TDD</i> .....	16
<i>FIGURE I.8 : LE MAPPAGE ENTRE LES CANAUX LOGIQUES, DE TRANSPORTS ET PHYSIQUE</i> .....	16
<i>FIGURE I.9: GESTION ET PROGRAMMATION DES FAISCEAUX 5G NR</i> .....	19
<i>FIGURE I.10 : REPRESENTATION DU BEAMFORMING DANS MASSIVE MIMO</i> .....	20
<i>FIGURE I.11 : FORMATION DE FAISCEAU ANALOGIQUE</i> .....	21
<i>FIGURE I.12 : FORMATION DE FAISCEAU NUMERIQUE</i> .....	21
<i>FIGURE I.13 : FORMATION DE FAISCEAU HYBRIDE</i> .....	22
<i>FIGURE I.14 : MODE DE FONCTIONNEMENT DE LA LIAISON MONTANTE DE L'UE AVEC EN-DC</i> .....	23
<i>FIGURE I.15: TYPES D'AGREGATION DE PORTEUSES</i> .....	24
<i>FIGURE I.16 : SCHEMA DE LA LIAISON MONTANTE SUPPLEMENTAIRE</i> .....	25
<i>FIGURE II.1 : PROCESSUS GENERAL DE LA PLANIFICATION DES RESEAUX MOBILES</i> .....	40
<i>FIGURE II.2 : ID DE CELLULE DE COUCHE PHYSIQUE (PCI)</i> .....	45
<i>FIGURE II.3 : COMPOSITION DE PRACH PREAMBULE</i> .....	46
<i>FIGURE II.4 : DIFFERENTS FORMATS DE PREAMBULE</i> .....	47
<i>FIGURE III.1: NOUVEAU DOCUMENT ATOLL</i> .....	49
<i>FIGURE III.2 : FENETRE PRINCIPALE DU LOGICIEL ET CARTE TOPOGRAPHIQUE VILLE DE BLIDA</i> .....	50
<i>FIGURE III.3 : LA CARTE DE LA VILLE DE BLIDA VIA GOOGLE EARTH</i> .....	50
<i>FIGURE III.4 : LISTE DES SITES 4G LTE</i> .....	51
<i>FIGURE III.5 : LISTES DES EMETTEURS DU RESEAU 4G LTE</i> .....	51
<i>FIGURE III.6 : POSTIONS DES SITES , DES EMETTEURS DU RESEAU 4G LTE</i> .....	52
<i>FIGURE III.7: POSITIONNEMENT DES SITES ET EMETTEURS 4G LTE VIA GOOGLE EARTH</i> .....	52
<i>FIGURE III.8 : ATTRIBUTION AUTOMATIQUE DU VOISINAGE DES CELLULES DU RESEAU 4G LTE</i> .....	53
<i>FIGURE III.9 : ALLOCATION AUTOMATIQUE DES PCI'S POUR LE RESEAU 4G LTE</i> .....	53

<i>FIGURE III.10 : ALLOCATION AUTOMATIQUE DES PRACH'S POUR LE RESEAU 4G LTE</i> .....	54
<i>FIGURE III.11 : PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE SIGNAL 4G LTE</i> .....	55
<i>FIGURE III.12 : HISTOGRAMME PREDICTION DU NIVEAU DE SIGNAL 4G LTE</i> .....	55
<i>FIGURE III.13 : PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE <math>C/(I+N)</math> 4G LTE</i> .....	56
<i>FIGURE III.14 : HISTOGRAMME PREDICTION DU NIVEAU DE <math>C/(I+N)</math> 4G LTE</i> .....	57
<i>FIGURE III.15 : PREDICTION PAR ZONES DE RECOUVREMENT 4G LTE</i> .....	57
<i>FIGURE III.16 : HISTOGRAMME DE LA ZONE DE RECOUVREMENT 4G LTE</i> .....	58
<i>FIGURE III.17 : PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR EMETTEUR RESEAU 4G LTE</i> .....	59
<i>FIGURE III.18 : STATISTIQUE DE LA CONFIGURATION PROPOSEE DE PARAMETRES OPTIMISATION</i> .....	61
<i>FIGURE III.19 : APPLICATION DE L'ACP POUR CORRECTION AUTOMATIQUE D'OPTIMISATION</i> .....	61
<i>FIGURE III.20 : LE NIVEAU DE CHAMP AVANT ET APRES L'OPTIMISATION</i> .....	62
<i>FIGURE III.21 : LE NIVEAU DE <math>C/(I+N)</math> AVANT ET APRES L'OPTIMISATION</i> .....	64
<i>FIGURE III.22 : ZONES DE RECOUVREMENT AVANT ET APRES L'OPTIMISATION</i> .....	65
<i>FIGURE III.23 : LISTES DES EMETTEURS DU RESEAU 5G NR</i> .....	66
<i>FIGURE III.24 : POSTIONS DES SITES, DES EMETTEURS DU RESEAU 4G LTE/5G NR</i> .....	66
<i>FIGURE III.25 : ATTRIBUTION AUTOMATIQUE DU VOISIN RESEAU 5G NR</i> .....	67
<i>FIGURE III.26 : ALLOCATION AUTOMATIQUE DES PCI'S RESEAU 5G NR</i> .....	67
<i>FIGURE III.27 : ALLOCATION AUTOMATIQUE DES PRACH'S RESEAU 5G NR</i> .....	68
<i>FIGURE III.28 : PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE SIGNAL</i> .....	69
<i>FIGURE III.29 : HISTOGRAMME PREDICTION DU NIVEAU DE SIGNAL</i> .....	69
<i>FIGURE III.30 : PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR NIVEAU DE <math>C/(I+N)</math></i> .....	71
<i>FIGURE III.31 : HISTOGRAMME PREDICTION DU NIVEAU DE <math>C/(I+N)</math> 5G NR</i> .....	71
<i>FIGURE III.32 : PREDICTION PAR ZONES DE RECOUVREMENT DU RESEAU 5G NR</i> .....	72
<i>FIGURE III.33 : HISTOGRAMME DE LA ZONE DE RECOUVREMENT 5G NR</i> .....	72
<i>FIGURE III.34 : PREDICTION DE LA COUVERTURE PAR EMETTEUR LE RESEAU 5G NR</i> .....	73

**LISTE DES TABLEAUX**

<i>TABLEAU I.1 : COMPARAISONS DES TECHNOLOGIE 4G ET 5G</i> .....	6
<i>TABLEAU I.2: LES BANDES 5G</i> .....	13
<i>TABLEAU I.3 : NUMEROLOGIE MULTIPLES DANS NR</i> .....	14
<i>TABLEAU I.4 : MONTRE LES CANAUX PHYSIQUES DEFINIS DANS NR.</i> .....	17
<i>TABLEAU I.5 : LES SIGNAUX PHYSIQUES NR</i> .....	17
<i>TABLEAU I.6 : COMBINAISON DE BANDES NSA NR SUL</i> .....	25
<i>TABLEAU II.1 : BILAN DE LIAISON MONTANTE.</i> .....	31
<i>TABLEAU II.2 : BILAN DE LIAISON DESCENDANTE</i> .....	32
<i>TABLEAU II.3 : SPECIFICATION DES CARACTERISTIQUE DE TROIS CLASSES</i> .....	41
<i>TABLEAU III.1: RAPPORT SUR LA COUVERTE DU RESEAU 4G LTE AVANT L'OPTIMISATION</i> .....	56
<i>TABLEAU III.2 : RAPPORT SUR LA COUVERTURE DU RESEAU 4G LTE APRES L'OPTIMISATION</i> .....	63
<i>TABLEAU III.3 : RAPPORT SUR LA COUVERTURE DU RESEAU 5G NR</i> .....	70

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>3GPP</b>	The 3rd Génération Partnership Project
<b>4G</b>	4 <sup>ème</sup> Génération
<b>5G</b>	5 <sup>ème</sup> Génération
<b>5GC</b>	5G Core
<b>AMF</b>	Access and Mobility Management Function
<b>ACP</b>	Automatic Cell Planning
<b>ACK</b>	Acknowledgment
<b>BF</b>	Beamforming
<b>BTS</b>	Base Transceiver Station
<b>BLER</b>	Block Error Rate
<b>BPSK</b>	Binary Phase Shift Keying
<b>CA</b>	Carrier Aggregation
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>CRS</b>	Cell Specific Reference Signal
<b>COST</b>	Coopérative scientifique et technique
<b>CSI-RS</b>	Channel Status Information Reference signal
<b>CAPEX</b>	Capital Expenditures
<b>DN</b>	Donnes Network
<b>DL</b>	Dow Link
<b>EN-DC</b>	Dual Connectivité
<b>eNB</b>	evolved Node B station de base réseau 4G
<b>EPC</b>	Evolved Packet Core
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex
<b>FF</b>	Fast Fading
<b>FR1</b>	Frequency Range 1
<b>FR2</b>	Frequency Range 2
<b>FSPL</b>	Free-Space Path Loss
<b>GNB</b>	Node B Station de base réseau 5G
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>IMT</b>	International Mobile Telecommunications-2020
<b>Iota</b>	Internet of Things

<b>LOS</b>	Line-Of-Sight
<b>LTE</b>	Long Time Evolution
<b>MAPL</b>	Maximum Allowable Path Loss
<b>MAC</b>	Media access control
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output
<b>MIB</b>	Master Information Block
<b>Mm Wave</b>	Millimeter Wave
<b>MN</b>	Master Node
<b>RAN</b>	Radio Access Network
<b>NR_EPC</b>	New Radio Evolved Packet Core
<b>NSA</b>	Non-Standalone
<b>NFV</b>	Network Functions Virtualization
<b>NR</b>	New Radio
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiple
<b>OPEX</b>	Operating Expenses
<b>PCID</b>	Cellule Physique ID
<b>PDSCH</b>	Physical Data Shared Channel
<b>PBCH</b>	Physical Broadcast Channel
<b>PDCCH</b>	Physical Downlink Control Channel
<b>PIRE</b>	Puissance Isotope Rayonné Equivalent
<b>PUSCH</b>	Physical Uplink Shared Channel
<b>PUCCH</b>	Physical Uplink Carries Channel
<b>PRACH</b>	Physical Random Access Channel
<b>PRB</b>	Physical Resource Block
<b>PL</b>	Path Loss
<b>PT-RS</b>	Phase Tracking Reference Signal
<b>PCI</b>	Physical Cell Id
<b>PSS</b>	Primary Synchronization Signal
<b>QoE</b>	Quality of Experience
<b>RF</b>	Radio Frequency
<b>RG</b>	Resource Grid
<b>RSRQ</b>	Reference Signal Receive Quality
<b>RSRP</b>	Reference Signal Received Power
<b>RSSI</b>	Received Signal Strength Indication

<b>RSI</b>	Root Sequence Index
<b>RB</b>	Resource Blocks
<b>RE</b>	Resource Element
<b>SBA</b>	Service-Based Architecture
<b>SMF</b>	Session Management Function
<b>SA</b>	Standalone Architecture
<b>SN</b>	Secondary Node
<b>SINR</b>	Signal to Interference plus Noise Ratio
<b>SCS</b>	Sub Carrier Spacing
<b>SRS</b>	Sounding Reference Signal
<b>SPM</b>	Standard Propagation Model
<b>SSS</b>	Secondary Synchronization Signal
<b>TDD</b>	Time Division Duplex
<b>TRP</b>	Total Radiated Power
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunication System
<b>UE</b>	User Equipement
<b>UPF</b>	User Plane Function
<b>UL</b>	Up Link

*INTRODUCTION GENERALE*

## INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Le réseau radio mobile est aujourd'hui un domaine en pleine effervescence. Au fil des décennies, les communications mobiles ont joué un rôle essentiel dans le développement économique et social des pays développés. Actuellement, elles sont devenues indispensables dans la vie quotidienne de millions de personnes à travers le monde, et cette dépendance devrait continuer à croître pour devenir encore plus inévitable à l'avenir.

Le monde devient de plus en plus digitalisé ou tous est connecté. Cette augmentation nécessite de nombreux progrès sur les systèmes de télécommunications mobiles. Le réseau 4G actuel reposant sur la norme LTE (Long Time Evolution) a apporté de nombreuses solutions comme l'augmentation du débit et de la bande passante comparé aux anciennes générations de réseau mobile. Par conséquent, on s'attend à ce qu'il y ait des défis importants pour le nouveau système de communication mobile qui commence à émerger, c'est-à-dire la génération 5G.

La technologie sans fil 5G est destinée à offrir des débits de pointe de plusieurs Gbps, une latence ultra-faible, une plus grande fiabilité, une capacité de réseau massive, une disponibilité accrue et une expérience plus uniforme à un plus grand nombre d'utilisateurs. Des performances plus élevées et une efficacité améliorée permettent de nouvelles expériences d'utilisation et connectent de nouvelles industries. Cette évolution est obtenue en développant de nouveaux services et équipements mobiles et arrive avec l'utilisation de nouvelles bandes de fréquences, de techniques radio, de MIMO et de beamforming.

La planification et le dimensionnement de ce genre de réseau est une étape très importante pour les étapes qui permet d'optimiser les coûts, et déployer les équipements radio qu'il faut pour répondre aux besoins des clients.

La planification d'un réseau 5G NR (New Radio) consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et de les utiliser de façon optimale. L'objectif initial de notre travail est de planifier un réseau de télécommunication mobile de 5G NR à base de réseau 4G LTE existe grâce au logiciel Atoll. C'est dans ce contexte se déroulera notre projet qui est organisé comme suite :

Le chapitre 1 qui inclut une étude sur les concepts de base sur le réseau 5G NR : son architecture, ses caractéristiques, ses spécifications techniques, et plus principalement l'interface Air....

Le deuxième chapitre est consacré pour l'étude théorique du dimensionnement et planification du réseau 5G NR. Nous allons introduire les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires.

Dans le dernier chapitre, on présente la simulation de la planification du réseau 5G NR pour la ville de Blida en utilisant Atoll qui est un logiciel de planification.

Et enfin, une conclusion récapitule notre travail et présente les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

**CHAPITRE I :**  
**GENERALITE SUR LA 5EME GENERATION NR**

### **I.1 Introduction :**

L'évolution de la 4G atteint sa fin et à ses limites et devenu incapable de répondre aux exigences actuelles. La vitesse et le débit de la 4G LTE sont plus que suffisants pour un large éventail de cas d'utilisation. Mais à mesure que la technologie progresse, de nouvelles applications et cas d'utilisation de la 5G font leur apparition. En effet, il existe des applications qui ne sont possibles qu'avec la vitesse et la faible latence de la 5G. Dans ce contexte, nous commencerons le premier chapitre des différentes caractéristiques de la 5G NR.

### **I.2 La limitation de réseau 4G LTE :**

Bien que LTE en soit encore à un stade relativement précoce de déploiement, l'industrie est déjà sur la voie de la prochaine génération de communications mobiles, communément appelée cinquième génération ou 5G dont leurs applications sont liées à tous les aspects de la vie quotidienne, du travail, le divertissement et le transport et les communications sans fil. Le haut débit mobile est, et continuera d'être, une partie importante de la communication cellulaire future, mais les futurs réseaux sans fil sont dans une large mesure aussi sur un éventail significativement plus large de cas d'utilisation. À l'heure actuelle, le système de communications mobiles de quatrième génération (4G) n'est pas en mesure de répondre aux exigences de certains scénarios spéciaux comportant une densité de trafic élevée, nombre élevé de connexions et mobilité élevée. Essentiellement, la 5G devrait être considérée comme une plate-forme permettant la connectivité sans fil à toutes sortes de services, existant ainsi que futurs services pas encore connus et prenant ainsi les réseaux sans fil au-delà du haut débit mobile. La connectivité sera fournie essentiellement n'importe où, n'importe quand à n'importe qui et n'importe quoi. L'augmentation de la capacité peut se faire de trois façons : amélioration de l'efficacité spectrale, déploiements densifiés et augmentation du spectre. L'efficacité spectrale de LTE est déjà élevée et bien que des améliorations puissent être apportées, elle n'est pas suffisante pour répondre à l'augmentation du trafic, On s'attend également à ce que la densification des réseaux se produise, non seulement du point de vue de la capacité, mais aussi du point de vue de la disponibilité des données élevées, et peut fournir une augmentation considérable de la capacité, bien qu'au prix de la recherche de sites d'antennes supplémentaires. L'augmentation de la quantité de spectre aidera, mais malheureusement, la quantité de spectre pas encore exploité dans les bandes cellulaires typiques, jusqu'à environ 3 GHz, est limitée et assez faible, Par conséquent, l'attention a augmenté à des bandes de fréquence un

peu plus élevé, à la fois dans la gamme 3-6 GHz, mais aussi dans la gamme 6-30 GHz et au-delà pour lequel LTE n'est pas conçu, comme un moyen d'accéder à un spectre supplémentaire. Cependant, comme les conditions de propagation dans les bandes à fréquence plus élevée sont moins favorables à une couverture à grande surface et nécessitent des techniques d'antenne plus avancées telles que la formation de faisceaux, ces bandes peuvent principalement servir de complément aux bandes existantes et à basse fréquence [1].

L'éventail des exigences pour les réseaux sans fil 5G est très large, appelant à un degré élevé de flexibilité du réseau. De plus, comme de nombreuses demandes futures ne peuvent pas être prévues pour le moment, l'étanchéité future est une exigence clé. Certaines de ces exigences peuvent être traitées par l'évolution de LTE, mais pas la totalité.

Le tableau suivant récapitule les principales caractéristiques de ces réseaux :

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

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
L'efficacité énergétique	Modérée	x100 mieux
Les services offerts	MBB	MBB, mMTC et URLLC

### **I.3 LA 5eme génération new radio :**

#### **I.3.1 Définition de la new radio :**

5G New Radio ou 5G NR est la nouvelle technologie d'accès radio trouvée dans la norme 5G. Établie par le groupe de normalisation des télécommunications du (3GPP) développée, puis publiée en 2018.

La 5G New Radio se base sur trois éléments fondamentaux :

- Formes d'onde optimisées basées sur OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiple). Une décision précoce a été prise d'utiliser la famille de formes d'onde OFDM pour la 5G, elles sont utilisées à la fois par le réseau LTE et le Wifi. Ce qui fait de la 5G, la première génération mobile qui ne sera pas basée sur une toute nouvelle forme d'onde et une conception à accès multiple. Ces formes d'onde seront permettent d'avoir :
  - Des capacités plus avancées pour offrir des performances élevées à faible complexité
  - Assurer la prise en charge de différentes bandes de fréquences, types de spectre et schémas de déploiement.
- Une structure flexible commune pour permettre un multiplexage efficace de différents services 5G et garantir une compatibilité ascendante pour les futurs services. Cela permettra une latence plus faible ainsi qu'une évolutivité à des latences bien inférieures à celles possibles avec les réseaux LTE actuels.
- Des technologies sans fil avancées pour offrir les nouveaux niveaux de performances et d'efficacité qui permettront d'élargir la gamme de services 5G. [3]

### **I.3.2 Domaine D'application :**

L'Union internationale des télécommunications (UIT) prévoit trois domaines d'utilisation pour la 5G : le haut débit mobile amélioré (Enhanced Mobile Broadband, eMBB), la communication ultra-fiable avec un temps de latence faible (Ultra-Reliable Low Latency Communication, URLLC) et la communication de masse de type machine (Massive Machine-Type Communication (mMTC)).

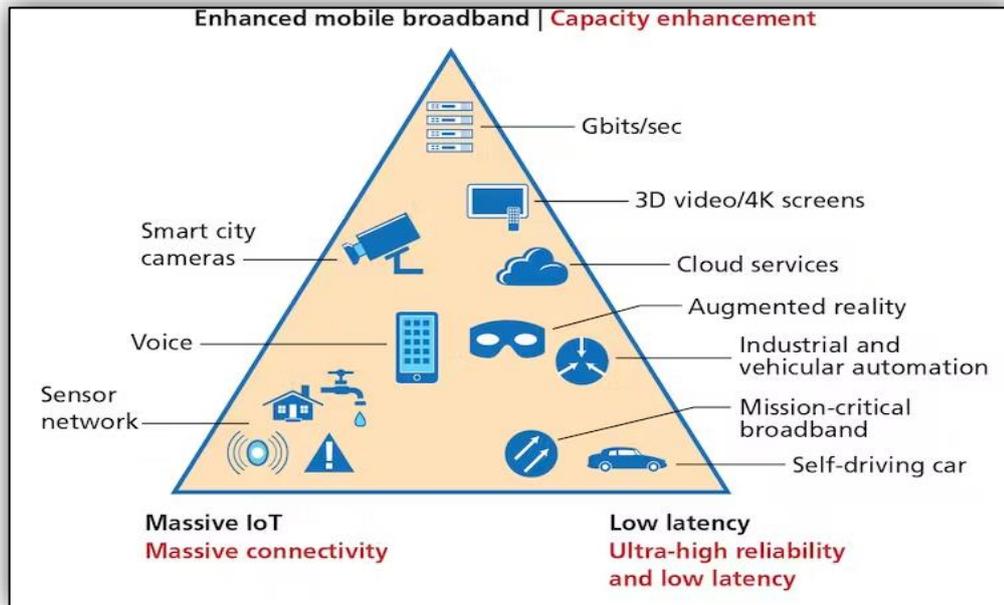


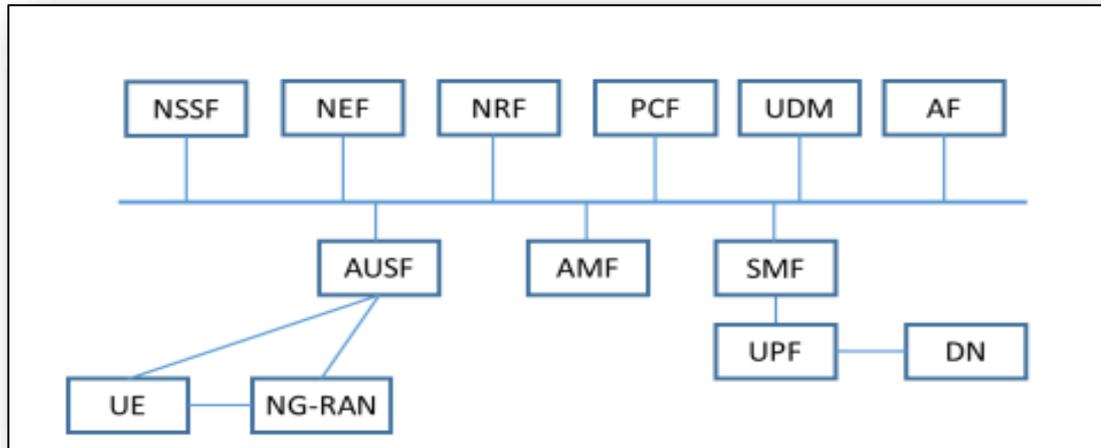
Figure I.1: Catégorie d'usages de 5G [4]

Les principales caractéristiques des domaines d'utilisation sont :

- Enhanced Mobile Broadband (eMBB) :
  - Débits de données élevés et variables (jusqu'à 20 Gbit/s),
  - Une haute densité d'utilisateurs et une grande mobilité (p. ex. trains à grande vitesse).
  - L'accès mobile à haut débit amélioré assure une transition en douceur entre le réseau fixe et le réseau mobile.
- Massive Machine-Type Communication (mMTC) :
  - Ce domaine d'utilisation se caractérise par un très grand nombre d'appareils connectés (internet des objets (IoT), qui transmettent généralement un faible volume (peu d'octets) de données non sensibles au temps (p. ex. compteurs d'eau).
  - Les appareils doivent être avantageux et avoir une très grande autonomie (durée de vie des piles jusqu'à 10 ans).
- Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC) :
  - Ce domaine est caractérisé par des connexions fiables et/ou sensibles au temps avec des vitesses de transmission garanties
  - Temps de latence assurés de quelques millisecondes et une probabilité de défaillance définie.

### I.3.3 Architecture des réseaux 5G :

L'architecture globale décrit les fonctionnalités fournies par le réseau central (AMF, SMF, etc.) et celles du réseau d'accès, c'est-à-dire celles fournies par le gNB. [5]



*Figure I.2: l'architecture du système 5G [5]*

Voici comment cela fonctionne :

- Les **équipements utilisateurs (UE)**, tels que les smartphones 5G ou les appareils cellulaires 5G, se connectent via le nouveau réseau d'accès radio 5G au cœur du réseau 5G, puis aux **réseaux de données (DN)**, comme l'internet.
- La **fonction de gestion de l'accès et de la mobilité (AMF)** fait office de 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 d'utilisateur (UPF)** transporte le trafic de données IP (plan d'utilisateur) entre l'équipement utilisateur (UE) et les réseaux externes.
- La **fonction de serveur d'authentification (AUSF)** permet à l'AMF d'authentifier l'UE et d'accéder aux services du noyau 5G.
- D'autres fonctions telles que la **fonction de gestion de session (SMF)**, la **fonction de contrôle de politique (PCF)**, la **fonction d'application (AF)** et la fonction de **gestion unifiée des données (UDM)** fournissent le cadre de contrôle de politique, en appliquant les décisions de politique et en accédant aux informations d'abonnement, pour régir le comportement du réseau.[6]

### **I.3.4 Scénario de déploiement pour la 5G NR :**

#### **I.3.4.1 Non autonome (NSA) :**

L'architecture « Non-Stand Alone » (NSA), ou NSA peut être considérée comme une étape temporaire vers un déploiement « 5G complet », où le réseau d'accès 5G est connecté au réseau 4G Core. Dans l'architecture de la NSA, la station de base NR (5G) (nœud logique " en-gNB ») se connecte à la station de base LTE (4G) (nœud logique « eNB ») via l'interface X2. L'interface X2 a été introduite avant la release 15 pour connecter deux eNB. Dans la release 15, il prend également en charge la connexion d'une eNB et en-gNB afin de fournir la NSA. [7]

- **Les options de l'architecture NSA :**

**Option 3** : Dans cette option, l'EPC (core 4G) est réutilisé et l'interconnexion entre les différents éléments se fait selon trois sous options : 3, 3A et 3X. L'option 3X (combinaison de 3 et 3A), de par son architecture, permet un débit meilleur par rapport aux deux autres options et ce à cause de la fonctionnalité « Split bearer » qui permet la transmission de Données d'une façon simultanée vers la 4G et la 5G. Cette option utilise LTE eNodeB comme master (à cause du CP reliant EPC à LTE radio) et gNB (5G NR) comme standby. [8]

**Option 4** : Dans cette option de déploiement, la signalisation de contrôle du RAN LTE sera acheminée vers le 5GC via le 5G NR. La seule différence entre les options 4 et 4a est que, dans l'option 4, les connexions du plan utilisateur LTE passent par le 5G NR alors que, dans l'option 4a, le trafic du plan utilisateur est directement envoyé du 5GC au LTE RAN. [9]

**Option 7** : La différence entre l'option 7 et l'option 7a réside uniquement dans la manière dont les données de l'utilisateur ou le trafic du plan de l'utilisateur sont transmis à l'UE. Dans l'option 7, elles parviennent au 5G NR via le LTE RAN, alors que dans l'option 7a, les données de l'utilisateur passent directement du 5GC au 5G NR, puis à l'UE via la nouvelle interface radio. [9]

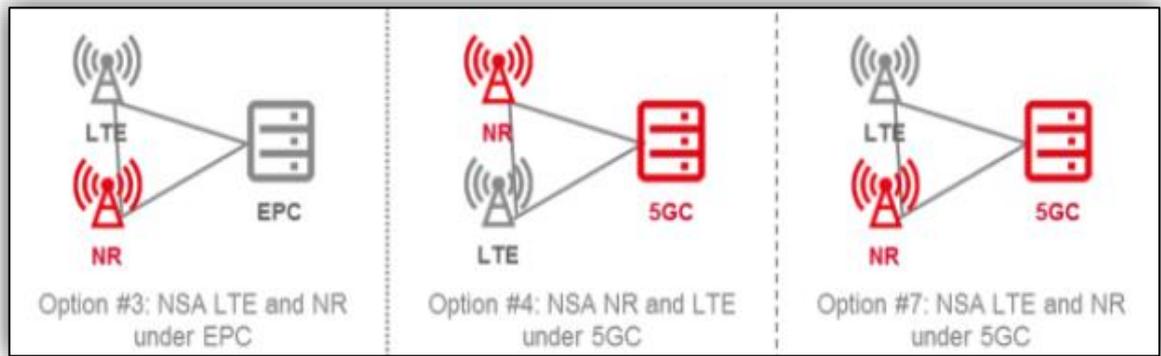


Figure I.3 : Les options de configuration NSA [10]

**I.3.4.2 Autonome (SA) :**

La 5G autonome (SA) est une implémentation de la 5G qui utilise uniquement un réseau central 5G, ce qui signifie qu'elle ne dépend pas des fonctions de contrôle du réseau 4G LTE, pour la signalisation et le transfert de données.

La 5G SA implique une nouvelle architecture centrale de paquets 5G, ce qui signifie que les services 5G peuvent être déployés sans équipement 4G LTE préexistant dans le réseau. Dans l'architecture 5G SA, le RAN 5G et son interface New Radio (NR), composée de stations de base macro cellulaires gNodeB (gNB), sont connectés au réseau central de paquets 5G et fonctionnent comme une entité « autonome ».

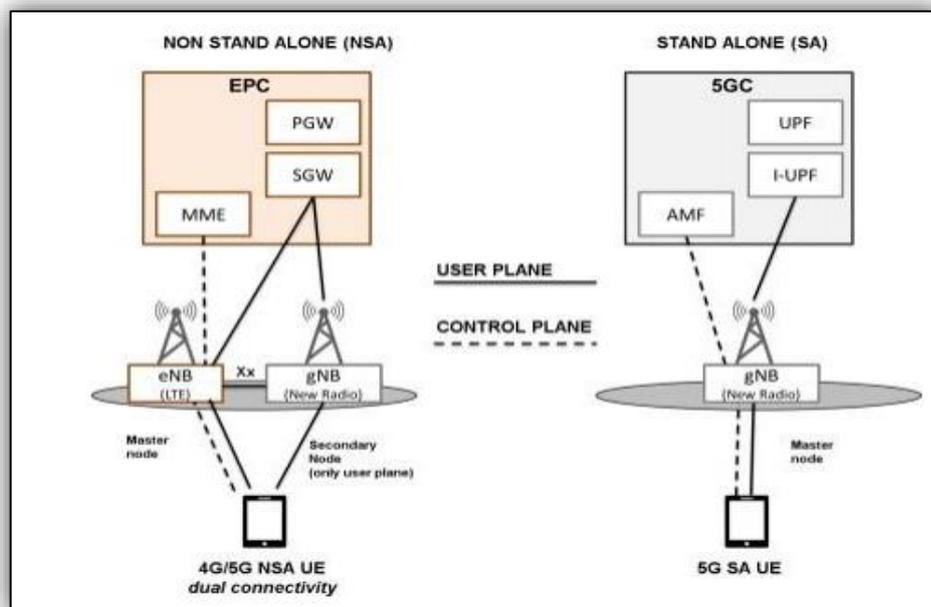


Figure I.4 : L'architecture NSA et SA [11]

## I.4 Interface Air :

### I.4.1 Spectre et bandes de fréquences 5G :

La 5G est une évolution de la 4G LTE, elle peut réutiliser les mêmes bandes de fréquences que cette dernière grâce à la technologie DSS, cette dernière permet de basculer directement depuis l'antenne entre la 4G et la 5G en temps réel et selon la demande. Grâce à cette mise à jour, un utilisateur 5G peut bénéficier d'un meilleur débit qu'un utilisateur 4G pourtant connecté à la même antenne, en utilisant la même fréquence ainsi que les mêmes équipements. [11] La 5G fait également appel à de nouvelles bandes de fréquences, permettant d'augmenter sensiblement le débit au détriment de la portée.

Deux exigences de performance radio distinctes sont spécifiées pour deux gammes de fréquences (FR), à savoir FR1 et FR2. FR1 est en dessous de la gamme de 7 GHz (410 - 7125 MHz) et FR2 est de la gamme des ondes millimétriques (24250 - 52600 MHz) [11] :

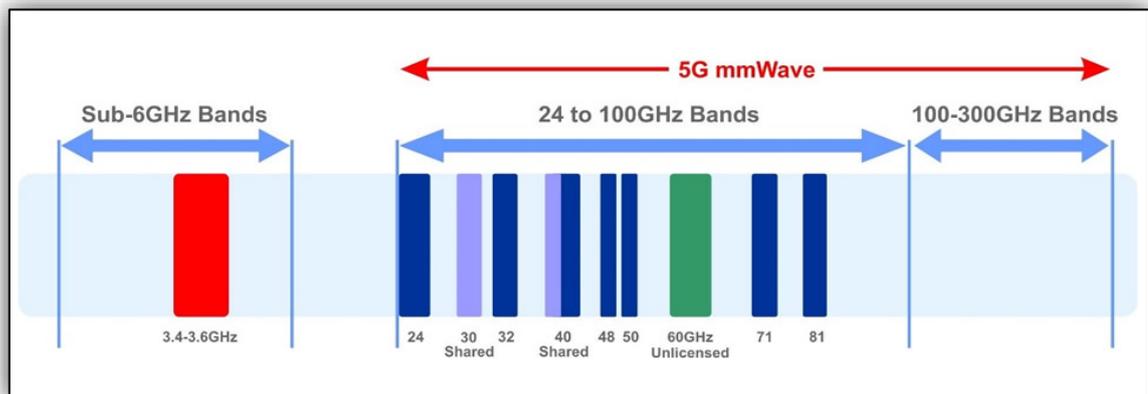


Figure I.5 : La bande de fréquence 5G [12]

Les bandes pour NR sont fondamentalement classées comme bandes basses, moyennes et hautes et ces bandes peuvent être utilisées en fonction de l'application décrite ci-dessous :

#### I.4.1.1 La bande basse 700 MHz (703 – 788 MHz) :

Pleinement disponible depuis 2019, continuera à être utilisée par la 5G pour faciliter la couverture de larges zones, par exemple haut débit mobile et IoT massif

**I.4.1.2 Les bandes de Fréquences 5g Sub-6 : Fr1**

Les bandes de fréquences 5G Sub-6 désigne les fréquences utilisées en 5G qui sont inférieures à 6 GHz, et en particulier dans la bande C qui est entre 3,4 et 3,8 GHz. Ce sont des fréquences permettant une meilleure portée et couverture que les ondes millimétriques, mais un débit maximal peu considérable. Elles regroupent à la fois les bandes moyennes, qui sont nouvelles, et les bandes basses fréquences, qui réutilisent des fréquences utilisées par la 4G LTE.

**I.4.1.3 Les Ondes Millimétriques (Mmwave) : Fr2**

Les ondes millimétriques Mmwave sont les ondes radioélectriques allant de 28 GHz jusqu'à 300 GHz avec une longueur d'onde de l'ordre du millimètre. Elles permettent un très haut débit mais une portée limitée (<1Km), une grande sensibilité aux perturbations et une faible capacité à traverser les obstacles. [13]

**Tableau I.2: Les bandes 5G**

	Bande basse	Bande moyenne	Bande haute
<b>Plage de fréquence</b>	450 MHz-1 GHz	(1-6) GHz	(6-90)GHz
<b>Débit moyen</b>	(10–50) Mbps	(50-100 Mbps)	(100 Mbps - 4 Gbps)
<b>Portée en ligne de vue</b>	>10 Km	5 Km	150 m
<b>Largeur de bande d'une transmission duplex</b>	10 MHz	15 ou 20 MHz	100 ou 800 MHz

**I.4.2 Numérogie et espacement entre sous porteuses (scs) :**

Le terme numérogie fait référence à la configuration des paramètres de forme d'onde, et différentes numérogies sont considérées comme des sous trames basées sur OFDM ayant différents paramètres tels que l'espacement des sous-porteuses, la durée du symbole, la taille du préfixe cyclique (CP). Autrement dit une numérogie est définie par l'espacement des sous-porteuses et l'entête du CP. Plusieurs espacements de sous-porteuses peuvent être calculés en mettant à l'échelle un espacement de base de sous-porteuse par un entier  $N$ . La numérogie utilisée peut être sélectionnée indépendamment de la bande de fréquence, mais il est supposé que cet espacement soit très faible pour des fréquences de porteuse très élevées.

**Tableau I.3 : Numérologie multiples dans NR. [14].**

Préfixe cyclique	Espacement des sous-porteuses (SCS) [KHz]	Nombre de sous-trames par trame radio	Nombre de slots par sous-trame	Nombre de symboles OFDM par emplacement	Plage de fréquence
Normal	15	10	1	14	FR1
Normal	30	10	2	14	FR1
Normal	60	10	4	14	FR1 et FR2
Elargie	60	10	4	12	FR1 et FR2
Normal	120	10	8	14	FR2
Normal	240	10	16	14	FR2

En bref, on retrouve dans la NR le principe de numérologie qui repose sur une multiplication de l'espacement des sous porteuses. En effet, en augmentons la largeur d'une sous porteuse par multiplication par un facteur de deux de cette sous-porteuse, on arrive à augmenter la largeur de la bande totale et par conséquent on arrive à augmenter le débit de transmission.

**I.4.3 Grille de ressources (RB, PRB ET RE) :**

Un élément de ressource RE (Resource Element) constitue la plus petite unité pouvant être attribuée à un signal de référence. L'élément de ressource RE correspond à un symbole OFDM dans le domaine temporel, et à une sous-porteuse dans le domaine fréquentiel. Il est ainsi repéré par la paire (k, l), k représentant l'indice de la sous-porteuse et l, l'indice du symbole OFDM dans le domaine temporel par rapport à un point de référence relatif.

Le bloc de ressource RB (Resource Blocks) correspond à une allocation de N=12 sous-porteuses contiguës. A la différence de la 4G, le bloc de ressource RB 5G correspond uniquement à une allocation fréquentielle car l'échelle temporelle est variable en fonction de la valeur du SCS utilisée.

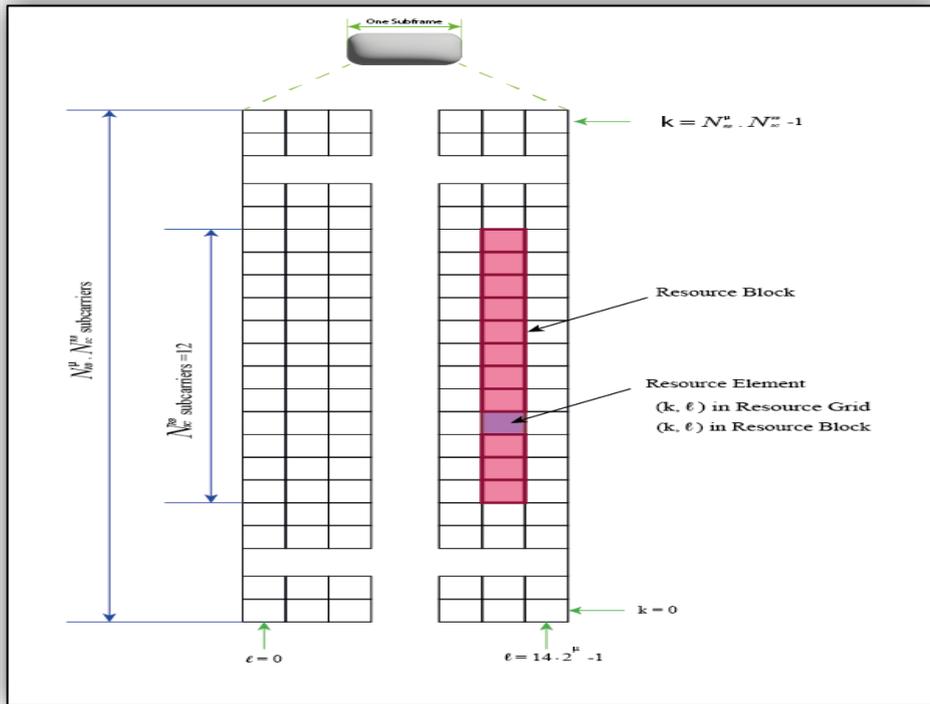


Figure I.6 : La grille de ressources [15].

La grille de ressources est une allocation de ressources tempo-fréquentielles correspondant aux ressources d'un port d'antenne. Elle est constituée d'un ensemble de symboles par sous-trame dans l'espace temporel et d'un ensemble de sous-porteuses contiguës dans le domaine fréquentiel. La grille de ressources est composée d'au plus 3300 sous-porteuses et elle est transmise sur chaque sens de transmission et sur chaque port d'antenne. [16]

#### I.4.4 Structure de trame 5G en mode TDD :

Un intervalle de temps (slot) dans NR comprend 7 ou 14 symboles OFDM pour les numérogies  $\leq 60$  kHz et 14 symboles OFDM pour les numérogies  $\geq 120$  kHz. Une durée de slot évolue également avec la numérogie choisie puisque la durée du symbole OFDM est inversement proportionnelle à son espacement de sous-porteuse.

- **Format de trame 5G NR à 3,5 GHz :**

Le nombre de trames 5G aux deux formats suivants :

- DDSUDDDD / DDDDDDSUU (compatible avec TD-LTE), Les structures de trame DDDDDDSUU (avec un décalage de 3 ms) ou DDSUDDDD offrent le Meilleur compromis pour les performances (débits et couverture) lorsque la coexistence avec les systèmes LTE en place est requise.

- DDSU (format pure 5G), La structure de trame DDSU offre le meilleur compromis de performance (Latence) là où la coexistence entre les systèmes 5G NR est requise. [13]

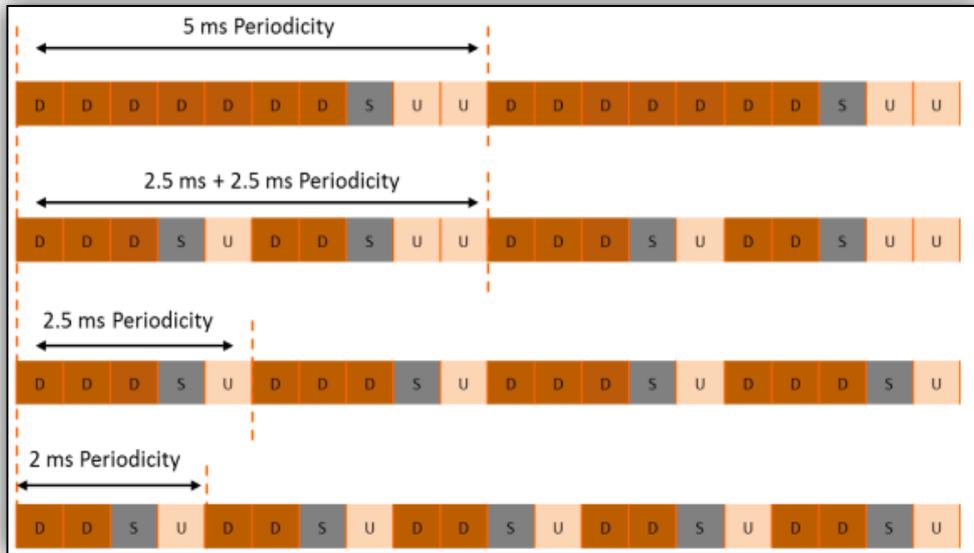


Figure I.7 : synchronisation de trame TDD [17]

#### I.4.5 Canaux 5G NR, signaux de référence et de synchronisation :

Les ressources en temps-fréquence qui sont utilisées par la couche PHY et qui contiennent des informations provenant de couches supérieures (c'est-à-dire, des couches situées au-dessus de la couche PHY) sont appelées signaux physiques. Les signaux physiques sont des signaux de référence utilisés à différentes fins, telles que la démodulation, l'estimation de canal, la synchronisation et les informations d'état du canal.

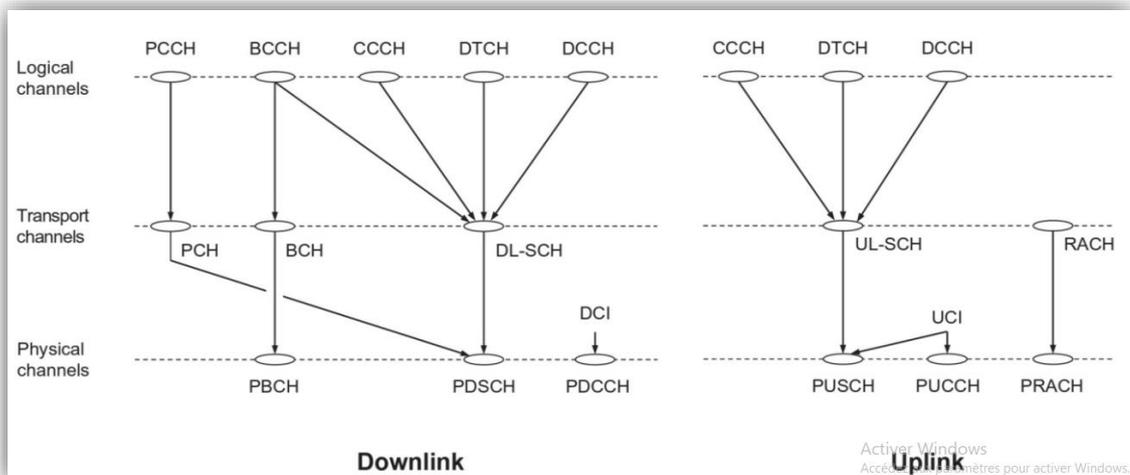


Figure I.8 : le mappage entre les canaux logiques, de transports et physique. [18]

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA 5eme GENERATION NR

*Tableau I.4 : Montre les canaux physiques définis dans NR.*

DL/UL	Canal physique	Rôle
DL	PDSCH	utilisés pour transmettre des données d'utilisateur du gNB à l'UE, et représentent la majeure partie de la trame.
DL	PBCH	contient la partie Master Information Block (MIB) du canal de couche MAC.
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.
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.
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.
UL	PRACH	utilisé par les UE pour demander une allocation de liaison montante à la station de base.

Les différents signaux physiques définis dans NR sont :

*Tableau I.5 : Les signaux physiques NR [7]*

DL/UL	Physical signal	ROLE
DL/UL	DM-RS	Le DM-RS est spécifique à un UE spécifique et utilisé pour estimer le canal radio.
DL/UL	PT-RS	Le PT-RS joue un rôle crucial en particulier aux fréquences Mmwave pour minimiser l'effet du bruit de phase de l'oscillateur sur les performances du système.
DL	CSI-RS	utilisé pour estimer le canal et rapporter les informations de qualité du canal au Gnb
DL	PSS	PSS est un signal spécifique à la couche physique et aide l'UE à obtenir la limite de trame radio.

DL	SSS	SSS est un signal spécifique à la couche physique et aide l'UE à obtenir la limite de sous-trame.
UL	SRS	aider le gNB à obtenir les informations sur l'état du canal (CSI) pour chaque utilisateur. CSI décrit comment le signal NR se propage de l'UE au gNB et représente l'effet combiné de la diffusion, de l'évanouissement et de la décroissance de puissance avec la distance

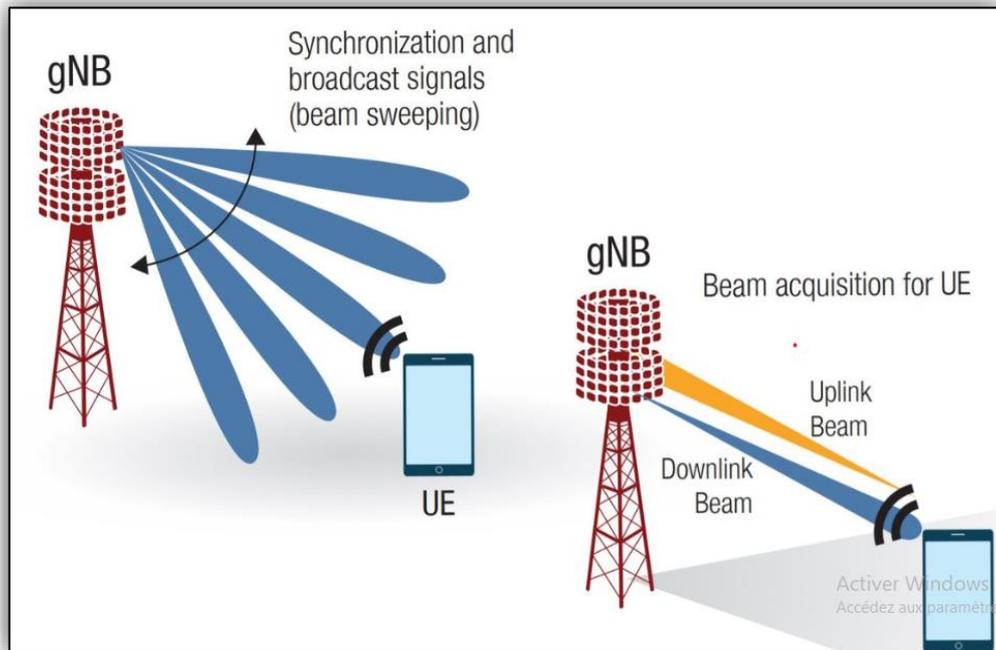
#### **I.4.6 Beamforming et gestion des faisceaux :**

- **Beamforming :**

Beamforming (aussi appelé filtrage spatial, formation de faisceaux ou formation de voies) est la forme la plus avancée de techniques d'antennes multiples, il peut s'utiliser avec les ondes radio ou sonores et il a de nombreuses applications dans les techniques de radar, transmission sans fil ... etc. Il utilise les mêmes techniques d'antennes et de traitement du signal que MIMO avec une corrélation de sorte que le diagramme de rayonnement de l'émetteur soit orienté intelligemment vers le récepteur. La formation de faisceau utilise plusieurs antennes pour contrôler la direction d'un front d'onde en pondérant de manière appropriée l'amplitude et la phase des signaux d'antenne individuels dans un réseau d'antennes multiples. Ainsi, quel que soit le lieu, le récepteur recevra plusieurs copies du même signal. [13]

L'efficacité de Beamforming est variable selon le nombre d'antenne, l'utilisation de cette application avec le massive MIMO offre des gains et efficacité très importante [14].

Les techniques de Beamforming permettent à la fois : d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple), limiter les interférences entre utilisateurs, réduire la pollution électromagnétique environnante (en ciblant le récepteur visé) et la réduction de la latence. Cette technique ne permet pas l'émission en permanence mais seulement quand c'est nécessaire, cela représente donc un gain d'énergie considérable. [13]



**Figure I.9:** Gestion et programmation des faisceaux 5G NR [19]

La formation de faisceaux est utilisée en tandem avec MIMO pour focaliser les faisceaux plus étroitement vers un UE individuel, permettant des densités de connexion plus élevées et minimisant les interférences entre les faisceaux individuels

La formation de faisceau désigne la transmission d'un signal de forme plus étroite de la station de base au récepteur de telle sorte que seul l'utilisateur prévu peut récupérer les informations tout en rejetant les interférences provenant d'autres directions.

Le Beamforming peut se faire à la fois sur le côté émetteur et côté récepteur, lorsqu'il est fait du côté transmetteur il est appelé transmetteur Beamforming, tandis que du côté récepteur, il est appelé recevoir Beamforming (figure I.14)

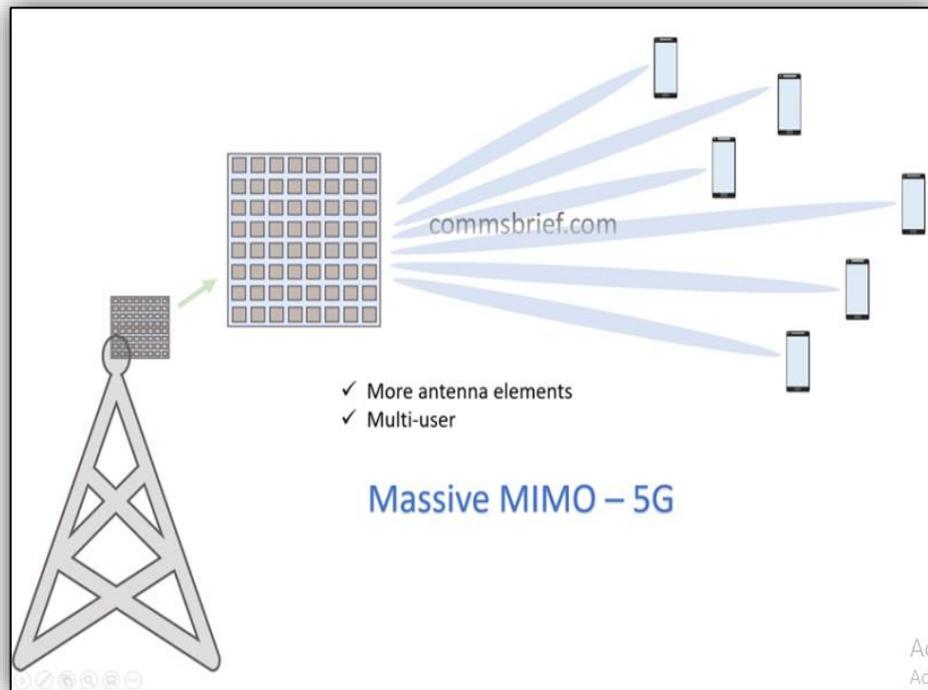


Figure I.10 : Représentation du beamforming dans massive MIMO [20]

➤ **Les formats de faisceaux :**

Il existe trois méthodes de mise en œuvre de la formation de faisceaux d'antenne :

La formation de faisceau analogique :(voir Figure1.15, ci-dessous) est la méthode la plus simple, la phase du signal étant modifiée dans le domaine analogique. La sortie d'un seul émetteur-récepteur RF est divisée en un certain nombre de chemins, correspondant au nombre d'éléments d'antenne dans le réseau. Chaque trajet de signal traverse ensuite un déphaseur et est amplifié avant d'atteindre l'élément d'antenne.

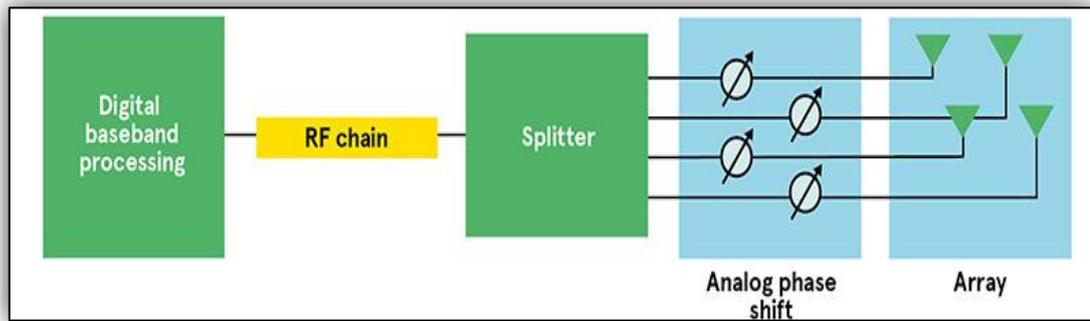


Figure I.11 : Formation de faisceau analogique. [21]

C'est le moyen le plus rentable de mettre en œuvre la formation de faisceaux, car il utilise une quantité minimale de matériel, mais un système de formation de faisceaux analogique ne peut gérer qu'un seul flux de données et générer un faisceau de signal, ce qui limite son efficacité en 5G, où plusieurs faisceaux sont nécessaires.

La formation de faisceau numérique : chaque élément d'antenne est alimenté par son propre émetteur-récepteur et ses propres convertisseurs de données (voir la figure 1.16, ci-dessous), et chaque signal est précédé (avec des modifications d'amplitude et de phase) dans le traitement en bande de base avant la transmission RF.

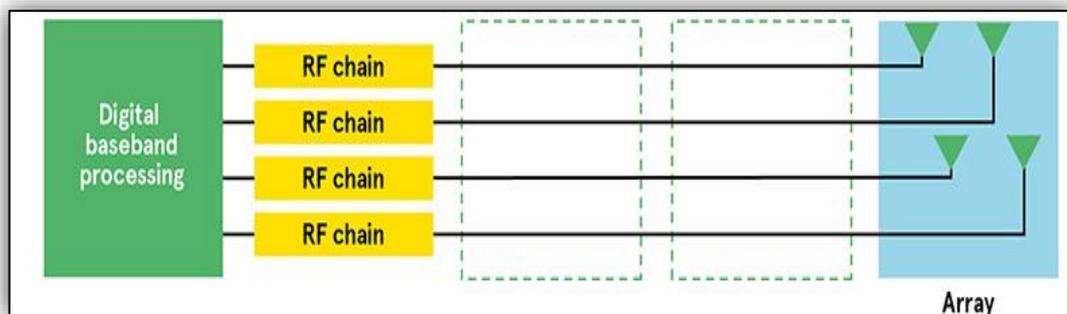
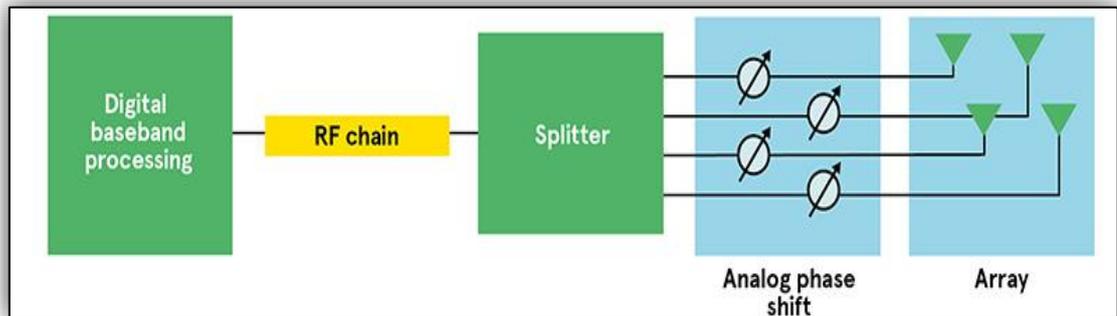


Figure I.12 : Formation de faisceau numérique. [21]

La formation de faisceau numérique permet à plusieurs ensembles de signaux d'être générés et superposés sur les éléments du réseau d'antennes, permettant à un seul réseau d'antennes de desservir plusieurs faisceaux, et donc plusieurs utilisateurs. Bien que cette flexibilité soit idéale pour les réseaux 5G, la formation de faisceaux numériques nécessite plus de matériel et de traitement du signal, ce qui entraîne une consommation d'énergie accrue, en particulier aux fréquences Mmwave, où plusieurs centaines d'éléments d'antenne sont possibles.

La formation de faisceau hybride : (voir Figure 1.13, ci-dessous) - où la formation de faisceau analogique est effectuée dans l'étage RF et la formation de faisceau numérique dans la bande de base - offre un compromis entre la flexibilité de la formation de faisceau numérique et le coût et la consommation d'énergie inférieurs de l'analogique.



*Figure I.13 : Formation de faisceau hybride [21]*

La formation de faisceaux hybride est reconnue comme une solution rentable pour les réseaux d'antennes à ondes millimétriques à grande échelle et diverses architectures sont en cours de développement pour les implémentations gNB. Ces architectures se divisent globalement en entièrement connectées, où chaque chaîne RF est connectée à toutes les antennes ; et sous-connecté ou partiellement connecté, dans lequel chaque chaîne RF est connectée à un ensemble d'éléments d'antenne. Chaque architecture vise à réduire la complexité du matériel et du traitement du signal, tout en offrant des performances quasi optimales : les plus proches de celles de la formation de faisceau numérique pure. [21]

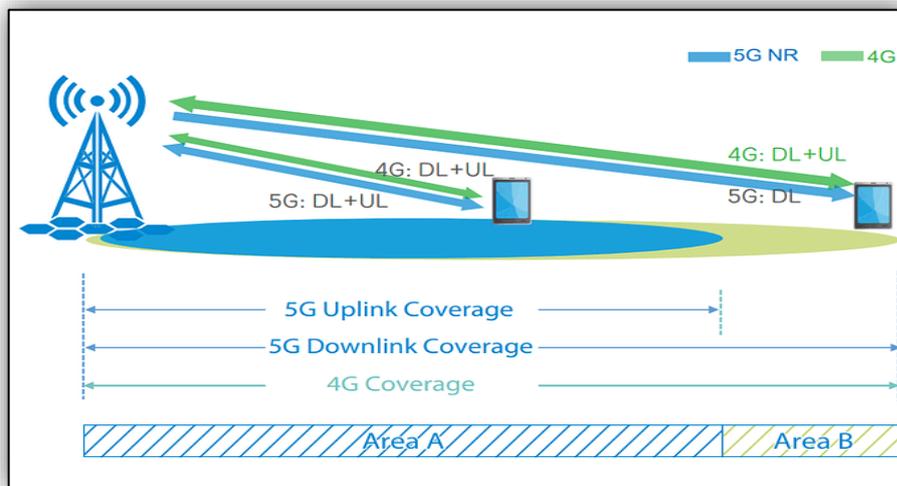
#### **I.4.7 Technologies d'amélioration de la liaison montante 5G :**

##### **I.4.7.1 Double connectivité (EN-DC) :**

Pour lancer les services 5G plus rapidement et à moindre coût, certains opérateurs tirent parti du LTE existant accès radio et réseau central (EPC) pour ancrer la 5G NR à l'aide de la fonction de double connectivité. Lorsque l'accès radio le réseau est composé d'eNB en tant que nœud maître et Principe technique gNBs en tant que nœud secondaire, il est appelé EN-DC. Avec EN-DC, UE peut transmettre des données soit, Sous LTE uniquement, soit sous radio LTE et NR couverture. Par conséquent, le problème de couverture des utilisateurs au bord de la cellule peut être bien résolu.

En raison de la différence entre la couverture 4G et la 5G couverture, les scénarios applicables de EN-DC sont présentés dans ce qui suit. Dans la zone A, car il y a à la fois une couverture 4G et 5G.

UE capable d'EN-DC peut transmettre des données par 4G et 5G réseau. Comme le terminal commercial prend généralement en charge 2 canaux de transmission (2Tx), un Tx peut être utilisé pour LTE et l'autre pour la 5G NR. Dans la zone B, parce qu'il n'y a qu'une couverture 4G, UE ne peut transmettre des données via LTE. [22]



**Figure I.14 :** Mode de fonctionnement de la liaison montante de l'UE avec EN-DC. [23]

### **I.4.7.3 Agrégation de porteuses 5G (CA) :**

La technologie Carrier Agrégation (CA) agrège les ressources spectrales de la même bande de fréquences ou de différentes bandes de fréquences pour mieux utiliser le réseau ressources et améliorent également l'expérience utilisateur

NR CA peut être classé comme CA intra-bande et CA inter-bande. L'agrégation de porteuses intra-bande NR fonctionne dans les mêmes bandes de fonctionnement et la porteuse inter-bande NR l'agrégation opère dans les différentes bandes de fonctionnement. [24]

- **Intra-band Carrier Aggregation (Intra-Band CA) :**

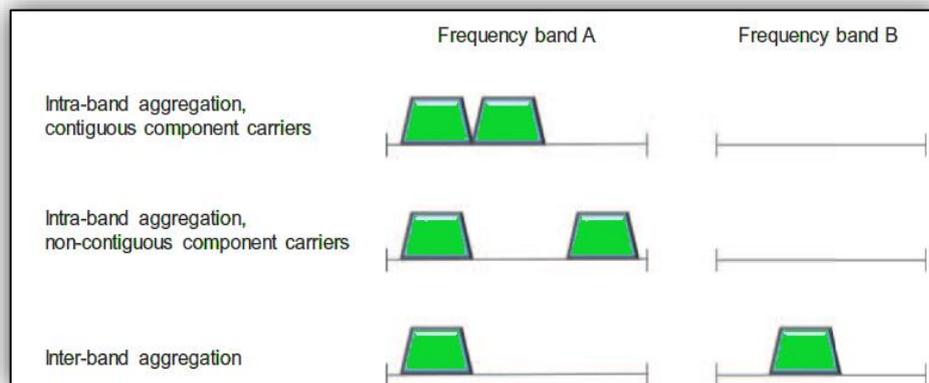
Le CA intra-bande consiste à agréger plusieurs porteuses dans la même bande de fonctionnement. 3GPP Rel-15 définit plusieurs CA intra-bande fonctionnant bandes, y compris n77, n78 et n79.

Étant donné que les transporteurs agrégés sont dans la même bande, ils peuvent utiliser les canaux de transmission d'UE en même temps, donc le débit de liaison montante est amélioré avec des transporteurs plus agrégés. [24]

- **Inter-Band Carrier Aggregation (Inter-Band CA) :**

L'agrégation de porteuses inter-bandes regroupe les porteuses de différentes bandes de fonctionnement. Dans 3GPP Rel-15 définit 13 fonctionnement CA inter-bande bandes impliquant FR1, telles que CA\_n3-n78, CA\_n28-n78, etc. [24]

NR CA a été inclus depuis 3GPP Rel-15. L'AC intra-bande peut regrouper plusieurs porteuses de fréquence de la même bande et améliorer l'expérience utilisateur. Cependant, le débit du CA inter-bande peut être limité dans certains cas par le nombre de canaux de transmission des terminaux.



**Figure I.15:** Types d'agrégation de porteuses. [24]

#### **I.4.7.4 Couche supplémentaire montante (SUL) :**

La liaison montante supplémentaire (SUL) est introduite dans 3GPP Rel-15 pour étendre la couverture de la liaison montante en fournissant une liaison montante supplémentaire (généralement bande inférieure à 3 GHz). Avec SUL, une bande de fréquence DL (bande de fréquence NR) et deux bandes de fréquence de liaison montante (une bande de fréquence NR et une bande de fréquence SUL) sont configurés dans la même cellule.

Lorsque la couverture de liaison montante de la porteuse NR est bonne, l'UE utilise la NR transporteur pour envoyer et recevoir des données. Lorsque l'UE va au-delà la couverture de liaison montante de la porteuse NR, l'UE utilise la porteuse SUL pour transmettre des

données. L'UE peut sélectionner dynamiquement l'UL NR ou le SUL pour les données transmission, mais ne peut pas utiliser les deux porteuses en même temps. [24]

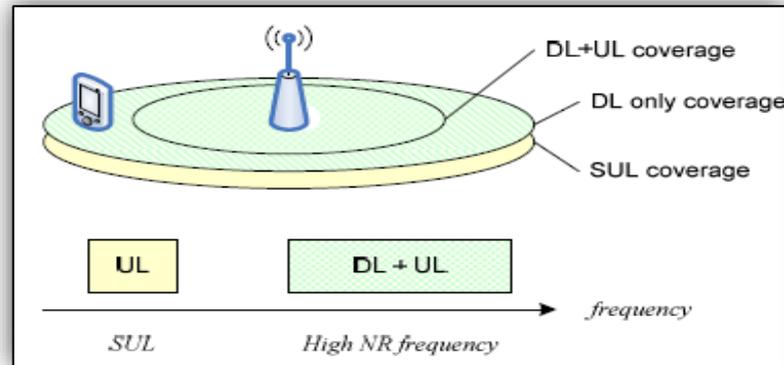


Figure I.16 : Schéma de la liaison montante supplémentaire. [24]

- **Combinaisons de bandes NSA NR SUL :**

Tableau I.6 : Combinaison de bandes NSA NR SUL. [26]

Combinaison de bandes pour SUL dans NSA	Bande E-UTRA	Bande NR
DC_7_SUL_n78-n80	7	n78-n80
DC_20_SUL_n78-n80	20	n78-n80
DC_8_SUL_n78-n80	8	n78-n80
DC_1_SUL_n77-n80	1	n77-n80
DC_3_SUL_n77-n84	3	n77-n84
DC_3_SUL_n78-n84	3	n78-n84
DC_3-SUL_n78_n80	3	n78_n80
DC_3-SUL_n79_n80	3	n79_n80
DC_1-SUL_n78_n84	1	n78_n84
DC_8-SUL_n78_n81	8	n78_n81
DC_28-SUL_n78_n83	28	n78_n83
DC_66-SUL_n78_n86	66	n78_n86
DC_8-SUL_n79_n81	8	n79_n81
DC_3-SUL_n78_n82	3	n78_n82
DC_20-SUL_n78_n83	20	n78_n83

**I.8 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons vu les limites de la 4G et les exigences mondiales qui ont de plus en plus élevés pour une large couverture à l'avenir et un trafic de données mobile plus élevé raisons pour lesquelles était nécessaire de passer à une nouvelle génération la 5G. Nous avons présenté les principaux éléments théoriques de la 5G NR de nouvelle technologie d'accès radio, qui est très différente de la LTE au niveau des caractéristiques. Toutes ces informations nous aiderons à mieux appréhender le prochain chapitre qui concernera le processus de dimensionnement et planification d'un réseau radio 5G NR.

**CHAPITRE II :**  
**PLANIFICATION D'UN RESEAU RADIO 5G NR**

## **II.1 Introduction :**

La planification d'un réseau 5G nécessite une analyse et une compréhension approfondies des caractéristiques de la technologie 5G, ainsi que des exigences et des objectifs du réseau. Cela implique la sélection des sites de station de base appropriés Dimensionnement par couverture radio, la configuration des paramètres réseau, la gestion des interférences et la validation de la qualité de service.

## **II.2 Principe dimensionnement d'un réseau radio mobile :**

### **II.2.1 Dimensionnement par couverture radio :**

Le dimensionnement suivant la couverture consiste à déterminer le nombre des sites nécessaire pour couvrir une zone donnée. La mauvaise couverture provoque une élévation de taux d'échec d'accès, taux de coupure de communication, etc. Elle consiste à :

- établir le bilan de liaison radio pour aboutir à l'affaiblissement maximal de parcours (MAPL) Maximum Allowable Path Loss.
- Choisir le modèle de propagation adéquat pour déterminer le rayon de la cellule.
- Déduire le nombre nécessaire de sites pour couvrir la surface de déploiement considérée. [27]

Le dimensionnement des réseaux mobiles est un problème très complexe impliquant à la fois des aspects théoriques et pratiques, c'est-à-dire trouver une meilleure architecture cellulaire prenant en compte de plusieurs critères :

- Qualité de couverture : elle garantit la liaison radio en tout point de la zone à couvrir.
- Mobilité : faciliter le handover lors du changement de cellule. Chaque station de base doit connaître ses voisins pour permettre aux utilisateurs de se déplacer sans perdre la connectivité.
- Absorption de la charge : Le réseau doit pouvoir fournir de nombreux canaux de communication adaptés à la densité de trafic associée à chaque cellule

En outre, le nombre requis de stations de base 5G peut être calculé comme suit

5G gNodeB = (Superficie totale du cluster en km<sup>2</sup> / Zone de couverture d'un seul gNB

### II.2.2 Bilan de liaison (BL) :

Le calcul du bilan de liaison consiste à additionner tous les éléments du gain (augmentation) ou de la perte (diminution) de la puissance du signal radio entre les deux extrémités, puis à évaluer si ce qui reste entre le départ et l'arrivée est suffisant. L'importance de l'évaluation de la liaison se situe au niveau du récepteur, car la qualité du signal reçu détermine la qualité de la liaison établie. Plus la qualité du signal est bonne, plus la liaison sera fiable et efficace.

- **Les paramètres pour évaluer le bilan de liaison**

Les différents paramètres dont il faut tenir compte dans l'évaluation d'un bilan de liaison sont les suivants :

- **La PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) :** Puissance rayonnée de manière isotrope Permet d'évaluer la capacité de transmission d'un émetteur. Lorsque l'antenne d'émission est la même que l'antenne de réception, ce gain a la même valeur moyennant la condition que la fréquence d'émission soit la même que la fréquence de réception

PIRE est donnée en dBm par la formule suivante :

$$PIRE = P + G - Lr \quad [II.1]$$

Avec :

P : la puissance fournit à l'entrée de l'antenne

G : le gain de l'antenne étudiée

Lr : une perte supplémentaire dans la direction considérée

- **eNB sensitivity (La sensibilité du récepteur) :** La sensibilité du récepteur indique la qualité de l'émetteur en termes de niveau de bruit. Elle est le niveau de puissance minimal de réception pour éviter la coupure du lien radio. Elle est donnée :

$$eNB \text{ sensitivity} = \text{Noise power} + \text{Noise figure} + SINR + N_{RB} \quad [II.2]$$

Avec :

**Noise power :** puissance de bruit thermique par sous-porteuse. Elle se calcule de manière suivante :

$$\text{Noise power} = K.T.B \quad [II.3]$$

**K :** Constante de Boltzmann ( $1.388062 \times 10^{-23}$ ).

**T :** Température ambiante en (K)

**B :** Bande passante

**SINR Required** : Valeur du SINR requise au récepteur.

**Noise Figure (dB)** : Bruît ajouté suite au passage du signal des différents composants électroniques.

**NRB** : Nombre de ressources blocs.

- **Puissance d'émission** : La puissance maximale de la station de base est :
  - Au niveau d'antenne : la macro cellule 43-46 dBm.
  - Pour le UE : de 23 dBm.
- **Les pertes sur la liaison** : Les pertes enregistrées sur le trajet de l'onde radio font référence au niveau d'atténuation entre le signal émis par l'antenne de la station d'émission, Comprend la perte du câble et la perte du corps humain à la fois à l'eNodeB et UE
- **Gain d'antenne** : Le gain dépend de la longueur de la bande de fréquence et de la capacité de l'antenne à focaliser l'énergie dans une direction, le gain est la surface effective d'une antenne. Il est exprimé en dB, La relation entre gain et la surface effective de l'antenne est donnée par :  $G = \frac{4\pi A}{2\lambda}$  [II.4]

Avec :

- A : Aire équivalente de l'antenne

-  $\lambda$  : Longueur de l'onde rayonnée

- **Marge d'interférence** : La marge d'interférence est le niveau d'augmentation du bruit dû à l'augmentation de la charge dans la cellule. Il s'agit de deux types d'interférence : l'interférence intracellulaire et Interférence intercellulaire. La marge d'interférence est donnée par la formule suivante :

$$MIdB = 10 \log(SNR / SINR) \quad [II.5]$$

- **La bande passante** : La sélection de la largeur de bande est reliée directement à la capacité de la station de base, plus la bande est large plus le trafic qui peut prendre en charge est grand. LTE fonctionne dans différentes largeurs de bande passante, y compris 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz à la fois pour la liaison montante et descendante.

- **Bilan de liaison pour le lien montant et descendes :**

Avant de calculer le bilan de liaison pour le lien montant, il est important de déterminer la puissance par bloc de ressource EIRP, qui est la puissance nécessaire pour obtenir le même champ à la même distance qu'une antenne isotrope. Les tableaux contiennent les paramètres,

les formules et les seuils nécessaires pour le calcul du bilan de liaison pour les liens montant et descendant, conformément à la norme en vigueur, en prenant en compte une large gamme de variables.

- **Formules de calcul pour la liaison Montante :**

*Tableau II.1: Bilan de liaison montante. [28]*

<b>Paramètres</b>	<b>Formule</b>
<b>Puissance d'émission totale maximale (dBm)</b>	$p_{max}=23$
<b>RB pour distribuer la puissance</b>	$RB= 4$
<b>Sous-porteuses pour distribuer la puissance</b>	$SC=12*RB=48$
<b>Puissance de sous-porteuse (dBm)</b>	$p_{sub}=P_{max}-10*Log10(SC)=6.19$
<b>Perte corporelle Tx (dB)</b>	$PL_{TX}=0$
<b>EIRP par sous-porteuse dBm</b>	$EIRP_{sub} = P_{sub} \cdot I = 6.19$
<b>SINR (dB)</b>	$SINR= 0,47$
<b>Facteur de bruit Rx (dB)</b>	$NF_{RX}=2.5$
<b>Sensibilité du récepteur (dBm)</b>	$S_{RX}=SINR+NF_{RX}.174+10 \times Log10(15000)=-129.27$
<b>Gain d'antenne Rx (dBi)</b>	$G_{RX}=18$
<b>Perte de câble Rx (dB)</b>	$Lcable_{RX}=-0.5$
<b>Marge d'interférence (dB)</b>	$Mi=-1,97$
<b>Perte de pénétration (dB)</b>	$PL_{pen}=15$
<b>Force de réception du signal min (dBm)</b>	$RSSI_{min} = S_{RX}-G_{RX}+Lcable_{RX}+Mi= -149.74$
<b>Marge d'évanouissement de l'ombre (dB)</b>	$FSM=8$

<b>Perte de trajet (dB)</b>	$P_t = EIRP_{sub} - RSSI_{min} - PL - FSM = 132,93$
-----------------------------	---

- Formules de calcul pour la liaison Descendante :

*Tableau II.2 : Bilan de liaison descendante. [28]*

<b>Paramètres</b>	<b>Formule</b>
<b>Puissance d'émission totale maximale (dBm)</b>	$P_{max}=46$
<b>RB pour distribuer la puissance</b>	$RB= 100$
<b>Sous-porteuses pour distribuer la puissance</b>	$SC=12*RB=1200$
<b>Puissance de sous-porteuse (dBm)</b>	$p_{sub}=P_{max}-10*\log_{10}(SC) =15,21$
<b>Gain d'antenne Rx (dBi)</b>	$G_{RX}=18$
<b>Perte de câble Rx (dB)</b>	$L_{cable_{RX}}=0,5$
<b>EIRP par sous-porteuse dBm</b>	$EIRP_{sub} =P_{sub}+G_{RX}-L_{cable_{RX}}=32,71$
<b>SINR (dB)</b>	$SINR = -1,84$
<b>Facteur de bruit Rx (dB)</b>	$NF_{RX}=7$
<b>Sensibilité du récepteur (dBm)</b>	$S_{RX}=SINR+NF_{RX}.174+10\times\log_{10}(15000)=-127,08$
<b>Perte de corps Rx (dB)</b>	$PL_{corps_{RX}}=-0,5$
<b>Marge d'interférence (dB)</b>	$Mi =-5,99$
<b>Puissance minimale de réception du signal (dBm)</b>	$P_{min} = S_{RX}+P+Mi=-133,57$
<b>Perte de pénétration (dB)</b>	$PL_{pen}=15$
<b>Marge d'évanouissement de l'ombre (dB)</b>	$FSM=8$
<b>Perte de trajet (dB)</b>	$P_t =EIRP-P_{min}-PL_{pen}-FSM= 143,28$

### **II.2.3 Les modèles de propagation RF :**

Le modèle de propagation peut estimer la valeur de l'affaiblissement du trajet. Le choix du modèle de propagation est un compromis entre la précision de la prédiction et l'efficacité des calculs. Il est important de noter que le mode de transmission dépend du type de zone telle qu'urbaine, suburbaine et rurale.

- **Zone urbaine** : forte densité d'utilisateurs, beaucoup d'obstacles (villes) ;
- **Zone sub-urbaine** : moyen densité d'utilisateurs, quelques obstacles (village, autoroutes...);
- **Zone rurale (ouverte)** : faible densité d'utilisateurs, pas de grands obstacles.

Le modèle de propagation est une formule mathématique utilisée pour caractériser la propagation de l'onde radio entre émetteur et récepteur, qui dépend des facteurs suivant :

- Type de terrain ;
- Les hauteurs des antennes d'émission et de réception ;
- Fréquence de l'onde ;
- Distance parcourue par l'onde ;
- Caractéristique et densité des bâtiments ;
- Saison (hiver, printemps...).

- **Catégories des modèles de propagation :**

En se basant sur l'environnement radio, les modèles de prédiction peuvent être classés en deux principales catégories [29]

- **Les modèles Macro-cellules :**

Sont des modèles généralement fondés sur l'analyse des obstacles qui s'y trouvent (colline, forêt, etc.). Ils s'appuient généralement sur des données géographiques de type maillé de sol et de sursol. Une mise au point par ajustement de variables est opérée à l'aide de mesures expérimentales du fait de la pauvreté des informations géographiques fournies et de la simplicité des algorithmes de calcul. Ces modèles sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement rural. On distingue deux types de modèles [29] :

- Les modèles ruraux : Le modèle rural prend uniquement en compte la coupe de terrain verticale entre l'émetteur et le récepteur pour déterminer les affaiblissements et notamment ceux dus à la diffraction par les obstacles (sol et sursol).
- Le modèle montagneux : Le modèle montagneux prend en compte, outre le trajet direct, les trajets réfléchis sur le flanc des montagnes

- **Modèle Micro-cellule :**

Contrairement aux modèles statistiques Macro-cellules qui prédisent une couverture radio moyenne et pas très précise essentiellement en milieu ouvert, les modèles Micro-cellules essaient de prédire une zone de couverture moins étendue mais plus précise. Ces modèles sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement urbain ou semi-urbain [29]

### II.2.4 Types des modèles de propagation :

#### II.2.4.1 Modèle de perte d'espace libre :

Dans les télécommunications, la perte sur le trajet en espace libre (FSPL) est l'atténuation de l'énergie radio entre les points d'alimentation de deux antennes qui résulte de la combinaison de la zone de capture de l'antenne de réception et du trajet sans obstacle et en visibilité directe à travers l'espace libre (généralement aérien).

$$FSPL(f, lm) = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad [\text{II.6}]$$

Avec :  $d$  : distance entre deux antennes dans l'espace libre (m)

$\lambda$  : Longueur d'onde (m)

Avec la propagation dans l'espace libre d'un signal RF, les ondes électromagnétiques continuent de s'étendre à mesure qu'elles se déplacent et la force du signal s'affaiblit en raison de cette expansion

Selon le **modèle de propagation en espace libre** développé par Friis, l'intensité du signal à l'antenne de réception, c'est-à-dire la puissance RF reçue, est donnée par :

$$Pr [dB] = Pt + Pr + Gr + Gt - LFS \quad [\text{II.7}]$$

Où  $Pt$  et  $Pr$  sont respectivement la puissance d'émission et  $Pr$  la puissance de réception,  $Gt$  et  $Gr$  respectivement le gain d'antenne d'émission et le gain d'antenne de réception.

**II.2.4.2 Modèle Okumura-Hata :**

Le choix du modèle de propagation est un compromis entre la précision de la prévision et l'efficacité de calcul. C'est le modèle le plus utilisé. Il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (Urbain, Suburbain ou Rural) [30]

Pour un environnement urbain, l'affaiblissement de parcours  $L_0$  a pour expression :

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(ht) - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log(ht)) \log(d) \quad [II.8]$$

$$a(hm) = (1.1 \log(f) - 0.7) hm - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad [II.9]$$

Avec

**ht** : Hauteur de l'antenne émettrice en m

**hm** : Hauteur de l'antenne du mobile en m

**d** : Distance en Km

Environnement	Expression
<b>Suburbain</b>	$L_{suburbain} = l_0 - 2 \left[ \log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5.4$
<b>Rural</b>	$L_{rural} = l_0 - 4.78 \left[ \log(f/2) \right]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94$

Le modèle Okumura-Hata a la plage de validité suivant :

<b>Fréquence</b>	150 MHz ... 1500 MHz
<b>Distance</b>	1 Km ... 30 km
<b>Hauteur de l'antenne émettrice</b>	30 m ... 200 m
<b>Hauteur de l'antenne mobile</b>	1 m ... 10 m

**II.2.4.3 Extension de COST 231 au modèle Hata :**

Le modèle Okumura-Hata ne fonctionne que dans la gamme de fréquences supérieure à 1000 MHz. Le groupe COST 231 propose de modifier ce modèle pour créer un autre modèle fonctionnant sur la bande de fréquences 1.5GHz et 2GHz en milieu urbain, puis de l'ajuster pour tous les autres environnements (sous-urbain, urbain dense et rural) distances de 1km à 100km.

L'équation d'affaiblissement de trajectoire pour le modèle Hata-COST 231 est formulée comme suit :

$$PLdB = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log hb - (hm) + (44.9 - 6.55 \log hb) \log d + C \quad [31]$$

[II.10]

<b>les villes sous urbain et rurale : C=0 dB</b>	$(hm)dB = (1.1 \log f - 0.7) hm - (1.56 \log f - 0.8)$
<b>les villes Urbain : C=3 dB</b>	$(hm)dB = 3.2 \log (11.75hm) - 4.97$

Pour les grands centres métropolitains

<b>Fréquence porteuse</b>	1.5GHz à 2GHz
<b>Hauteur de l'antenne de base</b>	30m à 300m
<b>Hauteur de l'antenne mobile</b>	1m à 10m
<b>Distance d</b>	1Km à 20Km

**II.2.4.4 Modèle standard de propagation (SPM) :**

Le modèle de propagation standard est un modèle déduit de la formule Hata particulièrement adapté à la prédication dans la bande 150MHz-3500MHz sur longue distance (1Km<d<20Km), Ce modèle utilise le profil du terrain, les mécanismes de diffraction et prend en compte les classes de fouillis et les hauteurs d'antenne effectives afin de calculer la perte de chemin.

Grâce aux nouvelles fonctionnalités précédentes, SPM est plus souple et s'applique à d'autres scénarios. L'affaiblissement du parcours est donné :

$$\text{Le model} = K1 + K2 \log(d) + K3 \log(HT_{\text{xeff}}) + K4 \times \text{Diffraction Loss} + K5 \log(d) \times \log(HT_{\text{xeff}}) + K6(HR_{\text{xeff}}) + K7 \log(HR_{\text{xeff}}) + K \text{ clutter} \times f(\text{clutter}) \quad [\text{II.11}]$$

Avec :

***K1*** : décalage constant (dB)

***K2*** : facteur de multiplication pour log (d).

***d*** : distance entre le récepteur et l'émetteur (m).

***K3*** : facteur de multiplication pour log (HT<sub>xeff</sub>).

***HT<sub>xeff</sub>*** : hauteur effective de l'antenne d'émission (m).

***K4*** : facteur de multiplication pour le calcul de diffraction.

***Diffraction Loss*** : perte due à la diffraction sur un chemin obstrué (dB).

***K5*** : facteur de multiplication pour log(d) × log(HT<sub>xeff</sub>)

***K6*** : facteur de multiplication pour HR<sub>xeff</sub>

***K7*** : facteur de multiplication pour log (HR<sub>xeff</sub>)

***HR<sub>xeff</sub>*** : efficace hauteur de l'antenne mobile (m).

***K clutter*** : facteur de multiplication de f (clutter)

### **II.2.5 Phénomènes de propagation des ondes :**

Lorsque l'onde électromagnétique se propage dans un environnement réel, elle subit différents phénomènes physiques tels que la réflexion, la transmission, la diffraction et la transmission. La prévalence de chacun de ces phénomènes dépend des obstacles présents dans l'environnement et de la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde. Lorsque la longueur d'onde est petite par rapport à la taille des obstacles, l'onde émise est principalement réfléchi et transmise conformément à la loi de Snell-Descartes. En revanche, la diffraction et la transmission se produisent lorsque des obstacles de taille similaire ou inférieure à  $\lambda$  sont présents.

Dans notre contexte d'étude, l'environnement est composé de murs en béton armé et éventuellement d'obstacles métalliques de grandes dimensions. À la fréquence considérée de 3,6 GHz, le phénomène de réflexion prédomine. De plus, la structure parallèle des parois du

tunnel et la succession de réflexions créent un effet de guidage des ondes dans la direction de propagation.

- **Évanouissements rapides :**

En conséquence de ces interactions, plusieurs échos de l'onde émise, qui ne suivent pas le chemin direct, parviennent au récepteur avec des caractéristiques différentes en termes d'atténuation, de phase et de retard de propagation. En raison des interférences constructives et destructives entre ces trajets multiples (MPC), l'amplitude du signal subit des variations à petite échelle, connues sous le nom d'évanouissements rapides (FF), qui se produisent à intervalles réguliers de demi-longueur d'onde.

Lorsqu'il y a une visibilité directe (LOS) entre l'émetteur et le récepteur, l'enveloppe du champ électromagnétique complexe est souvent modélisée par une loi de Rice avec des paramètres  $s$  et  $\sigma$ . La densité de probabilité de cette enveloppe est définie comme suit :

$$P_{FF}(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+s^2}{2\sigma^2}} + I_0\left(\frac{xs}{\sigma^2}\right) \quad [\text{II.12}]$$

La fonction  $I_0(\cdot)$  représente la fonction de Bessel modifiée de première espèce et d'ordre 0. En revanche, en l'absence du trajet direct (NLOS), le paramètre  $S$  de l'équation tend vers 0. Ainsi, l'amplitude du signal reçu est régie par la loi de Rayleigh de paramètre  $\sigma$ , telle que :

$$P_{FF}(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+s^2}{2\sigma^2}} \quad [\text{II.13}]$$

- **Évanouissements lents :**

Un autre type de variations observé dans le canal à l'échelle d'une dizaine de longueurs d'onde est appelé évanouissements lents, principalement dus à l'effet de masquage (SF pour Shadow Fading). Ces évanouissements lents représentent les écarts de puissance reçue par rapport à sa valeur moyenne. La distribution de puissance de ces variations, exprimée en dB, suit généralement une loi normale avec une moyenne nulle et un écart type  $\sigma$ , comme suit :

$$P_{SF}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad [\text{II.14}]$$

- **Pertes par propagation :**

Les pertes de propagation (PL pour Path Loss) désignent l'affaiblissement moyen de puissance subi par un signal lors de sa propagation entre l'émetteur et le récepteur. En

l'absence d'obstacles significatifs, il peut être décrit par la formule de Friis, qui exprime le rapport entre la puissance émise et la puissance reçue :

$$PL(f, d) = 20 \times \log_{10} \left( \frac{4\pi f d}{c} \right) - G_T(f) - G_R(f) \quad [\text{II.15}]$$

Où  $G_T$  et  $G_R$  représentent respectivement les gains des antennes à l'émission et à la réception,  $c$  la célérité de la lumière,  $f$  la fréquence, et  $d$  la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Il est important de noter que cette relation est valide uniquement lorsque la distance  $d$  est supérieure à la distance de Fraunhofer  $dF$ . Cette distance est liée à la plus grande dimension de l'antenne d'émission  $D$  et à la longueur d'onde  $\lambda$  du signal émis, selon la relation suivante :

$$dF = \frac{2D^2}{\lambda} \quad [\text{II.16}]$$

Dans un canal réel, nous introduisons les paramètres  $n_d$  et  $n_f$  dans l'équation (II.9) pour prendre en compte respectivement la dépendance en distance et en fréquence des pertes de propagation. Ainsi, nous obtenons :

$$PL(f, d) = PL(f_0, d_0) + 10n_d \times \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + 10n_f \times \log_{10} \left( \frac{f}{f_0} \right) \quad [\text{II.17}]$$

Lorsque  $d_0$  et  $f_0$  sont respectivement une distance et une fréquence de référence, le paramètre  $n_d$  décrit l'environnement de propagation en prenant en compte les phénomènes mentionnés précédemment dans cette section. L'effet de guidage peut entraîner des valeurs de  $n_d$  inférieures à celles en espace libre lorsque la visibilité est présente. En situation NLOS, ces valeurs varient généralement entre 2 et 5. D'autre part, le paramètre  $n_f$  est principalement lié aux gains des antennes de transmission. Étant donné que nous faisons la distinction entre le canal de propagation et le canal de transmission, ce paramètre n'est pas pertinent pour notre modèle et conserve sa valeur théorique  $n_f = 2$ .

### **II.3 Planification 5G NR :**

La planification 5G comprend la planification de NR (New Radio) qui fournit des débits de données et une capacité beaucoup plus élevée en utilisant de nouvelles bandes haute fréquence.

La planification du réseau d'accès radio 5G est un processus consistant à proposer l'emplacement des sites, la configuration et les paramètres des nœuds de réseau à déployer dans un réseau sans fil. Les objectifs de planification du réseau radio sont atteints par une

sélection appropriée des emplacements des sites, des configurations et des paramètres de tous les paramètres, y compris les hauteurs d'antenne, les azimuts, les angles, etc. sont beaucoup plus élevés que les technologies sans fil précédentes. Le processus de planification est réalisé par sa conception RF et l'utilisation d'un outil de planification pour effectuer la conception.

### II.3.1 Processus de planification du réseau radio mobile :

Dans les réseaux mobiles le dimensionnement et la planification radio sont deux fonctions qui partent ensemble. La planification radio suit l'étape de dimensionnement. Elle consiste à déterminer le nombre de stations de bases pouvant donner une capacité optimale et une couverture maximale avec le minimum de coût. La couverture maximale signifie que le mobile peut se connecter à une cellule donnée à une distance maximale possible. Ceci est possible si le rapport signal sur bruit est moindre.

Le processus de planification d'un réseau radio mobile passe par plusieurs étapes, en tenant compte de divers critères.

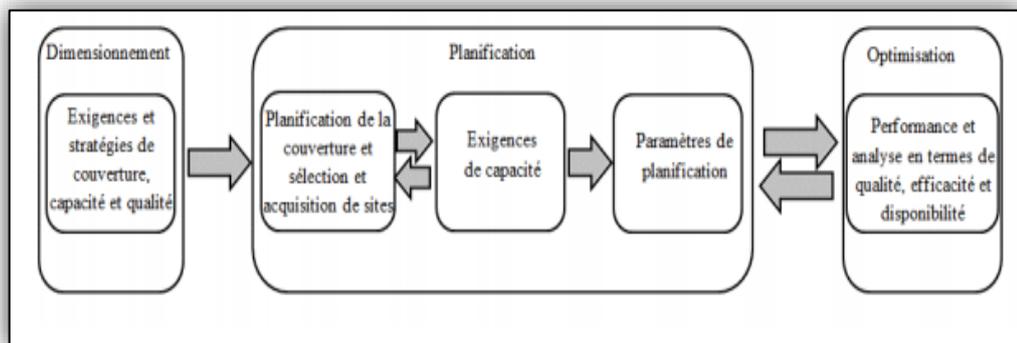


Figure II.1 : processus général de la planification des réseaux mobiles

### II.3.2 Paramétrage du réseau radio :

#### II.3.2.1 Paramétrage du transmetteur :

- Classe de la station de base (Hardware) : La 5G NR a été normalisée par 3GPP, qui a défini trois catégories de stations de base : la station de base étendue (Wide Area), la station de base à portée moyenne (Medium Range) et la station de base locale (Local Area). Chacune de ces catégories correspond à un type de cellule déployée, à savoir Macro, Micro et Pico. Les spécifications de 3GPP pour ces

catégories garantissent que les caractéristiques radios telles que la puissance d'émission maximale autorisée, la sensibilité minimale du récepteur, la distance minimale entre l'UE et/ou la prise en charge de la perte de couplage minimale sont adaptées à chaque type de déploiement.

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des caractéristiques :

*Tableau II.3 : Spécification des caractéristiques de trois classes*

<b>Classe de la BS</b>	<b>Puissance de Transmission</b>	<b>Perte de Couplage Minimale</b>	<b>Distance Minimale entre BS et UE</b>
<b>Large zone</b>	Pas de limite supérieure	70 dB	35m
<b>Portée moyenne</b>	< 38dBm or 6.3 watts	53dB	5m
<b>Zone locale</b>	<24 dBm or 0.25 watts	45Db	2m

- **La hauteur de l'antenne par rapport au sol** : correspond à la distance verticale entre le support de l'antenne et le niveau du sol où il est installé.
- **Azimut de l'antenne** : l'orientation de l'axe de l'antenne par rapport au nord géographique.
- **L'antenne** : est un élément essentiel pour assurer des communications radio fiables. Ses paramètres et caractéristiques jouent un rôle décisif dans le bilan de liaison à savoir passive ou active AAS, gain, fréquences et diagramme de rayonnement plan H et V.
- **Nombre de secteurs** : le nombre d'antennes avec des azimuts différents permettant la couverture 360°.

**II.3.2.2 Paramétrage des caractéristiques de la cellule :**

- **SCS** : L'espacement fréquentiel entre les sous-porteuses dans un système de communication est défini par la valeur de SCS, qui peut varier de 15 KHz à 240 KHz selon la formule  $15 \cdot 2^n$ . La valeur de SCS est utilisée pour déterminer le nombre de blocs de ressources disponibles dans une bande passante donnée, ce qui permet ensuite de calculer la puissance du signal de référence (RS).
- **Mode de duplexage** : FDD ou TDD

- **Format structure trame** : La 5G propose plusieurs structures de trames, notamment la trame pure 5G NR et la trame compatible 4G, décalée de 2/3ms ou non. La structure de la trame utilisée est importante pour déterminer le nombre de créneaux temporels (slots) disponibles en DL et UL, ce qui permet d'estimer plus précisément les débits DL et UL.
- **PCI** : Chaque cellule 5G NR correspond à un identifiant de cellule physique (PCI) et est utilisé pour distinguer les cellules du côté radio. Cet identifiant est obtenu suite aux combinaisons entre les signaux de synchronisation primaire et secondaire PSS et SSS et dans la 5G New Radio, il existe 1008 PCI uniques par rapport aux PCI LTE 504[37].

### II.3.2.3 Paramétrage divers :

- Récepteur : Hauteur : 1.7m par rapport au sol (taille moyenne d'une personne)
- Gain : 0 dBi
- Puissance : 23 dBm
- Noise figure : le bruit ajouté produit par les circuits électroniques tels que le modulateur (sa valeur typique est de 5 dB).
- Sensibilité : la puissance minimale détectée par le récepteur qui permettra de restituer l'information envoyée et dépend du terminal utilisé.
- Service : Type : Voix, données, navigation web, streaming
- Débit : différentes valeurs et dépend le MCS utilisé.
- Mobilité : Fixe, piéton, Moyenne et haute vitesse.

### II.3.3 Analyse des KPI :

#### II.3.3.1 Analyse de la couverture cellulaire selon le meilleur signal, le meilleur serveur et le faisceau :

- **Meilleure couverture du signal** :

Pour prédire les zones de couverture d'un réseau, une estimation de la couverture par niveau de signal peut être effectuée. Cette estimation est basée sur la puissance du signal reçu par le terminal à chaque pixel d'une carte géographique. Elle fournit des informations sur le pourcentage de la zone couverte en fonction des seuils de couverture souhaités pour les

environnements Outdoor, Indoor et Incar. La couverture est calculée en utilisant la puissance de référence la plus élevée pour l'ensemble des cellules actives dans le réseau. L'analyse des résultats obtenus permet d'identifier les zones non couvertes ou présentant un niveau de couverture insuffisant et inacceptable.

- **Meilleure couverture de la cellule serveuse :**

La prédiction de couverture par émetteur permet de déterminer les zones de couverture pour chaque émetteur en chaque point de la carte, plutôt que la couverture globale. Cette prédiction fournit des informations sur la zone couverte par chaque émetteur (secteur) et la contribution de chaque émetteur à la couverture totale ou à sa zone de domination.

- **La couverture par faisceau :**

Comme la technologie 5G NR utilise différents faisceaux étroits (en fonction de la bande de fréquence) dans un secteur ou une cellule donnée, la prédiction de couverture peut également être basée sur la couverture de chaque faisceau et sa contribution à la couverture de la même cellule.

### II.3.3.2 Analyse des interférences (CINR), qualité et de recouvrement

#### (Overlapping) :

- **Recouvrement (Overlapping) :**

Les zones de recouvrement sont formées de pixels qui, pour une condition donnée, reçoivent le signal d'au moins deux émetteurs adjacents ou opposés. Ces prévisions indiquent le niveau d'interférences dans les zones de chevauchement entre les cellules.

- **$C/(I+N)$  :**

La prédiction de couverture en DL et UL par rapport au niveau ( $C/(I+N)$ ) permet de prédire les niveaux de signal et d'interférence dans la zone couverte par le réseau étudié. Cela aide à évaluer les niveaux de brouillage dans le réseau.

### II.3.3.3 Analyse des débits DL et UL :

Les prévisions de couverture de débit en liaison descendante et en liaison montante consistent à calculer les débits de canal et les capacités cellulaires pour chaque pixel de la carte géographique, en prenant en compte le rapport signal sur interférence plus bruit ( $C/(I+N)$ ). Ces prévisions permettent également d'afficher les débits cellulaires agrégés en cas de CA (agrégation de porteuses)."

Les valeurs de  $C(I+N)$  sont déterminantes et permettant de sélectionner le MCS et l'ordre de modulation adéquat qui aura un impact sur le débit fourni à l'utilisateur dans un point donné suivant une telle condition radio bonne ou mauvaise en centre de cellule ou au bordure. [37]

### II.3.4 Planification des ressources :

#### II.3.4.1 Planification de l'ID de cellule physique (PCI) 5G NR :

Chaque cellule 5G NR correspond à un identifiant de cellule physique (PCI) et est utilisé pour distinguer les cellules du côté radio. La planification PCI pour 5G NR est très similaire à la planification PCI pour LTE et à la planification de code de brouillage pour 3G UMTS. Une mauvaise planification peut affecter la procédure de synchronisation, la démodulation et la signalisation de transfert et dégrader les performances du réseau. La planification PCI devrait être plus simple pour NR par rapport à LTE car il y a deux fois plus de PCI disponibles pour l'allocation. [38]

Dans 5G New Radio, il existe 1008 PCI uniques par rapport aux PCI LTE 504 et il est donné par la formulation suivante :

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)} \quad [II.18]$$

- $N_{ID}^{(1)}$  = signal de synchronisation secondaire (SSS) et sa plage est de  $\{0, 1, \dots, 335\}$
- $N_{ID}^{(2)}$  = signal de synchronisation primaire (PSS) et sa plage est de  $\{0, 1, 2\}$

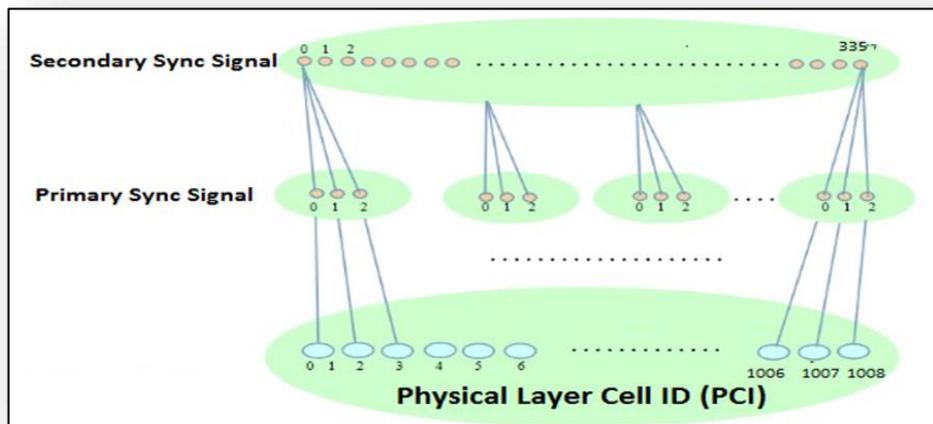


Figure II.2 : ID de cellule de couche physique (PCI). [38]

- Principes de planification PCI du réseau 5G

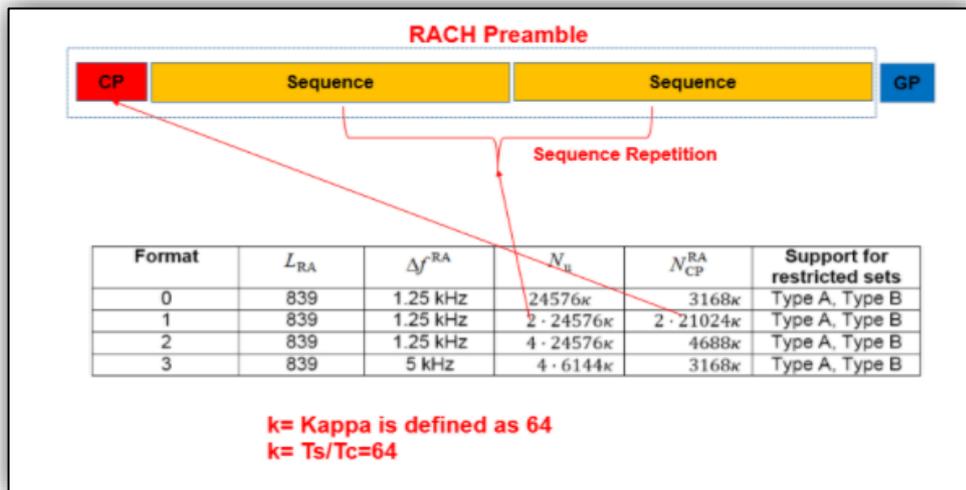
La planification PCI 5G doit être effectuée en gardant à l'esprit les éléments suivants

- **Éviter les collisions PCI** : Dans le cadre de ce principe de planification de réseau, les cellules voisines ne peuvent pas se voir attribuer le même PCI. Si des cellules voisines se voient attribuer le même PCI, une seule des cellules voisines peut être synchronisée pendant la recherche de cellule initiale dans la zone de chevauchement. Cependant, la cellule n'est peut-être pas la plus appropriée. Ce phénomène est appelé collision.
- **Éviter la confusion PCI** : Selon ce principe de planification de réseau, deux cellules voisines d'une cellule ne peuvent pas être attribuées avec le même PCI. Si le même PCI leur est attribué, la station de base ne saura pas quelle est la cellule cible lors d'une demande de transfert d'un UE. Cela créera une situation de confusion. L'approche lors de l'allocation de PCI doit être telle qu'une cellule ne doit pas avoir plusieurs voisins utilisant le même PCI et la séparation physique entre les cellules utilisant le même PCI doit être suffisamment grande pour éviter les confusions de voisinage
- **Minimisation de l'impact sur les performances du réseau** : sur la base de la conception des différents signaux de la couche physique (PSS, DMRS et SRS), des canaux (PUSCH, PUCCH) et de l'allocation temps-fréquence, la planification PCI doit envisager de suivre Mod pour réduire les interférences. Selon ce principe de

mode, l'UE ne devrait pas pouvoir recevoir simultanément plusieurs PCI avec les modes suivants : Module PCI 3, Module PCI 4, Module PCI 30 [38]

**II.3.4.2 Planification PRACH :**

Le terminal utilisateur envoie un préambule au gNB sur le canal PRACH pour obtenir la synchronisation UL. Tout comme dans LTE, la 5G NR définit 64 préambules pour chaque occasion PRACH temps-fréquence. Chaque préambule se compose de deux parties : le préfixe cyclique (CP) et la séquence de préambule.



*Figure II.3 : Composition de PRACH préambule*

Dans la 5G NR, il existe 13 types de format de préambule pris en charge : Format 0, Format 1, Format 2, Format 3, Format A1, Format A2, Format A3, Format B1, Format B2, Format B3, Format B4, Format C0, Format C1. Ces 13 types de format de préambule peuvent être regroupés en deux catégories : un long préambule et un court préambule.



**CHAPITRE III:  
SIMILATION DE LA 5G NR SUR ATOLL**

### **III.1 Introduction :**

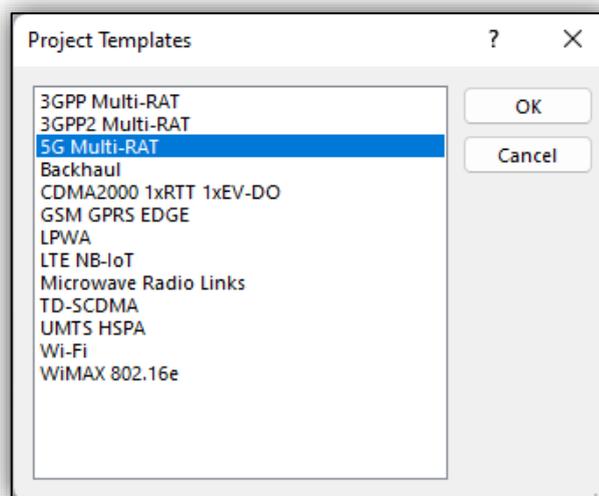
Afin d'approfondir notre compréhension de la planification d'un réseau 5G NR, nous allons illustrer le processus à travers un cas pratique. Nous suivrons différentes étapes de planification, en utilisant principalement le logiciel Atoll pour faciliter notre progression et effectuer des simulations plus précises.

L'outil Atoll est un logiciel de planification de réseau affiné de la société FORSK, cet outil comprend une fonction avancée de planification de réseau multi-technologies et un accès à la radio comme 5G NR, LTE, NB-IoT, UMTS, GSM et CDMA, RAT unique RAN-multiple intégré les capacités de conception des réseaux pour les technologies d'accès à la radio cellulaire mentionnées précédemment. Cette plateforme offre aux opérateurs et aux fournisseurs un cadre leur permettant de concevoir, d'optimiser et de planifier leurs réseaux, car les avancées technologiques sont constantes et les utilisateurs demandent de plus en plus de services nombreux et de meilleure qualité.

Dans ce chapitre on va effectuer Planification réseau radio 5G a partir d'un réseau 4G LTE existant sur le logiciel Atoll afin d'assurer une bonne couverture dans la ville de Blida.

### **III.2 Démarrage d'un projet Atoll :**

Pour démarrer, l'utilisateur doit créer un nouveau projet. Le logiciel propose différentes technologies prises en charge par celui-ci. Dans notre cas, la technologie à sélectionner est la 5G NR.



*Figure III.1: Nouveau document Atoll*



III.2.2 Mise en place des sites :

La plupart des sites étaient situés au cœur de la ville, là où se trouve la plus grande concentration de population.

Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Support Height (m)	Support Type	Max No. of UL CEs	Max No. of DL CEs	Max lub UL Backhaul Throughput (kbps)	Max lub DL Backhaul Throughput (kbps)	Equipment	Comments	Alias	Max Backhaul Throughput (DL) (kbps)	Max Backhaul Throughput (UL) (kbps)
91033	2,82621	36,48544	[212]	28		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
91037	2,83531	36,48209	[235]	12		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
91046	2,84776	36,48297	[247]	21		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
91048	2,84755	36,48687	[228]	17		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9105	2,81917	36,4722	[232]	35		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9106	2,83362	36,4784	[243]	25		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9605	2,83469	36,47362	[267]	35		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9634	2,84166	36,48288	[238]	20		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9661	2,83356	36,48744	[213]	25		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9663	2,82179	36,4778	[228]	21		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9665	2,8261	36,47366	[241]	18		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9672	2,82886	36,48172	[229]	18		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9673	2,81873	36,48592	[202]	18		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9686	2,81835	36,48143	[211]	18,5		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000
9778	2,84441	36,48587	[229]	20,5		256	256	12 288	12 288				950 000	950 000

Figure III.4 : Liste des sites 4G LTE.

Site	Transmitter	Active	Transmitter Type	Antenna	DX (m)	DY (m)	Use Absolute Coordinates	Longitude	Latitude	Height (m)	Azimuth (°)	Mechanical Down tilt (°)	Additional Electrical Down tilt (°)
91033	091033_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82621	36,48544	28	0	0	0
91033	091033_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82621	36,48544	28	150	0	0
91033	091033_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82621	36,48544	28	290	0	0
91037	091037_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83531	36,48209	12	30	0	0
91037	091037_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83531	36,48209	12	140	0	0
91037	091037_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83531	36,48209	12	290	0	0
91046	091046_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84776	36,48297	21	20	0	0
91046	091046_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84776	36,48297	21	150	0	0
91046	091046_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84776	36,48297	21	290	0	0
91048	091048_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84755	36,48687	17	0	0	0
91048	091048_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84755	36,48687	17	120	0	0
91048	091048_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84755	36,48687	17	240	0	0
9105	09105_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,81917	36,4722	35	345	0	0
9105	09105_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,81917	36,4722	35	155	0	0
9105	09105_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,81917	36,4722	35	200	0	0
9106	09106_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83362	36,4784	25	0	0	0
9106	09106_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83362	36,4784	25	120	0	0
9106	09106_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83362	36,4784	25	320	0	0
9605	09605_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83469	36,47362	25	0	0	0
9605	09605_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83469	36,47362	25	120	0	0
9605	09605_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83469	36,47362	25	320	0	0
9634	09634_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84166	36,48288	20	50	0	0
9634	09634_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84166	36,48288	20	210	0	0
9634	09634_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84166	36,48288	20	310	0	0
9661	09661_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83356	36,48744	25	50	0	0
9661	09661_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83356	36,48744	25	180	0	0
9661	09661_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83356	36,48744	25	300	0	0
9663	09663_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82179	36,4778	21	60	0	0
9663	09663_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82179	36,4778	21	300	0	0
9663	09663_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82179	36,4778	21	180	0	0
9665	09665_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,8261	36,47366	18	40	0	0
9665	09665_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-net	HU_ATR4518R11V6_T1_180	0	0	<input type="checkbox"/>	2,8261	36,47366	18	40	0	0

Figure III.5 : Listes des émetteurs du réseau 4G LTE.

La figure ci-dessous illustre la composition de ce réseau et le positionnement des sites 4G :



*Figure III.6 : Postions des sites, des émetteurs du réseau 4G LTE.*



*Figure III.7: Positionnement des sites et émetteurs 4G LTE via Google Earth.*

### **III.2.3 Attribution automatique des voisins :**

Comme mentionné dans le chapitre précédent concernant le voisinage, cette étape est essentielle et consiste à définir les cellules voisines. Cela aide à attribuer des identifiants de cellules (PCI) de manière plus efficace, afin de prévenir les interférences préjudiciables

### CHAPITRE III : SIMULATION D'UN RESEAU 5G NR SUR ATOLL

causées par les collisions de PCI. Ces interférences peuvent avoir un impact significatif sur la qualité d'expérience (QoE) des utilisateurs.

Cell	Number	Maximum number	Neighbour	Importance (%)	Cause	Relation type	Coverage (%)	Coverage (km <sup>2</sup> )	Adjacency (%)	Adjacency (km <sup>2</sup> )	Commit
091033_1	5	16	091033_3	66,54	Co-Site	Intra-carrier	16,26	0,1325	2,45	0,02	✓
			091033_2	64,15	Co-Site	Intra-carrier	0,61	0,005	0,31	0,0025	✓
			09673_1	41,14	Adjacent	Intra-carrier	42,33	0,345	25,15	0,205	✓
			09661_3	40,05	Adjacent	Intra-carrier	28,53	0,2325	26,07	0,2125	✓
091033_2	9	16	09661_1	35,69	Adjacent	Intra-carrier	11,96	0,0975	10,12	0,0825	✓
			091033_3	64	Co-Site	Intra-carrier					✓
			091033_1	64	Co-Site	Intra-carrier					✓
			09605_2	40,11	Adjacent	Intra-carrier	61,86	0,6975	11,09	0,125	✓
			09672_3	34,23	Adjacent	Intra-carrier	6,43	0,0725	4,43	0,05	✓
			09672_1	33,42	Adjacent	Intra-carrier	2,22	0,025	2	0,0225	✓
091033_3	6	16	09672_2	32,98	Adjacent	Intra-carrier	0,89	0,01	0,22	0,0025	✓
			09661_3	32,93	Adjacent	Intra-carrier	0,67	0,0075	0,44	0,005	✓
			09661_2	32,91	Adjacent	Intra-carrier	0,89	0,01	0,22	0,0025	✓
			09106_2	16,5	Coverage	Intra-carrier	26,16	0,295			✓
			091033_1	64,86	Co-Site	Intra-carrier	3,25	0,05	1,95	0,03	✓
			091033_2	64,06	Co-Site	Intra-carrier	0,16	0,0025	0,16	0,0025	✓
091037_1	5	16	09686_3	43,7	Adjacent	Intra-carrier	56,59	0,87	32,52	0,5	✓
			09673_1	40,12	Adjacent	Intra-carrier	33,17	0,51	24,07	0,37	✓
			09673_2	33,22	Adjacent	Intra-carrier	2,11	0,0325	1,3	0,02	✓
			09673_3	32,93	Adjacent	Intra-carrier	0,81	0,0125	0,33	0,005	✓
			091037_2	66,2	Co-Site	Intra-carrier	6,12	0,0075	6,12	0,0075	✓
			091037_3	65,47	Co-Site	Intra-carrier	4,08	0,005	4,08	0,005	✓
091037_2	5	16	09634_3	40,36	Adjacent	Intra-carrier	38,78	0,0475	22,45	0,0275	✓
			09661_2	37,96	Adjacent	Intra-carrier	20,41	0,025	18,37	0,0225	✓
			09661_1	16,29	Coverage	Intra-carrier	24,49	0,03			✓
			091037_1	65,95	Co-Site	Intra-carrier	5,41	0,005	5,41	0,005	✓
091037_3	5	16	091037_3	64	Co-Site	Intra-carrier					✓
			09634_2	40,85	Adjacent	Intra-carrier	40,54	0,0375	24,32	0,0225	✓
			09106_2	38,46	Adjacent	Intra-carrier	40,54	0,0375	10,81	0,01	✓
			09106_1	33,84	Adjacent	Intra-carrier	5,41	0,005	2,7	0,0025	✓
			091037_1	65,09	Co-Site	Intra-carrier	3,03	0,0025	3,03	0,0025	✓
091037_2	64,36	Co-Site	Intra-carrier	3,03	0,0025			✓			

Figure III.8 : Attribution automatique du voisinage des cellules du réseau 4G LTE.

#### III.2.4 Allocation automatique de PCI et PRACH :

Après avoir attribué le voisinage de chaque cellule dans ce réseau, l'opération d'allocation automatique des PCI pourra se faire correctement et donnera des résultats satisfaisants.

Site	Transmitter	Radio Access Technology	Frequency Band	Initial PCI/NPCI	PCI/NPCI	Initial PSS/NPSS ID	PSS/NPSS ID	Initial SSS/NSSS ID	SSS/NSSS ID	Cost	SSS ID Status	PSS ID Status
91033	091033_1	LTE	LTE 1800_10MHz	34		1		11		-	Allocated	Allocated
	091033_2	LTE	LTE 1800_10MHz	35		2		11		-	Allocated	Allocated
	091033_3	LTE	LTE 1800_10MHz	33		0		11		-	Allocated	Allocated
91037	091037_1	LTE	LTE 1800_10MHz	97		1		32		-	Allocated	Allocated
	091037_2	LTE	LTE 1800_10MHz	98		2		32		-	Allocated	Allocated
	091037_3	LTE	LTE 1800_10MHz	96		0		32		-	Allocated	Allocated
91046	091046_1	LTE	LTE 1800_10MHz	149		2		49		-	Allocated	Allocated
	091046_2	LTE	LTE 1800_10MHz	147		0		49		-	Allocated	Allocated
	091046_3	LTE	LTE 1800_10MHz	148		1		49		-	Allocated	Allocated
91048	091048_1	LTE	LTE 1800_10MHz	239		2		79		-	Allocated	Allocated
	091048_2	LTE	LTE 1800_10MHz	238		1		79		-	Allocated	Allocated
	091048_3	LTE	LTE 1800_10MHz	237		0		79		-	Allocated	Allocated
9105	09105_1	LTE	LTE 1800_10MHz	341		2		113		-	Allocated	Allocated
	09105_2	LTE	LTE 1800_10MHz	340		1		113		-	Allocated	Allocated
	09105_3	LTE	LTE 1800_10MHz	339		0		113		-	Allocated	Allocated
9106	09106_1	LTE	LTE 1800_10MHz	415		1		138		-	Allocated	Allocated
	09106_2	LTE	LTE 1800_10MHz	416		2		138		-	Allocated	Allocated
	09106_3	LTE	LTE 1800_10MHz	414		0		138		-	Allocated	Allocated
9605	09605_1	LTE	LTE 1800_10MHz	189		0		63		-	Allocated	Allocated
	09605_2	LTE	LTE 1800_10MHz	190		1		63		-	Allocated	Allocated
	09605_3	LTE	LTE 1800_10MHz	191		2		63		-	Allocated	Allocated
9634	09634_1	LTE	LTE 1800_10MHz	140		2		46		-	Allocated	Allocated
	09634_2	LTE	LTE 1800_10MHz	139		1		46		-	Allocated	Allocated
	09634_3	LTE	LTE 1800_10MHz	138		0		46		-	Allocated	Allocated
9661	09661_1	LTE	LTE 1800_10MHz	285		0		95		-	Allocated	Allocated
	09661_2	LTE	LTE 1800_10MHz	287		2		95		-	Allocated	Allocated
	09661_3	LTE	LTE 1800_10MHz	286		1		95		-	Allocated	Allocated
9663	09663_1	LTE	LTE 1800_10MHz	418		1		139		-	Allocated	Allocated
	09663_2	LTE	LTE 1800_10MHz	419		2		139		-	Allocated	Allocated
	09663_3	LTE	LTE 1800_10MHz	417		0		139		-	Allocated	Allocated
9665	09665_2	LTE	LTE 1800_10MHz	0		0		0		-	Allocated	Allocated
	09665_3	LTE	LTE 1800_10MHz	2		2		0		-	Allocated	Allocated

Figure III.9 : Allocation automatique des PCI's pour le réseau 4G LTE.

Par la suite, on procède à l'allocation automatique de PRACH. Le canal physique PRACH est utilisé pour transmettre les demandes d'accès en liaison montante lors de l'établissement ou du rétablissement de la connexion radio avec un nœud radioélectrique.

Site	Transmitter	Name	Frequency Band	PRACH RSI Domain	Number of Required PRACH RSI	Initial PRACH RSIs	PRACH RSIs	Cost	PRACH RSI Allocation Status
91033	091033_1	091033_1	LTE 1800_10MHz		1		718	0	Not Allocated
	091033_2	091033_2	LTE 1800_10MHz		1		358	0	Not Allocated
	091033_3	091033_3	LTE 1800_10MHz		1		251	0	Not Allocated
91037	091037_1	091037_1	LTE 1800_10MHz		1		577	0	Not Allocated
	091037_2	091037_2	LTE 1800_10MHz		1		269	0	Not Allocated
	091037_3	091037_3	LTE 1800_10MHz		1		826	0	Not Allocated
91046	091046_1	091046_1	LTE 1800_10MHz		1		235	0	Not Allocated
	091046_2	091046_2	LTE 1800_10MHz		1		494	0	Not Allocated
	091046_3	091046_3	LTE 1800_10MHz		1		717	0	Not Allocated
91048	091048_1	091048_1	LTE 1800_10MHz		1		96	0	Not Allocated
	091048_2	091048_2	LTE 1800_10MHz		1		689	0	Not Allocated
	091048_3	091048_3	LTE 1800_10MHz		1		733	0	Not Allocated
9105	09105_1	09105_1	LTE 1800_10MHz		1		227	0	Not Allocated
	09105_2	09105_2	LTE 1800_10MHz		1		182	0	Not Allocated
	09105_3	09105_3	LTE 1800_10MHz		1		35	0	Not Allocated
9106	09106_1	09106_1	LTE 1800_10MHz		1		102	0	Not Allocated
	09106_2	09106_2	LTE 1800_10MHz		1		45	0	Not Allocated
	09106_3	09106_3	LTE 1800_10MHz		1		561	0	Not Allocated
9605	09605_1	09605_1	LTE 1800_10MHz		1		441	0	Not Allocated
	09605_2	09605_2	LTE 1800_10MHz		1		265	0	Not Allocated
	09605_3	09605_3	LTE 1800_10MHz		1		593	0	Not Allocated
9634	09634_1	09634_1	LTE 1800_10MHz		1		64	0	Not Allocated
	09634_2	09634_2	LTE 1800_10MHz		1		278	0	Not Allocated
	09634_3	09634_3	LTE 1800_10MHz		1		558	0	Not Allocated
9661	09661_1	09661_1	LTE 1800_10MHz		1		38	0	Not Allocated
	09661_2	09661_2	LTE 1800_10MHz		1		782	0	Not Allocated
	09661_3	09661_3	LTE 1800_10MHz		1		537	0	Not Allocated
9663	09663_1	09663_1	LTE 1800_10MHz		1		219	0	Not Allocated
	09663_2	09663_2	LTE 1800_10MHz		1		259	0	Not Allocated
	09663_3	09663_3	LTE 1800_10MHz		1		262	0	Not Allocated
9665	09665_2	09665_2	LTE 1800_10MHz		1		494	0	Not Allocated
	09665_3	09665_3	LTE 1800_10MHz		1		11	0	Not Allocated

*Figure III.10 : Allocation automatique des PRACH's pour le réseau 4G LTE.*

### III.3 Etudes de prédiction 4G-LTE :

Une fois que tous les éléments requis sont rassemblés, les simulations de couverture sont prêtes à être réalisées. Elles permettront d'analyser la qualité et le niveau du signal reçu à la fois en liaison montante et en liaison descendante. Dans notre cas, nous concentrons spécifiquement sur la liaison descendante (DL) et nous étudierons les prédictions suivantes :

#### III.3.1 Prédiction de la couverture par niveau de signal :

Cette prédiction permet d'estimer la puissance du meilleur signal reçu par un appareil mobile à chaque point de la zone de calcul. L'objectif de cette étude est de détecter d'éventuelles zones non couvertes et d'essayer de les résoudre en apportant des modifications à la configuration des sites et des émetteurs, telles que le déplacement d'un site, le changement de l'azimut d'un émetteur, l'ajustement de la puissance ou l'inclinaison (tilt) d'une antenne. L'objectif est d'améliorer la couverture dans ces zones et d'optimiser la qualité du signal reçu par les utilisateurs.

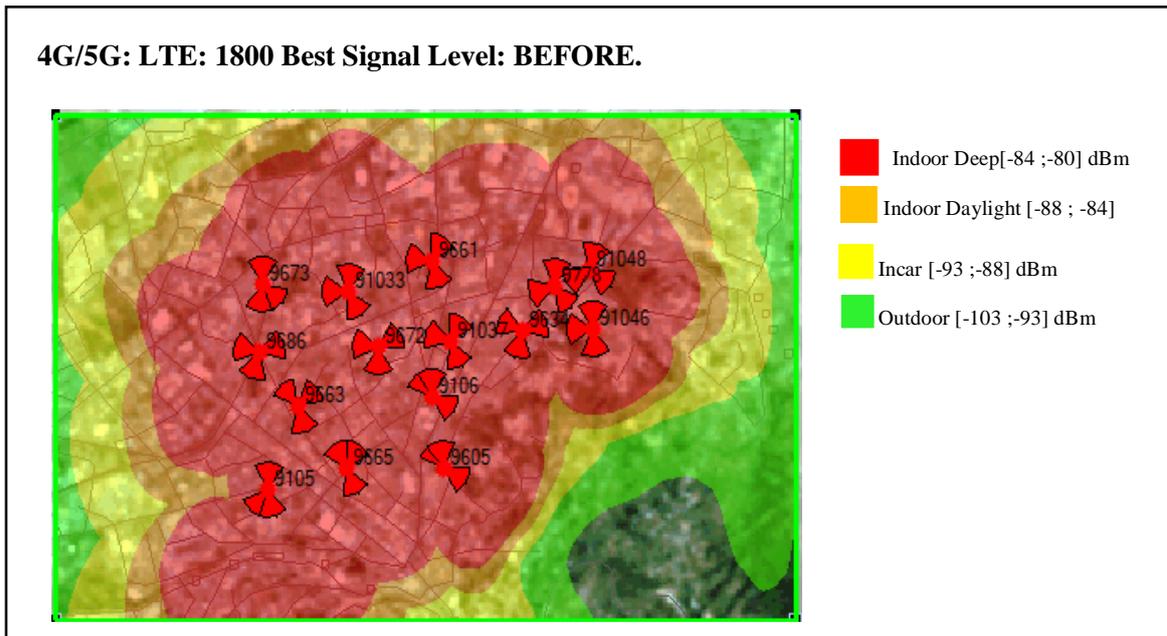


Figure III.11 : Prédiction de la couverture par niveau de signal 4G LTE.

En observant la figure ci-dessus, nous constatons que la couverture de la zone est insuffisante, ce qui est illustré par des dégradations de couleur. Chaque couleur représente un niveau de signal, et la majeure partie de la zone est couverte en vert, ce qui correspond à une valeur de signal faible (-93 à -103dBm). Le reste de la zone est représenté en rouge, orange et jaune, ce qui indique de meilleures valeurs de signal (-84 à -93 dBm), d'après la légende qui associe chaque couleur à sa propre valeur de niveau de signal.

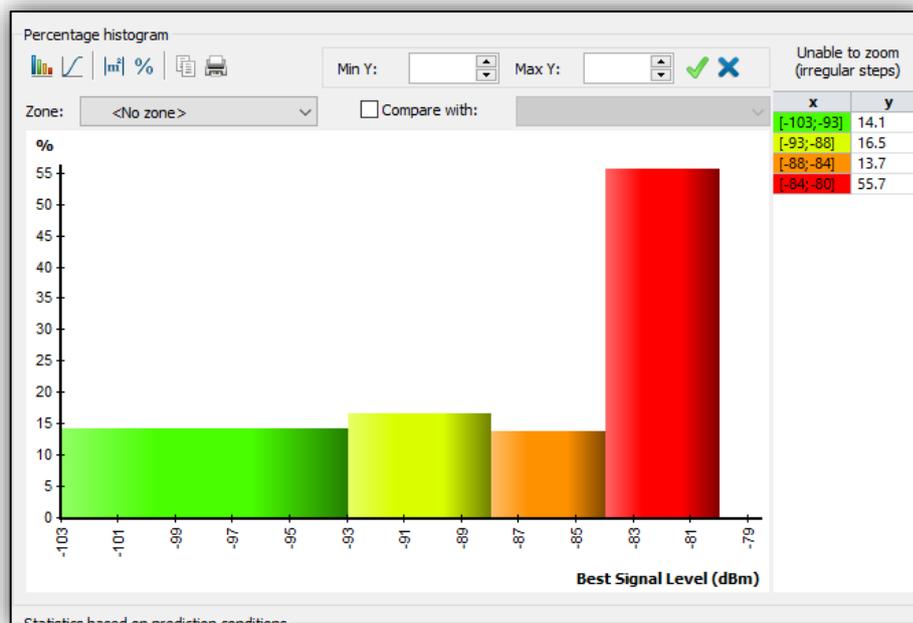


Figure III.12 : Histogramme prédiction du niveau de signal 4G LTE.

Tableau III.1: Rapport sur la couverture du réseau 4G LTE avant l'optimisation.

Zone	Prédiction	Légende	Surface de zone (Km <sup>2</sup> )	Surface de zone (Km <sup>2</sup> )	Surface de couverture %	Zone de concentration %
Zone de concentration	LTE : 1800 Best Signal Level <Filtered> Before		21,87745	20,235619	100	92,5
		Indoor Deep		10,744013	53,094561	49,1
		Indoor Daylight		13,528321	66,854004	61,8
		Incar		16,912756	83,57914	77,3
		Outdoor		20,235619	100	92,5

III.3.2 Prédications de la couverture par RSRQ (PDSCH C/ (I+N)) :

RSRQ utilisé plus spécifiquement dans les réseaux LTE pour mesurer la qualité du signal sur la liaison descendante (down Link) entre la station de base (eNodeB) et l'appareil mobile. Le RSRQ est utilisé en conjonction avec le RSRP pour améliorer la précision des décisions de transfert d'un appareil mobile d'une cellule à une autre ou pour sélectionner la meilleure cellule à laquelle se connecter. Lorsque le RSRP seul ne fournit pas suffisamment d'informations sur la qualité du signal et les conditions du réseau, le RSRQ est pris en compte pour une évaluation plus précis. Il est calculé suivant la formule suivante :  $RSRQ=RSRP/RSSI$

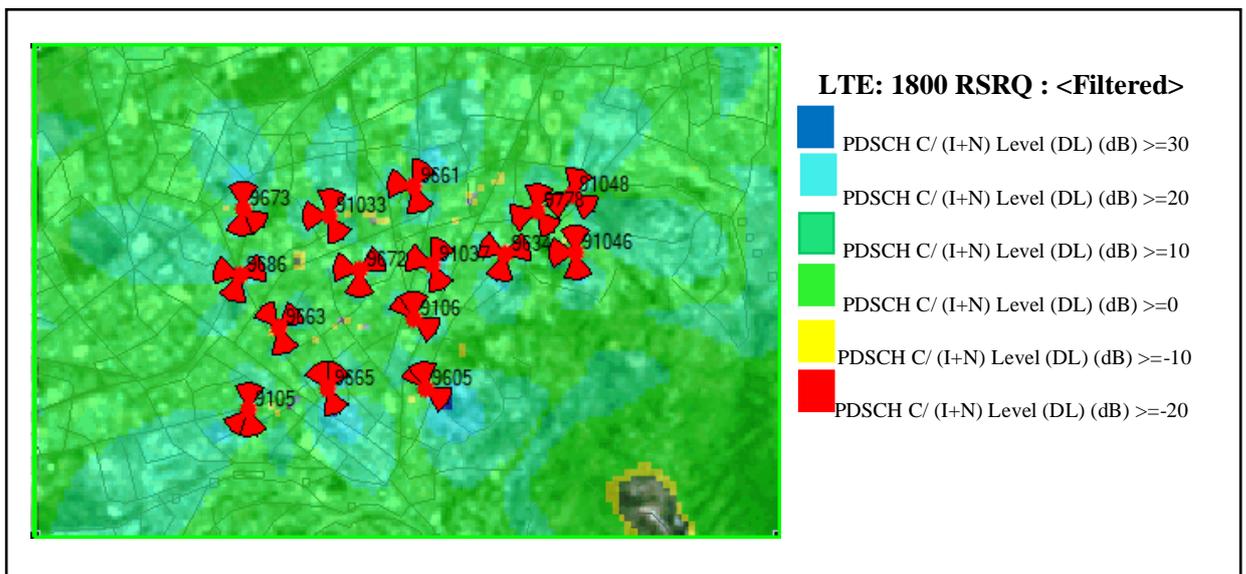


Figure 0.13 : prédiction de la couverture par niveau de C/(I+N) 4G LTE.

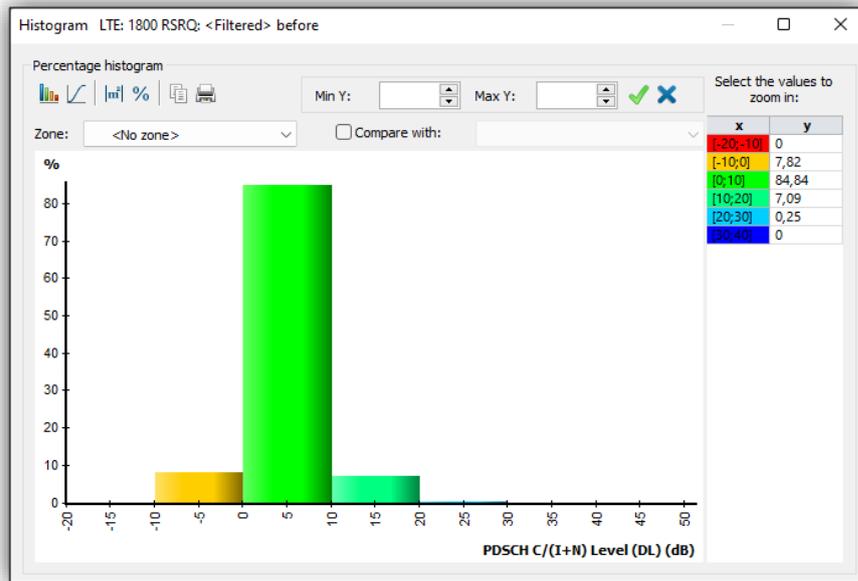


Figure III.14 : Histogramme prédiction du niveau de  $C/(I+N)$  4G LTE.

La plupart de la zone bénéficie d'un niveau de signal RSRQ adéquat, ce qui suggère une bonne qualité de connexion. Cependant, il existe des zones où la couverture est insuffisante, et cela peut être attribué à une faiblesse du signal RSRP par rapport aux niveaux d'interférences et de bruit présents dans ces zones non couvertes.

### III.3.3 Prédiction de zone de recouvrement (Overlapping Zone) :

En examinant les données disponibles, nous sommes en mesure de repérer les endroits où plusieurs signaux provenant de différents émetteurs se superposent dans une même zone géographique.

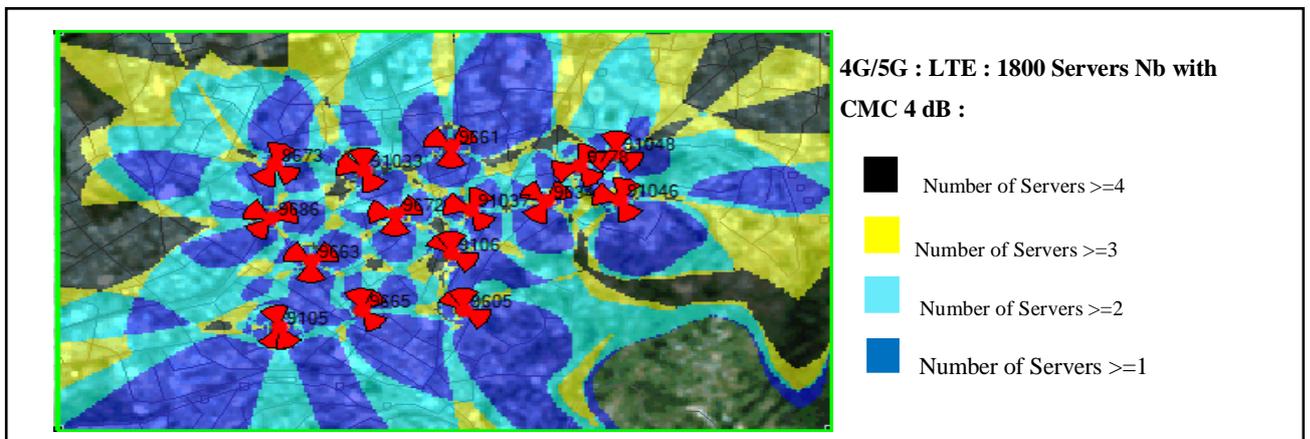


Figure III.15 : Prédiction par zones de recouvrement 4G LTE.

Dans la figure III.15 on note plusieurs zones noires qui reflètent plus de quatre signaux parasites. La baisse de l'overshooting faite de la prédiction de couverture par émetteur a entraîné une diminution d'interférence et une suppression des zones noires.

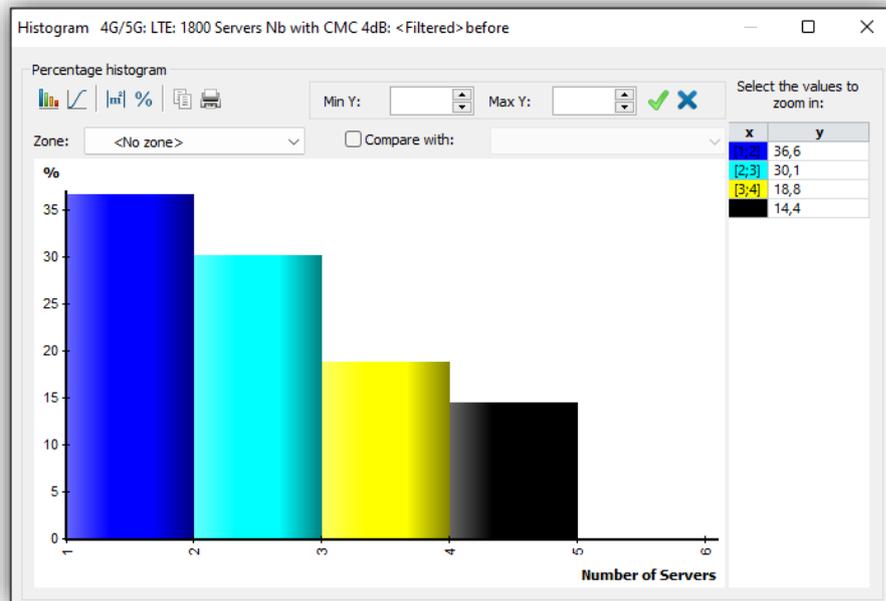


Figure III.15 : Histogramme de la zone de recouvrement 4G LTE.

En analysant les résultats présentés dans l'histogramme ci-dessus, il est clair que l'ensemble de la zone d'intérêt bénéficie d'une bonne couverture par les émetteurs. En effet, 36,6% de la surface est représentée par la couleur bleu, tandis que 30,1% de la surface est représentée par la couleur bleu clair.

#### III.3.4 Prédiction de la couverture par émetteur (DL) :

Cette prédiction nous donne la possibilité de déterminer la limite de couverture de chaque cellule dans le réseau, en identifiant la zone où le signal dominant dépasse un seuil donné.

La figure ci-dessous illustre la prédominance de chaque secteur tout en maintenant un seuil spécifié.

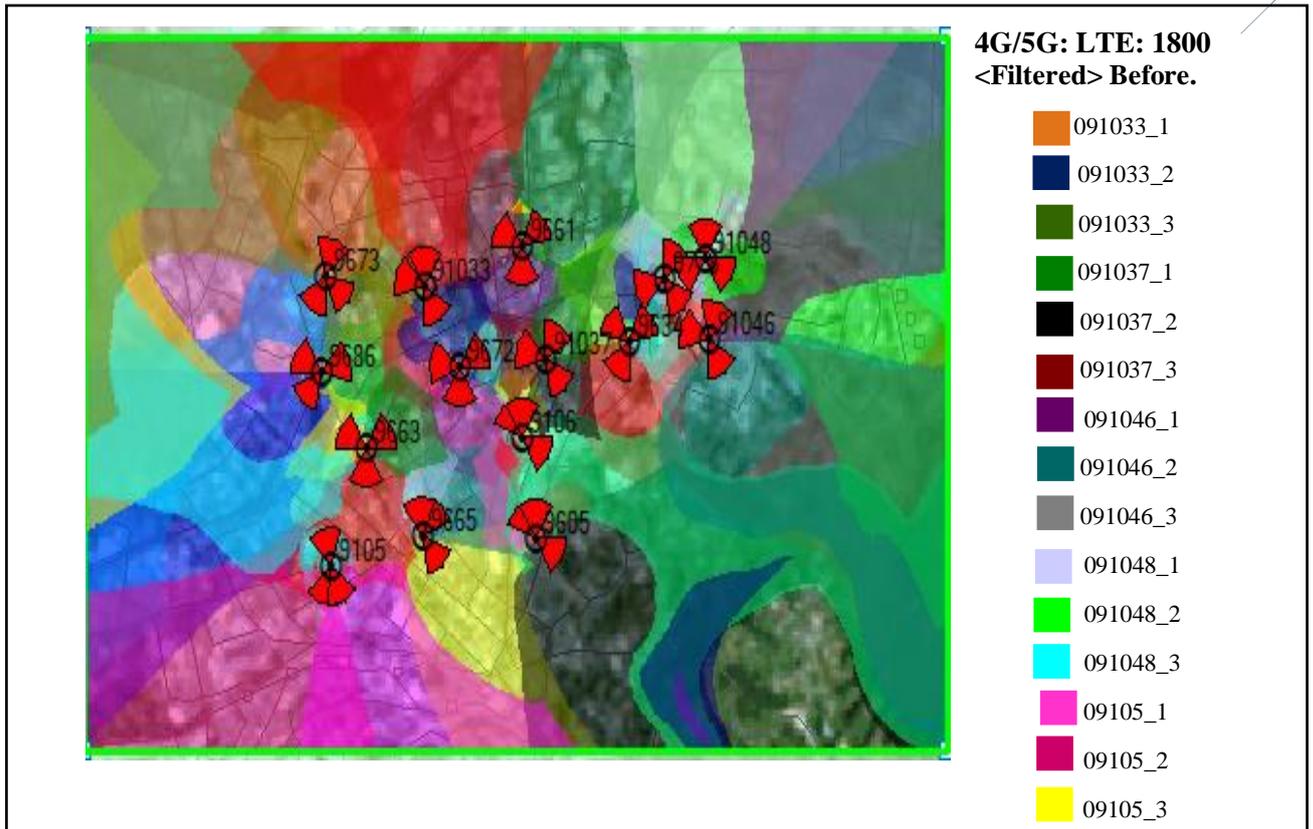


Figure III.16 : Prédiction de la couverture par émetteur réseau 4G LTE.

#### III.4 Optimisation du réseau radio 4G-LTE :

L'optimisation dans un réseau mobile, en particulier dans un réseau LTE, vise à améliorer ses performances, notamment en termes de couverture RSRP, taux d'interférences et débit utilisateur, tout en minimisant les investissements (CAPEX et OPEX) nécessaires.

Cette opération d'optimisation repose sur le principe de combiner de manière préétablie des paramètres pertinents liés aux émetteurs, aux sites et aux cellules. L'objectif est d'améliorer la couverture radio, d'augmenter le débit et de réduire les interférences de manière significative.

Pour réaliser cette optimisation, un outil d'optimisation automatique appelé ACP (Automatic Cell Planning) est intégré dans le logiciel ATOLL. L'ACP utilise des algorithmes avancés pour analyser les données, effectuer des simulations et recommander des ajustements précis des paramètres du réseau, tels que la puissance d'émission, l'orientation des antennes, la planification des fréquences, etc.

Le changement que l'ACP peut apporter :

- Puissance d'émission.
- Azimuts (orientation des secteurs) pour les anciens comme les nouveaux sites.
- Inclinaison électrique (Electrical Tilt).
- L'inclinaison mécanique de l'antenne (mechanical tilt).

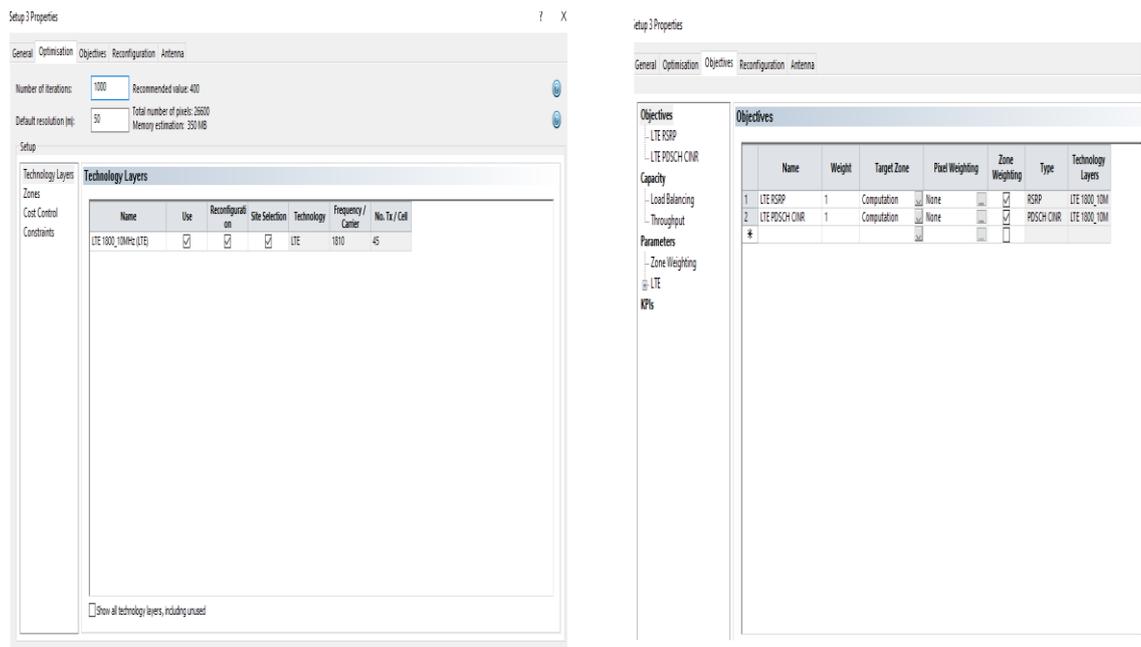


Figure III.18 : Optimisation réseau 4G de technologie LTE.

Le tableau présenté dans la Figure III.20 représente les résultats obtenus à partir du processus d'optimisation effectué par le logiciel ATOLL, en utilisant le module ACP, dans le but d'atteindre les objectifs définis.

# CHAPITRE III : SIMULATION D'UN RESEAU 5G NR SUR ATOLL

Optimisation 2 Properties

General Statistics Sectors Graph Quality Change Details Commit

Sectors Results

Cell/Tx Name	Max Power (dBm)			Antenna Pattern				Azimuth (°)		Mechanical Tilt (°)		Antenna Height (m)			Repeater Amplifier Gain (dB)			Sector Selection				
	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	
091033_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	0	340	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	28.00	28.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091033_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	42.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	150	130	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	28.00	28.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091033_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	290	270	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	28.00	28.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091037_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	30	30	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	12.00	12.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091037_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	44.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	140	140	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	12.00	12.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091037_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	42.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	290	290	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	29.00	29.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091046_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	200	40	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	21.00	21.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091046_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	150	170	<input checked="" type="checkbox"/>	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	21.00	21.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091046_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	290	310	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	21.00	21.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091048_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	2	<input checked="" type="checkbox"/>	17.00	17.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091048_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	120	120	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	17.00	17.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
091048_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	42.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	240	240	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	17.00	17.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09105_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	345	5	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	35.00	35.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09105_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	155	175	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	35.00	35.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09105_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	200	220	<input checked="" type="checkbox"/>	0	2	<input checked="" type="checkbox"/>	35.00	35.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09106_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	0	340	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09106_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	120	100	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09106_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	320	300	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09605_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	0	340	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09605_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	120	100	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09605_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	320	300	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09634_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	50	30	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	20.00	20.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09634_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	44.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	210	190	<input checked="" type="checkbox"/>	0	3	<input checked="" type="checkbox"/>	20.00	20.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09634_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	310	290	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	20.00	20.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09661_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	50	30	<input checked="" type="checkbox"/>	0	2	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09661_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	180	160	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09661_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	300	280	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	25.00	25.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09663_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	60	45	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	21.00	21.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09663_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	300	285	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	21.00	21.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09663_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	44.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	180	165	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	21.00	21.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
09665_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	<input checked="" type="checkbox"/>	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	350	350	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	18.00	18.00	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Legend: Reconfiguration TX added TX removed

Figure III.17 : Statistique de la configuration proposée de paramètres optimisation.

Grâce à ce processus d'optimisation, le module ACP a suggéré un nouvel ensemble de paramètres pour la puissance d'émission, l'azimut et l'inclinaison mécanique des antennes. Selon les résultats, ces nouveaux paramètres se rapprochent davantage des critères d'optimisation initialement définis.

Optimisation 2 Properties

General Statistics Sectors Graph Quality Change Details Commit

Sectors Results

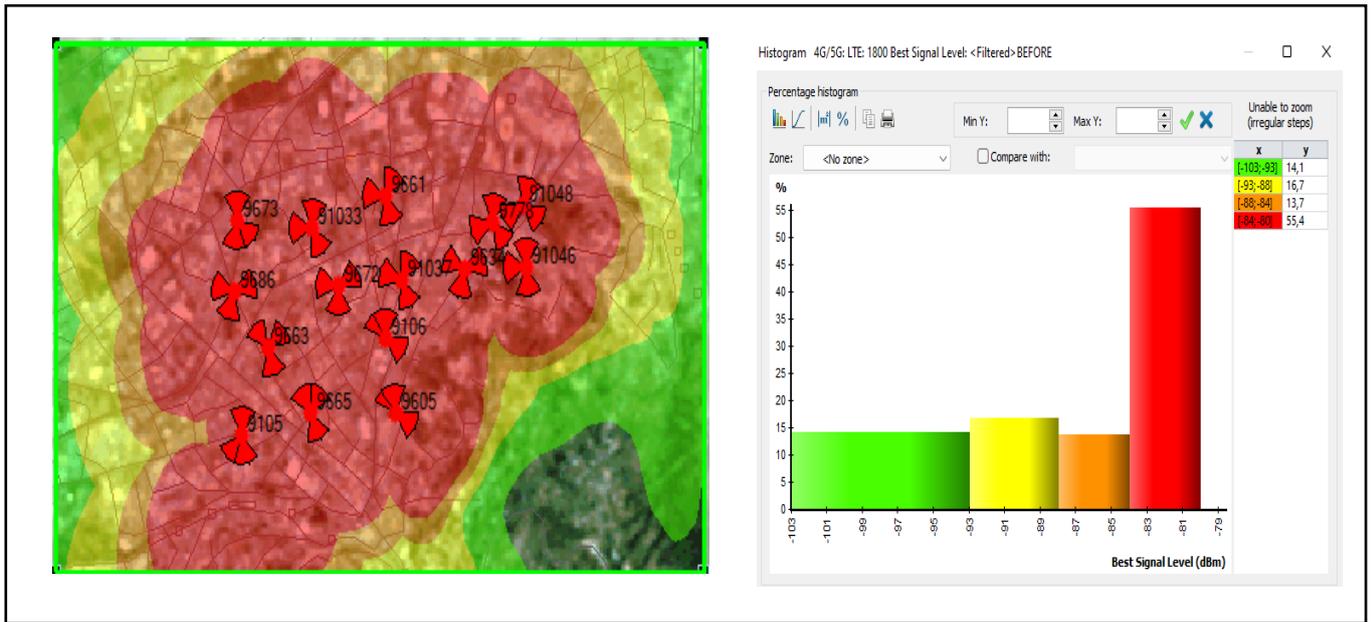
Cell/Tx Name	Po	Ant	Azi	MTilt	Sel	Max Power (dB)				Antenna Pattern				Azimuth (°)		Mechanical Tilt (°)		Sector Selection		LTE RSRP (%)		LTE PDSCH CINR (%)	
						Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final
091033_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	41.00	41.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	0	340	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	32.44	82.35	4.93	50.00				
091033_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	42.00	42.00	42.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	150	130	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	20.68	100.00	8.78	71.01				
091033_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	41.00	41.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	290	270	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.59	100.00	0.42	47.46				
091037_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	41.00	41.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	30	30	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100.00	100.00	44.44	67.86				
091037_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	44.00	44.00	44.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	140	140	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100.00	100.00	47.92	67.74				
091037_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	42.00	42.00	42.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	290	290	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100.00	100.00	41.03	55.26				
091046_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	47.00	47.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	20	40	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.85	15.63	0.59	88.19				
091046_2	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	44.00	44.00	44.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	150	170	<input checked="" type="checkbox"/>	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	23.87	70.22	19.84	69.10				
091046_3	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	41.00	41.00	41.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	<input checked="" type="checkbox"/>	290	310	<input checked="" type="checkbox"/>	0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100.00	100.00	13.04	60.00				
091048_1	<input checked="" type="checkbox"/>	44.00	47.00	47.00	47.00	HU_ATR4518R11V6_T1_1800	HU_ATR4518R1																

III.4.1 Etudes de prédiction 4G-LTE Optimisée :

Les figures ci-dessous fournissent une représentation graphique des résultats obtenus après le processus d'optimisation :

III.4.1.1 Prédictions de la couverture par niveau de signal :

Avant



APRES

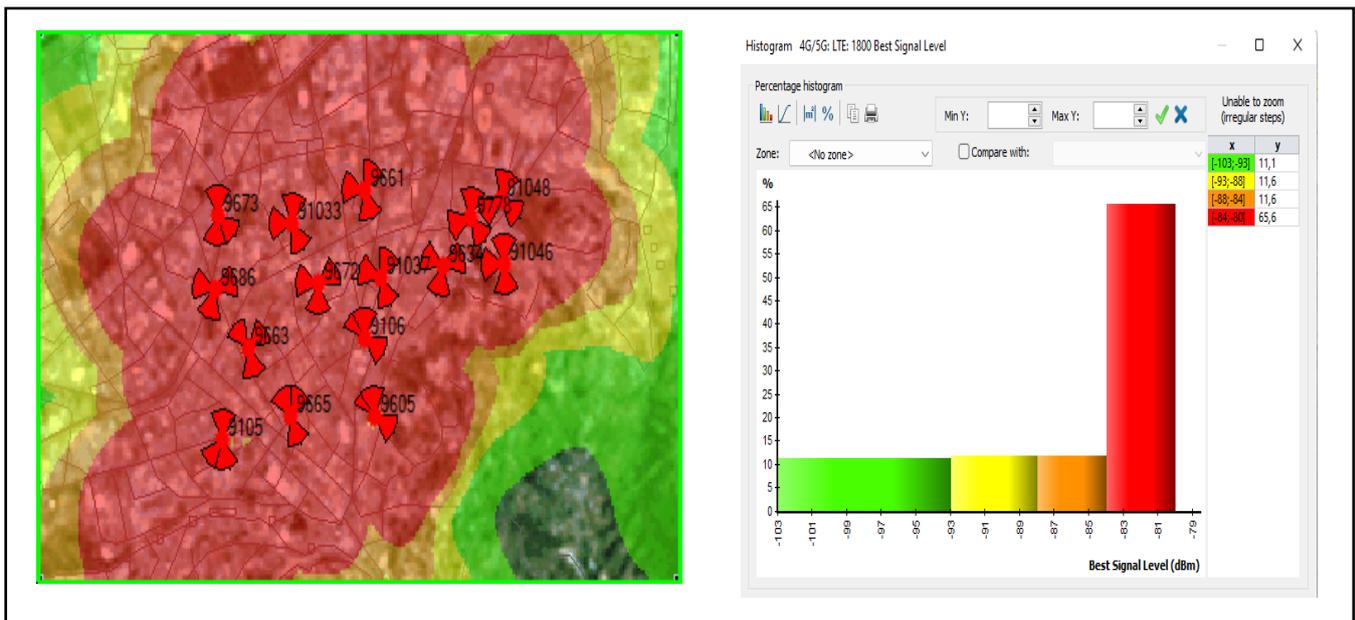


Figure III.19 : Le niveau de champ avant et après l'optimisation.

*Tableau III.2 : Rapport sur la couverture du réseau 4G LTE après l'optimisation*

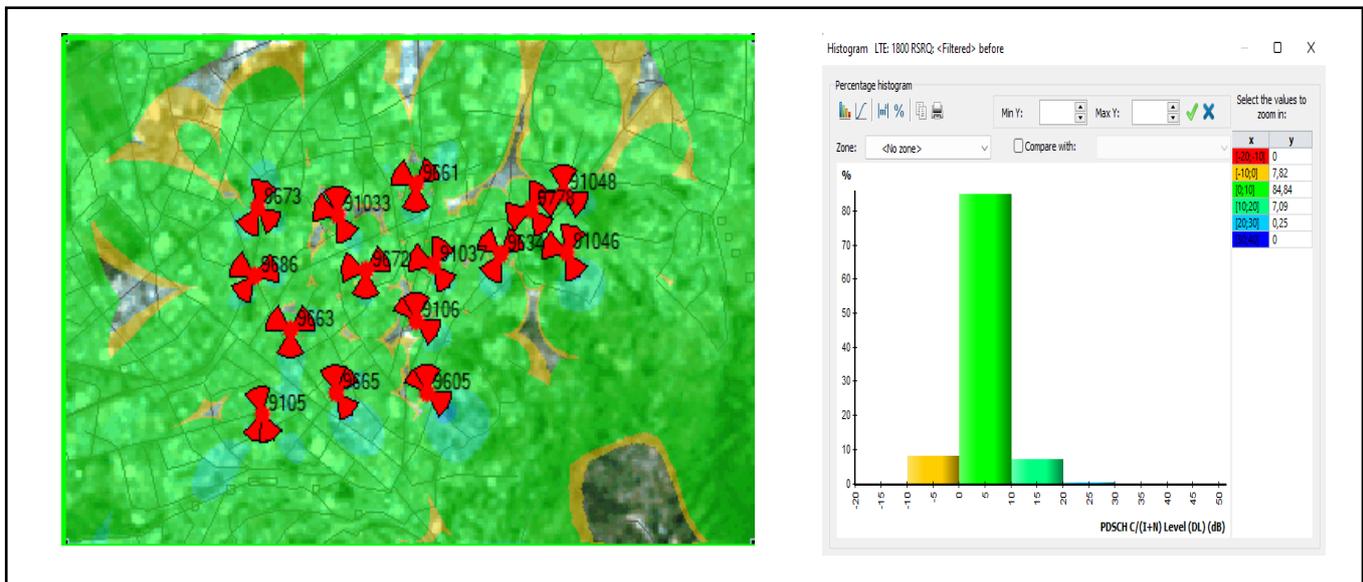
Zone	Prédiction	Légende	Surface de Zone (Km <sup>2</sup> )	Surface de Zone (Km <sup>2</sup> )	Surface de couverture %	Surface de concentration
Zone de concentration	LTE : 1800 Best Signal Level After		21,87745	21,613018	100	98,8
		Indoor Deep		18,148893	65.582	83
		Indoor daylight		19,800814	77.2247	90,5
		Incar		20,6772134	88.8693	94,5
		Outdoor		21,613018	100	98,8

Après l'optimisation, il est clairement observable que le niveau de réception, qui correspond à un environnement extérieur (Outdoor), a augmenté de manière significative. Cette amélioration se traduit par une meilleure couverture, comme en témoigne la prédominance de la couleur rouge dans la majorité de la zone.

**III.4.1.2 Prédictions de la couverture par RSRQ (PDSCH C/ (I+N)) :**

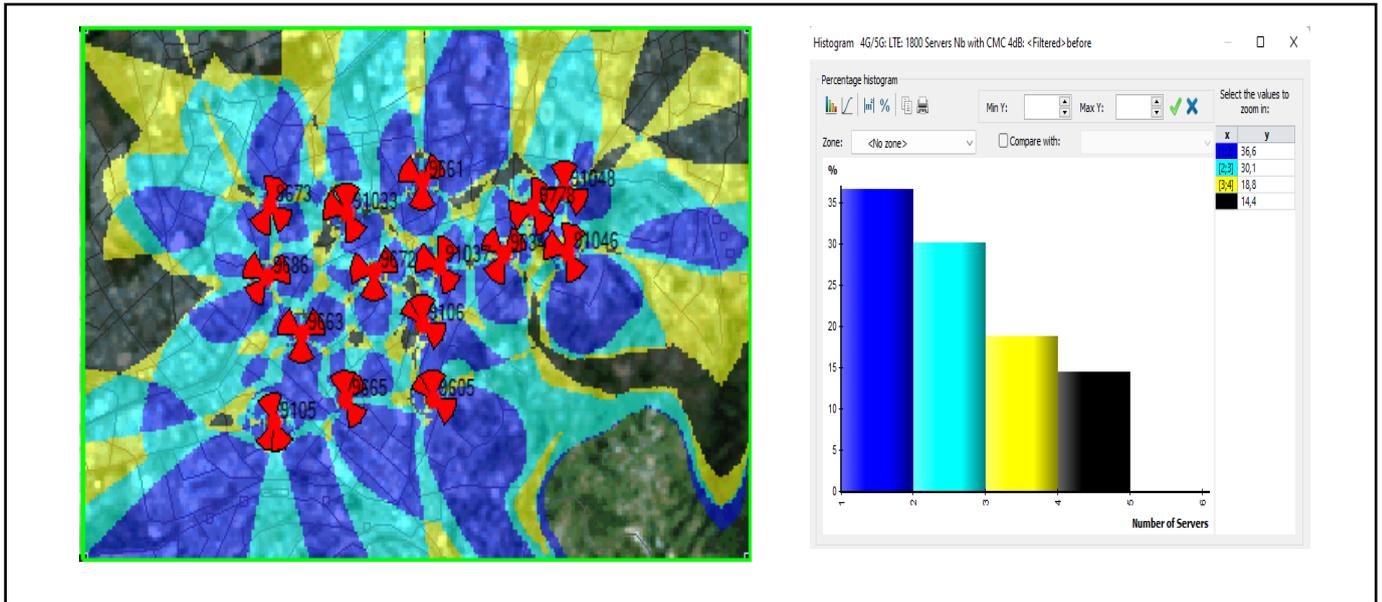
Le RSRQ est un indicateur qui évalue la qualité du signal de référence reçu dans un réseau mobile. Il est utilisé comme une information complémentaire pour prendre des décisions fiables en matière de transfert ou de sélection de cellules, notamment lorsque le RSRP seul ne suffit pas à fournir une évaluation complète de la qualité du signal.

**AVANT**





Avant



APRES

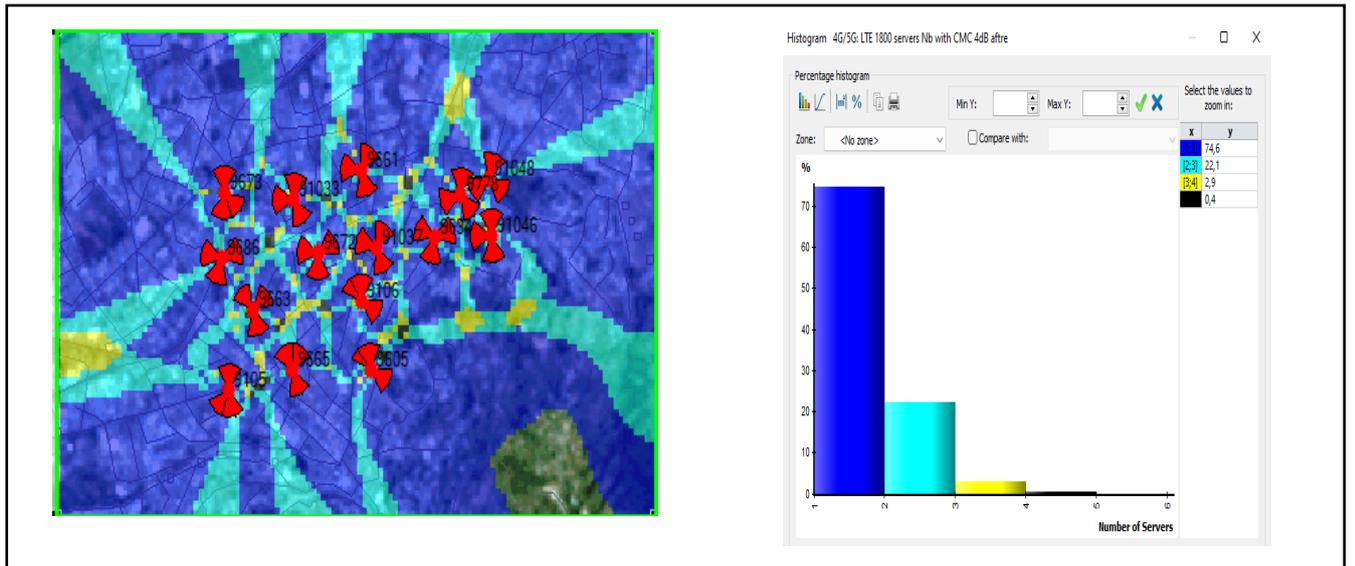


Figure III.21 : Zones de recouvrement avant et après l'optimisation

Sur la base des résultats obtenus dans les deux histogrammes, nous avons réussi à élever les zones représentant 0 interférence, ce qui diminue les zones représentant deux signaux interférant et diminue également les zones représentant trois signaux et quatre signaux.

III.5 Planification réseau radio 5G a partir d'un réseau 4G LTE existant :

Pour créer un réseau 5G NR avec 15 stations de base couvrant une surface donnée, il est nécessaire de définir les paramètres des sites, des émetteurs et les paramètres radio spécifiques à la technologie de cinquième génération.

Site	Transmitter	Active	Transmitter Type	Antenna	DX (m)	DY (m)	Use Absolute Coordinates	Longitude	Latitude	Height (m)	Azimuth (°)
91033	091033_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82621	36,48544	28	0
91033	091033_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82621	36,48544	28	150
91033	091033_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82621	36,48544	28	290
91037	091037_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83531	36,48209	12	30
91037	091037_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83531	36,48209	12	140
91037	091037_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83531	36,48209	12	290
91046	091046_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84776	36,48297	21	20
91046	091046_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84776	36,48297	21	150
91046	091046_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84776	36,48297	21	290
91048	091048_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84755	36,48687	17	0
91048	091048_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84755	36,48687	17	120
91048	091048_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84755	36,48687	17	240
9105	09105_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,81917	36,4722	35	345
9105	09105_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,81917	36,4722	35	155
9105	09105_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,81917	36,4722	35	200
9106	09106_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83362	36,4784	25	0
9106	09106_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83362	36,4784	25	120
9106	09106_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83362	36,4784	25	320
9605	09605_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83469	36,47362	25	0
9605	09605_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83469	36,47362	25	120
9605	09605_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83469	36,47362	25	320
9634	09634_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84166	36,48288	20	50
9634	09634_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84166	36,48288	20	210
9634	09634_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,84166	36,48288	20	310
9661	09661_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83356	36,48744	25	50
9661	09661_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83356	36,48744	25	180
9661	09661_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,83356	36,48744	25	300
9663	09663_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82179	36,4778	21	60
9663	09663_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82179	36,4778	21	300
9663	09663_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,82179	36,4778	21	180
9665	09665_3_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,8261	36,47366	18	350
9665	09665_1_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,8261	36,47366	18	40
9665	09665_2_NR	<input checked="" type="checkbox"/>	intra-net	ERI_AIR3227-MACRO_T4_3500	0	0	<input type="checkbox"/>	2,8261	36,47366	18	140

Figure III.22 : Listes des émetteurs du réseau 5G NR

La composition de ce réseau et la position des sites 4G et des sites 5G NR au sein de la zone de travail sont illustrées dans la figure ci-dessous.

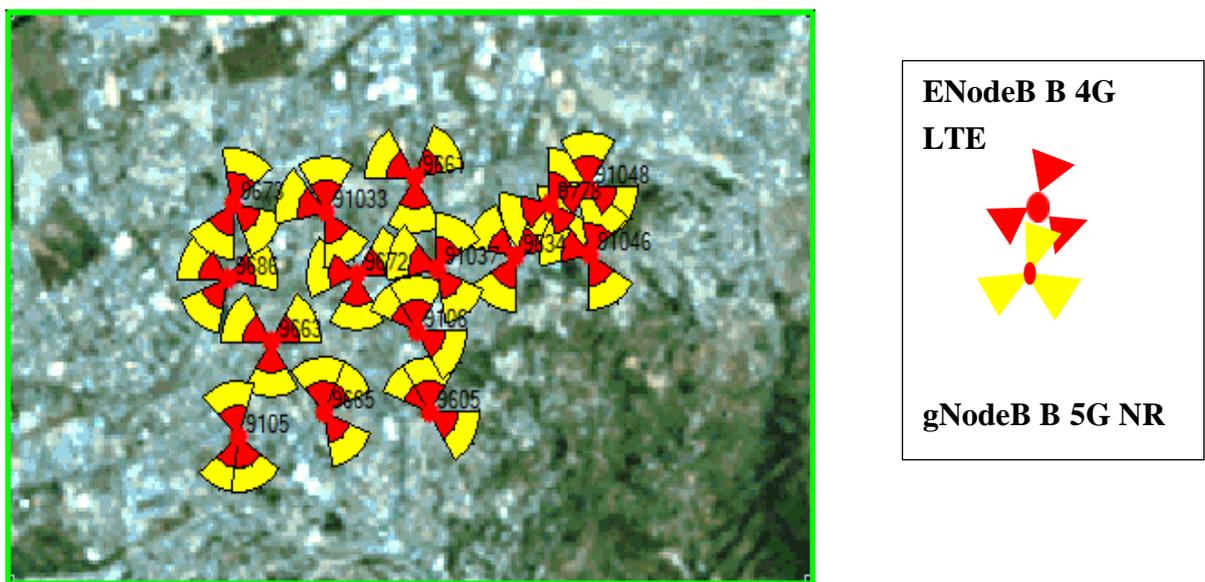


Figure III.23 : Postions des sites, des émetteurs du réseau 4G LTE/5G NR

III.5.1 Attribution automatique des voisins :

Cell	Number	Maximum number	Neighbour	Importance (%)	Cause	Relation type	Coverage (%)	Coverage (km <sup>2</sup> )	Adjacency (%)	Adjacency (km <sup>2</sup> )	Commit
091033_1_NR	5	16	091033_3_NR	66,87	Co-Site	Intra-carrier	15,59	0,1025	4,18	0,0275	<input type="checkbox"/>
			091033_2_NR	64,55	Co-Site	Intra-carrier	1,52	0,01	1,52	0,01	<input type="checkbox"/>
			09673_1_NR	41,52	Adjacent	Intra-carrier	45,25	0,2975	25,86	0,17	<input type="checkbox"/>
			09661_3_NR	39,77	Adjacent	Intra-carrier	27,38	0,18	25,1	0,165	<input type="checkbox"/>
091033_2_NR	7	16	09661_1_NR	35,32	Adjacent	Intra-carrier	9,89	0,065	9,13	0,06	<input type="checkbox"/>
			091033_1_NR	64,49	Co-Site	Intra-carrier	1,36	0,0075	1,36	0,0075	<input type="checkbox"/>
			091033_3_NR	64,05	Co-Site	Intra-carrier	0,45	0,0025			<input type="checkbox"/>
			09605_2_NR	44,65	Adjacent	Intra-carrier	78,18	0,43	28,18	0,155	<input type="checkbox"/>
091033_3_NR	6	16	091046_2_NR	34,26	Adjacent	Intra-carrier	9,55	0,0525	5,45	0,03	<input type="checkbox"/>
			09672_3_NR	34,25	Adjacent	Intra-carrier	5,45	0,03	5	0,0275	<input type="checkbox"/>
			09672_1_NR	33,55	Adjacent	Intra-carrier	3,18	0,0175	2,27	0,0125	<input type="checkbox"/>
			09661_3_NR	32,96	Adjacent	Intra-carrier	0,91	0,005	0,45	0,0025	<input type="checkbox"/>
091037_1_NR	5	16	091033_1_NR	65,1	Co-Site	Intra-carrier	4,51	0,0675	2,34	0,035	<input type="checkbox"/>
			091033_2_NR	64,06	Co-Site	Intra-carrier	0,17	0,0025	0,17	0,0025	<input type="checkbox"/>
			09686_3_NR	43,28	Adjacent	Intra-carrier	53,92	0,8075	31,55	0,4725	<input type="checkbox"/>
			09673_1_NR	39,97	Adjacent	Intra-carrier	34,22	0,5125	22,7	0,34	<input type="checkbox"/>
091037_2_NR	5	16	09673_2_NR	33,13	Adjacent	Intra-carrier	1,34	0,02	1,17	0,0175	<input type="checkbox"/>
			09672_3_NR	32,93	Adjacent	Intra-carrier	0,5	0,0075	0,17	0,0025	<input type="checkbox"/>
			091037_3_NR	65,55	Co-Site	Intra-carrier	6,45	0,005	3,23	0,0025	<input type="checkbox"/>
			091037_2_NR	64	Co-Site	Intra-carrier					<input type="checkbox"/>
091037_3_NR	5	16	09634_3_NR	44,44	Adjacent	Intra-carrier	58,06	0,045	35,48	0,0275	<input type="checkbox"/>
			09661_2_NR	37,17	Adjacent	Intra-carrier	16,13	0,0125	16,13	0,0125	<input type="checkbox"/>
			09661_1_NR	15,36	Coverage	Intra-carrier	19,35	0,015			<input type="checkbox"/>
			091037_1_NR	64,57	Co-Site	Intra-carrier	4,76	0,0025			<input type="checkbox"/>
091037_2_NR	5	16	091037_3_NR	64	Co-Site	Intra-carrier					<input type="checkbox"/>
			09634_2_NR	41,83	Adjacent	Intra-carrier	42,86	0,0225	28,57	0,015	<input type="checkbox"/>
			09106_2_NR	39,73	Adjacent	Intra-carrier	38,1	0,02	19,05	0,01	<input type="checkbox"/>
			09106_1_NR	36,73	Adjacent	Intra-carrier	14,29	0,0075	14,29	0,0075	<input type="checkbox"/>
091037_3_NR	5	16	091037_2_NR	64	Co-Site	Intra-carrier					<input type="checkbox"/>
			091037_1_NR	64	Co-Site	Intra-carrier					<input type="checkbox"/>
			09672_1_NR	40,93	Adjacent	Intra-carrier	40	0,02	25	0,0125	<input type="checkbox"/>
			09661_2_NR	38,67	Adjacent	Intra-carrier	35	0,0175	15	0,0075	<input type="checkbox"/>
091037_3_NR	5	16	09661_1_NR	35,12	Adjacent	Intra-carrier	15	0,0075	5	0,0025	<input type="checkbox"/>
			09106_1_NR	35,12	Adjacent	Intra-carrier	15	0,0075	5	0,0025	<input type="checkbox"/>

Figure 0.24 : Attribution automatique du voisin réseau 5G NR.

III.5.2 Allocation automatique de PCI et PRACH :

Transmitter	Name	Radio Access Technology	Frequency Band	Channel Number	Physical Cell ID	Initial Physical Cell ID	Initial PSS ID	PSS ID	Initial SSS ID	SSS ID	Cost
091033_1_NR	091033_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	16	16	1	1	5	5	0,000303924
091033_2_NR	091033_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	17	17	2	2	5	5	0,000331581
091033_3_NR	091033_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	15	15	0	0	5	5	0,000264943
091037_1_NR	091037_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	33	33	0	0	11	11	0,000784380
091037_2_NR	091037_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	35	35	2	2	11	11	0,000851227
091037_3_NR	091037_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	34	34	1	1	11	11	0,000797791
091046_1_NR	091046_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	18	18	0	0	6	6	0,001028189
091046_2_NR	091046_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	19	19	1	1	6	6	0,000874161
091046_3_NR	091046_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	20	20	2	2	6	6	0,001130402
091048_1_NR	091048_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	27	27	0	0	9	9	0,001011669
091048_2_NR	091048_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	28	28	1	1	9	9	0,000934634
091048_3_NR	091048_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	29	29	2	2	9	9	0,001052466
09105_1_NR	09105_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	25	25	1	1	8	8	0
09105_2_NR	09105_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	26	26	2	2	8	8	0
09105_3_NR	09105_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	24	24	0	0	8	8	0
09106_1_NR	09106_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	3	3	0	0	1	1	0,000914418
09106_2_NR	09106_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	5	5	2	2	1	1	0,000838117
09106_3_NR	09106_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	4	4	1	1	1	1	0,000887202
09605_1_NR	09605_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	0	0	0	0	0	0	0,000245154
09605_2_NR	09605_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	2	2	2	2	0	0	0,000245154
09605_3_NR	09605_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	1	1	1	1	0	0	0,000245154
09634_1_NR	09634_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	36	36	0	0	12	12	0,000863673
09634_2_NR	09634_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	38	38	2	2	12	12	0,000966182
09634_3_NR	09634_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	37	37	1	1	12	12	0,000766105
09661_1_NR	09661_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	12	12	0	0	4	4	0
09661_2_NR	09661_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	13	13	1	1	4	4	0
09661_3_NR	09661_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	14	14	2	2	4	4	0
09663_1_NR	09663_1_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	6	6	0	0	2	2	0,000494004
09663_2_NR	09663_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	8	8	2	2	2	2	0,000453781
09663_3_NR	09663_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	7	7	1	1	2	2	0,000404259
09665_2_NR	09665_2_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	23	23	2	2	7	7	0,000172675
09665_3_NR	09665_3_NR	5G NR	NR 3500	NR 3500	21	21	0	0	7	7	0,000205755

Figure III.25 : Allocation automatique des PCI's réseau 5G NR.

Site	Transmitter	Name	Frequency Band	Channel Number	Number of Required PRACH RSI	Initial PRACH RSI	PRACH RSI	Cost	PRACH RSI Domain	Reference Cell	PRACH RSI Allocation Status
91033	091033_1_NR	091033_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	263	263	0			Allocated
	091033_2_NR	091033_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	261	261	0			Allocated
	091033_3_NR	091033_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	220	220	0			Allocated
91037	091037_1_NR	091037_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	235	235	0			Allocated
	091037_2_NR	091037_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	494	494	0			Allocated
	091037_3_NR	091037_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	717	717	0			Allocated
91046	091046_1_NR	091046_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	379	379	0			Allocated
	091046_2_NR	091046_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	155	155	0			Allocated
	091046_3_NR	091046_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	190	190	0			Allocated
91048	091048_1_NR	091048_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	355	355	0			Allocated
	091048_2_NR	091048_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	19	19	0			Allocated
	091048_3_NR	091048_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	35	35	0			Allocated
9105	09105_1_NR	09105_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	175	175	0			Allocated
	09105_2_NR	09105_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	96	96	0			Allocated
	09105_3_NR	09105_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	222	222	0			Allocated
9106	09106_1_NR	09106_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	64	64	0			Allocated
	09106_2_NR	09106_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	279	279	0			Allocated
	09106_3_NR	09106_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	558	558	0			Allocated
9605	09605_1_NR	09605_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	826	826	0			Allocated
	09605_2_NR	09605_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	576	576	0			Allocated
	09605_3_NR	09605_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	268	268	0			Allocated
9634	09634_1_NR	09634_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	689	689	0			Allocated
	09634_2_NR	09634_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	96	96	0			Allocated
	09634_3_NR	09634_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	734	734	0			Allocated
9661	09661_1_NR	09661_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	515	515	0			Allocated
	09661_2_NR	09661_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	383	383	0			Allocated
	09661_3_NR	09661_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	359	359	0			Allocated
9663	09663_1_NR	09663_1_NR	NR 3500	NR 3500	1	265	265	0			Allocated
	09663_2_NR	09663_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	593	593	0			Allocated
	09663_3_NR	09663_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	441	441	0			Allocated
9665	09665_2_NR	09665_2_NR	NR 3500	NR 3500	1	561	561	0			Allocated
	09665_3_NR	09665_3_NR	NR 3500	NR 3500	1	102	102	0			Allocated
	09665_4_NR	09665_4_NR	NR 3500	NR 3500	1	45	45	0			Allocated

*Figure III.26 : Allocation automatique des PRACH's réseau 5G NR*

### III.5.3 Etudes de prédiction du réseau 5G NR :

Une fois que tous les éléments nécessaires sont réunis, les simulations de couverture sont prêtes à être réalisées. Ces simulations permettront d'analyser la qualité et le niveau du signal reçu à la fois sur la liaison montante et descendante. Dans notre cas, nous nous concentrons sur la liaison descendante (DL) et nous étudierons les prédictions suivantes :

#### III.5.3.1 Prédiction de la couverture par niveau de signal :

Cette prédiction permet d'estimer la puissance du meilleur signal reçu par un téléphone mobile à chaque point de la zone étudiée, représentée par chaque pixel. L'objectif de cette étude est de détecter d'éventuelles zones non couvertes, c'est-à-dire des zones où la réception du signal est faible ou inexistante, et de prendre des mesures pour les éliminer.

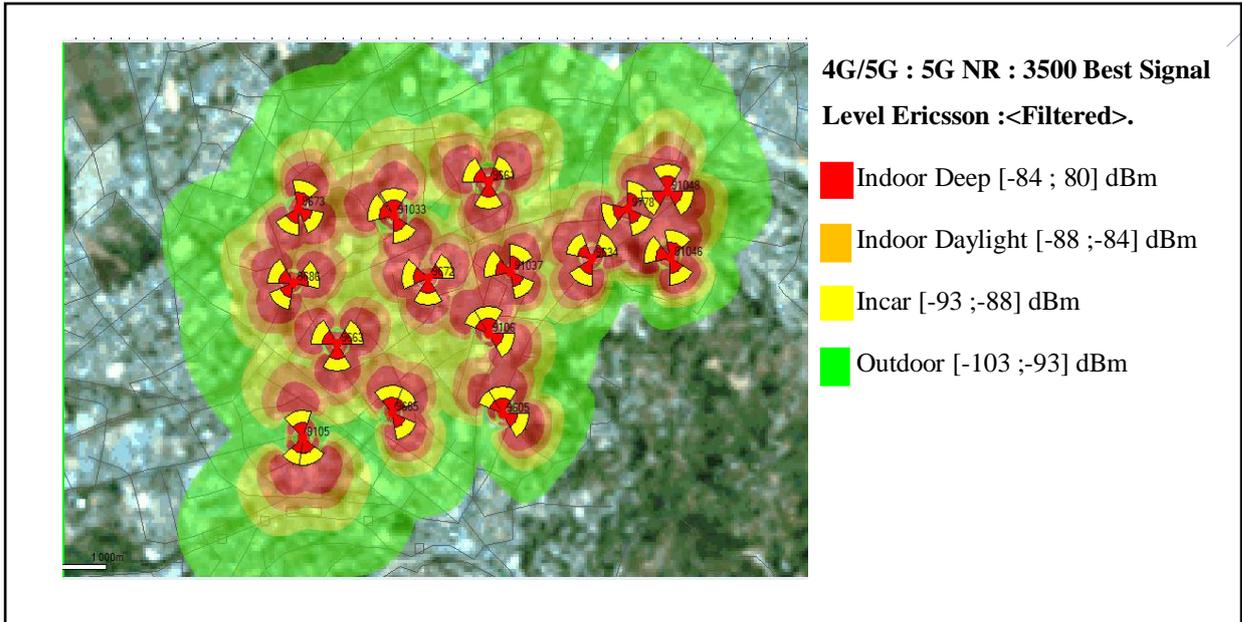


Figure III.27 : Prédiction de la couverture par niveau de signal

Pour atteindre cet objectif, des modifications peuvent être apportées à la configuration des sites et des émetteurs. Ces modifications peuvent inclure : Déplacement de site, Changement de l'azimut d'un émetteur, Réglage de la puissance, Inclinaison (tilt) d'une antenne.

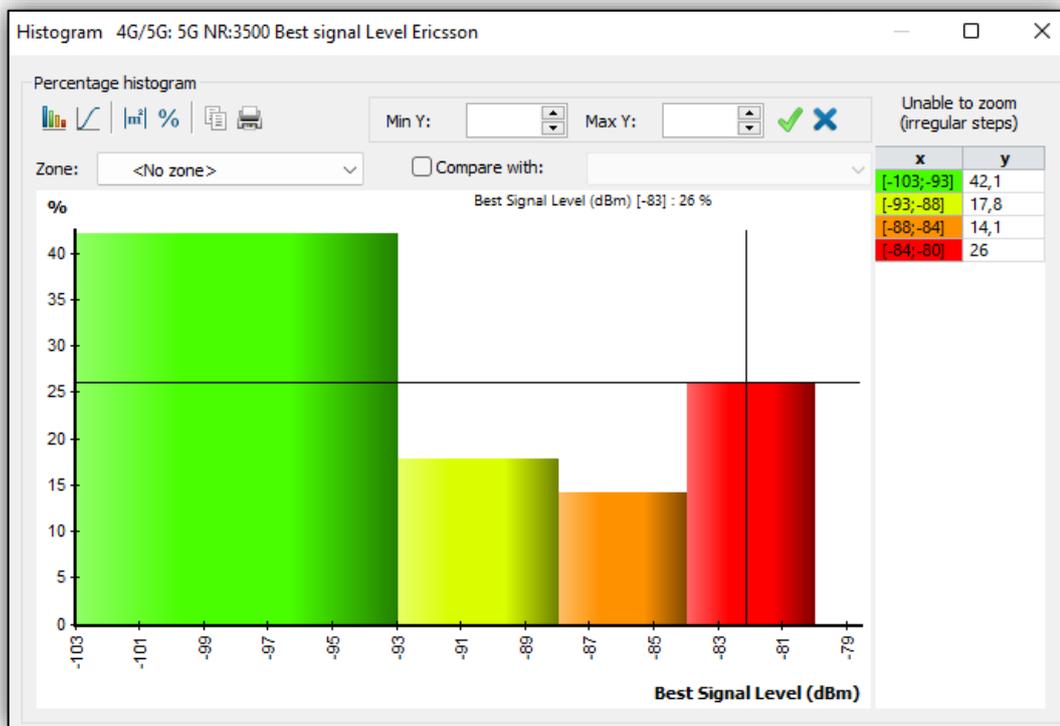


Figure III.28 : Histogramme prédiction du niveau de signal

En observant la figure ci-dessus, on peut constater que la zone présente une couverture insuffisante avec des variations de couleur. Chaque couleur représente un niveau de signal différent. La majorité de la zone est couverte par la couleur verte, ce qui indique une valeur réduite de (-103 dBm). Le reste de la zone est couverte par les couleurs rouge, orange et jaune, ce qui correspond à de bonnes valeurs de signal (-84 à -93 dBm). Ces valeurs sont définies dans la légende qui associe chaque couleur à son niveau de signal spécifique.

**Tableau III.3 : Rapport sur la couverture du réseau 5G NR**

Zone	Prédiction	Légende	Surface de zone ( Km <sup>2</sup> )	Surface de zone ( Km <sup>2</sup> )	Surface de couverture %	Zone de concentration
Zone de concentration	5G NR :3500 Best Signal Level		21,87745	10,599901	100	48,5
		Indoor Deep		2,757408	26,013525	12,6
		Indoor Daylight		4,252104	40,114561	19,4
		Incar		6,139764	57,92284	28,1
		Outdoor		10,599901	100	48,5

**III.5.3.2 Prédications de la couverture par RSRQ (PDSCH C/ (I+N)) :**

Cette prédiction est réalisée pour évaluer et anticiper la qualité des signaux reçus par les utilisateurs dans les réseaux 5G, découvrir les problèmes du réseau, elle démontre l'efficacité du champ à travers la région. Il faut tenir compte du niveau du champ, même si l'ensemble de la région est entièrement couvert par les prédictions précédentes. La qualité du champ est étroitement associée aux interférences, moins il y aura d'interférences, meilleure sera la couverture. Donc le fait d'avoir amélioré la prédiction de zone de recouvrement, celle-ci s'améliore systématiquement.

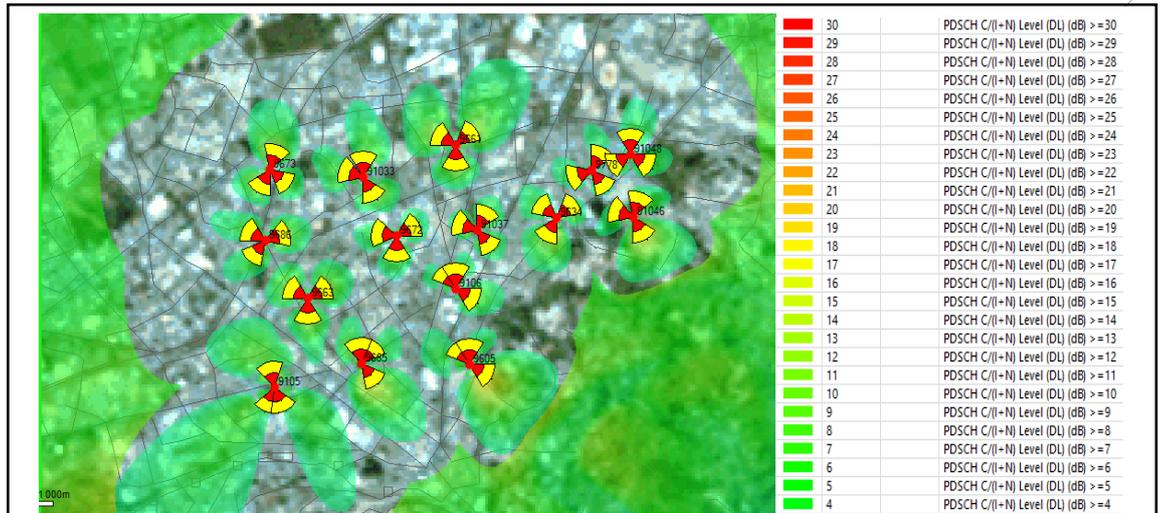


Figure III.29 : Prédiction de la couverture par niveau de  $C/(I+N)$

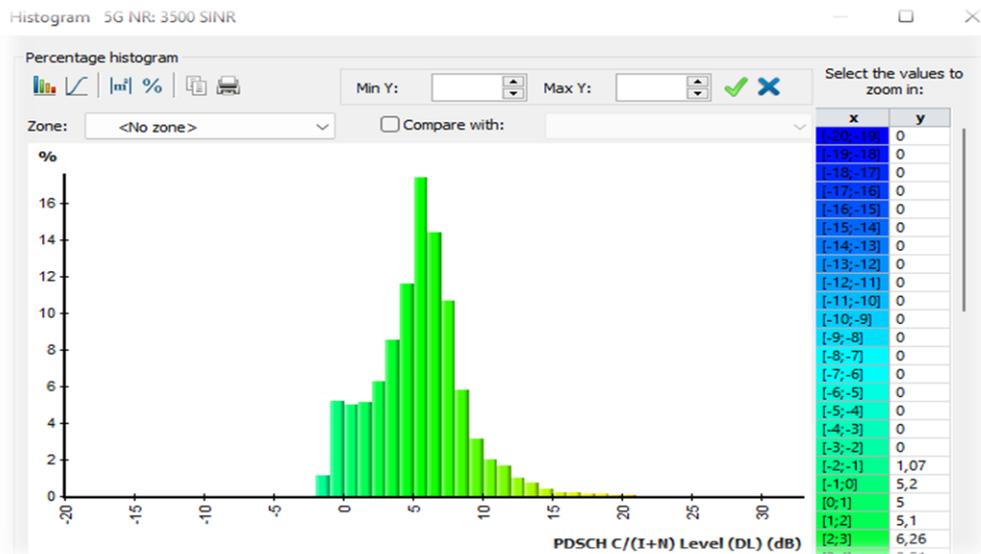


Figure III.30 : Histogramme prédiction du niveau de  $C/(I+N)$  5G NR.

On remarque clairement que le niveau de signal RSRQ est majoritairement bon sur la totalité de la surface couverte en présence des zones avec des niveaux faibles et mauvais ceci traduit qu'il y a des zones non couvertes ou le signal RSRP n'est pas dominant par rapport au niveau de l'interférence et du bruit.

### III.5.3.3 Prédiction de zone de recouvrement (Overlapping Zone) :

Cette prédiction nous aider à connaître le nombre des émetteur qui recouvre la même région.

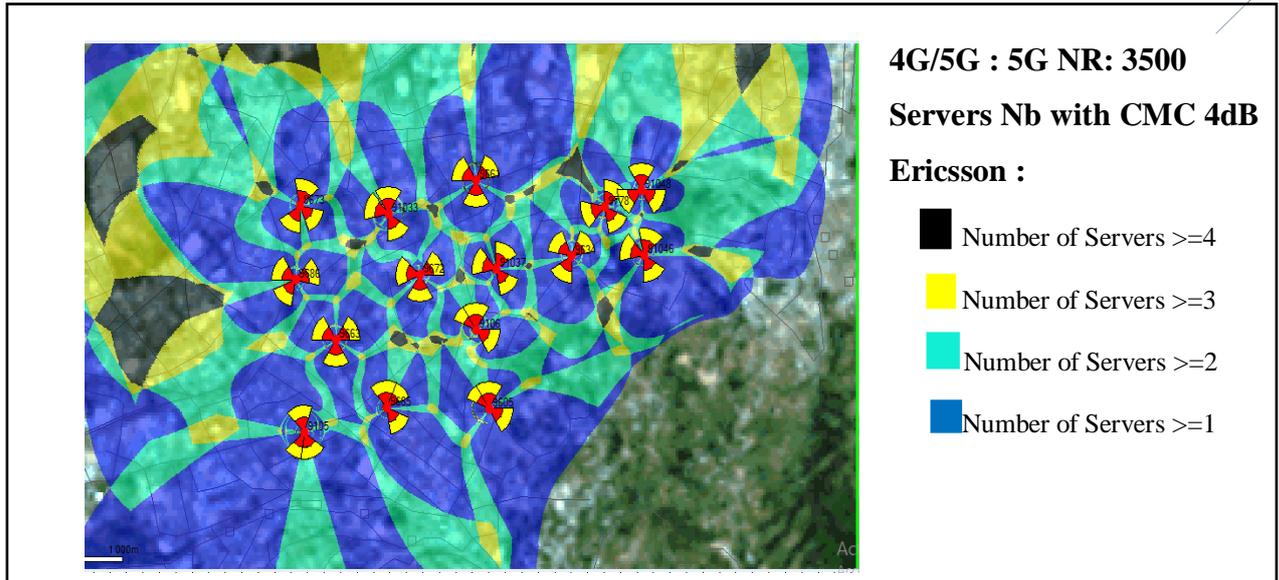


Figure III.31 : Prédiction par zones de recouvrement du réseau 5G NR.

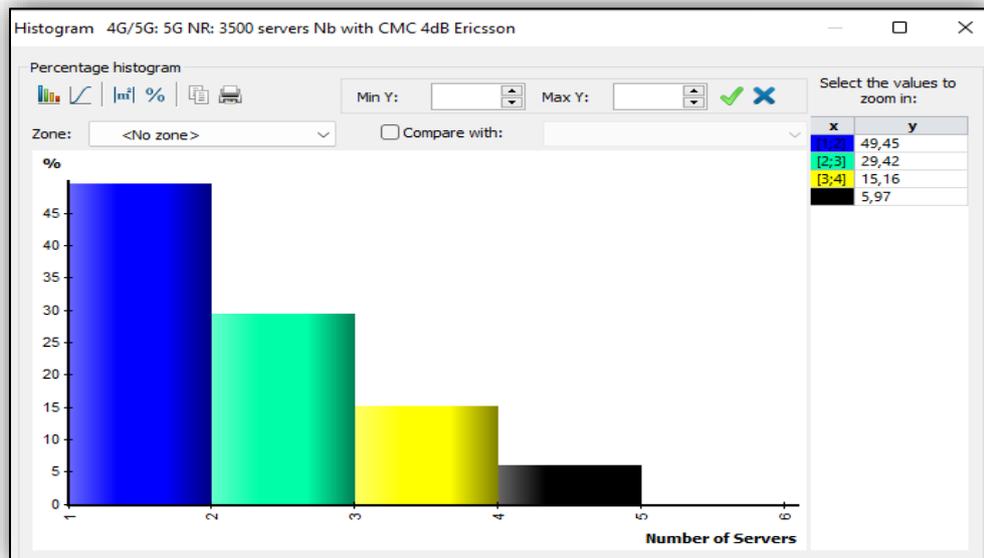


Figure III.32 : Histogramme de la zone de recouvrement 5G NR

On constat d'après la figure III.31 et l'histogramme de la figure III.32. Que la plus grande partie de la surface de recouvrement et couvert par un seul émetteur (49,45 de la surface). En bordure des cellules on a deux, Ou trois émetteurs ce qui correspondante aux zones d'intersection.

III.5.3.4 Prédiction de la couverture par émetteur (DL) :

Cette prédiction nous permet de déterminer les limites des différentes cellules des réseaux 5G afin de préciser la zone de couverture de site sur lequel nous voulons appliquer. La figure suivante montre la transmission de chaque site avec ses 3 secteurs.

4G/5G : 5G NR : Best Server Ericsson : <Filtered>.

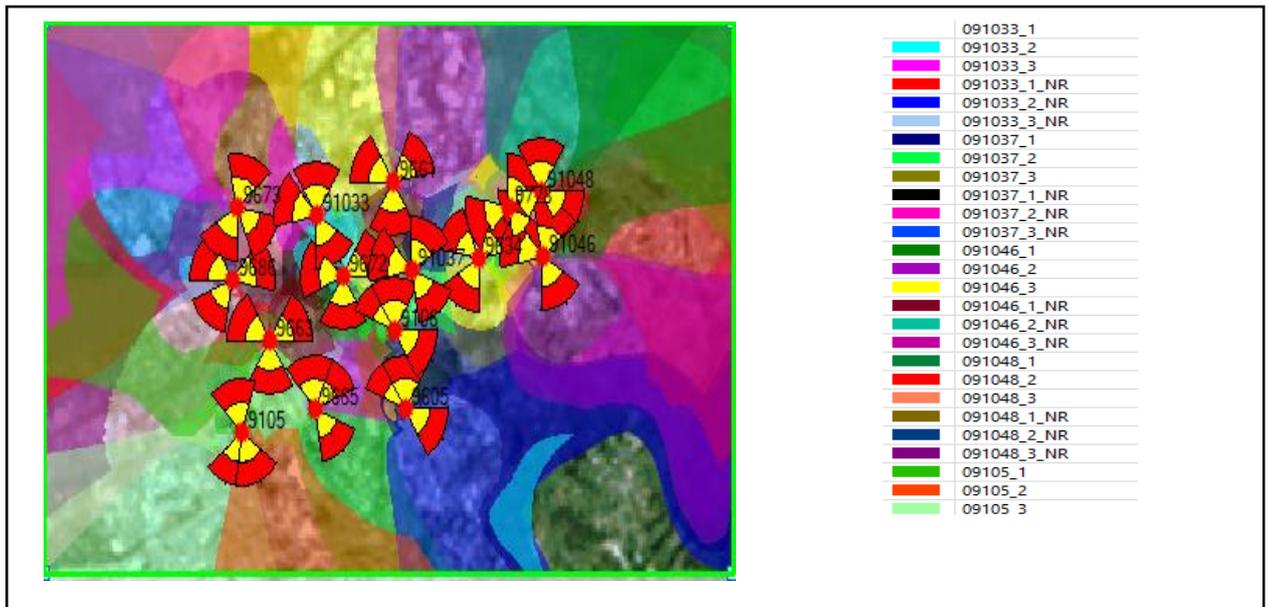


Figure III.33 : prédiction de la couverture par émetteur le réseau 5G NR

III.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons élaboré les étapes de planification 5G à base de réseau 4G dans la ville de Blida. Ce travail a été réalisé uniquement en utilisant le logiciel Atoll. Cependant, cette approche a été choisie pour garantir l'efficacité en termes de qualité, de coûts et de temps nécessaires pour parvenir à un plan de réseau finalisé. Grâce à cette méthode, nous avons pu obtenir une meilleure compréhension des paramètres de configuration du système qui ont influencé les résultats. Cela nous permet de mettre en œuvre les modifications appropriées afin d'améliorer les résultats obtenus. L'objectif final de cette démarche est d'obtenir un réseau optimisé et performant tout en tenant compte des contraintes de qualité, de coûts et de délais.

***CONCLUSION GENERALE***

## **CONCLUSION GENERALE :**

Les progrès dans le domaine des télécommunications sont en constante évolution. Aujourd'hui, La cinquième génération de communications mobiles, la 5G, vise à répondre aux besoins croissants et à la demande accrue des utilisateurs en matière de capacité et de latence, dans une croissance qui a été exponentielle et qui devrait se poursuivre.

Comme indiqué dans l'introduction, cette étude était de garantir une conception optimale du réseau 5G NR, en prenant en compte des critères tels que la qualité, les coûts et le temps nécessaires pour parvenir à un plan de réseau finalisé.

L'objectif de ce mémoire de fin d'études est d'effectuer le déploiement du réseau 5G en utilisant l'outil de planification radio appelé Atoll. Le travail a principalement porté sur les étapes suivantes : étude de déploiement des sites 4G pré-positionnés, et définir les zones qui ne sont pas couvertes dans la commune de Blida. Ensuite, et afin d'améliorer les performances de réseau existant, on a optimisé la couverture des zones qui ne sont pas couvertes par la planification PCI et PRACH. La dernière étape consiste à prédire la couverture du réseau 5G à base de déploiement du réseau 4G dans la zone de Blida.

Les résultats obtenus montrent que la région de Blida est bien couverte avec une bonne qualité de signal et un débit maximal supérieur pour la plupart des zones de cette région.

En conclusion, Nous avons réalisé que le domaine des télécommunications peut être complexe et exige une approche approfondie pour garantir des résultats optimaux. Le manque de données et de documentation peut constituer un défi majeur lors de la planification et de l'optimisation des réseaux. Cela souligne l'importance de mener des recherches approfondies et de recueillir des données précises pour prendre des décisions éclairées.

**BIBLIOGRAPHIES**

- [1] Dahlman E, Parkvall S, Sköld J. 4G LTE-Advanced Pro and the Road to 5G Elsevier 2016.
- [2] <http://www.techplayon.com/5g-and-4g-comparison/>, may 2020
- [3] <https://iotindustriel.com/glossaire-iiot/5g-nr-new-radio/>
- [4] <https://www.cablinginstall.com/wireless-5g/article/14176465/corning-demystifying-5g>
- [5] 3GPP TR 21.915, Release 15 Description, Summary of Rel-15 Work Items (Release 15), 3rd Generation Partnership Project, Nov. 2017, technical Specification Group Services and System Aspects. 13
- [6] <https://fr.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>
- [7] 3GPP, “Release 15, TR 21.915 ; septembre-2019
- [8] [https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/business/networks/insights/white-papers/0107\\_5g-standalone-architecture/5G\\_SA\\_Architecture\\_Technical\\_White\\_Paper\\_Public](https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/business/networks/insights/white-papers/0107_5g-standalone-architecture/5G_SA_Architecture_Technical_White_Paper_Public)
- [9] <https://www.linkedin.com/pulse/5g-deployment-options-pallab-gupta>
- [10] <https://devopedia.org/5g-deployment-options>
- [11] Marco Ajmone, Marsan Nicola, Blefari Melazzi, Stefano Buzzi, Sergio Palazzo. The 5G Italy Book 2019 : à Multiperspective View of 5G. 43124 Parma (PR) – ITALY .Edited by : Raffaele Bolla University of Genova and CNIT Giovanni Schembra University of Catania, 2019. 572pages : 100,226
- [12] <https://www.accton.com/Technology-Brief/the-emergence-of-5g-mmwave/>
- [13] <https://5ghub.us/synchronization-importance-for-5g-tdd/>
- [14] ITU-R, Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-2020. Report ITU-R M.2411 November 2017]
- [15] [https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G\\_ResourceGrid.html](https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_ResourceGrid.html)
- [16] <https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/tag/re/>
- [17] <https://www.5gworldpro.com/blog/2022/03/17/5g-and-4g-tdd-synchronization/>
- [18] FDD-LTE Radio network principale, student book. ZTE Corporation
- [19] <https://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-beam-management-scheduling-everything-beams-ramalingam/>
- [20] <https://commsbrief.com/wp-content/uploads/2021/10/image-1-1024x592.png>
- [21] <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/markets/communications/5g-solutions/5g-beamforming/>
- [22] [https://www.zte.com.cn/content/dam/zte-site/res-www-zte-com-cn/mediares/zte/files/newsolution/wireless/ran/white\\_paper/5G\\_Uplink\\_Enhancement\\_Technology\\_White\\_Paper.pdf](https://www.zte.com.cn/content/dam/zte-site/res-www-zte-com-cn/mediares/zte/files/newsolution/wireless/ran/white_paper/5G_Uplink_Enhancement_Technology_White_Paper.pdf)
- [23] <https://www.telecomhall.net/t/5g-uplink-enhancement-technology-by-zte-white-paper/20183>

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [24] [https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G\\_SUL.html](https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_SUL.html)
- [25] <https://info-nrlte.com/2020/05/09/carrier-aggregation/>
- [26] 3GPP TS 37.872
- [27] <https://www.rapport-gratuit.com/dimensionnement-et-optimisation-de-la-couverture-radio/>
- [28] <https://vdocuments.mx/documents/doc6-lte-workshop-tun-session5-performance-evaluation.html?page=16>
- [29] Famille menot, « La propagation des ondes radioélectriques à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments », URL (<http://famille.menot.free.fr/boulot/gsm/propa%20indoor/propa%20indoor.htm>)
- [30] : Magdy F. Iskander, Zhengqing Yun, « Propagation Prediction Models for Wireless Communication Systems », 3 mars 2002, URL (<http://www.aiturrih.com/archivos/Propagation%20Prediction%20Models%20for%20Wireless%20Communication%20Systems.pdf>)
- [31] Noman Shabbir, Muhammad Sadiq, Hasnain Kashif and Rizwan Ullah, "COMPARISON OF RADIO PROPAGATION MODELS FOR LONG TERM EVOLUTION"
- [32] Dieter J. Cichon 1, IBP PIETZSCH GmbH, Germany Thomas Kürner 1, Mobilfunk GmbH, Germany « Propagation Prediction Models », URL (<http://www2.it.lut.fi/kurssit/04-05/010651000/Luennot/Chapter4.pdf>)
- [34] <https://theses.hal.science/tel-02865510/document>
- [35] <https://www.samomoi.com/systemedecommunication/propagation-des-ondes-radioelectriques-la-propagation-des-ondes-en-espace-libre.php>
- [36] Partage des infrastructures. Intelligence GSMA. [(consulté le 29 décembre 2020)]. Disponible en ligne : <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/infrastructure-sharing-an-overview/>
- [37] Training 5G NR interne France Telecom – Orange, BOUZANA Zouhyer, Octobre 2021
- [38] <https://www.techplayon.com/5g-nr-physical-cell-id-pci-planning/>
- [39] <https://www.techplayon.com/5g-nr-rach-preamble-types-long-and-short-preambles/>