



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M/GE/2020

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN TELECOMMUNICATIONS

Option : Système de Télécommunications

Présenté par :

M. LAOUEL Nouri
M. OULDJA Aboubakr

Étude, Planification et Dimensionnement de la 5G NR

Soutenu le :...../09/ 2020 devant le jury composé de :

| | | |
|----------------------------------|------|--------------------------|
| Président : ABED Mansour | MCA | Université de Mostaganem |
| Examinatrice : BENCHELLAL Amel | MCB | Université de Mostaganem |
| Rapporteur : BOUKORTT Abdelkader | Prof | Université de Mostaganem |

Année Universitaire 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا محمد
وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان الي يوم الدين، وبعد.

فإننا نشكر الله تعالى على فضله وتوفيقه لنا لإنجاز هد العمل، فله الحمد أولا وآخرا،
ثم نشكر والدينا.

يسرنا أيضا أن نوجه شكرنا لكل من نصحنا أو أرشدنا أو وجهنا من بعيد أو من
قريب في إعداد هذا العمل.

وَاللَّهُ وَلِيُّ الْمُؤْمِنِينَ

Remerciements

Il nous est agréable et important de réserver cette page comme un témoin de reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont soutenus et encadrés pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et nos remerciements :

*Tout d'abord à **ALLAH** le tout puissant pour ces faveurs et ses bontés, de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de terminer ce modeste travail.*

*Tout particulièrement, à **Mr. Bouzana Zouheyr**, pour l'opportunité qu'il nous a offerte pour travailler sur ce projet intéressant, sa disponibilité et son soutien.*

*Nous adressons, aussi notre gratitude, à notre directeur de thèse **Professeur BOUKORTT Abdelkader** pour sa direction de recherche, son attention et sa suivie qu'il nous a apporté à ce travail, sa disponibilité et son soutien.*

Nous profitons aussi de ce mémoire pour exprimer nos plus vifs remerciements envers tous les personnels, toute l'équipe pédagogique, professeurs de la faculté de technologie de Mostaganem qui nous ont apportés du soutien durant nos études.

*Nous remercions également tous nos amis et collègues ainsi que toute la **promotion 2019/2020**.*

*Nous terminons ces remerciements en saluant vivement le président **Dr. ABED Mansour** et l'examinatrice **Dr. BENCHELLAL Amel**, membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce modeste travail.*

Merci...

Dédicaces

Je dédie ce travail...

À toute ma famille et spécialement à mes parents.

À tous mes amis.

À toute la promotion 2019/2020

ET à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis

merci.

L.NOURI/O.ABOUBAKR

Résumé

Aujourd'hui, le système de communications mobiles de quatrième génération (4G) ne peut pas répondre à certaines exigences particulières, notamment une densité de trafic élevée, un grand nombre de connexions et la mobilité.

En outre, il a été prévu que les systèmes de communications mobiles de cinquième génération (5G) commencent à être commercialisés et déployés en 2018 pour de nouveaux services mobiles dans trois caractéristiques clés, à savoir, les communications ultra-fiables et à faible latence, haut débit mobile amélioré et les communications massives de type machine.

Par conséquent, sur la base des recherches préliminaires pour la normalisation de la 5G par les leaders de l'industrie des télécommunications depuis 2012, l'Union internationale des télécommunications a identifié et annoncé la vision 5G et ses indicateurs de performance clés sur l'efficacité spectrale, l'efficacité énergétique, le débit de données de pointe, la densité du trafic, la connectivité des appareils, latence radio et fiabilité pour une réalisation plus complète et une meilleure fourniture de services.

Dans ce contexte, notre projet dévoile cette nouvelle technologie ainsi que leurs objectifs et leurs étapes de normalisation par l'UIT et le 3GPP, la planification et le dimensionnement du réseau mobile 5G dans lequel nous avons cité une démonstration faite à l'aide du logiciel « Atoll ».

ملخص

في الوقت الحالي، لا يستطيع نظام الاتصالات المتنقلة من الجيل الرابع (G4) تلبية بعض المتطلبات الخاصة بما في ذلك كثافة حركة المرور العالية وعدد كبير جداً من الاتصالات والتنقل العالي.

بالإضافة إلى ذلك، كان من المتوقع أن يبدأ تسويق أنظمة الاتصالات المحمولة من الجيل الخامس (5G) ونشرها في عام 2018 لخدمات الهاتف المحمول الجديدة في ثلاث ميزات رئيسية، أي الاتصالات فائقة الموثوقية و الكمون المنخفض، والنطاق العريض المتنقل المحسن، والاتصالات الضخمة.

لذلك بناءً على بحث أولي لتقييم (5G) بواسطة الاتصالات قادة الصناعة منذ عام 2012، حدد الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) وأعلن عن رؤية (5G) ومؤشرات الأداء الرئيسية بشأن كفاءة الطيف، وكفاءة الطاقة، وذرورة إنتاجية البيانات، وكثافة حركة المرور، واتصال الأجهزة وزمن انتقال الراديو والموثوقية لتحقيق أكثر اكتمالاً وتوفير أفضل للخدمات.

في هذا السياق، سيتم تنفيذ مشروعنا حيث نبدأ بعرض تقديمي كامل عن الأجيال السابقة، ثم نحدد جميع النقاط المهمة لهذه التكنولوجيا الجديدة بالإضافة إلى أهدافها وخطوات التقييم الخاصة بها من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات و 3GPP والتخطيط وحجم شبكة الهاتف المحمول (5G) باستخدام «أتول».

Abstract

At present, the fourth generation (4G) mobile communications system is not able to satisfy some special requirements including high traffic density, high traffic volume density, high number of connections and high mobility.

So, it is anticipated that the Fifth Generation (5G) mobile communication systems will start to be commercialized and deployed in 2018 for new mobile services in three key features, namely, enhanced Mobile Broadband, massive Machine Type Communications, and Ultra-Reliable and Low Latency Communications.

Therefore, based on the preliminary research for 5G standardization by telecom industry leaders since 2012, the International Telecommunication Union has identified and announced the 5G vision and Key Performance Indicators on spectrum efficiency, energy efficiency, peak data rate, traffic density, device connectivity, radio latency and reliability for achieving more comprehensive and better service provisioning.

It is in this context will take place our project that we begin with a complete presentation on the previous generations, we then define all the important points of this new technology as well as their objectives and their stages of standardization by the ITU and 3GPP, the planning and sizing of the 5G mobile network that we using "Atoll " .

Table des matières

Remerciements
Dédicaces
Résumé
Table des matières
Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE.....1

Chapitre

| | |
|---|----|
| <i>I. INTRODUCTION SUR LES RESEAUX MOBILES</i> | 7 |
| I.1 Introduction | 8 |
| I.2 Evolution des réseaux mobiles | 9 |
| I.2.1 Les technologies de et la 2G voix centrique la génération 1G..... | 9 |
| I.2.2 La troisième génération (3G) | 10 |
| I.2.3 La quatrième génération (4G) | 11 |
| I.3 Les limitations du réseau 4G | 13 |
| I.4 Conclusion | 15 |
| II. LA 5G NR | 16 |
| II.1 Introduction | 17 |
| II.2 La normalisation du réseau 5G..... | 17 |
| II.2.1 Les activités de l'UIT-R..... | 17 |
| II.2.2 La normalisation du groupe 3GPP | 19 |
| II.3 Les promesses attendues de la 5G | 21 |
| II.4 Le nouveau spectre | 26 |
| II.5 Architecture réseaux 5G NR..... | 27 |

| | | |
|----------|---|----|
| II.5.1 | Présentation du réseau central 5GC (CORE) | 27 |
| II.5.2 | Le réseau d'accès 5G | 29 |
| II.5.3 | Séparation entre le plan contrôle et utilisateur (CUPS) | 30 |
| II.5.4 | L'architecture NSA versus SA..... | 32 |
| II.6 | Interface Air 5G NR | 33 |
| II.6.1 | Systèmes orthogonaux à accès multiple par répartition en fréquence..... | 33 |
| II.6.2 | Préfixe cyclique(CP) | 35 |
| II.7 | Numérologie | 37 |
| II.8 | Structure de trame..... | 39 |
| II.9 | Pile protocolaire 5G NR | 41 |
| II.9.1 | Les canaux physiques et signaux en NR | 41 |
| II.9.2 | Accès initial et mobilité..... | 42 |
| II.10 | Technique MIMO et Beamforming..... | 44 |
| II.10.1 | Présentation de la technique MIMO | 44 |
| II.10.2 | Principe du MIMO..... | 46 |
| II.10.3 | Massive MIMO..... | 46 |
| II.10.4 | Beamforming | 47 |
| II.11 | Conclusion | 49 |
| III. | Planification et Dimensionnement du Réseau Mobile 5G | 50 |
| III.1 | Introduction | 51 |
| III.2 | Les clés influant sur la couverture | 51 |
| III.2.1 | Les modèles de propagation..... | 51 |
| III.2.2. | La zone de distribution..... | 54 |
| III.3 | Le bilan de liaison..... | 56 |

| | | |
|---------|---|----|
| III.3.1 | Cas d'utilisation du bilan de liaison..... | 59 |
| III.3.2 | Les pertes..... | 60 |
| III.4 | Planification des ressources..... | 60 |
| III.4.1 | Planification des ressources PCID | 60 |
| III.4.2 | Les principes de planification PCI du réseau 5G | 61 |
| III.4.3 | PRACH planning..... | 63 |
| III.5 | Le Voisinage..... | 65 |
| III.5.1 | Planification et gestion des voisins : | 66 |
| III.6 | Conclusion..... | 67 |
| IV. | ANNEXE..... | 68 |
| | Conclusion Générale..... | 81 |
| | Bibliographie | 83 |

Liste des figures :

| | |
|---|----|
| <i>Figure I.1 : Les générations de réseaux cellulaires mobiles</i> | 8 |
| <i>Figure I.2 : La convergence de technologies sans fil</i> | 13 |
| <i>Figure II.1 : Plan de travail pour l'IMT-2020 dans UIT-R WP5D [8]</i> | 19 |
| <i>Figure II.2 : Les phases de normalisation et le processus itératif [20]</i> | 20 |
| <i>Figure II.3 : IMT-2020 utiliser des cas et cartographier des scénarios d'utilisation. De l'UIT-R, Recommandation UIT-R M.2083[2], utilisée avec la permission de l'UIT</i> | 22 |
| <i>Figure II.4 : Les principales capacités des IMT-2020[2]</i> | 23 |
| <i>Figure II.5 : La relation entre les capacités clés et les trois scénarios d'utilisation de l'UIT-R[2]</i> | 24 |
| <i>Figure II.6 : la bande de fréquence 5G[22]</i> | 27 |
| <i>Figure II.7: Vue d'ensemble de l'architecture du système 5G</i> | 28 |
| <i>Figure II.8: Architecture global NG-RAN</i> | 29 |
| <i>Figure II.9:EPC sans CUPS et EPC avec CUPS [23]</i> | 31 |
| <i>Figure II.10: NSA vs SA in 5G</i> | 33 |
| <i>Figure II.11: Diagramme temps/fréquence de l'OFDM</i> | 34 |
| <i>Figure II.12: Discrete representation of an OFDM system</i> | 35 |
| <i>Figure II.13: exemple de CP en 5G NR [24]</i> | 36 |
| <i>Figure II.14: Structure de trame en NR[21]</i> | 38 |
| <i>Figure II.15: structure générale de trame pour différentes numéologies.[12]</i> | 40 |
| <i>Figure II.16 : bloc SS/PBCH [13]</i> | 43 |
| <i>Figure II.17:Schéma d'un système de transmission sans fil MIMO</i> | 45 |
| <i>Figure II.18:Une illustration de MIMO massive</i> | 47 |
| <i>Figure II.19: Système Massive MIMO en transmission multi-utilisateurs [16]</i> | 47 |
| <i>Figure II.20: Perte de chemin d'accès libre pour différentes fréquences 4G et 5G [26]</i> | 48 |
| <i>Figure II.21:Modèle de faisceau de réseau rectangulaire uniforme $16 \times 16, 32 \times 32, 64 \times 64$[26]</i> | 49 |
| <i>Figure III.1: Modèle de perte de chemin d'espace libre</i> | 52 |
| <i>Figure III.2: bilan de liaison 5G NR [29]</i> | 57 |
| <i>Figure III.3:ID de cellule de la couche physique (PCI)</i> | 61 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| <i>Figure III.4: collisions PCI</i> | 62 |
| <i>Figure III.5: confusion PCI</i> | 62 |
| <i>Figure III.6: composition de PRACH préambule</i> | 64 |
| <i>Figure III.7: Différents formats de préambule [31]</i> | 64 |
| <i>Figure III.8: Relations de voisinage de déploiement SA [32]</i> | 65 |
| <i>Figure III.9: Relations avec les voisins de déploiement de la NSA[32]</i> | 66 |

Liste des tableaux:

| | |
|--|----|
| <i>Tableau II.1 : Le rapport décrit 14 paramètres techniques et les exigences minimales correspondantes.</i> | 26 |
| <i>Tableau II.2 : La bande passante du canal NR [21].</i> | 26 |
| <i>Tableau II.3: la longueur de CP pour différent numérologie [24].</i> | 37 |
| <i>Tableau II.4 : Numérolgies multiples dans NR [21].</i> | 38 |
| <i>Tableau II.5: Durée du symbole OFDM [25].</i> | 39 |
| <i>Tableau II.6: Canaux physiques dans NR [21].</i> | 41 |
| <i>Tableau II.7: signaux physique NR[21].</i> | 42 |
| <i>Tableau II.8 : Nombre maximal de transmissions de blocs SS/PBCH et d'espacement des sous-porteurs applicables [21].</i> | 44 |
| <i>Tableau III.1:Paramètre du modèle du coût 231.</i> | 53 |

Liste des abréviations:

3GPP:3rd Generation Partnership Project

5GCN:5G Core Network

A

ACK:Acknowledgment (in ARQ protocols)

AF: Application Function

AMF:Access and Mobility management
Function

AMPS:Advanced Mobile Phone System

AN: access network

ANR: Automatic Neighbour Relation

AWGN:Additive White Gaussian Noise

B

BPSK:Binary Phase-Shift Keying

BW: bandwidth

C

CGI: Cell Global Identifier

C-MTC:Critical Machine-Type
Communications

CP:Cyclic Prefix

CRS: Cell Specific Reference Signal

CSI:Channel-State Information

CSI-RS:CSI Reference Signals

CUPS: Control and User Plane Separation

D

DL:Downlink

DM-RS:Demodulation Reference Signal

DN: Data Network

E

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM
Evolution

EIRP: Effective Isotropic Radiated Power

eMBB: Enhanced Mobile Broadband

eNBeNodeB

EPC Enhanced Packet Core

F

FDD: Frequency-division duplexing

FDMA:Frequency-Division Multiple Access

FFT:Fast Fourier Transform

FR1:Frequency Range 1

FR2:Frequency Range 2

Liste des abréviations

FSPL: free-space path loss

G

gNB: gNodeB

GPRS: General Packet Radio Service

GSM: Global System for Mobile
Communications

GTP-U: GPRS Tunneling Protocol for User
Plane

H

HARQ:Hybrid ARQ

HSDPA: High Speed Downlink Packet
Access

HSPA: High Speed Packet Access

I

ICI: inter-carrier interference

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

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

IP: Internet Protocol

ISI:Intersymbol interference

K

KPI:key performance indicators

L

LDPC:Low-Density Parity Check Code

LTE:Long-Term Evolution

M

MAC:Medium Access Control

MIB: Master Information Block

MIMO:Multiple-Input Multiple-Output

MME:Mobility Management Entity

mMTC: Massive Machine-Type
Communications

MN Master Node

N

NC:Network Controller

NFs: Network Functions

NMT:Nordic Mobile Telephone

NR:New Radio

NSA: Non Stand-Alone

NSS:narrowband secondary synchronization

Liste des abréviations

O

OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OTA: over-the-air

P

PBCH: Physical Broadcast Channel

PCID: Physical Cell ID

PDC: Personal Digital Cellular

PDCCH: Physical Downlink Control Channel

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel

PRACH: Physical Random Access Channel

PT-RS: phase tracking reference signal

PSS: Primary Synchronization Signal

PUCCH: Physical Uplink Control Channel

PUSCH: Physical Uplink Shared Channel

Q

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

QOS: Quality-of-Service

QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying

R

R: 3GPP Release

RAN: Radio Access Network

RAT: Radio Access Technologies

RB: Resource Block

RE: Resource Element

RF: Radio Frequency

RLM: RADIO LINK MONITORING

RMa: Rural macrocell

RRC: Radio Resource Control

RRM: Radio Resource Management

RSRP: Reference Signal Received Power

RSRQ: reference signal received quality

S

SA: Stand-Alone

SCG: SECONDARY CELL GROUP

SCS: Sub-Carrier Spacing

SDN: Software-Defined Networking

SFN: system frame number

SIB1: System Information Block 1

SINR: Signal-to-Interference-and-Noise Ratio

SMF: Session Management Function

Liste des abréviations

SMS:Short Message Service

SN: Secondary Node

SON: Self Organizing Networks

SPM:Standard Propagation Model

SRS:Sounding Reference Signal

SSS:Secondary Synchronization Signal

T

TACS:Total Access Communication System

TD-SCDMA: Time Division Synchronous
Code Division Multiple Access

TDD: time division multiplex

TDMA: Time-division multiple access

TS:Technical Specification

TSG:Technical Specification Group

U

UEUser Equipment, the 3GPP name for the
mobile terminal

UIT:Union internationale des
télécommunications

UL:Uplink

Uma: urban macrocell

UMi: urban microcell

UMTS:Universal Mobile
Telecommunications System

UPF:User plane function

URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency
Communications

W

WCDMA: Wideband Code Division
Multiple Access

WiMAX: Worldwide Interoperability for
Microwave Access

WRC:World Radiocommunication
Conference

X

X2AP: X2 Application protocol

INTRODUCTION
GENERALE

La communication mobile est devenue un produit de tous les jours, au cours des dernières décennies elle est passée d'une technologie coûteuse pour quelques individus sélectionnés à des systèmes omniprésents utilisés aujourd'hui par une majorité de la population mondiale. Les évolutions de télécommunications ont de plus en plus explosé pour se rendre à un niveau de service plus élevé qui a écarté leurs prédécesseurs afin de satisfaire l'augmentation du nombre des utilisateurs et les exigences actuelles de taux de données élevés. À cet effet les générations mobiles se permettant de se succéder et se développer de la technologique GSM jusqu'aux systèmes de télécommunications mobiles dont le monde était témoin de ses quatre générations, chacun associé à un ensemble spécifique de technologies et à un ensemble spécifique de cas d'utilisation pris en charge. Puisque le monde est basé sur un système de paquet complètement IP, les opérateurs de télécommunications se trouvent devant une situation qui l'oblige de répondre à la croissance continue de trafic. Tout cela nous a permis de se retrouver vers un premier pas de la 5G prévu de supporter des vitesses de connexion très haut débit largement plus rapide avec une faible latence, une meilleure fiabilité, une meilleure efficacité spectrale et une utilisation des données nettement plus intensive que les générations précédentes. Ce passage ne serait réalisable que par le dimensionnement de réseau 4G/5G et la planification du réseau 5G.

C'est dans ce contexte se déroulera notre projet qui est organisé comme suite : le chapitre 1 qui inclut une étude des générations précédentes et l'évolution de l'une à l'autre, nous connaissons aussi la limite de la 4G qui la rendait nécessaire de passer à une nouvelle génération pour des nouveaux besoins dans les différents domaines.

Dans le 2eme chapitre nous présenterons la 5G, leurs étapes de standardisation par l'UIT et le 3GPP ainsi que les promesses attendues de cette génération, en citant des propriétés importantes du 5G NR (Spectre, architecture, l'interface air, OFDM, les protocoles, MIMO).

Ensuite nous entamerons le troisième chapitre qui concerne la planification et le dimensionnement du réseau mobile dans la 5G.

Pour une raison d'indisponibilité de la base de donnée dans ce logiciel de simulation à notre niveau, nous avons cité des démonstrations faites dans une zone en France utilisant Atoll, sont présentés en Annexe.

Notre objectif par ce modeste travail et de vous faire savoir pourquoi la 5G est différente et pourquoi elle sera au cœur du futur des communications.

***INTRODUCTION SUR LES
RESEAUX MOBILES***

I.1 Introduction

Pendant plusieurs décennies de développement en plein essor, la technologie des communications mobiles a pénétré dans de nombreux domaines de notre vie quotidienne. Le monde a été témoin de cinq générations de systèmes de communication mobile qui font généralement référence à un changement de nature du système, chacun associé à un ensemble spécifique de technologies et à un ensemble spécifique de cas d'utilisation assistée, voir la *figure I.1*.

Par ailleurs, les différentes générations et les mesures prises entre eux sont utilisées comme toile de fond pour introduire le contenu de ce travail.

Mais d'abord pour comprendre la cinquième génération il faut avoir un background sur l'évolution des réseaux mobiles de la 1G à la 4G, ce que nous verrons au cours de ce chapitre.

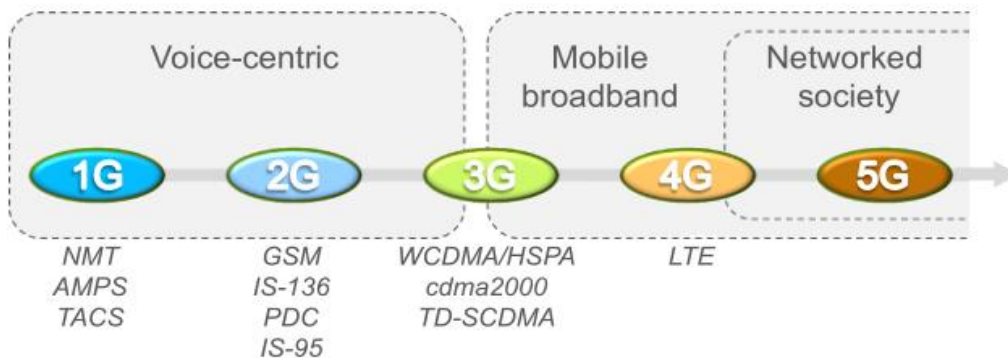


Figure I.1 : Les générations de réseaux cellulaires mobiles

Le réseau de communication mobile de la première génération (1G) utilisait des signaux radio analogiques, ce qui signifie que la voix d'un appel est modulée à une fréquence plus élevée plutôt que d'être codée en signaux numériques.

Cependant, la technologie 1G a souffert d'un certain nombre d'inconvénients comme la couverture qui a été médiocre, la qualité sonore était faible et aussi il n'y avait pas de prise en charge de l'itinérance entre les opérateurs, vu que les systèmes fonctionnaient sur différentes gammes de fréquences, il n'y avait pas de compatibilité entre eux. En plus, les appels n'étaient pas cryptés.

La deuxième génération a vu l'introduction des technologies GSM comme norme au début des années 90. Il a permis d'envoyer de la voix et des données numériques sur le réseau, prend en charge la messagerie texte et a permis aux utilisateurs de se déplacer pour la première fois.

L'avancée technologique de 1G à 2G a introduit de nombreux services fondamentaux que nous utilisons encore aujourd'hui, tels que les SMS, l'itinérance interne, les conférences téléphoniques, les appels en attente et la facturation basée sur les services.

L'arrivée de la troisième génération (3G) en 2000, connu comme UMTS en Europe et CDMA2000 aux Etats-Unis, s'intéresse beaucoup plus sur la connectivité sociale que sur les appels vocaux.

La principale originalité de la 3G est la technologie qui permet un taux très élevé de transmission de plus grandes quantités de données jusqu'à 14Mbps, une capacité accrue et un support multimédia. Pour la première fois, cette génération a soutenu des données de grande vitesse, la large approche d'Internet de bande aussi bien qu'a fixé l'approche Internet sans fil et a tenu compte des appels vidéos, Conferencing, la TV mobile, la vidéo sur demande, les cartes de navigation, le courrier électronique, les jeux mobiles et la musique.

Lancée en 2010, la quatrième génération est un système de réseau entièrement IP. Son objectif est de fournir aux utilisateurs une vitesse élevée, une qualité et une capacité élevées tout en améliorant la sécurité et en réduisant le coût des services voix et données, du multimédia et d'Internet sur IP.

I.2 Evolution des réseaux mobiles

I.2.1 Les technologies de la génération 1G et la 2G (voix centrique)

La communication mobile était disponible avant le réseau de la première génération (1G), mais généralement à petite échelle et ciblant un groupe très sélectionné de personnes. Dans les années 80 Les systèmes de (1G) comprennent NMT, AMPS et TACS étaient analogiques et utilise uniquement pour les appels vocaux souvent disponibles à l'échelle nationale avec une itinérance internationale limitée ou inexistante [9].

Les systèmes de la deuxième génération (2G) sont apparus au début des années 1990, parmi les exemples de technologies 2G mentionnons la technologie GSM d'origine européenne, l'américaines IS-95/CDMA et IS-136/TDMA, ainsi que la technologie japonaise PDC. Les systèmes 2G étaient encore centrés sur la voix, mais grâce à être entièrement numérique, ils fournissaient une capacité significativement plus élevée que les systèmes 1G précédents. Au fil des années, certaines de ces premières technologies ont été étendues pour également prendre en

charge les services de données de paquets (primitifs), ces extensions sont parfois appelées 2.5G pour indiquer qu'elles ont leurs racines dans les technologies 2G mais ont un éventail significativement plus large de capacités que leurs originales. Citant aussi EDGE est un exemple bien connu d'une technologie 2.5G. GSM/EDGE est encore largement utilisé dans les téléphones intelligents, mais fréquemment pour certains types de communication de type machine tels que les alarmes, les systèmes de paiement, et la surveillance immobilière [9].

Les caractéristiques de la deuxième génération :

- Transmettre des messages vocaux et textuels (SMS).
- Son architecture est conçue pour fonctionner avec la commutation de circuits.
- C'est le premier réseau à permettre l'itinérance internationale.
- Les signaux sont transportés sur des bandes de fréquences distinctes avec une bande passante de 200 kHz pour la transmission et la réception.
- L'accès à plusieurs canaux se fait à l'aide de la méthode TDMA (Time Division Multiple Access).

Les communications à bas débit « 1G et 2G » sont les technologies de téléphonie mobile, donnant finalement l'accès à la téléphonie mobile à tout le monde.

I.2.2 La troisième génération (3G)

Au cours des années 1990, la nécessité de soutenir non seulement les services de voix mais aussi de données a commencé à émerger, ce qui a conduit à la nécessité d'une nouvelle génération de technologies cellulaires allant au-delà des services vocaux seulement. À la fin de cette époque, le GSM, bien qu'il soit développé en Europe, était déjà devenue une norme mondiale de facto. Pour assurer une portée mondiale aussi pour les technologies 3G, il a été réalisé que le développement 3G devait être effectué à l'échelle mondiale. Pour faciliter cela, le projet de partenariat de troisième génération (3GPP) a été formé pour développer les technologies WCDMA et TD-SCDMA 3G. Peu de temps après, l'organisation parallèle 3GPP2 a été créée pour développer la technologie concurrente CDMA2000 3G, une évolution de la technologie 2G IS-95 [9].

La première version de WCDMA (R 99) a été finalisée en 1999, Elle comprenait des services vocaux et vidéo commutés sur circuit, ainsi que des services de données sur les porteurs commutés à paquets et les porteurs commutés sur circuit [9].

Les premières améliorations majeures à WCDMA sont venues avec l'introduction de HSDPA dans la (R 5) suivie par Enhanced Uplink dans la (R 6), collectivement connu sous le nom High Speed Packet Access (HSPA) [1].

La HSPA, parfois appelé 3.5G, a permis une « vraie » expérience mobile-large bande avec des taux de données de plusieurs Mbit/s tout en maintenant la compatibilité avec les spécifications 3G d'origine.

Avec le support pour le haut débit mobile, la base pour l'adoption rapide des téléphones intelligents tels que l'iPhone et la large gamme d'appareils Android étaient en place. Sans la grande disponibilité du haut débit mobile pour le marché de masse, l'utilisation des téléphones intelligents aurait été beaucoup plus lente et serait très limitée. Au même temps, l'utilisation massive de téléphones intelligents et d'une large gamme de services basés sur les paquets tels que les réseaux sociaux, la vidéo, les jeux et les achats en ligne se traduit par des exigences en matière de capacité accrue et d'amélioration de l'efficacité spectrale. Les utilisateurs qui s'habituent de plus en plus aux services mobiles remontent également leurs attentes en termes d'augmentation des taux de données et de réduction de la latence. Ces besoins ont été en partie gérés par une évolution continue et toujours en cours de HSPA, mais il a également déclenché les discussions sur la technologie 4G au milieu des années 2000 [9].

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

- Il fonctionne avec les systèmes de commutation de paquets utilisés pour la transmission de données et de commutation de circuits pour la transmission vocale.
- Les données sont transférées sur une bande passante de 5 MHz.
- Utilisé pour les appels vocaux et la transmission de données.
- La vitesse de transfert de données atteint plus de 42 Mbps.

I.2.3 La quatrième génération (4G)

La technologie LTE désigne une norme spécifiée utilisée par l'organisme de standardisation 3GPP pour améliorer la norme UMTS des réseaux cellulaires 3G, vers la quatrième génération, pour faire face aux évolutions technologiques. Elle a été développée dès le début pour le support des données de paquets et n'a aucun support pour la voix commutée de circuit, contrairement à la 3G où HSPA était un «add-on» pour fournir des données de paquets

haute performance sur le dessus d'une technologie existantes. Les services mobiles à large bande ont été au centre de l'attention, avec des exigences strictes sur les taux de données élevés, la faible latence et la capacité élevée. D'autres exigences importantes étaient la flexibilité du spectre et le maximum de points communs entre les solutions FDD et TDD. D'autre part une nouvelle architecture réseau de base a également été développée, connue sous le nom d'Enhanced Packet Core (EPC), pour remplacer l'architecture utilisée par GSM et WCDMA/HSPA. La première version de LTE faisait partie de la (R 8) des spécifications 3GPP et le premier déploiement commercial a eu lieu à la fin de 2009, suivi d'un déploiement rapide et mondial des réseaux LTE [9].

Un aspect important de LTE est l'acceptation mondiale d'une seule technologie, contrairement aux générations précédentes pour lesquelles il existe plusieurs technologies concurrentes, voir la *figure 1.2*.

Le fait d'avoir une technologie unique et universellement acceptée accélère le développement de nouveaux services et réduit le coût pour les utilisateurs et les opérateurs de réseau.

Depuis son introduction commerciale en 2009, LTE a considérablement évolué en termes de taux de données, de capacité, de flexibilité du spectre et de déploiement, et de portée d'application. Des déploiements macro-centrés avec des taux de données de pointe de 300 Mbit/s dans 20 MHz de spectre contigu et autorisé, D'autre part, l'évolution de LTE permet en (R 13) de supporter les taux de données de pointe multi-Gbit/s grâce à des améliorations en termes de technologies d'antenne, coordination multi-Site, exploitation de spectre fragmenté ainsi que de spectres sans licence et de déploiements densifiés pour ne citer que quelques domaines. L'évolution de LTE a également considérablement élargi les cas d'utilisation au-delà du haut débit mobile en améliorant, par exemple, le support pour la communication massive de type machine et en introduisant la communication directe d'appareil à appareil [9].

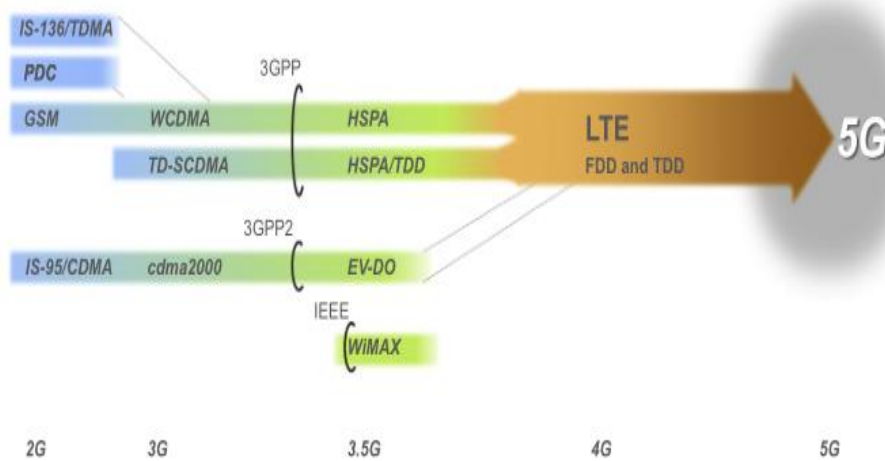


Figure I.2 :La convergence de technologies sans fil

I.3 Les limitations du réseau 4G

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.

La communication massive de type machine, illustrée par les réseaux de capteurs dans l'agriculture, la surveillance du trafic et la gestion à distance des équipements de services publics dans les bâtiments, est un type d'applications non mobiles à large bande. Ces applications mettent principalement des exigences sur la consommation d'énergie de l'appareil très faible tandis que les taux de données et les quantités de données par appareil sont modestes. Beaucoup de ces

applications peuvent déjà être prises en charge par l'évolution LTE. Un autre exemple d'applications non mobiles à large bande sont les communications ultra-fiables et à faible latence (URLLC), également appelées communication de type machine critique.

Les exemples ici sont l'automatisation industrielle, où les exigences de latence et de fiabilité sont très strictes. La communication véhicule-véhicule pour la sécurité routière en est un autre exemple. Néanmoins, le haut débit mobile restera un cas d'utilisation important et la quantité de trafic dans les réseaux sans fil augmente rapidement, tout comme les attentes des utilisateurs en ce qui concerne les taux de données, la disponibilité et la latence. Ces exigences améliorées doivent également être prises en compte par les réseaux sans fil 5G [9].

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 [9].

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.

| Spécification | 4G | 5G |
|---|--------------------------------------|--|
| Taux de données (débit perçu par utilisateur) et débit crête (throughput) | La moyenne 25 Mbps Crête 300 Mbps | 100 Mb/s en moyenne 20 Gb/s en crête |
| La latence | ~10 – 50 ms | ~1 ms |
| La mobilité | Jusqu'à 350 km/h | >500 Km/h |
| L'efficacité spectrale | DL – 6 bits/Hz UL- 4 Bits/Hz | x3 Mieux DL-30 bits/Hz UL-15 bits/Hz |
| La densité des utilisateurs | ~2000 utilisateurs/square Km | ~1million utilisateur/square Km |
| L'efficacité énergétique | Modérée | x100 mieux |
| Les services offerts | MBB | MBB,mMTC et URLLC |

Table I.1 : Comparaison des technologies 4G et 5G [19]

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné des spécifications de différentes générations de radio mobiles et leurs évolutions ainsi que leurs différentes technologies en commençant par la première génération et en arrivant à la récente technologie 5G. On a vu aussi 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 qui est le sujet de notre prochain chapitre ou on citera aussi leurs étapes de standardisation par l'UIT et le 3GPP.

LA 5G NR

II.1 Introduction

Comme déjà vu dans le chapitre précédent, l'évolution de la 4G atteint sa fin et à ses limites et devenu incapable de répondre aux exigences actuelles, cela signifie que la nécessité d'une nouvelle génération de réseaux mobiles peut répondre aux divers besoins d'évolution de la technologie et à la nécessité de tout connecter (humains, machines ...).

Dans ce chapitre, nous décrirons la 5G, le nouveau réseau mobile, qui rendra tout connecter.

II.2 La normalisation du réseau 5G

II.2.1 Les activités de l'UIT-R

II.2.1.1 Le rôle de l'UIT-R

L'UIT-R (ITU-R en anglais) est le secteur des communications radio de l'Union internationale des télécommunications, il est responsable d'assurer une utilisation efficace et économique du spectre RF par tous les services de communication radio. Les différents sous-groupes et groupes de travail produisent des rapports et des recommandations qui analysent et définissent les conditions d'utilisation du spectre RF. L'objectif assez ambitieux de l'UIT-R est « d'assurer l'exploitation sans interférence des systèmes de communication radio », en mettant en œuvre le Règlement sur la radio et les accords régionaux. Le Règlement sur la radio est un traité international contraignant sur la façon dont le spectre des RF est utilisé. Une conférence mondiale sur la radiocommunication (WRC) a lieu tous les 3 à 4 ans. Au WRC, le Règlement sur la radio est révisé et mis à jour, ce qui entraîne une révision et une mise à jour du spectre des RF à travers le monde [20].

II.2.1.2 Processus IMT-2020 dans l'UIT-R

À partir de 2012, l'UIT-R a préparé le terrain pour la prochaine génération de systèmes IMT, nommé IMT-2020. Il s'agit d'un développement ultérieur de la composante terrestre de l'IMT au-delà de l'année 2020 et, dans la pratique, correspond à ce qu'on appelle plus communément la « 5G », la cinquième génération de systèmes mobiles. Le cadre et l'objectif de l'IMT-2020 sont décrits dans la recommandation de l'UIT-R M.2083 [2].

La recommandation constitue la première étape pour définir les nouveaux développements de l'IMT, en examinant leurs futurs rôles et la façon dont elle peut servir la société, en examinant les tendances du marché, les utilisateurs et la technologie, et les implications du spectre. Les

tendances utilisateur pour l'IMT ainsi que le rôle futur et le marché conduisent à un ensemble de scénarios d'utilisation envisagés à la fois pour la communication centrée sur l'homme et que sur la machine [20].

Les scénarios d'utilisation identifiés sont Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC) et Massive Machine-Type Communications (mMTC).

En tant qu'activité parallèle, l'UIT-R a produit un rapport sur les « Future technology trends of terrestrial IMT systems » [3], en mettant l'accent sur la période 2015-2020. Il couvre les tendances des aspects futurs de la technologie IMT en examinant les caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes IMT et comment ils sont améliorés avec l'évolution de cette technologie. Un nouvel aspect sur IMT-2020 sera capable d'opérer dans de nouvelles bandes IMT potentielles supérieures à 6 GHz, y compris les bandes mm-ondes. Dans cet esprit, l'UIT-R a produit un rapport distinct étudiant la propagation des ondes radio, les caractéristiques de l'IMT, les technologies habilitantes et le déploiement dans des fréquences supérieures à 6 GHz [4].

Au WRC-15 (Conférence Mondiale des Radiocommunications), de nouvelles bandes potentielles pour l'IMT ont été discutées et un point de l'ordre du jour 1.13 a été mis en place pour LE WRC-19, couvrant d'éventuelles allocations supplémentaires aux services mobiles et pour le développement futur de l'IMT. Ces allocations sont identifiées dans un certain nombre de bandes de fréquences de l'ordre de 24,25 à 86 GHz [20].

Après le WRC-15, l'UIT-R a poursuivi le processus d'établissement des exigences et de définition des méthodologies d'évaluation pour les systèmes IMT-2020, basé sur la recommandation *Vision* [2] et les autres résultats de l'étude précédente. Cette étape du processus a été achevée à la mi-2017, comme le montre le plan de travail IMT-2020 dans la **Figure II.1**.

Le résultat a été trois documents publiés à la fin de 2017 qui définissent davantage le rendement et les caractéristiques qui sont attendus de l'IMT-2020 et qui seront appliqués dans la phase d'évaluation :

- ✚ Exigences techniques : Rapport UIT-R M.2410[5] définit 13 exigences minimales liées à la performance technique de l'interface radio IMT-2020(s). Les exigences sont en grande partie fondées sur les principales capacités énoncées dans la recommandation *Vision* (UIT-R, 2015c).

- ✚ Lignes directrices d'évaluation : Rapport UIT-R M.2412 [6] définit la méthodologie détaillée à utiliser pour évaluer les exigences minimales, y compris les environnements de test, les configurations d'évaluation et les modèles de canaux.
- ✚ Modèle de soumission : Rapport UIT-R M.2411 [7] fournit un modèle détaillé à utiliser pour soumettre une technologie de candidat pour évaluation. Il détaille également les critères et les exigences d'évaluation en matière de service, de spectre et de performance technique, en se fondant sur les deux rapports UIT-R mentionnés précédemment M.2410 et M.2412.

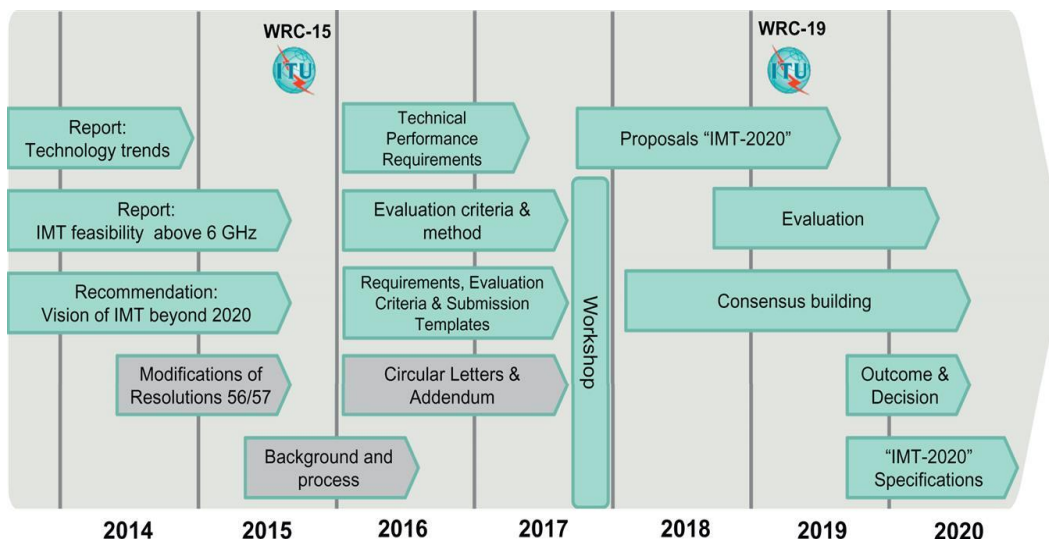


Figure II.1 : Plan de travail pour l'IMT-2020 dans UIT-R WP5D [8]

II.2.2 La normalisation du groupe 3GPP

Avec un cadre pour les systèmes IMT mis en place par l'UIT-R, avec le spectre mis à disposition par le WRC et avec une demande toujours croissante pour de meilleures performances, la tâche de spécifier les technologies réelles de communication mobile incombe à des organisations comme la 3GPP. Plus précisément, 3GPP rédige les spécifications techniques pour 2G GSM, WCDMA/HSPA 3G, 4G LTE et 5G NR [20].

II.2.2.1 Le processus 3GPP

L'élaboration de spécifications techniques pour la communication mobile n'est pas un travail ponctué à la fois, il s'agit d'un processus continu. Les spécifications sont en constante évolution, en essayant de répondre à de nouvelles demandes de services et de fonctionnalités [20].

Le processus est différent dans les différents forums, mais comprend généralement les quatre phases illustrées dans la *Figure II.2*:

- a.* Exigences (Requirements) : où il est décidé ce qui doit être réalisé par la spécification.
- b.* Architecture : où les principaux blocs de construction et les interfaces sont décidés.
- c.* Spécifications détaillées (Detailed specifications): où chaque interface est spécifiée en détail.
- d.* Test et vérification (Testing and verification) : où les spécifications de l'interface sont prouvées pour fonctionner avec l'équipement réel.

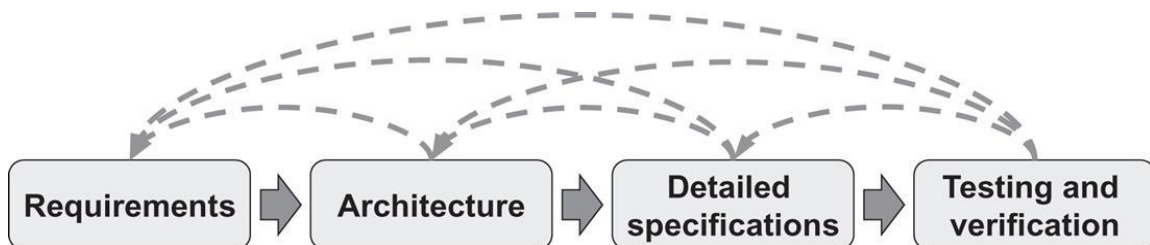


Figure II.2 : Les phases de normalisation et le processus itératif [20].

Les travaux en 3GPP sont effectués en fonction des recommandations pertinentes de l'UIT-R et le résultat est également soumis à l'UIT-R comme faisant partie de l'IMT-2000, IMT-Advanced, et maintenant aussi en tant que candidat à l'IMT-2020 sous la forme de NR.

Les partenaires organisationnels sont tenus d'identifier les exigences régionales qui peuvent mener à des options dans la norme. Par exemple, les bandes de fréquences régionales et les exigences spéciales de protection locales pour une région. Les spécifications sont développées avec l'itinérance globale et la circulation des appareils à l'esprit. Cela implique que de nombreuses exigences régionales seront essentiellement globales pour tous les appareils, car un dispositif d'itinérance doit répondre aux exigences régionales les plus strictes. Les options régionales dans les spécifications sont donc plus courantes pour les stations de base que pour les appareils[20].

Les spécifications de toutes les versions peuvent être mises à jour après chaque série de réunions du TSG, qui ont lieu quatre fois par an. Les documents 3GPP sont divisés en versions, où chaque version a un ensemble de fonctionnalités ajoutées par rapport à la version précédente. Les caractéristiques sont définies dans les éléments de travail convenus et entrepris par les TSG. LTE est défini à partir de la (R 8) et à partir, où La (R 10) de LTE est la première version approuvée par l'UIT-R comme une technologie IMT-Advanced et est donc également la première

version nommée LTE-Advanced. De (R 13), le nom marketing de LTE est changé en LTE-Advanced Pro. Plus de détails sur l'interface radio LTE peuvent être trouvés dans [9].

II.3 Les promesses attendues de la 5G

Avec un large éventail de nouveaux cas d'utilisation étant l'un des principaux moteurs de la 5G, l'UIT-R a défini trois scénarios d'utilisation qui font partie de la recommandation IMT Vision [2]. Les contributions de l'industrie mobile et de différentes organisations régionales et d'opérateurs ont été intégrées au processus IMT-2020 dans le WP5D de l'UIT-R, et ont été synthétisées dans les trois scénarios :

❖ **Enhanced Mobile Broadband (eMBB)** : Le haut débit mobile étant aujourd'hui le principal moteur d'utilisation des systèmes mobiles 3G et 4G, ce scénario indique que son rôle continu est le scénario d'utilisation le plus important. La demande ne cesse d'augmenter et de nouveaux domaines d'application émergent, ce qui fixe de nouvelles exigences pour ce que l'UIT-R appelle le haut débit mobile amélioré. En raison de son utilisation large et omniprésente, il couvre une gamme de cas d'utilisation avec des défis différents, y compris les points chauds et la couverture à grande surface, avec le premier permettant des taux de données élevés, une densité d'utilisateur élevée, et un besoin de très haute capacité, tandis que le second met l'accent sur la mobilité et une expérience utilisateur transparente, avec des exigences plus faibles sur le taux de données et la densité des utilisateurs. Le scénario enhanced Mobile Broadband est généralement considéré comme s'attaquant à la communication centrée sur l'homme.

❖ **Ultra-reliable and low-latency communications (URLLC)** : Ce scénario vise à couvrir à la fois la communication centrée sur l'homme et la machine, où ce dernier est souvent appelé communication de type machine critique (C-MTC). Il se caractérise par des cas d'utilisation avec des exigences strictes en matière de latence, de fiabilité et de grande disponibilité. Par exemple, la communication véhicule-véhicule impliquant la sécurité, le contrôle sans fil de l'équipement industriel, la chirurgie médicale à distance et l'automatisation de la distribution dans un réseau intelligent. Un exemple d'un cas d'utilisation centré sur l'homme est le jeu 3D et « Internet tactile », où l'exigence de faible latence est également combinée avec des taux de données très élevés.

❖ **Massive machine type communications (mMTC)** : Il s'agit d'un cas d'utilisation purement centré sur la machine, où la principale caractéristique est un très grand nombre

d'appareils connectés qui ont généralement des transmissions très rares de petits volumes de données qui ne sont pas sensibles aux retards. Le grand nombre d'appareils peut donner une densité de connexion très élevée localement, mais c'est le nombre total d'appareils dans un système qui peut être le véritable défi et souligne la nécessité d'un faible coût. En raison de la possibilité d'un déploiement à distance des appareils mMTC, ils sont également tenus d'avoir une très longue durée de vie de la batterie.

Les scénarios d'utilisation sont illustrés dans **Figure II.3**. Les trois scénarios ci-dessus ne sont pas revendiqués pour couvrir tous les cas d'utilisation possibles, mais ils fournissent un groupement pertinent de la majorité des cas d'utilisation actuellement prévus et peuvent donc être utilisés pour identifier les capacités clés nécessaires pour la technologie d'interface radio de prochaine génération pour IMT-2020. Il y aura très certainement de nouveaux cas d'utilisation émergent, que nous ne pouvons pas prévoir aujourd'hui ou décrire en détail. Cela signifie également que la nouvelle interface radio doit avoir une grande flexibilité pour s'adapter aux nouveaux cas d'utilisation et à l'espace qui s'étend sur la gamme des capacités clés prises en charge si les exigences connexes découlant de l'évolution des cas d'utilisation [20].

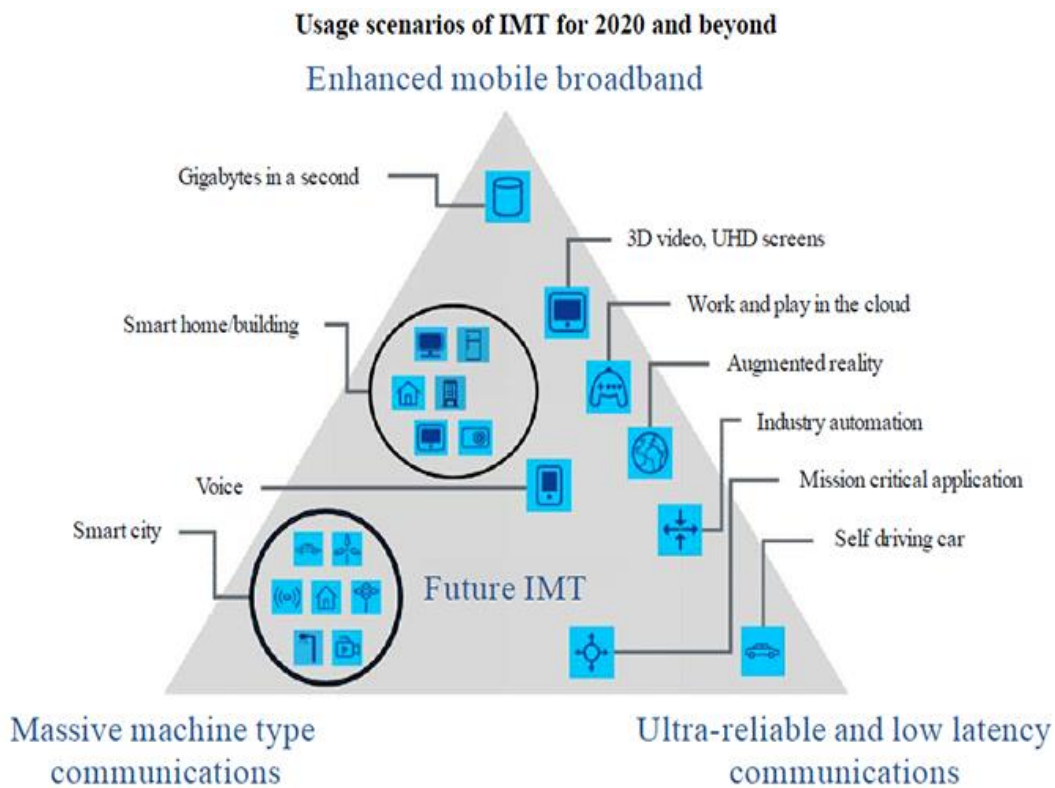


Figure II.3 : IMT-2020 utiliser des cas et cartographier des scénarios d'utilisation. De l'UIT-R, Recommandation UIT-R M.2083[2], utilisée avec la permission de l'UIT.

Dans le cadre de l'élaboration du cadre de l'IMT-2020 tel que documenté dans la recommandation de l'IMT, l'UIT-R a défini un ensemble de capacités nécessaires à une technologie IMT-2020 pour soutenir les cas d'utilisation 5G et les scénarios d'utilisation identifiés grâce aux intrants d'organismes régionaux, de projets de recherche, d'opérateurs, d'administrations et d'autres organisations. Il y a un total de 13 capacités définies dans l'UIT-R[2], où huit ont été sélectionnées comme capacités clés. Ces huit capacités clés sont illustrées à travers deux diagrammes de « toile d'araignée » (*voir Figures. II.4 et II.5*).

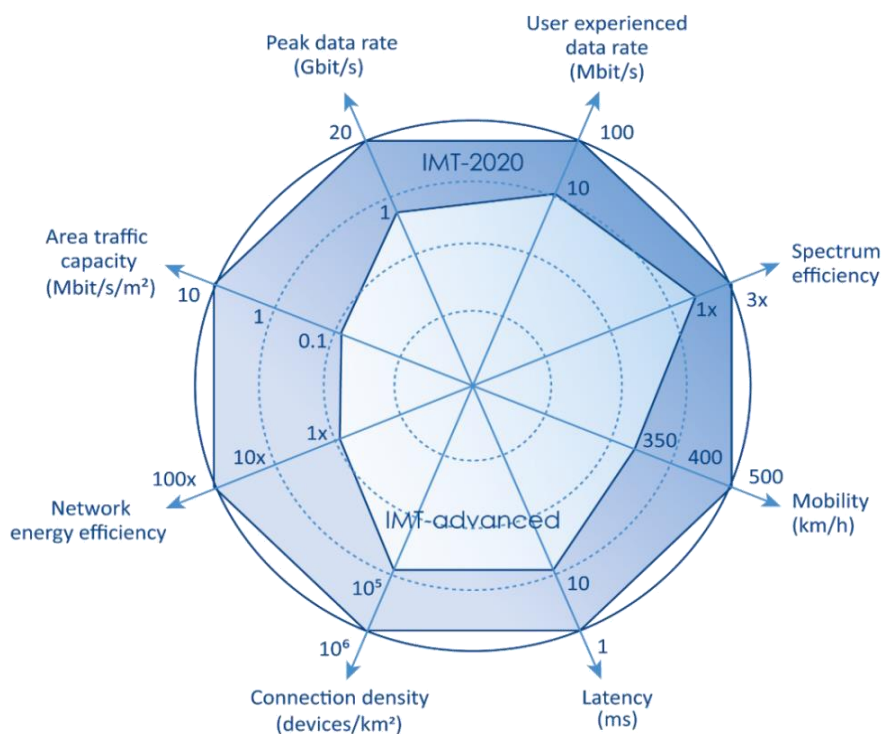


Figure II.4 : Les principales capacités des IMT-2020[2].

La figure II.4 illustre les principales capacités ainsi que les nombres cibles indicatifs destinés à donner une première orientation de haut niveau pour les exigences plus détaillées de l'IMT-2020 qui sont actuellement en cours d'élaboration. Comme on peut le voir, les valeurs cibles sont en partie absolues et en partie par rapport aux capacités correspondantes de IMT-Advanced. Les valeurs cibles pour les différentes capacités clés n'ont pas besoin d'être atteintes simultanément et certaines cibles sont dans une certaines mesures même mutuellement exclusives. Pour cette raison, il y a un deuxième diagramme montré dans la (Figure II.5) qui illustre « l'importance » de chaque capacité clé pour réaliser les trois scénarios d'utilisation de haut niveau envisagés par l'UIT-R[20].

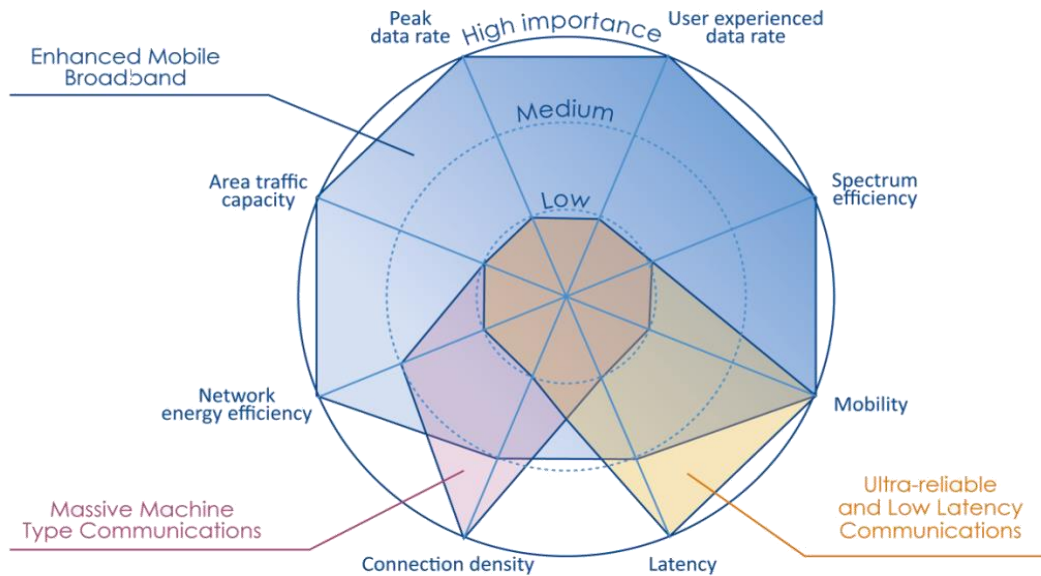


Figure II.5 : La relation entre les capacités clés et les trois scénarios d'utilisation de l'UIT-R[2].

En plus des huit capacités données dans la *Figure.II.4*, cinq capacités supplémentaires sont définies en [2] :

- La flexibilité du spectre et de la bande passante : elle fait référence à la flexibilité de la conception du système pour gérer les différents scénarios, et en particulier à la capacité d'opérer à différentes gammes de fréquences, y compris des fréquences plus élevées et des bandes passantes plus larges que celle d'aujourd'hui.
- La fiabilité : est liée à la capacité de fournir un service donné avec un très haut niveau de disponibilité.
- La résilience : est la capacité du réseau à continuer à fonctionner correctement pendant et après une perturbation naturelle ou d'action humaine, comme la perte de puissance du réseau.
- La sécurité et la confidentialité : La sécurité et la confidentialité désignent plusieurs domaines tels que le cryptage et la protection de l'intégrité des données et de la signalisation des utilisateurs, ainsi que la vie privée des utilisateurs finaux, la prévention du suivi non autorisé des utilisateurs et la protection du réseau contre le piratage, la fraude, le déni de service, etc.

- Le temps de vie opérationnel : se réfère au temps d'opération par capacité d'énergie stockée. Ceci est particulièrement important pour les appareils de type machine nécessitant une très longue durée de vie de la batterie (par exemple plus de 10 ans), dont l'entretien régulier est difficile pour des raisons physiques ou économiques.

Notez que ces capacités ne sont pas nécessairement moins importantes que les capacités de la *Figure.II.4*, malgré le fait que ces dernières sont appelées « capacités clés ».

La principale différence est que les « capacités clés » sont plus facilement quantifiables, tandis que les cinq autres capacités sont plus de capacités qualitatives qui ne peuvent pas facilement être quantifiées.

Sur la base des scénarios d'utilisation et des capacités décrits dans la recommandation Vision (UIT-R, 2015c), l'UIT-R a élaboré un ensemble d'exigences minimales en matière de performance technique pour l'IMT-2020. Ceux-ci sont documentés dans le rapport UIT-R M.2410 [5] et serviront de base pour l'évaluation des technologies des candidats IMT-2020 (voir *Figure II.1*). Le rapport décrit 14 de paramètres techniques et les exigences minimales correspondantes. Celles-ci sont résumées dans le *tableau II.1*.

| Paramètre | Minimum Technical performance Requirement |
|---|---|
| Débit de données maximal | Downlink : 20Gbit/s |
| | Uplink : 10Gbit/s |
| Efficacité spectrale maximale | Downlink : 30Gbit/s |
| | Uplink : 10Gbit/s |
| Débit de données utilisateur | Downlink : 100Gbit/s |
| | Uplink : 50Gbit/s |
| Efficacité spectrale des utilisateurs du cinquième centile | 3×IMT-Advanced |
| Efficacité spectrale moyenne | 3×IMT-Advanced |
| Capacité de trafic regional | 10Mbits/s/m-2 (hotspot intérieur pour eMBB) |
| Latence du plan utilisateur | 4ms for eMBB |
| | 1ms for URLLC |
| Contrôle de la latence du plan | 20ms |
| Densité de connexion | 1 000 000 appareils par km-km 2 |

| | |
|------------------------------------|---|
| Efficacité énergétique | Relatif à deux aspects pour eMBB: Transmission efficace des données dans un boîtier chargé. Faible consommation d'énergie lorsqu'il n'y a pas de données, la technologie doit avoir la capacité de supporter un taux de sommeil élevé et une longue durée de sommeil. |
| Fiabilité | 1-10 ⁻⁵ probabilité de succès de transmission de la couche 2PDU (Unité de données de protocole) de 32 octets dans les 1ms, au bord de la couverture Urban Macro pour URLLC |
| Mobilité | Taux de données normalisés des canaux de trafic définis pour 10,30, et 120 km/h à 1,5 ⁻¹ IMT- Nombres avancés Exigence de véhicule à grande vitesse défini pour 500 km/h (contre 350 km/h pour IMT-Advanced) |
| Interruption de la mobilité | 0ms |
| Bande passante | Au moins 100MHz et jusqu'à 1 GHz dans les bandes à haute fréquence. La bande passante évolutive doit être soutenue |

Tableau II.1 : Le rapport décrit 14 paramètres techniques et les exigences minimales correspondantes.

II.4 Le nouveau spectre

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) [21].

| Bande de fréquence | Bande de fréquence | Bande passante de canal prise en charge (MHz) |
|---------------------------|---------------------------|--|
| Fr1 | 410 MHz – 7125 MHz | 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 90, 100 |
| Fr2 | 24250 MHz – 52600 MHz | 50, 100, 200, 400 |

Tableau II.2 : La bande passante du canal NR [21].

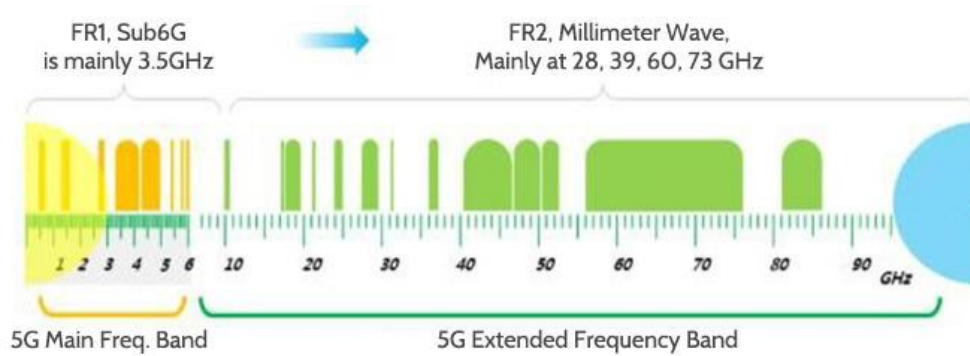


Figure II.6 : la bande de fréquence 5G[22].

Les exigences RF et RRM sont définies pour chaque FR. Une grande différence entre les exigences en FR1 et FR2 est la méthodologie de test. Les méthodes dites « conduites » et « over-the-air (OTA) » peuvent être utilisées dans FR1, mais seule la méthodologie OTA peut être utilisée en FR2 ; « Conduit » est une méthode passive, utilisable lorsque les connecteurs d'antenne sont encore accessibles, tandis que « OTA » est l'être utilisé lorsque les connecteurs d'antenne ne sont pas accessibles, comme dans un contexte MIMO massive [21].

II.5 Architecture réseaux 5G NR

II.5.1 Présentation du réseau central 5GC (CORE)

Le réseau central 5G s'appuie sur l'EPC avec trois nouveaux domaines d'amélioration : l'architecture basée sur les services, la prise en charge du découpage du réseau et la répartition entre le plan de contrôle et le plan utilisateur.

Une architecture basée sur les services est la base du noyau 5G. Cela signifie que la spécification se concentre sur les services et fonctionnalités fournis par le réseau principal, plutôt que sur les nœuds en tant que tels. Cela est naturel car le réseau central est hautement virtualisé avec la fonctionnalité de réseau central exécutée sur du matériel informatique générique.

L'architecture 5GC s'appuie sur un cadre dit « Architecture basée sur le service » (SBA), où les éléments d'architecture sont définis en termes de « Fonctions réseau » (NFs) plutôt que par des entités réseau « traditionnelles ». Par l'intermédiaire d'interfaces d'un cadre commun, n'importe quel NF donné offre ses services à tous les autres FN autorisés et/ou à tous les « consommateurs » qui sont autorisés à utiliser ces services fournis. Une telle approche SBA offre la modularité et la réutilisation [21].

L'architecture 5G de base (SA, non itinérante) est montrée ci-dessous :

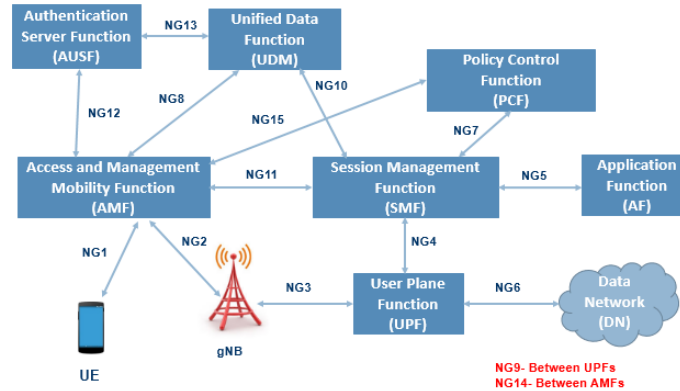


Figure II.7: Vue d'ensemble de l'architecture du système 5G.

À ce stade, seules les fonctions et les éléments essentiels du réseau suivant sont mis en évidence ici :

- L'équipement utilisateur (UE);
- Le réseau d'accès Radio (RAN) ;
- La fonction du plan utilisateur (UPF), en gérant les données utilisateur ;
- Le réseau de données (externe) (DN));
- Quelques fonctions réseau remarquables (NF)):
- La fonction d'application (AF), le traitement de l'application(s);
- La Fonction de gestion de l'accès et de la mobilité (AMF), qui accède à l'UE et à la RAN;
- La fonction de gestion de sessions (SMF), qui accède à l'UPF.

En effet, une instance de fonction réseau peut être déployée comme entièrement distribuée, redondante, apatride et/ou entièrement évolutive. Plusieurs instances de fonction réseau peuvent être présentes dans un même jeu NF. Inversement, les services peuvent être fournis à partir de plusieurs endroits.

En d'autres termes, lorsque les services d'un NF spécifique sont invoqués, cette virtualisation permet d'acheminer les messages de l'UE vers n'importe quelle entité capable (dans un ensemble prédéfini de FN équivalents).

Cela assure la résilience : toute instance spécifique du NF peut, par exemple, être désactivée pour maintenance planifiée, et il y aura auto-récupération sans interruption de service [21].

II.5.2 Le réseau d'accès 5G

La figure ci-dessous, extraite de TS 38.401, montre l'architecture globale du réseau d'accès:

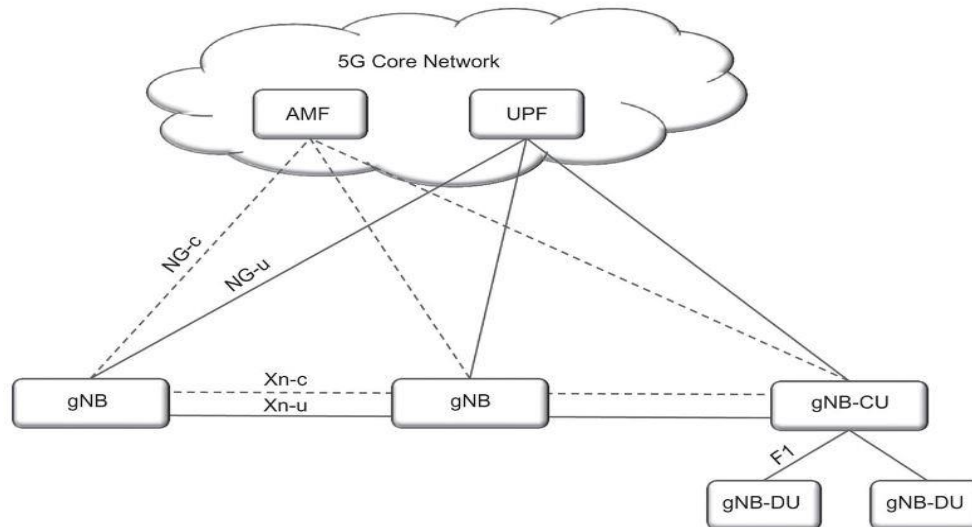


Figure II.8: Architecture globale NG-RAN.

Le NG-RAN se compose d'un ensemble de gNB connectés au 5GC via l'interface NG, basé sur (et très similaire) l'interface S1 du LTE.

Le gNB peut être connecté à un autre gNB via l'interface Xn, basé sur (et très similaire à) l'interface X2 du LTE. Le gNB peut être ensuite divisé en une unité gNB-Centrale (gNB-CU) et une ou plusieurs unités de distribution gNB (gNB-DU), reliées par l'interface F1. Un gNB-DU est relié à un seul gNB-CU [21].

Le gNB effectue les tâches suivantes [21] :

- Les fonctions pour la gestion des ressources radio : contrôle radio porteur, contrôle d'admission radio, contrôle de la mobilité des connexions, allocation dynamique des ressources aux UE dans les liaisons initiales et les liaisons vers le bas (planification).
- La compression d'en-tête IP, chiffrement et protection de l'intégrité des données.
- La sélection d'une AMF à la pièce jointe UE lorsqu'aucun routage vers une AMF ne peut être déterminé à partir des informations fournies par l'UE.
- Le routage des données du plan utilisateur vers les UPF(s).
- Le routage des informations sur l'avion de contrôle vers l'AMF.
- Configuration et libération de la connexion et double connectivité.

- La configuration de la mesure et de la mesure des rapports pour la mobilité et la planification, planification et transmission de messages de pagination.
- Gestion de session et prise en charge du découpage de réseau.
- QoS Gestion et cartographie des flux aux porteurs de radio de données.
- Soutien UE dans RRC_INACTIVE état et fonction de distribution des messages NAS.

II.5.3 Séparation entre le plan contrôle et utilisateur (CUPS)

Dans les réseaux mobiles se réfèrent à la séparation complète entre les fonctions du plan de contrôle (qui prennent en charge la gestion des connexions utilisateur, ainsi que la définition des politiques de QoS, la réalisation de l'authentification des utilisateurs, etc.) et les fonctions du plan utilisateur (qui traitent de la transmission du trafic de données). Il a d'abord été introduit par la (R 14) du 3GPP au niveau de la passerelle de données par paquets, concernant le 4G EPC (noyau mobile pour les réseaux 4G), puis a été introduit pour le système 5G (5GS) dans la dernière (R 15) du 3GPP [10].

La principale motivation de CUPS est de faire évoluer les fonctions du plan utilisateur indépendamment, permettant aux opérateurs un déploiement et un dimensionnement plus flexibles du réseau. Par exemple, si le trafic de données augmente, davantage de nœuds de plan de données peuvent être ajoutés sans affecter les fonctions du plan de contrôle.

CUPS permet également la programmation du plan utilisateur, ce qui signifie avoir un ensemble de nœuds de plan de données qui peuvent être sélectionnés et traités pour un rôle particulier (par exemple, une passerelle de plan de données, un routeur ou un commutateur de transit régulier) d'effectuer le transfert, l'encapsulation, la direction du trafic ou tout ce qui était nécessaire en fonction des indications reçues par les éléments du plan de commande.

Potentiellement, cela permet la mise en œuvre de différentes solutions de plans de données pour coexister dans le même plan utilisateur et être sélectionnées dynamiquement en fonction des besoins du trafic spécifique: les nœuds des plans de données pourraient encapsuler le trafic lorsque le protocole de tunneling GPRS pour le plan utilisateur (GTP-U) est utilisé pour le transport de paquets, applique des politiques de pilotage aux paquets IP si une approche de réseau de transport IP simple est utilisée, etc.

Une autre possibilité consiste à exacerber les fonctions du plan de contrôle / utilisateur divisées en introduisant un contrôleur de réseau (NC) au milieu. Cela peut complètement abstraire le plan utilisateur du plan de contrôle, ce dernier ne fournissant que des informations de

haut niveau sur les politiques de trafic utilisateur, tandis que le contrôleur de réseau sélectionne, par exemple, le chemin de données et les nœuds de plan de données spécifiques appliquant ces politiques.

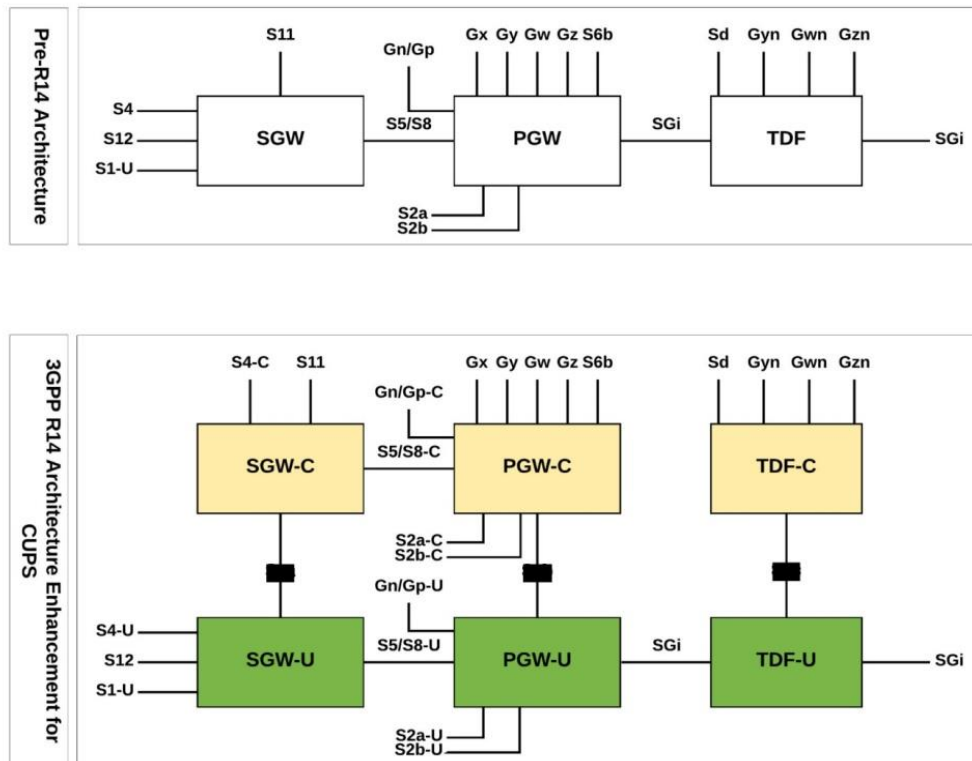


Figure II.9: EPC sans CUPS et EPC avec CUPS [23].

L'introduction d'un contrôleur de réseau dans l'architecture de base mobile permet d'obtenir une architecture à trois niveaux, qui peut être facilement mappée à un paradigme SDN (Software-Defined Networking). SDN est une technologie pas si nouvelle, annoncée il y a déjà plusieurs années, qui est utilisée pour introduire la flexibilité et l'efficacité dans les réseaux. Il est composé d'une couche infrastructure (composée uniquement de périphériques de transfert, les commutateurs SDN), d'une couche contrôleur (ayant une vue logique complète du réseau physique) et d'une couche application (qui transmet la logique de décision au contrôleur). Si elle est introduite dans le cœur 5G (5GC), la couche application peut être mappée au plan de contrôle et la couche infrastructure aux nœuds du plan utilisateur.

Cela donne une forte abstraction entre les couches permettant une implémentation plus forte de CUPS. Le niveau d'abstraction donné par le contrôleur peut être réglé en fonction de différentes attentes : le NBI pourrait permettre au plan de contrôle de simplement transmettre au contrôleur

ses intentions de haut niveau et celles-ci seront traduites en une ou plusieurs règles sur le SBI ; ou le plan de contrôle pourrait avoir un contrôle plus serré sur le plan utilisateur, réduisant l'abstraction mais introduisant potentiellement une plus grande efficacité dans la gestion du réseau.

II.5.4 L'architecture NSA versus SA

Deux options de déploiement sont définies pour la 5G [21] :

- L'architecture « **Non-Stand Alone** » (NSA), où le réseau d'accès radio 5G (AN) et son interface New Radio (NR) sont utilisés conjointement avec l'infrastructure existante LTE et EPC Core Network (respectivement 4G Radio et 4G Core), rendant ainsi la technologie NR disponible sans remplacement de réseau. Dans cette configuration, seuls les services 4G sont pris en charge, mais bénéficiant des capacités offertes par la Nouvelle Radio 5G (latence inférieure, etc.). La NSA est également connue sous le nom de « E-UTRA-NR Dual Connectivité (EN-DC » ou « Architecture Option 3".
- L'architecture « **Stand-Alone** » (SA), où le NR est relié au 5G CN. Uniquement dans cette configuration.

L'architecture de la 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 version 15 pour connecter deux eNB. Dans le communiqué 15, il prend également en charge la connexion d'une eNB et en-gNB afin de fournir la NSA.

La NSA offre une double connectivité, via la 4 G AN (E-UTRA) et la 5 G AN (NR). Il est ainsi également appelé « EN-DC», pour E-UTRAN et NR Double Connectivité.

En EN-DC, l'eNB de la 4G est le nœud maître (MN) tandis que l'en-gNB de la 5G est le nœud secondaire (SN).

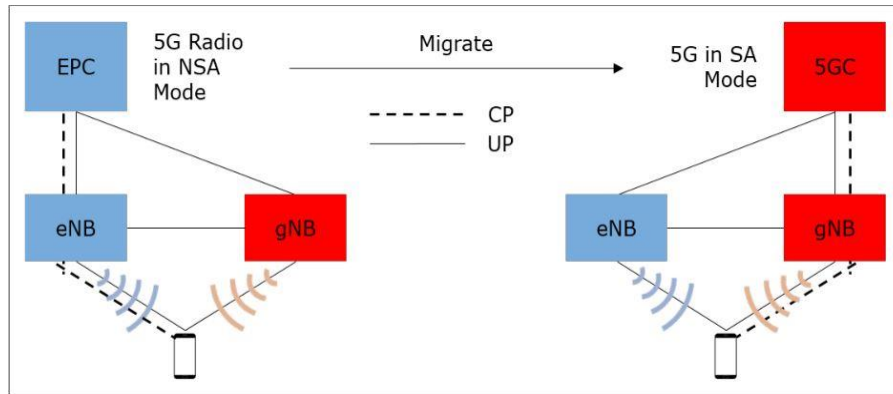


Figure II.10: NSA vs SA in 5G.

L'architecture SA peut être considérée comme le « déploiement complet de la 5G », n'ayant pas besoin d'une partie d'un réseau 4G. La station de base NR (nœud logique « gNB ») se connecte les uns avec les autres via l'interface Xn, et le réseau Access (appelé « NG-RAN pour l'architecture SA ») se connecte au réseau 5GC à l'aide de l'interface NG [21].

II.6 Interface Air 5G NR

II.6.1 Systèmes orthogonaux à accès multiple par répartition en fréquence

Les méthodes orthogonales à accès multiple sont basées sur la répartition des ressources radio (dans le temps ou en fréquence) entre les différents utilisateurs.

FDMA et OFDMA sont assez similaires mais FDMA a des sous-porteuses qui ne se chevauchent pas, tandis que l'OFDMA a des sous-bandes de fréquences qui se chevauchent. Dans un environnement à cellule unique avec des canaux AWGN, tous les schémas orthogonaux à accès multiple sont presque équivalents en termes de capacité [11].

Les différences entre les schémas à accès multiple deviennent visibles lorsque les canaux de transmission présentent une sélectivité en fréquence et une variabilité temporelle.

Un moyen efficace de résoudre le problème des interférences entre symboles causées par les canaux à évanouissement sélectif en fréquence consiste à utiliser le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM). L'idée derrière OFDM est de transformer un flux à très haut débit en un ensemble de flux à faible débit qui sont ensuite transmis en parallèle avec chaque flux transmis sur une fréquence de sous-porteuse différente.

Avec cette structure, un canal d'évanouissement sélectif en fréquence peut être transformé en un ensemble de canaux d'évanouissement à fréquence plate. Plus précisément, l'OFDM divise la

bande passante disponible en un certain nombre de sous-porteuses également espacées et transporte une partie des informations d'un utilisateur sur chaque sous-porteuse. L'OFDM peut être considéré comme une forme de FDMA ; cependant, OFDM a une propriété spéciale importante que chaque sous-porteuse est orthogonale à chaque autre sous-porteuse.

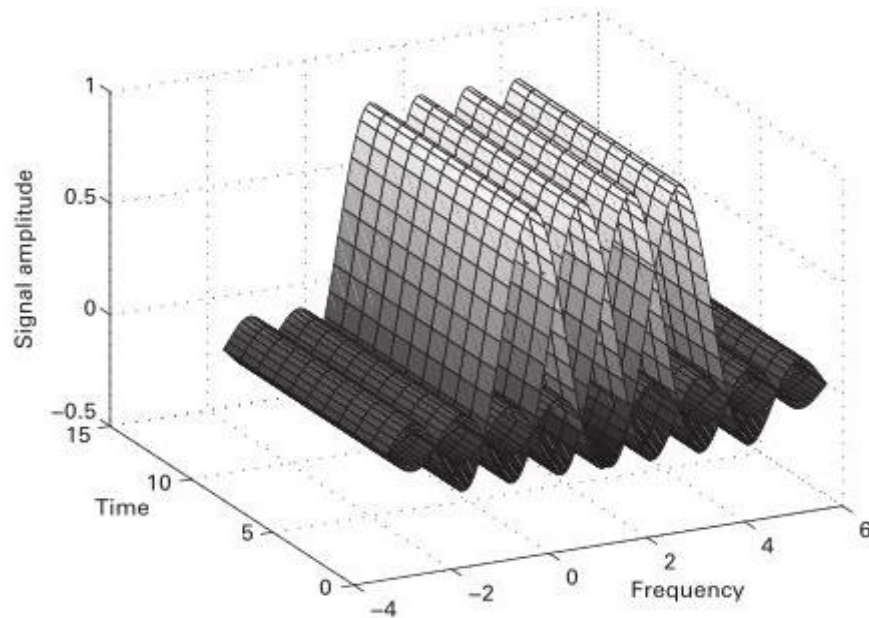


Figure II.11: Diagramme temps/fréquence de l'OFDM.

L'OFDM permet au spectre de chaque sous-porteuse de se chevaucher, et parce qu'ils sont orthogonaux, ils n'interfèrent pas entre eux. En permettant aux sous-porteuses de se chevaucher, la quantité globale de spectre requise est réduite et le schéma d'accès obtenu est plus efficace en termes de largeur de bande par rapport au FDMA.

La dernière partie du signal est ensuite ajoutée au début du signal, connue sous le nom de préfixe cyclique (CP), en partie pour lutter contre les interférences inter-symboles (ISI) et préserver l'orthogonalité entre les sous-porteuses.

Une caractéristique importante de l'OFDM est sa capacité à activer l'égalisation du domaine de fréquence avec un simple égaliseur à une touche par sous-porteuse. La durée du CP doit être supérieure à la propagation de retard maximale du canal d'environnement où le système est censé fonctionner, et compenser l'impact des filtres d'émetteur et de récepteur. En outre, la conception du CP est également destinée à faire face aux décalages et aux erreurs de synchronisation, par ex. dans une cellule.

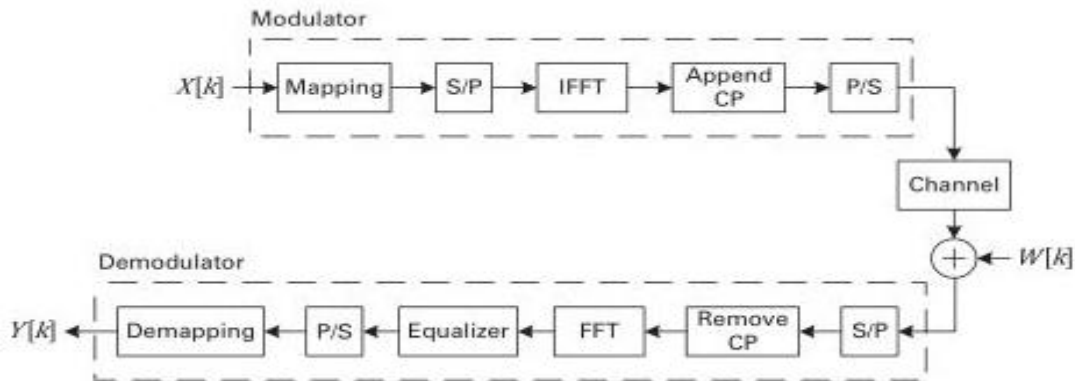


Figure II.12: Discrete representation of an OFDM system.

La *figure II.12* illustre le processus de modulation et de démodulation OFDM dans l'émetteur et le récepteur, respectivement.

II.6.2 Préfixe cyclique (CP)

Il se réfère au préfixe d'un symbole, avec une répétition de la fin dans les systèmes sans fil OFDM. Le récepteur est généralement configuré pour rejeter les échantillons de préfixe cyclique. Un CP peut être utilisé pour contrer les effets de la propagation par trajets multiples. L'inclusion de CP dans OFDM le rend robuste aux erreurs de synchronisation. La robustesse aux erreurs de synchronisation est pertinente lorsqu'elle est difficile à réaliser, par exemple via le lien latéral. Cela peut également être pertinent si les transmissions asynchrones sont autorisées sur la liaison montante. L'inclusion du préfixe cyclique ajoute de la redondance à la transmission puisque le même contenu est transmis deux fois car le CP est une copie de la queue d'un symbole placé à son début.

Comment le préfixe cyclique réduit ISI et ICI :

- **Période de garde :** pour éviter les interférences entre symboles, une période de garde peut être insérée entre les symboles OFDM sous la forme d'un préfixe cyclique. Cette période de garde fournit une fenêtre de temps pour que les composants d'étalement de retard appartenant au symbole précédent arrivent avant le début du symbole suivant. La période de garde peut être une période de transmission discontinue ou peut être une transmission de toute autre chose. La longueur (T_g) de la période de garde est généralement supérieure au retard maximum sur le canal radio.

- **Préfixe cyclique** : CP peut être inséré dans l'intervalle de garde pour réduire ICI. Une réplication d'un point d'échantillonnage suivant chaque symbole OFDM au début du symbole OFDM. Cela garantit que le nombre de périodes de forme d'onde incluses dans une copie de latence du symbole OFDM est un entier dans une période FFT, ce qui garantit l'orthogonalité de la sous-porteuse. La copie de la fin de la charge utile et la transmission en tant que préfixe cyclique garantissent qu'il existe une convolution «circulaire» entre le signal émis et la réponse du canal. Cela permet au récepteur d'appliquer une simple multiplication pour capturer l'énergie de tous les composants retardés. Le CP devrait absorber la majeure partie de l'énergie du signal dispersée par le canal à trajets multiples. La totalité de l'énergie ISI est contenue dans le CP.

En général, il suffit que la majeure partie de l'énergie étalée sur le retard soit absorbée par l'intervalle de garde, compte tenu de la robustesse inhérente des grands symboles OFDM à la dispersion dans le temps.

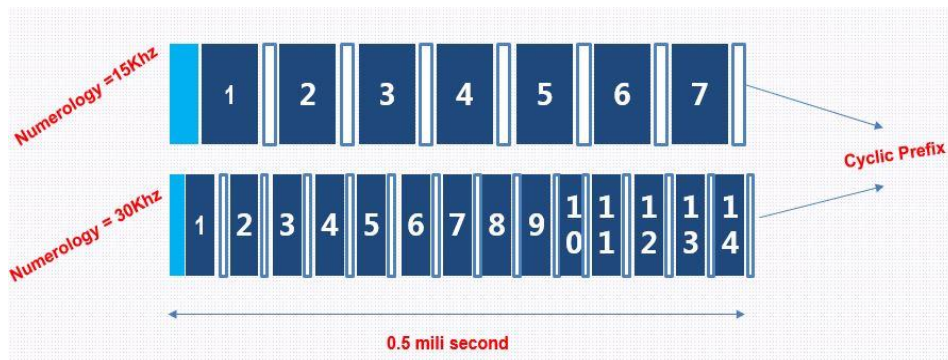


Figure II.13: exemple de CP en 5G NR [24].

La conception de base du CP en NR est similaire à LTE et au même temps système que celle en LTE. La conception du CP garantit l'alignement des symboles entre les différentes valeurs SCS et la numérogie de référence (15 kHz). Par exemple, $\mu = 15$ khz un seul créneau a environ 7 symboles réside dans 0,5 milli de seconde, y compris les CP pour chaque symbole et $\mu = 30$ khz un seul créneau a environ 14 symboles, y compris les CP pour chaque symbole dans le même 0,5 milliseconde. Donc, ici, la longueur de CP est adaptée en fonction de l'espacement des sous-porteuses (fsc).

| Numérologie (μ) | SCS(KHz) | CP pour longs symboles | CP pour les autres symboles |
|-----------------------|----------|--|--|
| 0 | 15 KHz | $l=0$ or 7 NCP = 5.2 μ S | NCP = 4.69 μ S |
| 1 | 30 KHz | $l=0$ or 14 NCP = 2.86 μ S | NCP = 2.34 μ S |
| 2 | 60 KHz | $l=0$ or 28 NCP = 1.69 μ S ECP = 4.17 μ S | NCP = 4.69 μ S ECP = 4.17 μ S |
| 3 | 120 KHz | $l=0$ or 56 NCP = 1.11 μ S | NCP = 0.59 μ S |
| 4 | 240 KHz | $l=0$ or 112 NCP = 0.81 μ S | NCP = 0.29 μ S |

Tableau II.3: la longueur de CP pour différent numérologie [24].

Chaque numérologie a 2 longs symboles par sous-trame de 1 ms. Ces symboles plus longs sont générés en augmentant la durée du préfixe cyclique normal, pour garantir que chaque numérologie a un nombre entier de symboles dans chaque fenêtre de temps de 0,5 ms, tout en garantissant également que le plus grand nombre de limites de symboles possible coïncident, par ex. chaque frontière de symbole appartenant à l'espacement de sous-porteuse de 15 kHz coïncide avec chaque seconde frontière de symbole appartenant à l'espacement de sous-porteuse de 30 kHz.

II.7 Numérologie

NR utilise une structure de trame flexible, avec différents espacements de sous-carrière (SCS). Le SCS est la distance entre les centres de deux sous-porteurs consécutifs et les valeurs possibles pour SCS, sont en (kHz) : 15; 30; 60; 120 et 240. C'est ce qu'on appelle « les chiffres multiples », Une série consécutive de 12 sous-porteurs forme un bloc de ressources (RB). Une bande passante de canal NR se compose d'un certain nombre de RB. Un élément de ressource (RE) est défini comme une unité d'un sous-secteur (domaine de fréquence) et d'un symbole OFDM (domaine de temps) [21].

Quant au domaine temporel, il est divisé en trames radio de 10 ms, chacune constituée de 10 sous-frames de 1 ms, comme illustré dans l'image ci-dessous.

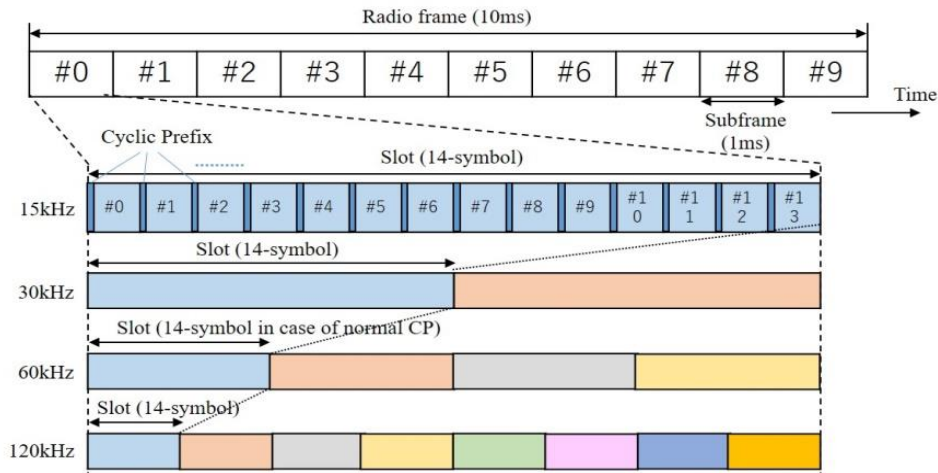


Figure II.14: Structure de trame en NR[21].

À son tour, chaque sous-trame se compose de 1/2/4/8/16 fentes (montré dans différentes couleurs) en fonction de la SCS sélectionnée / numérologie. La figure montre les cas de valeurs SCS de 15; 30; 60 et 120 KHz, tandis que le tableau ci-dessous fournit la liste complète des chiffres possibles dans NR. Comme le montre la figure du boîtier de 15 kHz, chaque fente se compose de 14 symboles OFDM (indépendamment du SCS) précédés d'un préfixe cyclique (CP) [21].

| préfixe cyclique | espacement des sous-porteuses (SCS) [kHz] | Nombre de sous-trames par trame radio | Nombre d'emplacements par sous-trame | Nombre de symboles OFDM par emplacement | Plage de fréquence applicable |
|------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------|
| Normal | 15 | 10 | 1 | 14 | FR1 |
| Normal | 30 | 10 | 2 | 14 | FR1 |
| Normal | 60 | 10 | 4 | 14 | FR1 and FR2 |
| Élargie | 60 | 10 | 4 | 12 | FR1 and FR2 |
| Normal | 120 | 10 | 8 | 14 | FR2 |
| Normal | 240 | 10 | 16 | 14 | FR2 |

Tableau II.4 : Numérolologies multiples dans NR [21].

Notez que, pour le SCS de 60 kHz, un CP étendu est possible. Le CP étendu est environ quatre fois plus long que le CP normal et est utilisé pour les cellules ayant une grande propagation de retard. Dans ce cas, une fente se compose de seulement 12 symboles OFDM.

La durée du symbole OFDM et la longueur du CP sont inversement proportionnelles au SCS. Par exemple, pour le SCS de 15 kHz, la durée du symbole OFDM est d'environ 66,6 μ s et la longueur du CP est d'environ 4,7 μ s. Lorsque le SCS est doublé, c'est-à-dire 30 kHz, les longueurs OFDM et CP sont environ dévidées par deux par rapport au SCS de 15 kHz.

NR prend en charge le fonctionnement FDD et TDD avec la même structure de trame. Dans le cas de la TDD, et pour permettre une adaptation flexible du trafic, chaque symbole OFDM dans une fente peut être classé comme « lien descendant », « lien d'accès » ou « flexible » (c.-à-d. lien vers le bas ou lien vers le haut). Cela peut être configuré de façon semi-statique ou peut changer dynamiquement dans le cadre de la décision de planification.

Les transmissions sont généralement effectuées sur une fente. Dans des cas spécifiques, les transmissions ne peuvent être effectuées que sur une fraction d'une fente, le minimum n'ayant que deux symboles. Ces transmissions très courtes ciblent principalement les cas d'utilisation nécessitant une faible latence, tels que certains services URLLC (Ultra Reliable, Low Latence) [21].

| Paramètre / Numérolgie (u) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|
| Espacement des sous-porteuses (Khz) | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 |
| Durée du symbole OFDM (us) | 66.67 | 33.33 | 16.67 | 8.33 | 4.17 |
| Durée du préfixe cyclique (us) | 4.69 | 2.34 | 1.17 | 0.57 | 0.29 |
| Symbole OFDM incluant CP (us) | 71.35 | 35.68 | 17.84 | 8.92 | 4.46 |

Tableau II.5: Durée du symbole OFDM [25].

II.8 Structure de trame

Les structures de trame 5G fournissent la base de la synchronisation des signaux physiques. Le timing est différent pour les aspects de la couche physique :

- Transmission de blocs de données.
- Symbole de transmission.
- Synchronisation.

Les structures de trame 5G fournissent une structure globale fixe pour définir la synchronisation de transmission des blocs de données. Les trames et sous-trames radio sont de longueurs fixes *figure II.15*. Ils sont choisis pour être les mêmes que dans LTE, permettant ainsi une meilleure coexistence LTE-NR. En cas de co-site les structures de déploiement, de tranche et de trame peuvent être alignées pour simplifier la recherche de cellules et les mesures inter fréquences. La coordination des signaux de commande et les canaux dans le domaine temporel seront également possibles pour éviter les interférences entre LTE et NR.

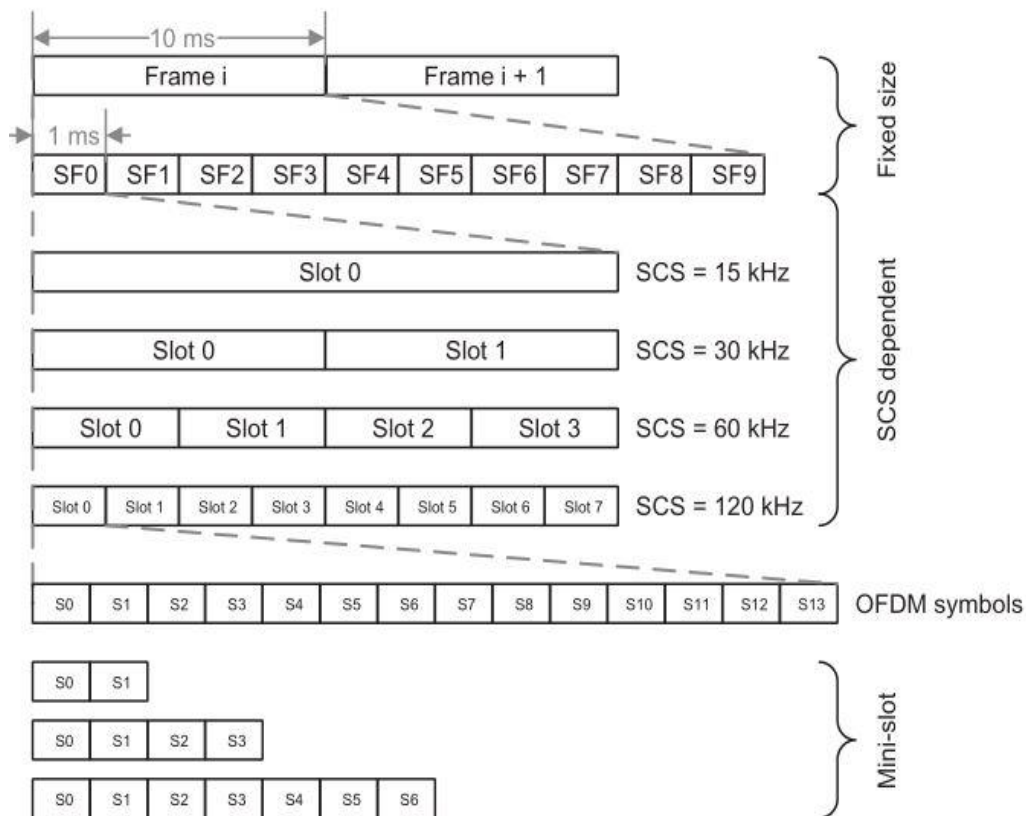


Figure II.15: structure générale de trame pour différentes numérolgies.[12]

Afin de prendre en charge plusieurs numérolgies indépendamment de la synchronisation de transmission des blocs de données, les structures de trame 5G fournissent également sous-structures flexibles pour définir le rythme de transmission des symboles, les fentes et les symboles sont de longueurs flexibles et dépendent de l'espacement des sous-porteuses (*figure II.15*), le rythme de synchronisation est défini en termes de structures de trames fixes et en termes de salves de signaux de synchronisation et d'ensembles de salves.

II.9 Pile protocolaire 5G NR

II.9.1 Les canaux physiques et signaux en NR

Le *tableau II.6* montre les canaux physiques définis dans NR et les schémas de modulation et de codage des canaux correspondants.

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

Tableau II.6: Canaux physiques dans NR [21].

Les différents signaux physiques définis dans NR sont:

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

Tableau II.7: signaux physique NR[21].

II.9.2 Accès initial et mobilité

Les téléphones mobiles se synchronisent avec le réseau mobile en « écoutant » les signaux de synchronisation primaire et secondaire (PSS et SSS), affichés respectivement en bleu et en orange sur la figure ci-dessous. Les séparations verticales sont les blocs de ressource (RB), tels que définis dans la section précédente, c'est-à-dire un groupe de 12 sous-porteurs.

Les séparations horizontales sont les symboles OFDM. Quatre symboles OFDM ainsi que 20 RB forment un bloc dit « SS/PBCH (Signaux de synchronisation/ Chaîne de diffusion physique) ».

Ces signaux de synchronisation sont utilisés pour estimer le niveau du signal reçu au niveau mobile et qui considéré comme l'indicateur principal de qualification de la couverture radio.

Ce paramètre est équivalent au CRS (Cell Specific Reference Signal) en LTE4G [21].

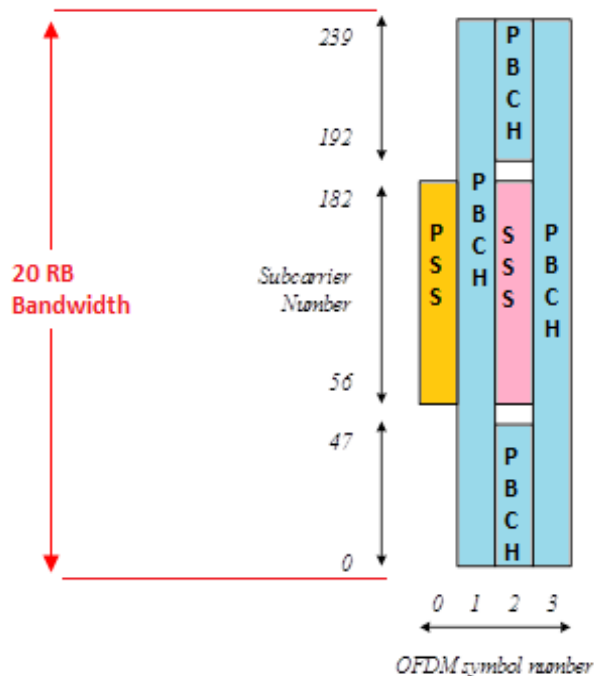


Figure II.16 : bloc SS/PBCH [13].

Le PSS et le NSS sont transmis sur 127 sous-porteurs, soit environ 10,5 RB (ils sont conçus pour transporter l'ID de cellule physique (PCID) sélectionné parmi 1008 candidats). Une fois synchronisés avec le PSS et le NSS, les mobiles peuvent récupérer la structure SS/PBCH complète, et ainsi « écouter » le Mode de diffusion physique (PBCH) et ses signaux de référence de démodulation associés (DM-RS).

Le PBCH ne contient que les informations système minimales nécessaires à l'accès initial, telles que le numéro de trame système (SFN), les configurations initiales pour PDCCH, PDSCH et DM-RS, et les informations nécessaires pour déterminer le calendrier de la trame tel que l'index de bloc SS/PBCH et l'index de demi-trame. Ceux-ci sont appelés « bloc d'information système 1 (SIB1) ».

Un ou plusieurs blocs SS/PBCH peuvent être transmis à l'aide d'un faisceau de transmission dans une demi-trame, avec une périodicité configurable de 5 ms à 160 ms. Le nombre maximal de blocs SS/PBCH et l'espacement de sous-transport applicable pour la transmission de bloc SS/PBCH dépendent de la plage de fréquences, comme le montre le *tableau 2.7*. Ils peuvent être identiques ou différents de l'espacement des sous-porteurs utilisés pour d'autres transmissions DL [21].

| Gamme de fréquences | SCS applicable [kHz] | Nombre maximum de blocs SS / PBCH |
|--|----------------------|-----------------------------------|
| Fr1 (inférieure à 3 GHz pour FDD, inférieure à 2,4 GHz pour TDD) | 15 or 30 | 4 |
| Fr1 (au-dessus de 3 GHz pour FDD, au-dessus de 2,4 GHz pour TDD) | 15 or 30 | 8 |
| Fr2 | 120 or 240 | 64 |

Tableau II.8 : Nombre maximal de transmissions de blocs SS/PBCH et d'espacement des sous-porteurs applicables [21].

La SIB1 et d'autres informations système (SIB2 et d'autres) sont effectuées par PDSCH, qui est prévue par PDCCH. SIB1 contient les informations nécessaires pour effectuer une procédure d'accès aléatoire pour l'accès initial.

Pour la mesure de la mobilité, le bloc SS/PBCH et/ou le CSI-RS peuvent être utilisés dans NR. Le signal de référence basé sur le bloc SS/PBCH a reçu de la puissance (RSRQ), la qualité du signal de référence reçu (RSRQ) et le rapport signal-bruit et interférence (SINR) sont définis, et le RSRP, le RSRQ et le SINR basés à CSI-RS sont également définis.

Pour la surveillance par liaison radio (RLM), le bloc SS/PBCH et/ou le CSI-RS peuvent être utilisés comme signal de référence RLM dans NR. Un ou plusieurs blocs SS/PBCH et/ou les ressources CSI-RS sont configurés pour être surveillés afin d'évaluer si le lien radio est en état de synchronisation (c.-à-d. en bonne qualité) ou hors synchronisation [21].

II.10 Technique MIMO et Beamforming

II.10.1 Présentation de la technique MIMO

Dans un système mono-antenne, l'augmentation de la taille de la modulation ou de la bande de fréquence utilisée est les seules solutions pour augmenter le débit de données, avec tous les problèmes de complexité ou d'encombrement que cela entraîne [14]. Partant du point de vue de la théorie de l'information, deux membres des laboratoires de recherche Bell, Telatar et Foschini, ont parallèlement et indépendamment montré que la capacité des systèmes multi-antennes augmentait linéairement avec le nombre d'antennes émettrices, dépassant de manière significative la limite théorique de Shannon. L'aptitude des systèmes multi-antennes à résister

aux évanouissements et aux interférences constitue par ailleurs un avantage supplémentaire indéniable.

Ces découvertes ont fait des systèmes MIMO *figure II.17* un des domaines les plus attractifs pour les industriels, qui y voient une des technologies susceptibles de résoudre les problèmes d'encombrement et de limitation de capacité des réseaux sans fil large bande [14].

Dans un système mono-antenne, l'augmentation de la taille de la modulation ou de la bande de fréquence utilisée est les seules solutions pour augmenter le débit de données, avec tous les problèmes de complexité ou d'encombrement que cela entraîne [14]. Partant du point de vue de la théorie de l'information, deux membres des laboratoires de recherche Bell, Telatar et Foschini, ont parallèlement et indépendamment montré que la capacité des systèmes multi-antennes augmentait linéairement avec le nombre d'antennes émettrices, dépassant de manière significative la limite théorique de Shannon. L'aptitude des systèmes multi-antennes à résister aux évanouissements et aux interférences constitue par ailleurs un avantage supplémentaire indéniable.

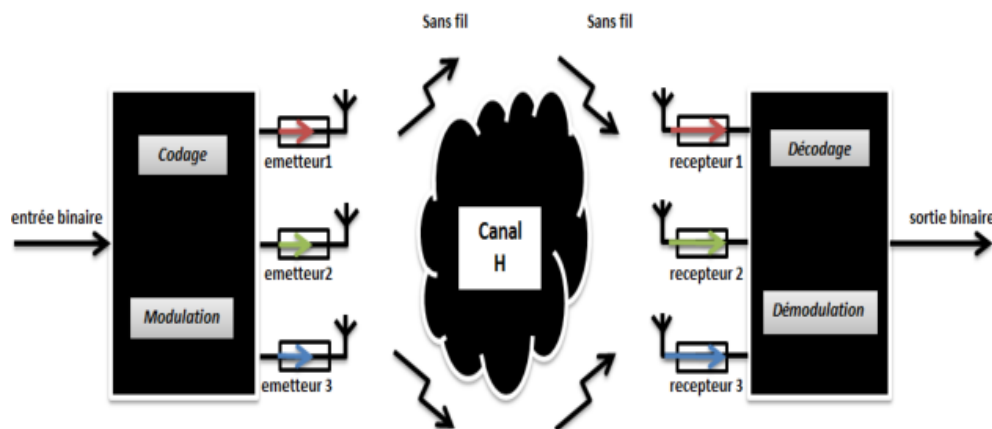


Figure II.17: Schéma d'un système de transmission sans fil MIMO.

Ces découvertes ont fait des systèmes MIMO *figure II.17* un des domaines les plus attractifs pour les industriels, qui y voient une des technologies susceptibles de résoudre les problèmes d'encombrement et de limitation de capacité des réseaux sans fil large bande [14].

On distingue principalement deux types d'architectures de systèmes multi antennes développées pour atteindre l'objectif de l'augmentation de l'efficacité spectrale de la transmission.

- L'architecture originale, connue sous le nom de BLAST visait à augmenter principalement la capacité des systèmes et a naturellement pris le nom de système

spatiotemporel par couches, puisque la chaîne de symboles est directement dé-multiplexée sur les antennes émettrices.

- Afin d'améliorer la qualité de la transmission, Tarokh puis Alamouti ont conçu des systèmes basés essentiellement sur la diversité, proposant un codage et un étiquetage conjoints. La redondance ainsi introduite permet alors de réduire considérablement le Taux Erreur Bit, sacrifiant une partie du gain en débit dû à la multiplicité d'antennes.

II.10.2 Principe du MIMO

La principale source des perturbations, que subit un signal lors de sa propagation, est le canal. En effet, à cause des phénomènes de propagation multi-trajets, le signal subit des évanouissements, des décalages fréquentiels ou même temporels. Contrairement aux systèmes classiques, les systèmes à diversité prennent avantage de ces types de propagation pour améliorer les performances du système. Pour mettre en place ces améliorations, les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

- **Diversité d'espace** : Aussi connue sous le nom de diversité d'antenne
- **Diversité fréquentielle** : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes. Il faut toutefois faire attention à la largeur de bande cohérente et à l'étendue fréquentielle due aux multi-trajets et aux distances à franchir par la transmission.
- **Diversité temporelle** : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal, il est possible de profiter de la diversité temporelle. Tout dépend également de la vitesse de déplacement du mobile et de la fréquence porteuse. [15]

II.10.3 Massive MIMO

La MIMO peut être résumé selon un principe : le multiplexage spatial MIMO consiste à utiliser simultanément les mêmes fréquences radioélectriques pour transmettre des signaux différents. Cela signifie que plusieurs antennes d'émission d'une station de base peuvent émettre des signaux différents et que plusieurs antennes de réception d'un appareil peuvent les recevoir et les diviser simultanément.

Les réseaux MIMO standard utilisent généralement deux ou quatre antennes pour transmettre les données et le même nombre pour les recevoir. Massive MIMO, en revanche, est un système

MIMO avec un nombre d'antennes particulièrement élevé. Massive MIMO augmente le nombre d'antennes d'émission (des dizaines ou plus de 100 éléments) sur une station de base *figure II.18*.

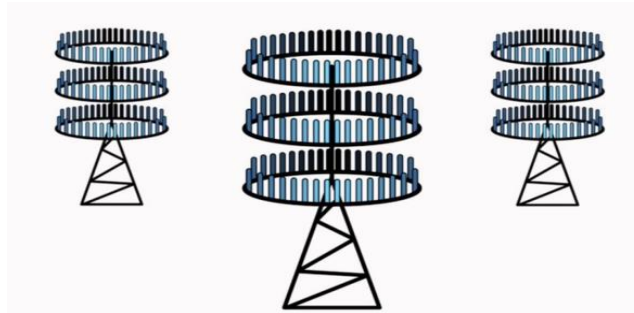


Figure II.18: Une illustration de MIMO massive.

II.10.4 Beamforming

Beamforming est fondamentalement un type spécial de diagramme de rayonnement d'antenne. C'est une méthode pour concentrer la puissance rayonnée omnidirectionnelle de l'antenne dans une ou plusieurs directions spécifiques. Dans le système 5G, 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.

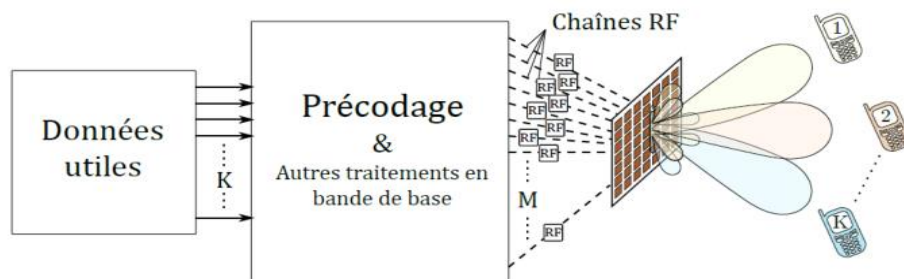


Figure II.19: Système Massive MIMO en transmission multi-utilisateurs [16].

Pendant la transmission, le lobe principal du diagramme d'antenne est dirigé vers une certaine direction en utilisant la phase et l'amplitude de chaque élément d'antenne dans un réseau. Ce phénomène est appelé interférence constructive dans le front d'onde. Lors de la réception, la réponse individuelle de chaque élément d'antenne est combinée pour obtenir le signal souhaité dans la direction souhaitée.

Beamforming peut être fait à la fois sur le côté émetteur et côté récepteur. Quand il est fait côté transmetteur il est appelé transmettre Beamforming et quand il est fait dans le côté récepteur, il est appelé recevoir Beamforming.

Beamforming est un concept large car il est associé à la gestion de la formation de faisceaux et de la formation de faisceau. Le principal inconvénient de l'utilisation d'ondes millimétriques en 5G est que ces ondes sont très sensibles à la perte de trajectoire dans l'espace libre, la pluie, le brouillard et d'autres événements atmosphériques [17]. **Figure II.23** a été générée à l'aide du modèle de perte de trajectoire d'espace libre de Friis [18] afin de comparer la perte de trajectoire de l'espace libre en 5G et 4G. Deux fréquences ont été choisies pour la 5G (28 GHz et 300 GHz) et une pour la 4G (2100 MHz). Si la distance entre l'émetteur et le récepteur est d (km) et que la fréquence est f (GHz), la perte de trajectoire de l'espace libre, $FSPL$ (dB) peut être calculée comme

$$FSPL(\text{dB}) = 92.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (\text{II.1})$$

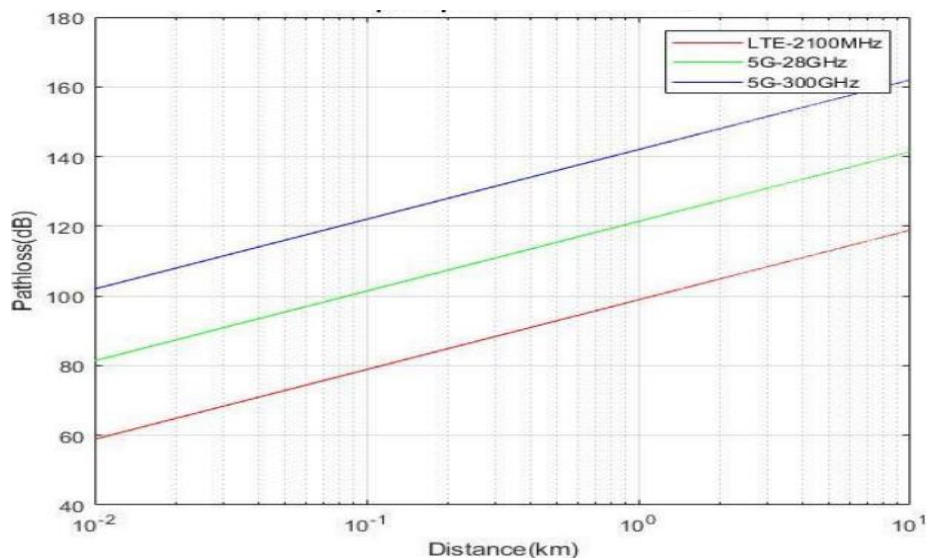


Figure II.20: Perte de chemin d'accès libre pour différentes fréquences 4G et 5G [26].

Lorsque le nombre d'éléments d'antenne augmente dans un réseau, la directivité du diagramme de faisceau produit par le réseau respectif augmente également. **La Figure II.21** montre une comparaison entre les modèles de faisceaux produits par 16 x 16, 32 x 32 et 64 x 64 URA en termes de directivité. Les figures ont été générées à l'aide de l'outil 'sensorArrayAnalyzer' par le MATLAB. Une fréquence de fonctionnement de 30 GHz et un angle de braquage de 30° azimuts et 30° élévations ont été utilisés pour générer le diagramme de faisceau dans les 3 cas [26].

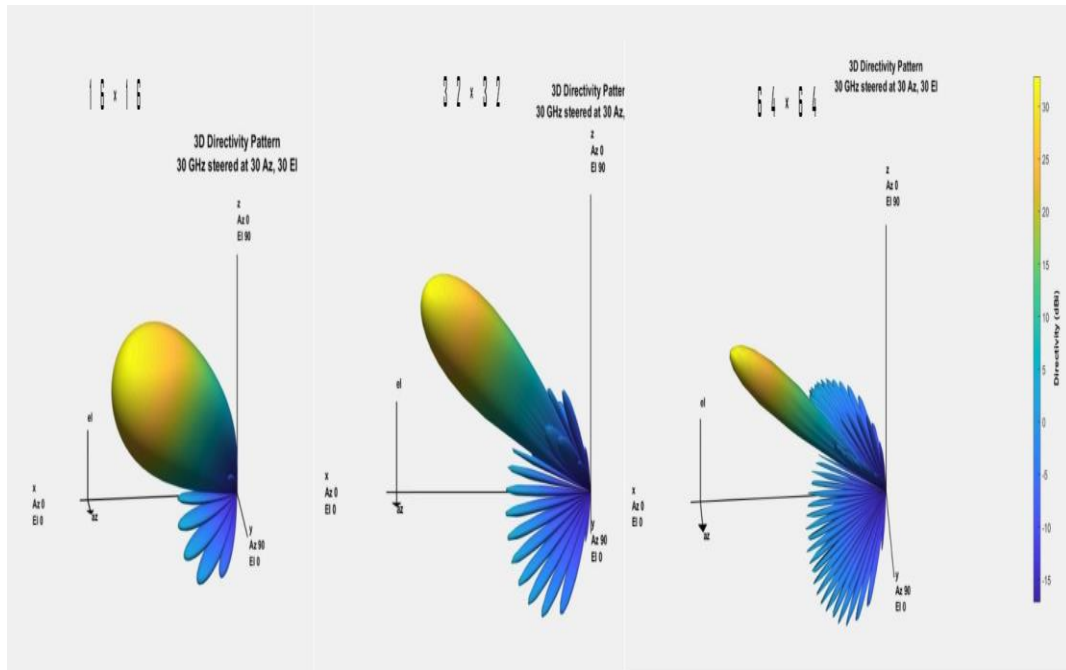


Figure II.21:Modèle de faisceau de réseau rectangulaire uniforme $16 \times 16,32 \times 32, 64 \times 64$ [26].

Pour les 3 cas, l'espacement entre les éléments de l'antenne était de 0,0025 mètre et un effilement de Tchebychev a été appliqué pour minimiser les lobes latéraux. Des antennes cosinus ont été utilisées pour simuler le modèle.

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux éléments théoriques pour notre travail, la 5G NR de nouvelle technologie d'accès radio, qui est très différente de la LTE au niveau des caractéristiques. On constate aussi que ces caractéristiques clé ont un impact très positif sur cette technologie afin de permettre une planification et dimensionnement correcte qui sont le contenu de notre prochain chapitre.

Planification et Dimensionnement du Réseau Mobile 5G

III.1 Introduction

Le processus de planification du réseau radio est conçu pour maximiser la couverture du réseau, tout en fournissant la capacité souhaitée ; la conception du réseau est une affaire complexe et chronophage avec de nombreuses étapes et processus, dans ce chapitre, nous parlerons de la chose la plus importante dans la planification des tous les réseaux mobiles est la planification des cellules.

III.2 Les clés influant sur la couverture

III.2.1 Les modèles de propagation

Pour la prévision de la couverture RF NR à l'aide d'un outil de planification, il est important de sélectionner le modèle de propagation. En outre, nous devons ajuster le modèle pour une région et un encombrement spécifiques et pour une bande de fréquence NR si le modèle sélectionné ne couvre pas la bande NR. Il y a beaucoup de propagation modèles et différents en ont été développés pour répondre aux besoins de leur réalisation et comportement dans différentes conditions, Chaque modèle de propagation est validé dans un scénario et fréquence spécifique. Si le modèle n'est pas choisi correctement, il surestimera ou sous-estimera la perte du chemin et par conséquent la couverture prévue [27].

Nous résumerons les principaux modèles de propagation RF actuellement utilisés avec la perte de chemin NR prédiction. Tous les modèles de propagation mentionnés ci-dessous sont de nature empirique. Les coefficients du modèle sont développés à partir de mesures sur le terrain qui sont généralement effectuées pour mesurer la perte de chemin, l'étalement du retard ou autres caractéristiques du canal. Pour une prévision précise, il est nécessaire de calibrer/régler ces coefficients en fonction des mesures réelles sur le terrain pour une zone spécifique, un encombrement et la fréquence.

III.2.1.1. Modèle de perte d'espace libre

En télécommunications, lorsque l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice ont une ligne de vue dans l'espace libre, la perte de puissance du signal de l'onde électromagnétique transmise est appelée Perte chemin d'espace libre (FSPL). Le FSPL n'inclut aucun des facteurs tels que le gain d'antenne d'émission ou de réception. La perte de trajet en espace libre est définie pour les antennes isotropes idéales et est donnée par [27] :

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

Où d est la distance entre les antennes d'émission et de réception exprimée en mètres comme représenté sur la figure 18, λ est la longueur d'onde de l'onde électromagnétique transmise (en mètres), f est la fréquence du signal (en Hertz) et c est la vitesse de la lumière dans le vide ($c=2.9979 \cdot 10^8 \text{ [}\frac{m}{s}\text{]}$).

Dans l'espace libre, où aucun obstacle entre les antennes pour provoquer une réflexion ou une diffraction n'est présent, la force du signal reçu est donnée par l'équation de Friis.

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

Où P_t et P_r sont respectivement la puissance d'émission et P_r la puissance de réception, G_t et G_r respectivement le gain d'antenne d'émission et le gain d'antenne de réception.

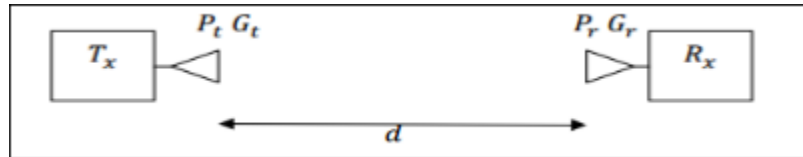


Figure III.1: Modèle de perte de chemin d'espace libre.

L'équation de Friis ne s'applique que dans le champ lointain des antennes, c'est-à-dire lorsque les antennes sont séparés par une distance $d > \frac{l^2}{\lambda}$, où l est la plus grande dimension des antennes [27].

III.2.1.2. Modèle Okumura-Hata

Le modèle d'*Okumura-Hata* est un modèle de propagation empirique bien connu, qui peut être appliqué pour un environnement de macro-cellule pour prédire l'atténuation du signal. Ayant un composant, le modèle utilise la perte d'espace libre. Il est un modèle empirique, ce qui signifie qu'il est basé sur le champ des mesures. *Okumura* a effectué la mesure sur le terrain à Tokyo et publié les résultats sous forme graphique. *Hata* a appliqué les résultats de mesure en équations. Le modèle peut être appliqué sans facteurs de correction pour un terrain quasi-lisse dans une zone urbaine, mais dans le cas de autres types de terrain, des facteurs de correction sont nécessaires, la faiblesse du modèle *Okumura-Hata* est qu'il ne tient pas en compte les reflets et les ombres. L'équation de perte de trajet pour une zone urbaine à une distance d est la suivante [27]:

$$P_{L,urban}(d)dB = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d) \quad (III.3)$$

Où:

f_c est la fréquence porteuse.

h_t est la hauteur de l'antenne émettrice (station de base).

h_r est la hauteur de l'antenne de réception (mobile)

$a(h_r)$ est un facteur de correction de la hauteur de l'antenne mobile basé sur la taille de la zone de couverture.

Le modèle **Hata** se rapproche du modèle Okumura pour une distance supérieure à 1 km. Ce modèle est destiné aux grandes cellules lorsque la station de base est placée plus haut que les toits environnants. Les deux modèles sont conçus pour 150-1500MHZ. Par conséquent, ils peuvent ne pas fonctionner correctement pour les systèmes LTE avec des tailles de cellules et fréquences plus élevées [27].

III.2.1.3. Extension de COST 231 au modèle Hata

La recherche européenne **COST** (Coopérative scientifique et technique) a étendu le modèle **Hata** à 2 GHz en tant que boursier:

$$P_{L,urban}(d)dB=46.3+33.9 \log_{10}(f_c)-13.82\log_{10}(h_t)-a(h_r)+(44.9-6.55\log_{10}(h_t)) \log_{10}(d)+C_M \quad (III.4)$$

Ici, C_M est de 0 dB pour les villes et banlieues de taille moyenne et de 3 dB pour les zones métropolitaines. Le reste des paramètres sont les mêmes que précédemment. Le tableau suivant indique la plage de paramètres que le modèle était limité [27].

| Fréquence porteuse | 1.5GHz à 2GHz |
|------------------------------|---------------|
| Hauteur de l'antenne de base | 30m à 300m |
| Hauteur de l'antenne mobile | 1m à 10m |
| Distance d | 1Km à 20Km |

Tableau III.1: Paramètre du modèle du coût 231.

Le modèle COST 231-Hata est conçu pour les grandes et petites macrocellules, c'est-à-dire les hauteurs d'antenne de la station de base au-dessus des niveaux de toit adjacents [27].

III.2.1.4. Modèle standard de propagation (SPM)

Est un modèle de propagation basé sur les formules **Hata** et convient pour les prévisions dans la bande de 150 à 3500 MHz sur de longues distances (de un à 20 km). Il est le mieux adapté à GSM 900/1800, UMTS, CDMA2000, WiMAX et technologies radio LTE et actuellement la 5G NR [28].

Ce modèle utilise le profil du terrain, les mécanismes de diffraction (calculés de plusieurs manières) et tenant en compte des classes d'encombrement et des hauteurs d'antenne effectives afin de calculer la perte de trajectoire. Le modèle de propagation standard repose sur la formule suivante [27]:

$$P_r = P_t - \{ K_1 + K_2 \text{Log}(d) + K_3 \text{Log}(h_t) + K_4 * \text{DiffractionLoss} + K_5 \text{Log}(d) * \text{Log}(h_t) + K_6 * h_r + K_7 * \text{Log}(h_r) + K_{\text{clutter}} * f_{\text{clutter}} + K_{\text{hill,los}} \} \quad (III.5)$$

P_r : Puissance reçue en dBm.

P_t : Puissance transmise (EIRP) en dBm.

K_1 : Décalage constant en dB.

K_2 : Facteur de multiplication pour $\text{Log}(d)$.

d : Distance entre le récepteur et l'émetteur en mètres.

K_3 : Facteur de multiplication pour $\text{Log}(d)$.

h_t : Hauteur effective de l'antenne de l'émetteur en mètres.

K_4 : Facteur de multiplication pour le calcul de la diffraction.

DiffractionLoss : Diffraction Lors de pertes dues à la diffraction sur un chemin obstrué (dB).

K_5 : Facteur de multiplication pour $\text{Log}(d) * \text{Log}(h_t)$.

K_6 : Facteur de multiplication pour h_r .

K_7 : Facteur de multiplication pour $\text{Log}(h_r)$.

h_r : Hauteur effective de l'antenne du récepteur mobile en mètres.

K_{clutter} : Facteur de multiplication pour Moyenne des pertes pondérées dues à l'encombrement.

f_{clutter} : Facteur de correction pour les régions vallonnées.

III.2.2. La zone de distribution

La couverture dans une cellule dépend de la zone couverte par le signal, tandis que la distance parcourue par le signal dépend des caractéristiques de propagation radio dans la zone donnée. La propagation radio varie d'une région à l'autre et devraient être étudiés attentivement, avant les prévisions pour la couverture et la capacité sont faits. L'exigence des planificateurs radio est généralement une conception de réseau qui couvre 100% la zone.

Il est généralement impossible de répondre à cette exigence, c'est pourquoi des efforts sont faits pour concevoir un réseau qui couvre tous les régions susceptibles de générer du trafic et d'avoir des « trous » uniquement dans les zones sans trafic. L'ensemble du territoire est divisé en

trois grandes classes qui sont urbaines, suburbaines et rurales, basées sur des structures artificielles ou humaines et des terrains naturels.

III.2.2.1. Les zones urbaines denses

Clusters de bâtiments à haute densité. Peut comprendre des bâtiments à hauteur variable de 20 à 40m généralement associé à une activité économique dense et des immeubles de grande hauteur.

III.2.2.2. L'urbain

Ces zones sont composées de structures résidentielles commerciales et multifamiliales mixtes ; peut comprendre des bâtiments à hauteur variable de 5 à 15m, comprenant des hôtels, des hôpitaux et des immeubles de bureaux.

III.2.2.3. La banlieue

Zones résidentielles dans les villes de plus de 100 000 habitants d'une densité supérieure à 6500 habitants par km². Zones suburbaines à proximité de la région métropolitaine comprend des habitations unifamiliales et multifamiliales d'environ 5 à 15m de hauteur. Ces zones ont relativement peu d'arbres matures et peuvent inclure des blocs de construction résidentiels denses, des appartements complexes et collectivités résidentielles nouvellement construites.

III.2.2.4. Régions rurales

Zones résidentielles à faible densité (moins de 2600 habitants par km²) séparées de la zones métropole. Ces zones sont principalement composées de maisons individuelles d'environ 5m de hauteur avec peu de arbres, séparés par des cours ou autre végétation. Cette classe peut également contenir de petites villes et villages.

Les cellules (sites) qui sont construites dans ces zones peuvent être classées comme cellules extérieures et intérieures ; les cellules extérieures peuvent en outre être classées comme macro-cellulaires, micro-cellulaires ou pico-cellulaires.

a- Les macro-cellules

Lorsque les antennes de la station de base sont placées au-dessus du niveau moyen du toit, la cellule est appelée macro-cellule. Comme la hauteur de l'antenne est au-dessus du niveau moyen du toit, la zone qui peut être couverte est large. Une portée de macro-cellules peut varier de 2 à 35 km, la distance dépendant du type de terrain et les conditions de propagation.

Par conséquent, ce concept est généralement utilisé pour les environnements suburbains ou ruraux.

b- Les micro-cellules

Lorsque les antennes de la station de base sont inférieures au niveau moyen du toit, la cellule est appelée micro-cellule. La zone qui peut être couverte est petite, ce concept est donc appliqué dans les zones urbaines et suburbaines, la portée des micro-cellules va de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.

c- Les pico-cellules

Les cellules pico sont définies comme la même couche que les micro-cellules et sont généralement utilisées pour la couverture intérieure.

III.3 Le bilan de liaison

Le bilan de liaison est le calcul du gain et de la perte totale dans le système pour conclure au niveau du signal reçu (RxSL) au niveau du récepteur (UE). Le niveau du signal reçu est ensuite comparé à la sensibilité du récepteur (RxS) pour vérifier si l'état du canal est bon ou mauvais.

L'état du canal est «Pass» si le niveau du signal reçu (RxSL) est meilleur que la sensibilité de réception (RxS), sinon c'est «Fail». La *figure (III.2)* montre quelques exemples de valeurs pour illustrer les différents paramètres d'entrée utilisés pour le calcul du bilan de liaison [29].

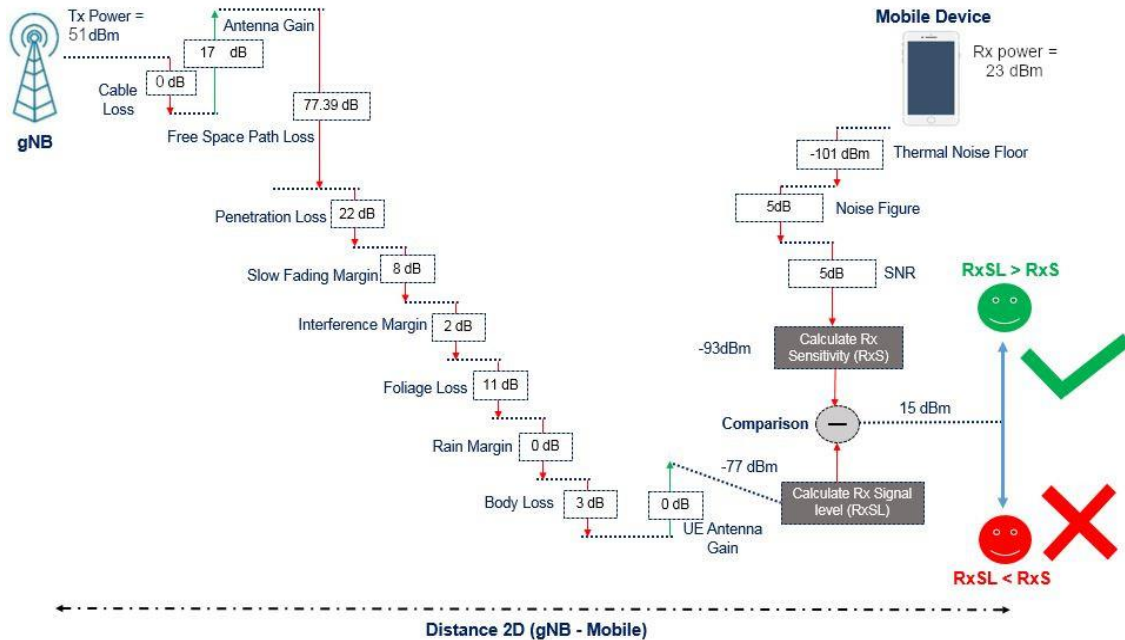


Figure III.2: bilan de liaison 5G NR [29].

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

Niveau du signal reçu au niveau du récepteur (dBm) = puissance d'émission gNodeB (dBm) - $10 * \log_{10}$ (quantité de sous-porteuse) + gain d'antenne gNodeB (dBi) - Perte de câble gNodeB (dB) - Perte de trajet (dB) - Perte de pénétration (dB) - perte de feuillage (dB) - perte de bloc corporel (dB) - marge d'interférence (dB) - marge pluie / glace (dB) - marge d'évanouissement lent (dB) - perte de bloc corporel (dB) + gain d'antenne UE (dB) **(III.6)**

Pour calculer la perte de trajet, nous devons utiliser un modèle de propagation approprié pour la 5G (la 5G utilise les modèles de propagation 3D définis dans 3GPP 36.873. Les modèles UMa, UMi et RMa sont applicables aux bandes de fréquences 2–6 GHz, puis sont étendus à 0,5– 100 GHz en 3GPP 38.901).

Par exemple, et si nous considérons le modèle UMa pour le cas de la ligne de visée (LOS), la formule de perte de chemin est donnée comme suit :

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

Il ressort clairement de la formule ci-dessus, pour calculer la perte de trajet nous avons besoin des informations de « *d* » qui est la distance entre l'émetteur et le récepteur (rayon de

cellule) et la fréquence centrale (f_c). Si le rayon de cellule correspond à la plage de cellules maximale, la perte de chemin correspondra à la perte de chemin maximale autorisée (MAPL).

En prendre $d=20000$ m, et $f_c = 3.5$ GHz

$$\text{Perte de trajet} = 164.9 \text{ dB}$$

Une fois que nous connaissons la valeur de la perte de trajet, il est alors possible de calculer le niveau du signal reçu qui sera comparé à la sensibilité du récepteur qui dépend elle-même de la puissance du bruit thermique (dBm), du facteur de bruit (dB) et du seuil de démodulation SINR (dB). La sensibilité du récepteur est calculée en utilisant la formule ci-dessous [29]:

$$\text{Sensibilité du récepteur (dBm)} = \text{Figure de bruit (dB)} + \text{Bruit thermique (dBm)} + \text{SINR (dB)}$$

(III.8)

Le bruit thermique est calculé en utilisant la formule suivante : $K * T * BW$ où «K» est la constante de Boltzmann et «T» est la température en Kelvin et «BW» est la largeur de bande.

Le facteur de bruit et le SINR sont des valeurs spécifiques au fournisseur qui dépendent principalement des performances du matériel et de décodage du schéma de codage de modulation.

Vous pouvez implémenter l'équation (III.6) dans Excel et faire varier le rayon de la cellule jusqu'à ce que le niveau du signal de réception soit meilleur ou égal à la sensibilité du récepteur. Si vous souhaitez conclure directement quel sera le rayon de cellule correspondant à une sensibilité de réception spécifique, nous pouvons utiliser la formule de bilan de liaison (III.6) et remplacer le niveau du signal reçu au récepteur (dBm) par la sensibilité de réception.

La sensibilité de réception est égale à:

$$\text{Puissance de bruit thermique (dBm)} + \text{facteur de bruit UE (dB)} + \text{seuil de démodulation SINR (dB)}$$

(III.9)

En remplaçant la formule (III.9) par (III.6) la perte de chemin est égale à:

$$\begin{aligned} \text{Perte de chemin (dB)} = & \text{puissance d'émission gNodeB (dBm)} - 10 * \log_{10} (\text{quantité de} \\ & \text{sous-porteuse}) + \text{gain d'antenne gNodeB (dBi)} - \text{perte de câble gNodeB (dB)} - \text{perte de} \\ & \text{pénétration (dB)} - \text{perte de feuillage (dB)} - \text{perte de bloc corporel (dB)} - \text{marge} \\ & \text{d'interférence (dB)} - \text{marge pluie / glace (dB)} - \text{marge d'évanouissement lent (dB)} - \text{perte} \end{aligned}$$

de bloc corporel (dB) + gain d'antenne UE (dB) - puissance de bruit thermique (dBm) -
figure de bruit UE (dB) - seuil de démodulation SINR (dB) **(III.10)**

Une fois la perte de chemin calculée et en connaissant la fréquence centrale, nous pouvons conclure le rayon de la cellule en utilisant la formule de perte de chemin:

$$\text{Perte de chemin (PL)} = 28,0 + 22 * \log_{10} (d) + 20 * \log_{10} (fc) \quad \textbf{(III.11)}$$

On conclue le rayon de cellule «*d*» de la formule **(III.10)** et il est donné par la formule ci-dessous:

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

Exemple, si la perte de chemin est égale à 78,4 dB, alors le rayon de la cellule est de 120 m.

En revenant à la formule de perte de chemin **(III.10)**, nous concluons que le principal facteur contrôlant la valeur de la perte de chemin est le seuil de démodulation SINR (dB), ce qui signifie que pour des valeurs SINR plus élevées (meilleure modulation), la perte de chemin est plus faible et donc la cellule le rayon est plus petit, où nécessitant plus de stations de base 5G [29].

III.3.1 Cas d'utilisation du bilan de liaison

Le budget de liaison nous permet soit de calculer le rayon de cellule (R) par une sensibilité de récepteur donnée, soit de calculer le niveau de signal reçu (RSL) pour un rayon de cellule donné et comparez-le à la sensibilité de réception pour vérifier l'état du canal (réussite ou échec).

La sensibilité de réception est principalement basée sur les exigences de capacité (débit) car la valeur SINR est directement liée au débit que nous voulons atteindre au bord de la cellule !

En connaissant le rayon de la cellule (R), nous pouvons conclure la couverture de la zone carrée par une station de base en utilisant la formule ci-dessous [29] :

$$\text{La zone de couverture} = \pi * R^2 \quad \textbf{(III.13)}$$

Enfin, le nombre requis de stations de base 5G peut être calculé comme suite :

$$5G \text{ gNodeB} = (\text{Surface totale du cluster en Sq Km} / \text{Zone de couverture d'un seul gNB}) \quad \textbf{(III.14)}$$

Connaître le nombre de stations de base 5G requises pour un cluster donné est très nécessaire pour les activités de prévente, qui sont l'une des principaux cas d'utilisation du budget de liaison pour la proposition de déploiement 5G car la création du projet dans l'outil de planification prend du temps. Connaître le nombre de sites 5G aidera le fournisseur et l'opérateur à estimer le coût et

l'effort, le calcul du budget de liaison nous permet également d'estimer la capacité atteinte en fonction de différentes exigences de qualité (SINR).

III.3.2 Les pertes

- **La perte de pénétration** : indique l'évanouissement des signaux radio d'un terminal intérieur vers une station de base en raison à l'obstruction par un bâtiment et vice versa. La perte de pénétration dépend du type d'encombrement et la nature des bâtiments dans la zone de couverture cible.
- **La perte de corps** : La perte corporelle est la perte générée en raison du blocage et de l'absorption du signal lorsqu'une antenne terminale est proche au corps de l'utilisateur. Cela affecte en particulier les combinés. La perte de corps dépend de la position du terminal et l'utilisateur.

III.4 Planification des ressources

Dans la planification radio NR, les principales préoccupations sont la planification PCI, la planification PRACH, la planification des cellules voisines.

III.4.1 Planification des ressources PCID

Chaque cellule 5G NR correspond à un ID de cellule physique (PCI) et sert à distinguer les cellules 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 planification incorrecte ou incorrecte peut affecter la procédure de synchronisation, la démodulation et la signalisation de transfert intercellulaire et dégrader les performances du réseau. La planification PCI devrait être plus simple pour NR que pour LTE car il y a deux fois plus de PCI disponibles pour l'allocation. Dans la nouvelle radio 5G, il y a 1008 PCI uniques comparés aux PCI LTE 504 et cela est donné par la formulation suivante [30] :

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^1 + N_{ID}^2 \text{ (III.15)}$$

N_{ID}^1 = Signal de synchronisation secondaire (SSS) et sa plage est comprise entre {0,1... .335}

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

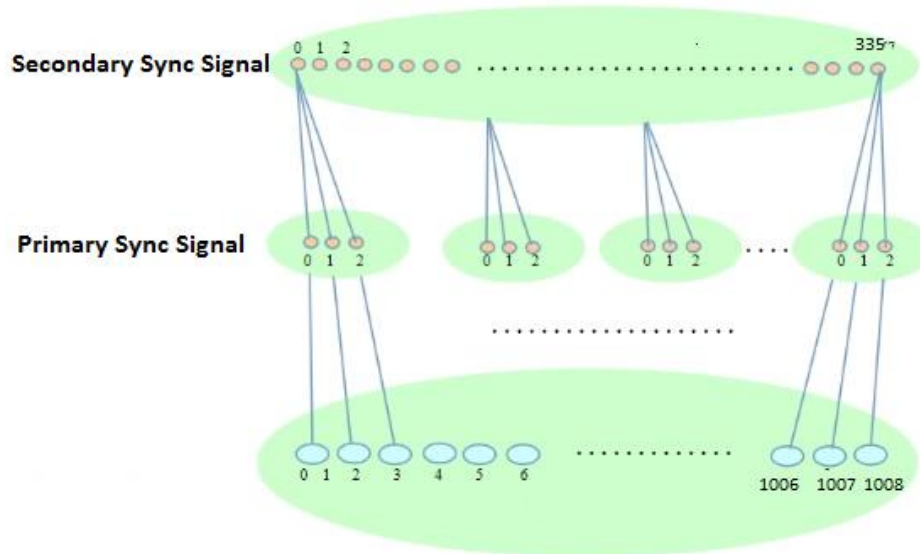


Figure III.3:ID de cellule de la couche physique (PCI).

III.4.2 Les 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 ce principe de planification du réseau, les cellules voisines ne peuvent pas se voir attribuer le même PCI. Sinon 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 là plus appropriée. Ce phénomène est appelé collision. Ainsi, la séparation physique entre les cellules utilisant le même PCI devrait être suffisante pour garantir que l'UE n'a jamais reçu le même PCI de plus d'une cellule. Ceci peut être réalisé en maximisant la distance de réutilisation pour PCI, disant aussi ;
 - La collision PCI peut entraîner un retard dans la synchronisation DL dans la zone de chevauchement.
 - BLER élevé et échec de décodage des canaux physiques brouillés à l'aide de PCI
 - Échecs de transfert

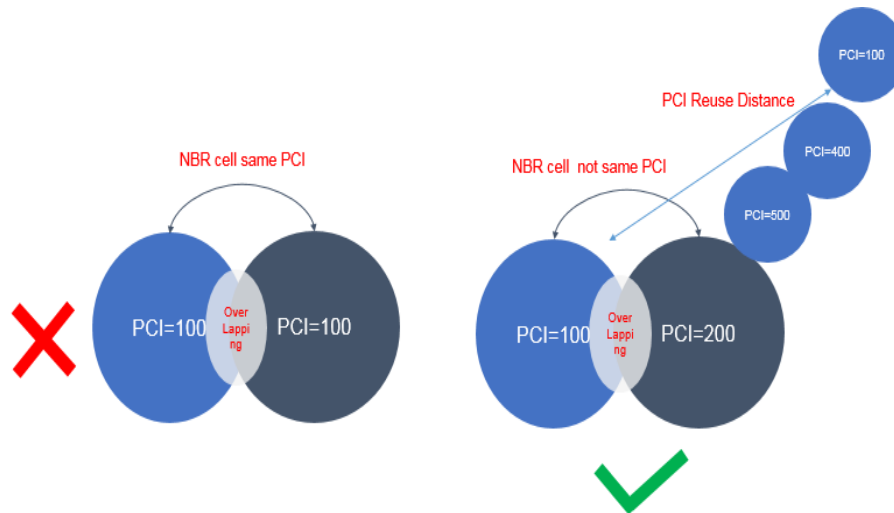


Figure III.4: collisions PCI.

- **Éviter la confusion PCI** :Selon ce principe de planification du réseau, deux cellules voisines d'une cellule ne peuvent pas être allouées avec le même PCI. S'ils se voient attribuer le même PCI, la station de base ne saura pas quelle est la cellule cible lors d'une demande de transfert intercellulaire d'un UE. Cela créera une situation de confusion. L'approche lors de l'allocation de PCI devrait être telle qu'une cellule ne devrait pas avoir plusieurs voisins utilisant le même PCI et la séparation physique entre les cellules utilisant le même PCI devrait aussi être suffisamment grande pour éviter les confusions de voisins comme illustré dans la figure au-dessous.

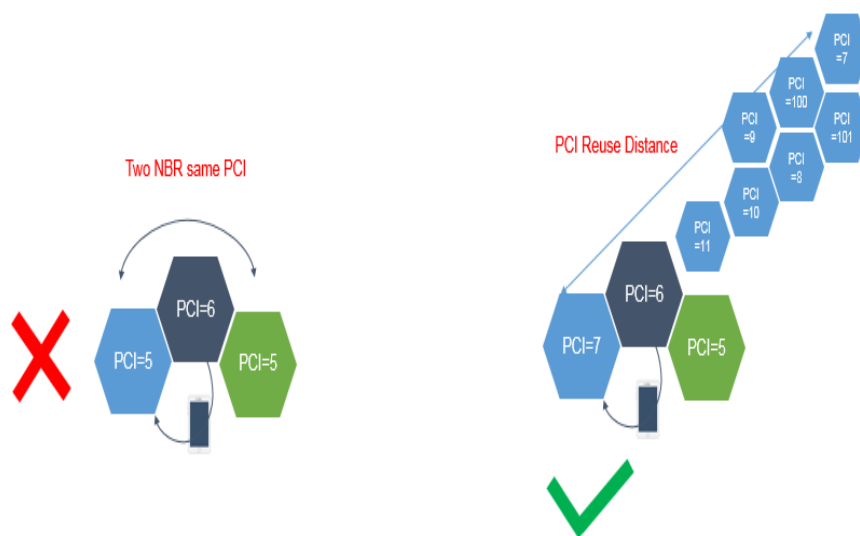


Figure III.5: confusion PCI.

- Minimisation de l'impact sur les performances du réseau :

Sur la base de la conception de différents signaux de couche physique (PSS, DMRS et SRS), de canaux (PUSCH, PUCCH) et d'allocation temps-fréquence, la planification PCI doit envisager de suivre Mod pour réduire les interférences. Conformément à ce principe de Mod, l'UE ne devrait pas être en mesure de recevoir simultanément plusieurs PCI avec les modes suivants :

- PCI Mod 3
- PCI Mod 4
- PCI Mod 30

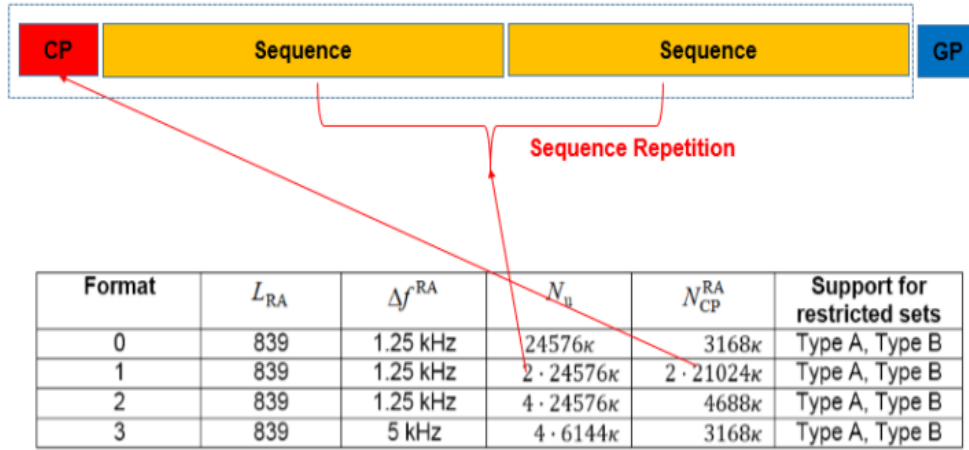
Exemple de «Mod 3 PCI» la cellule voisine doit être allouée PCI 25 et 28 car les deux ont Mod 3 comme valeur 1.

Expliquant, pourquoi le mode 3 ? : la règle PCI Mod 3 est basée sur la relation entre PCI et la séquence générée par PSS. Il existe 3 PSS (0,1,2) qui sont réutilisés sur le réseau. Les cellules ayant le même résultat «PCI Mode 3» utiliseront le même PSS et les résultats de la simulation ont montré que si l'UE reçoit le même PSS de plusieurs cellules, il en résultera un retard dans l'acquisition des cellules et une estimation de canal trompeuse. Dans l'ensemble, cela aura un impact sur le délai de synchronisation et l'expérience utilisateur.

Et pourquoi le mode 4 ? : La règle PCI Mod 4 est basée sur les positions des sous-porteuses de DMRS pour PBCH. Les sous-porteuses sont attribuées au DMRS en utilisant le calcul «Mod 4». Si une cellule voisine utilise un PCI ayant la même valeur Mod 4, il en résultera une interférence DMRS vers DMRS.

III.4.3 PRACH planning

Un préambule est envoyé par l'UE à gNB sur le canal PRACH pour obtenir la synchronisation UL. Semblable à LTE, dans la 5G NR, il y a 64 préambules définis dans chaque occasion PRACH temps-fréquence. Le préambule se compose de deux parties : préfixe cyclique (CP) et séquence de préambule [31].



$\kappa = \text{Kappa is defined as } 64$
 $\kappa = T_s/T_c = 64$

Figure III.6: 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.

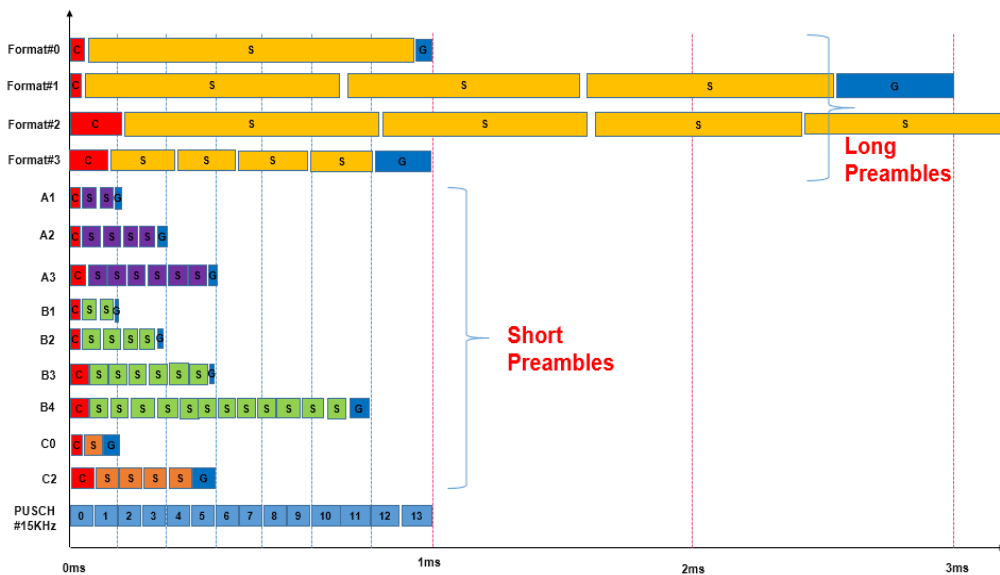


Figure III.7: Différents formats de préambule [31].

III.5 Le Voisinage

Comme nous savons qu'il peut y avoir deux types de déploiement possibles pour la 5G NR, à savoir le mode autonome (SA) et non autonome (NSA). Nous pouvons donc catégoriser la relation de voisinage en fonction du mode de déploiement ci-dessus [32].

- Relations de voisinage de déploiement SA :
 - NR - NR voisins: une cellule NR peut avoir une autre cellule NR en tant que voisin intra-fréquence (fonctionnant sur la même fréquence) ou voisin inter-fréquence (fonctionnant sur une fréquence différente).
 - NR - Voisins LTE: un opérateur peut avoir déployé à la fois des réseaux 4G et 5G, puis une cellule LTE peut être utilisée comme voisin inter RAT.

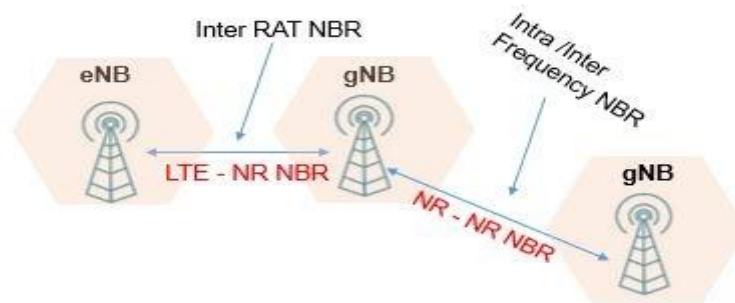


Figure III.8: Relations de voisinage de déploiement SA [32].

- Les relations avec les voisins de déploiement de la NSA :
 - Voisins LTE-LTE: une cellule LTE peut avoir une autre cellule LTE comme voisin intra-fréquence ou voisin inter-fréquence.
 - LTE - Voisins NR: une cellule LTE peut avoir une cellule NR en tant que voisin EN-DC qui peut être ajouté via la configuration X2 avec une procédure d'ajout de nœud secondaire pour la cellule SCG principale.
 - NR - NR voisins: la relation de voisinage de cellule NR à NR peut être utilisée pour changer la cellule SCG primaire. Ce changement de cellule SCG primaire peut être intra gNB ou inter gNB. Comme ligne directrice de planification du réseau, au moins la relation de voisinage doit être définie avec les secteurs NR gNB adjacents.

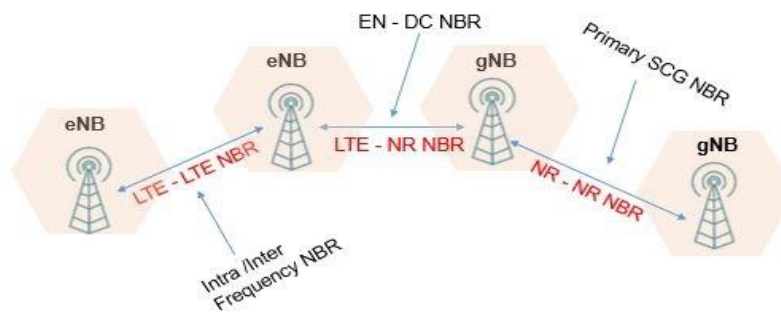


Figure III.9: Relations avec les voisins de déploiement de la NSA[32].

III.5.1 Planification et gestion des voisins :

Comme au premier niveau, la relation NBRs peut être générée manuellement ou outil de planification RF. Une ligne directrice générale, tout en définissant les relations de voisinage, l'ingénieur de planification doit effectuer une vérification des ID de cellule physique pour le voisin adjacent pour éviter les situations de collision PCI et de confusion PCI, ceux-ci peuvent avoir un impact sur les KPI de transfert et de débit du réseau.

Le premier niveau de relation NBR peut être provisionné dans la configuration initiale du système. Certains systèmes prennent en charge le reniflement du réseau environnant (en particulier les petites cellules), où il peut scanner et obtenir les informations NBR des cellules déjà en ondes en décodant les informations de diffusion. Une fois que le système est opérationnel, les autres NBR peuvent être ajoutés via les procédures de mise à jour de la configuration ANR et eNB assistées par l'UE sur X2AP [32].

L'ANR assisté par l'UE aide SON à remplir la relation NBR en fonction des rapports de mesure de l'UE, chaque fois que l'UE signale une fonction PCI, SON vérifie si le PCI est disponible dans la table de relations NBR, s'il n'est pas disponible, il peut demander à l'UE de signaler CGI, où l'UE lit les informations SIB 1 de la cellule NBR et fait un rapport à la station de base de desserte. L'ANR assisté par l'UE peut être configuré en fonction de l'événement de mesure ou peut être périodique, la périodicité peut être définie par l'opération car elle peut avoir un impact sur les KPI de débit moyen de la cellule car, chaque fois que l'UE mesure et décode les informations de cellule NBR, il doit passer à la mesure la période d'intervalle et la planification des données pendant la période d'interruption ne sont pas autorisées [32].

Ainsi, si la périodicité de l'ANR assisté par l'UE est trop fréquente, l'UE ira dans l'intervalle de mesure très fréquemment, ce qui peut avoir un impact sur les expériences de l'utilisateur. L'ANR assisté par UE peut ne pas être possible pour les déploiements NSA car dans la configuration EN-DC, la station de base NR ne diffuse pas les informations SIB 1, ce qui fait que l'UE ne pourra pas décoder et rapporter les informations CGI. De plus, si la station de base NR n'est pas connectée à MME (uniquement le plan utilisateur connecté), les informations de couche de transport pour configurer X2 entre LTE et NR ne seront pas disponibles via la procédure de découverte de tunnel [32].

De plus, les déploiements de réseaux 5G devraient être très denses et il peut y avoir des situations dans lesquelles une partie de la station de base se déclenche et passe à l'antenne. Cela nécessite que la relation NBR soit dynamique, les NBR qui ne sont pas utilisés pendant une longue période peuvent être supprimés et de nouveaux NBR signalés via l'ANR assisté par l'UE et l'ANR assisté par X2 être ajoutés pour créer une table de relations NBR propre [32].

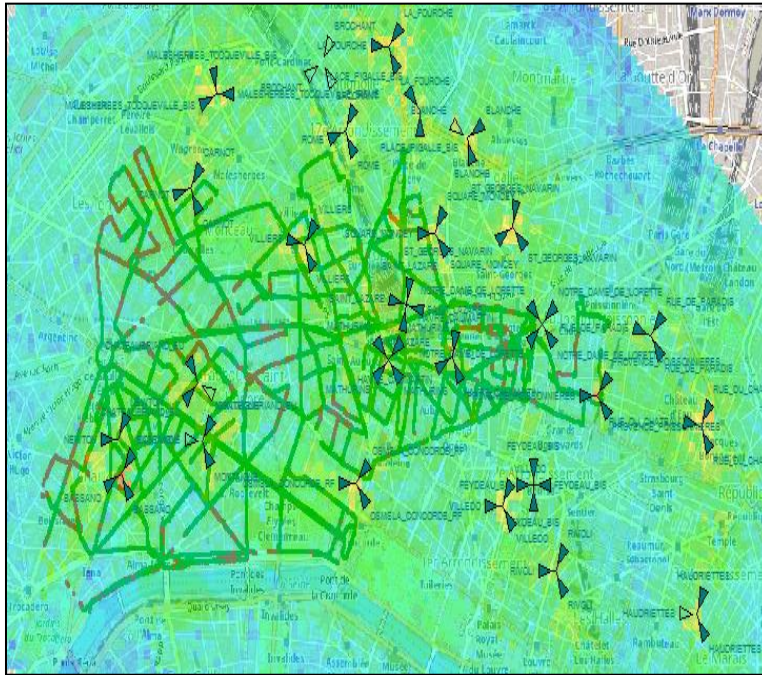
III.6 Conclusion

Ce chapitre décrit la planification 5G NR, y compris la PCI, la PRACH et la planification voisine, en expliquant aussi tout ce que fait partie de la planification d'un réseau mobile 5G NR fonctionnant dans la bande des 3500 MHz.

ANNEXE

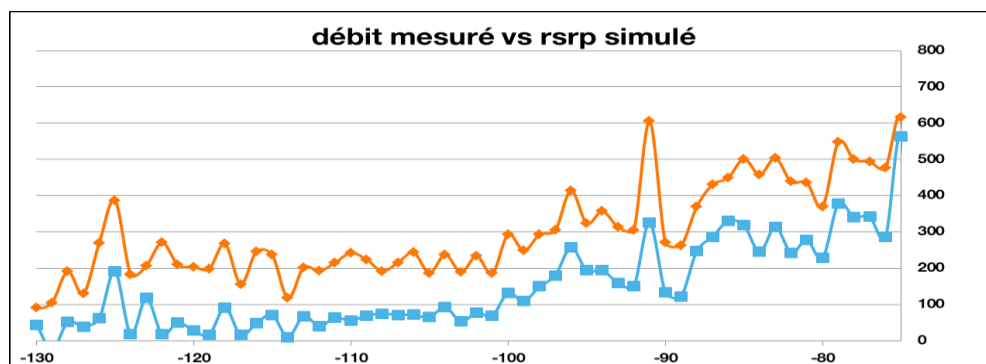
N.B: Cette partie représente les résultats de simulation de la 5G NR effectuée à la société Orange par l'ingénieur Bouzana Zouheyr.

La figure ci-dessous représente le parcours de la campagne de mesure et l'emplacement de l'ensemble des sites 4G pris en considération pour le processus de design initial.



Parcours campagne de mesures Drive Test à Lille.

Les résultats obtenus lors de cette campagne de mesure et après une comparaison avec les débits perçus par l'utilisateur et niveaux de signal de réception au niveau de chaque point du parcours, nous a permis d'avoir des statistiques représentées dans les courbes suivantes :



Courbes débit 5G DL incar mesuré versus SS-RSRP simulé à Lille

L'analyse de mesures sur la ville de Lille a montré que :

- Pour un RSRP simulé = -100dBm : un débit moyen de 293Mbps / un débit à 90% de 100Mbps,
- Pour un RSRP simulé = -111dBm : un débit moyen de 215Mbps / un débit à 90% de 50Mbps.

Comme notre objectif marketing est d'atteindre un débit client de 50Mbps, le seuil de design retenu pour l'environnement Incar est de -110dBm et qui sera valable pour le reste de notre étude de dimensionnement.

A noter qu'à partir de ce seuil, nous pourrions déduire les seuils relatifs pour les autres environnements radio comme mentionné dans le tableau suivant :

| Seuils design 5G NR | Db>=100Mbps | Db>=50Mbps |
|---------------------|-------------|------------|
| Incar/Indoor Window | -100dBm | -110dBm |
| Outdoor | -110dBm | -120dBm |
| Indoor Day Light | -94dBm | -104dBm |

Les seuils relatifs pour les autres environnements radio.

Voici le détail technique de calcul du bilan de liaison 5G NR dans la bande 3500 MHz

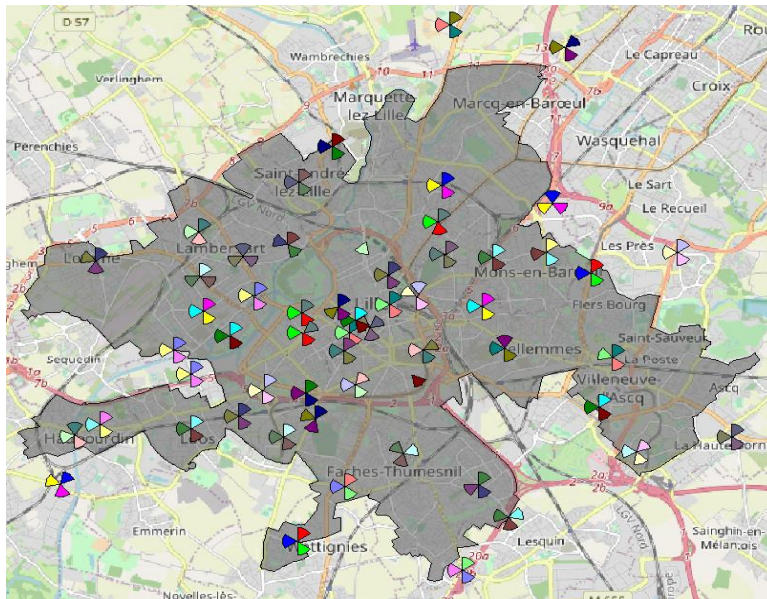
| | Db>=100Mbps | Db>=50Mbps |
|--------------|-------------|------------|
| Pmax | 53 dBm | 53 dBm |
| Puissance RS | 18 dBm | 18 dBm |
| Gain SSB | 24 dBi | 24 dBi |
| PIRE RS | 42 dBm | 42 dBm |
| Seuil | -100 dBm | -110 dBm |
| Pathloss | 142 dB | 152 dB |

Le détail technique de calcul du bilan de liaison 5G NR dans la bande 3500.

A ce moment-là, nous disposons tous les ingrédients nécessaires pour bien dimensionner notre réseau mobile au niveau de cette ville à savoir :

- Débit Cell Edge cible = 50Mbps;
- Seuil de design Indoor day light = -94 dBm;
- Type de penetration = indoor day light;
- Objectifs de fiabilité en bordure de cellule et a l'intérieur de la cellule = identiques a la 4G

Comme indiqué précédemment, notre terrain de jeu pour obtenir le réseau 5G NR est basé sur le réseau LTE700 existant, et qui est comme suit avec le contour Marketing de Lille à couvrir :



Réseau 5G NR de Lille basé sur le réseau LTE700

La figure suivante illustre le Template de la station gNB 5G NR avec le paramétrage nécessaire à titre d'exemple :

- La bande de fréquence : NR 3500 MHz ;
- Largeur de bande du système : 100 MHz ;
- Puissance maximale sur full bandwidth : 51 dBm ;
- Puissance su signal de référence sur le canal de synchronisation : 14 dBm ;
- Numérolgy utilisée : 1 (30 KHz) ;

NR 3500 Nokia Properties

General Transmitter Cell Other Properties

RAT: 5G NR

| | |
|---|----------------------------|
| Layer | Macro Layer |
| Carrier | NR 3500 |
| Physical Cell ID | 0 |
| Cell Type | PCell |
| Cell Edge Margin (dB) | 0 |
| Cell Individual Offset (dB) | 0 |
| Cell Selection Threshold (dB) | 0 |
| Diversity Support (DL) | Transmit Diversity;SU-MIMO |
| Additional DL Noise Rise (dB) | 0 |
| Traffic Load (DL) (%) | 20 |
| Max Traffic Load (DL) (%) | 100 |
| Radio Equipment | 5G NR Radio Equipment |
| Handover Margin (dB) | 0 |
| Max number of 4G/5G neighbours | |
| Max number of inter-technology neighbours | |
| Max Number of Users | |
| Max Power (dBm) | 51 |
| Min SS-RSRP (dBm) | -140 |
| PBCH EPRE Offset / SSS (dB) | 0 |
| PDCCH EPRE Offset / SSS (dB) | 0 |
| PDCCH Overhead (OFDM Symbols) | 1 |
| PDSCH EPRE Offset / SSS (dB) | 0 |
| PRACH Preamble Format [Max Cell Radius] | |
| Physical Cell ID Domain | |
| PRACH RSI Domain | |
| Number of Required PRACH RSI | 1 |
| PSS EPRE Offset / SSS (dB) | 0 |
| Reuse Distance (m) | |
| SSS EPRE (dBm) | 14 |
| Scheduler | Proportional Fair |
| SS/PBCH Numerology | 0 (15 kHz) |
| SS/PBCH Periodicity | 5 ms |
| SS/PBCH OFDM Symbols | {2,8}+14n [Lmax=4] |
| Diversity Support (UL) | Receive Diversity |
| Additional UL Noise Rise (dB) | 0 |
| Traffic Load (UL) (%) | 20 |
| Max Traffic Load (UL) (%) | 100 |
| UL Noise Rise (dB) | 0 |
| Traffic Numerology | 0 (15 kHz) |
| TDD DL OFDM Symbols (%) | 50 |

Template de la station 5G NR.

La liste des émetteurs 5G NR et leurs paramétrages sont illustrés dans la figure ci-contre à savoir le site, antenne, azimut, hauteur, nombre antennes Tx/Rx, modèle de propagation approprié et le rayon de calcul...etc.

| Alias | Transmitter | Site | Active | Couverture | Antenna | Azimuth (°) | Height (m) | Mechanical Down tilt | Number of Transmissions | Number of Receptions | Transmission losses | Max Range (m) | Main Propagation Model | Main Calculation Radius (m) | Main Resolution (m) | Comments | Frequency Band |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------|--------|------------|------------------------------|-------------|------------|----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|---------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|----------|----------------|
| LA_MADELEINE_ENB2_T1_NR3500 | 1_00081901F4_519_1515_L3500 | 1_00081901F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 24.4 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| LA_MADELEINE_ENB2_T2_NR3500 | 1_00081901F4_519_1516_L3500 | 1_00081901F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 170 | 24.4 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| LA_MADELEINE_ENB2_T3_NR3500 | 1_00081901F4_519_1517_L3500 | 1_00081901F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 24.4 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACULTE_DE_LETTRES_ENB2_T1_NR3500 | 2_00000167F4_519_1515_L3500 | 2_00000167F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 40.25 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACULTE_DE_LETTRES_ENB2_T2_NR3500 | 2_00000167F4_519_1516_L3500 | 2_00000167F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 40.25 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACULTE_DE_LETTRES_ENB2_T3_NR3500 | 2_00000167F4_519_1517_L3500 | 2_00000167F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 290 | 40.25 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| LILLE_SAINTE_ANDRE_ENB2_T1_NR3500 | 1_00000003F4_519_1512_L3500 | 1_00000003F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 22.6 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| LILLE_SAINTE_ANDRE_ENB2_T2_NR3500 | 1_00000003F4_519_1513_L3500 | 1_00000003F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 28 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| LILLE_SAINTE_ANDRE_ENB2_T3_NR3500 | 1_00000003F4_519_1514_L3500 | 1_00000003F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 28 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| ASCQ_E10_NR3500 | 4_0000012F4_000_1502_5G_L3500 | 4_0000012F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 27.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| ASCQ_E10_NR3500 | 4_0000012F4_000_1503_5G_L3500 | 4_0000012F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 27.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| ASCQ_E10_NR3500 | 4_0000012F4_000_1504_5G_L3500 | 4_0000012F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 27.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| BOIS_BLANC_NR_NR3500 | 8_00000178F4_000_1502_5G_L3500 | 8_00000178F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 27.7 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| BOIS_BLANC_NR_NR3500 | 8_00000178F4_000_1503_5G_L3500 | 8_00000178F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 27.7 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| BOIS_BLANC_NR_NR3500 | 8_00000178F4_000_1504_5G_L3500 | 8_00000178F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 27.7 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| CANTELEU_ENB1_F1_NR3500 | 1_00000002F4_000_116_5G_L3500 | 1_00000002F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 34.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| CANTELEU_ENB1_F2_NR3500 | 1_00000002F4_000_117_5G_L3500 | 1_00000002F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 34.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| CANTELEU_ENB1_F3_NR3500 | 1_00000002F4_000_118_5G_L3500 | 1_00000002F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 34.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| CITE_SCIENTIFIQUE_ENB3_K1_NR3500 | 1_00000126F4_519_1509_L3500 | 1_00000126F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 45 | 28.55 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| CITE_SCIENTIFIQUE_ENB3_K2_NR3500 | 1_00000126F4_519_1510_L3500 | 1_00000126F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 160 | 28.55 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| CITE_SCIENTIFIQUE_ENB3_K3_NR3500 | 1_00000126F4_519_1511_L3500 | 1_00000126F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 275 | 28.55 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| DETOMBES_ENB1_F1_NR3500 | 1_00003365F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00003365F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 20.1 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| DETOMBES_ENB1_F2_NR3500 | 1_00003365F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00003365F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 20.1 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| DETOMBES_ENB1_F3_NR3500 | 1_00003365F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00003365F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 20.1 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| ESQUERMES_ENB3_K1_NR3500 | 4_00000179F4_519_1512_L3500 | 4_00000179F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 24 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| ESQUERMES_ENB3_K2_NR3500 | 4_00000179F4_519_1513_L3500 | 4_00000179F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 24 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| ESQUERMES_ENB3_K3_NR3500 | 4_00000179F4_519_1514_L3500 | 4_00000179F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 24 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACHES_ENB1_F1_NR3500 | 1_00004203F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00004203F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 25.3 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACHES_ENB1_F2_NR3500 | 1_00004203F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00004203F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 25.3 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACHES_ENB1_F3_NR3500 | 1_00004203F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00004203F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 25.3 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACHES_THUMESNIL_ENB1_F1_NR3500 | 1_00000002F4_000_119_5G_L3500 | 1_00000002F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 30 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACHES_THUMESNIL_ENB1_F2_NR3500 | 1_00000002F4_000_120_5G_L3500 | 1_00000002F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 150 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FACHES_THUMESNIL_ENB1_F3_NR3500 | 1_00000002F4_000_121_5G_L3500 | 1_00000002F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 270 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FOIRE_COMMERCIALE_DEM_ENB1_F1_NR3 | 1_00016004F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00016004F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 60 | 24.4 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FOIRE_COMMERCIALE_DEM_ENB1_F2_NR3 | 1_00016004F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00016004F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 24.4 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| FOIRE_COMMERCIALE_DEM_ENB1_F3_NR3 | 1_00016004F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00016004F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 24.4 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| GARE_DE_LOOS_ENB1_F1_NR3500 | 5_00000154F4_000_1502_5G_L3500 | 5_00000154F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 21.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| GARE_DE_LOOS_ENB1_F2_NR3500 | 5_00000154F4_000_1503_5G_L3500 | 5_00000154F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 21.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| GARE_DE_LOOS_ENB1_F3_NR3500 | 5_00000154F4_000_1504_5G_L3500 | 5_00000154F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 21.5 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| GUINGUETTE_TDF_ENB1_K1_NR3500 | 1_00000171F4_619_1520_L3500 | 1_00000171F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 42 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| GUINGUETTE_TDF_ENB1_K2_NR3500 | 1_00000171F4_619_1521_L3500 | 1_00000171F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 42 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| GUINGUETTE_TDF_ENB1_K3_NR3500 | 1_00000171F4_619_1522_L3500 | 1_00000171F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 42 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_ENB1_F1_NR3500 | 1_00000034F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000034F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 30 | 24.6 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_ENB1_F2_NR3500 | 1_00000034F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00000034F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 24.6 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_ENB1_F3_NR3500 | 1_00000034F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00000034F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 270 | 24.6 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_LE_PARC_ENB1_F1_NR3500 | 2_00004318F4_000_1502_5G_L3500 | 2_00004318F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 0 | 24.7 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_LE_PARC_ENB1_F2_NR3500 | 2_00004318F4_000_1503_5G_L3500 | 2_00004318F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 24.7 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_LE_PARC_ENB1_F3_NR3500 | 2_00004318F4_000_1504_5G_L3500 | 2_00004318F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 260 | 24.7 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_SUD_ENB1_F1_NR3500 | 6_00013983F4_000_1502_5G_L3500 | 6_00013983F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 40 | 21.1 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_SUD_ENB1_F2_NR3500 | 6_00013983F4_000_1503_5G_L3500 | 6_00013983F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 170 | 21.1 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HAUBOURDIN_SUD_ENB1_F3_NR3500 | 6_00013983F4_000_1504_5G_L3500 | 6_00013983F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 290 | 21.1 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HELLEMMES_ENB1_K1_NR3500 | 1_00000004F4_519_1509_L3500 | 1_00000004F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 0 | 25 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |
| HELLEMMES_ENB1_K2_NR3500 | 1_00000004F4_519_1510_L3500 | 1_00000004F4 | ✓ | Outdoor | NK_AEQE-120deg-SSB53_T6_3500 | 150 | 25 | 0 | 64 | 64 | 0 | 2 000 | CROSSWAVE | 15 000 | 5 | LILLE | NR 3500 |

Liste des émetteurs 5G NR

La liste des cellules 5G NR et leurs paramétrages sont donnés dans la figure suivante à savoir la porteuse, puissance RS, puissance maximale, PCI, SSS, PSS, la charge réseau,... etc.

| Transmitter | Name | Active | Carrier | SSS EPRE (dBm) | Max Power | Min SS-RSRP | Physical Cell ID | PS ID | SSS ID | Radio Equipment | Diversity Support (DL) | Diversity Support (UL) | Traffic Load (DL) | Traffic Load (UL) | Beam Usage (DL) (%) | Beam Usage (UL) (%) |
|---------------------------------|---------------------------------|--------|---------|----------------|-----------|-------------|------------------|-------|--------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1_0000002F4_000_116_5G_L3500 | 1_0000002F4_000_116_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_0000002F4_000_117_5G_L3500 | 1_0000002F4_000_117_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_0000002F4_000_118_5G_L3500 | 1_0000002F4_000_118_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_0000003F4_519_1512_L3500 | 1_0000003F4_519_1512_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_0000003F4_519_1513_L3500 | 1_0000003F4_519_1513_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_0000003F4_519_1514_L3500 | 1_0000003F4_519_1514_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_0000004F4_519_1509_L3500 | 1_0000004F4_519_1509_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_0000004F4_519_1510_L3500 | 1_0000004F4_519_1510_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_0000004F4_519_1511_L3500 | 1_0000004F4_519_1511_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000024F4_000_119_5G_L3500 | 1_00000024F4_000_119_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000024F4_000_120_5G_L3500 | 1_00000024F4_000_120_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000024F4_000_121_5G_L3500 | 1_00000024F4_000_121_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000034F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000034F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000034F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00000034F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000034F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00000034F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000045F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000045F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000045F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00000045F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000045F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00000045F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000060F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000060F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000060F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00000060F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000060F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00000060F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000061F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000061F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000061F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00000061F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000061F4_000_1505_5G_L3500 | 1_00000061F4_000_1505_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000126F4_519_1509_L3500 | 1_00000126F4_519_1509_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000126F4_519_1510_L3500 | 1_00000126F4_519_1510_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000126F4_519_1511_L3500 | 1_00000126F4_519_1511_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000151F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000151F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000151F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00000151F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000151F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00000151F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000158F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000158F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000158F5_000_1503_5G_L3500 | 1_00000158F5_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000158F6_000_1504_5G_L3500 | 1_00000158F6_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000171F4_619_1520_L3500 | 1_00000171F4_619_1520_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000171F4_619_1521_L3500 | 1_00000171F4_619_1521_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000171F4_619_1522_L3500 | 1_00000171F4_619_1522_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000206F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000206F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000206F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00000206F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000206F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00000206F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00000237F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00000237F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_000002251F4_000_1502_5G_L3500 | 1_000002251F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_000002251F4_000_1503_5G_L3500 | 1_000002251F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_000002251F4_000_1504_5G_L3500 | 1_000002251F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00003365F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00003365F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00003365F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00003365F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00003365F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00003365F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00004203F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00004203F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00004203F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00004203F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00004203F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00004203F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00004333F4_000_1502_5G_L3500 | 1_00004333F4_000_1502_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00004333F4_000_1503_5G_L3500 | 1_00004333F4_000_1503_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00004333F4_000_1504_5G_L3500 | 1_00004333F4_000_1504_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00004335F4_000_119_5G_L3500 | 1_00004335F4_000_119_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |
| 1_00004335F4_000_120_5G_L3500 | 1_00004335F4_000_120_5G_L3500 | | NR 3500 | 16 | 51 | -140 | 0 | 0 | 0 | 5G NR Radio Equipment | Transmit Diversity;SU-MIMO | Receive Diversity | 20 | 20 | | |

Liste des cellules 5G NR.

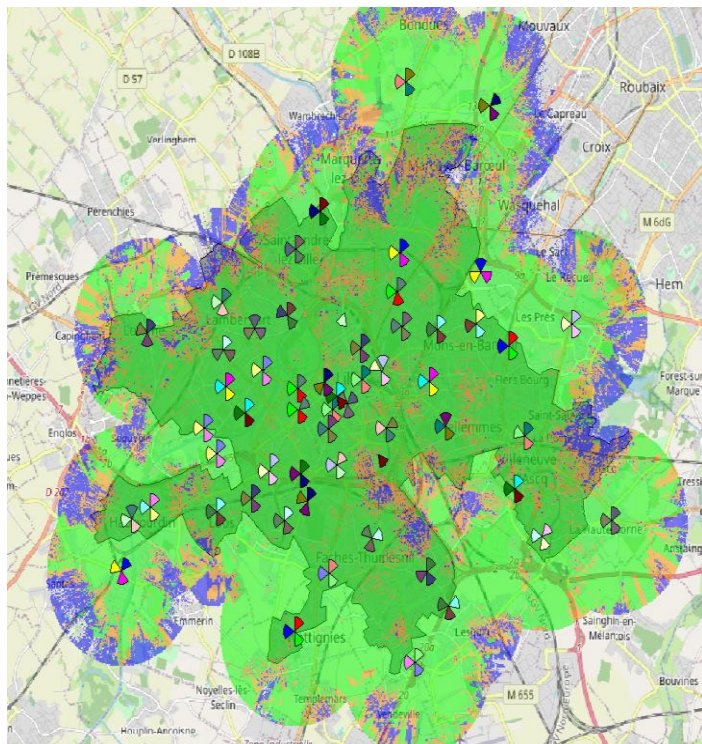
Les caractéristiques techniques de type de l'antenne utilisé et qui est doté de la fonctionnalité de beamforming et donné dans le tableau suivant :

| Paramètres généraux | Diagramme Horizontal | Diagramme Vertical | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|--------------------|-----------|---|------|---|------|---|-----|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|----|------|----|------|----|------|----|-----|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|---|-----------|-----------|---|-------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|---|---|------|---|------|---|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|-----|----|------|----|------|----|-------|----|-------|
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Angle (°)</th> <th>Att. (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.27</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.08</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.71</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.49</td></tr> <tr><td>7</td><td>3.45</td></tr> <tr><td>8</td><td>4.61</td></tr> <tr><td>9</td><td>5.99</td></tr> <tr><td>10</td><td>7.19</td></tr> <tr><td>11</td><td>5.68</td></tr> <tr><td>12</td><td>4.43</td></tr> <tr><td>13</td><td>3.4</td></tr> <tr><td>14</td><td>2.56</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.88</td></tr> <tr><td>16</td><td>1.36</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.73</td></tr> </tbody> </table> | Angle (°) | Att. (dB) | 0 | 0.07 | 2 | 0.27 | 3 | 0.6 | 4 | 1.08 | 5 | 1.71 | 6 | 2.49 | 7 | 3.45 | 8 | 4.61 | 9 | 5.99 | 10 | 7.19 | 11 | 5.68 | 12 | 4.43 | 13 | 3.4 | 14 | 2.56 | 15 | 1.88 | 16 | 1.36 | 17 | 0.98 | 18 | 0.73 | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Angle (°)</th> <th>Att. (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>17.18</td></tr> <tr><td>1</td><td>9.61</td></tr> <tr><td>2</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.85</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.19</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.27</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>8</td><td>1.32</td></tr> <tr><td>9</td><td>3.02</td></tr> <tr><td>10</td><td>5.65</td></tr> <tr><td>11</td><td>4.58</td></tr> <tr><td>12</td><td>3.97</td></tr> <tr><td>13</td><td>3.99</td></tr> <tr><td>14</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>15</td><td>5.82</td></tr> <tr><td>16</td><td>7.73</td></tr> <tr><td>17</td><td>10.51</td></tr> <tr><td>18</td><td>14.56</td></tr> </tbody> </table> | Angle (°) | Att. (dB) | 0 | 17.18 | 1 | 9.61 | 2 | 5.47 | 3 | 2.85 | 4 | 1.19 | 5 | 0.27 | 6 | 0 | 7 | 0.34 | 8 | 1.32 | 9 | 3.02 | 10 | 5.65 | 11 | 4.58 | 12 | 3.97 | 13 | 3.99 | 14 | 4.6 | 15 | 5.82 | 16 | 7.73 | 17 | 10.51 | 18 | 14.56 |
| Angle (°) | Att. (dB) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0.07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0.27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1.08 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1.71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 2.49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 3.45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 4.61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 5.99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 7.19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 5.68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 4.43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 3.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 2.56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 1.88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 1.36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 0.98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 0.73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Angle (°) | Att. (dB) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 17.18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 9.61 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 5.47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 2.85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1.19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 0.27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0.34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 1.32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 3.02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5.65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 4.58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 3.97 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 3.99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 4.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 5.82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 7.73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 10.51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 14.56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

caractéristiques techniques de type de l'antenne utilisé.

Maintenant, et avec la réunion de tous les éléments pertinents et indispensables, la simulation de couverture radio a été effectuée en se basant sur les seuils design précités.

Cette simulation est basée sur une prédiction du Best signal en fonction de la palette de seuil à droite.



| General | | Conditions | | Display | |
|-----------------|---------------------------------------|-------------------------|-----|------------------|--|
| Display type: | | Field: | | | |
| Value intervals | | Best Signal Level (dBm) | | | |
| | | Min | Max | Legend | |
| 1 | ■ | -104 | | Indoor Day Light | |
| 2 | ■ | -110 | | Incar | |
| 3 | ■ | -120 | | Outdoor | |

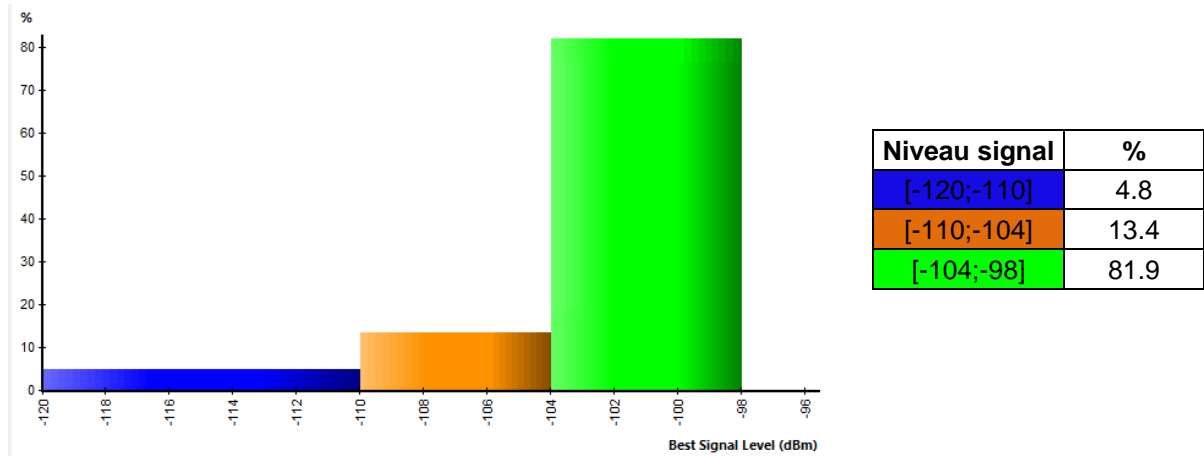
Simulation couverture 5G NR: 3500 Best Signal Level

Le tableau suivant montre bien que la zone de focalisation (Ville de Lille) est bien couverte en environnement **Outdoor**, et aussi en environnement **Incar** avec un pourcentage de 95% et 96% de population.

| | Surface (km ²) | % Focus Zone | Population (%Population) | Population (Population [total]) |
|-------------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|---------------------------------|
| | 75.8363 | 99.734 | 99.875 | 461 593.42 |
| Indoor Day Light | 62.0863 | 81.651 | 82.648 | 461 593.42 |
| Incar | 72.2106 | 94.966 | 96.443 | 461 593.42 |
| Outdoor | 75.8363 | 99.734 | 99.875 | 461 593.42 |

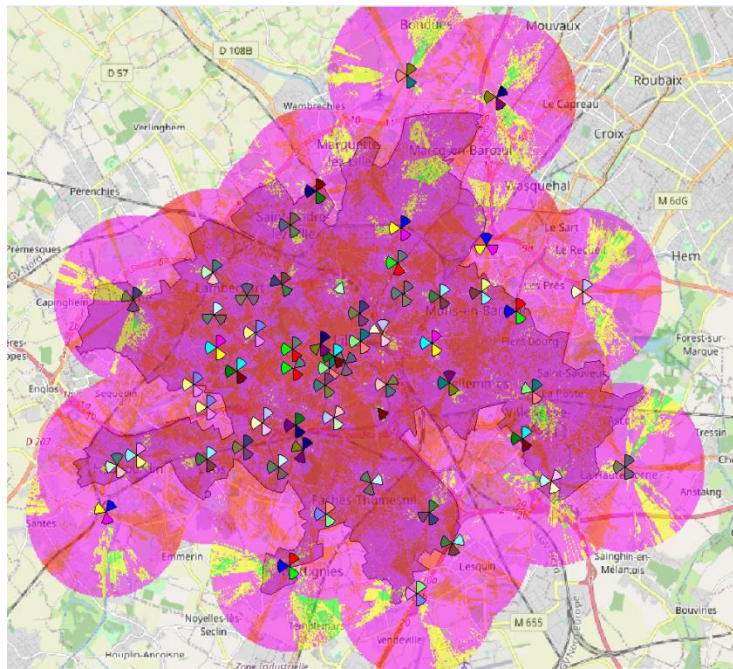
La zone de focalisation Ville de Lille.

Le graphique ci-dessous représente le pourcentage de chaque fourchette de niveau de réception, et on voit clairement que **82%** de la couverture radio se trouve entre **-98 à -104 dBm**.



Répartition des pourcentages de niveau de couverture

La simulation ci-contre permet d’estimer et d’évaluer le degré d’interférence présent dans ce réseau en se focalisant sur le rapport **SINR (Signal to Interference Noise ratio)**.

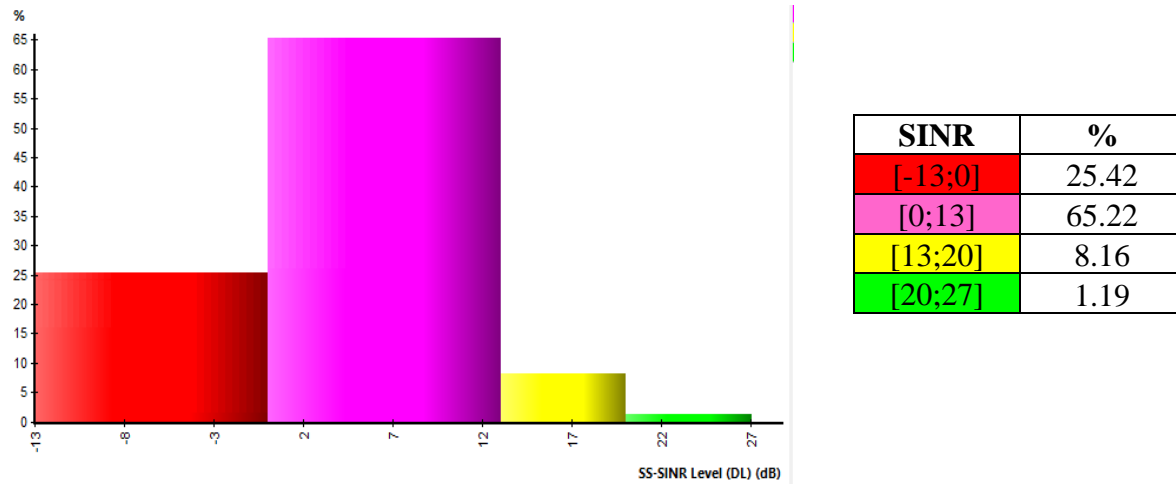


Display type: Value intervals Field: SS-SINR Level (DL) (dB)

| | Min | Max | Legend |
|---|-----|-----|--|
| 1 | 20 | | SS-SINR Level (DL) (dB) >= 20 Excellent |
| 2 | 13 | 20 | 13 <= SS-SINR Level (DL) (dB) < 20 Good |
| 3 | 0 | 13 | 0 <= SS-SINR Level (DL) (dB) < 13 Bad |
| 4 | | 0 | SS-SINR Level (DL) (dB) < 0 Insufficient |

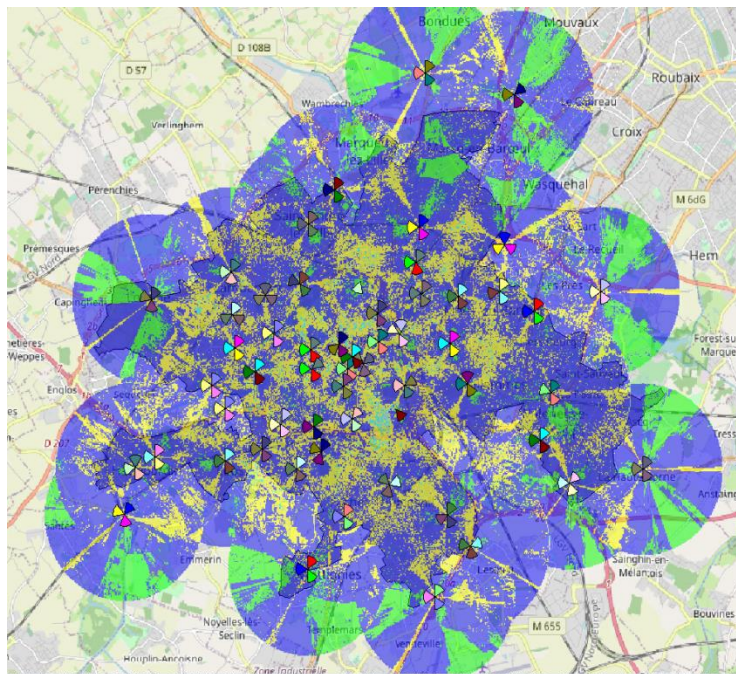
Simulation interférence 5G NR: SINR

Le rapport SINR le plus acceptable représente plus de **70%** de la totalité du pourcentage SINR au niveau de cette zone.



Répartition des pourcentages des interférences (SINR)

La simulation concernant le débit perçu par l'utilisateur confirme que l'objectif marketing est assuré qui atteint 50Mbps.



Simulation 5G NR: 3500 Throughput.

Le tableau ci-dessous donne une vue globale sur le pourcentage atteint de chaque débit perçu par l'abonné. Il apparaît que plus que **98%** de la zone de focalisation est bien couverte par un débit de 50Mbps.

| | Surface (km ²) | % of Covered Area | % Focus Zone |
|---|----------------------------|-------------------|--------------|
| Peak RLC Allocated Bandwidth Throughput (DL) (kbps) >=100 000 | 5.1775 | 6.816 | 6.809 |
| Peak RLC Allocated Bandwidth Throughput (DL) (kbps) >=50 000 | 74.9719 | 98.693 | 98.597 |
| Peak RLC Allocated Bandwidth Throughput (DL) (kbps) >=30 000 | 75.8544 | 99.854 | 99.758 |
| Peak RLC Allocated Bandwidth Throughput (DL) (kbps) >=10 000 | 75.965 | 100 | 99.903 |
| Peak RLC Allocated Bandwidth Throughput (DL) (kbps) >=5 000 | 75.965 | 100 | 99.903 |
| Peak RLC Allocated Bandwidth Throughput (DL) (kbps) >=0 | 75.965 | 100 | 99.903 |

pourcentage atteint de chaque débit perçu par l'abonné.

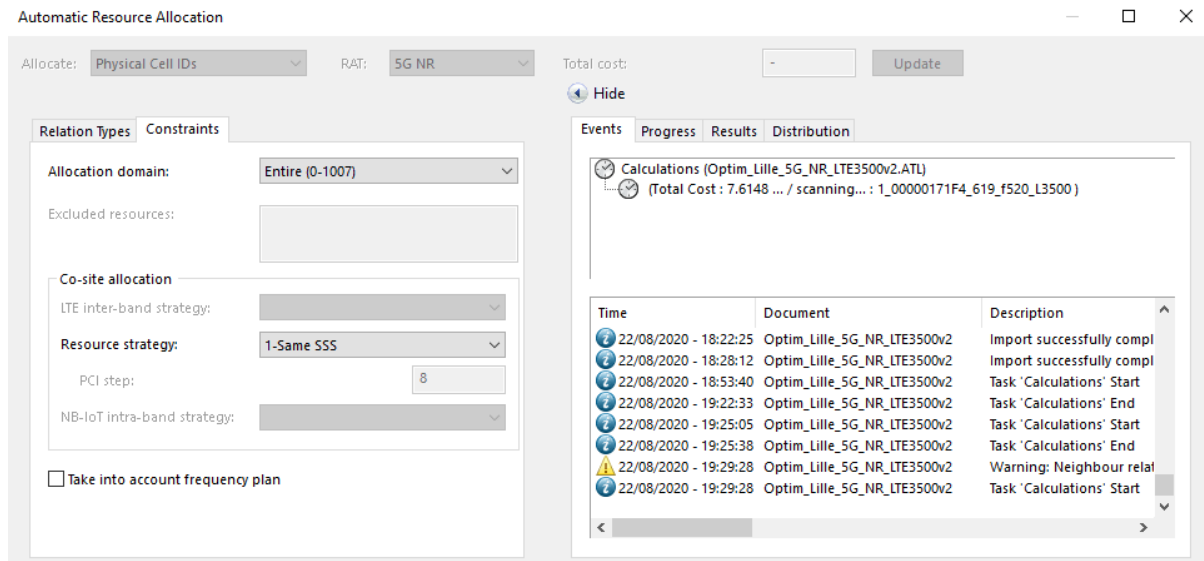
Chaque cellule 5G NR correspond à un ID de cellule physique (PCI) et sert à distinguer les cellules côté radio. La planification PCI pour 5G NR est très similaire à la planification PCI pour LTE et à la planification de code d'embrouillage pour 3G UMTS.

Une planification incorrecte peut affecter la procédure de synchronisation, la démodulation et la signalisation de Handover intercellulaire et dégrader les performances du réseau. La planification PCI devrait être plus simple pour NR que pour LTE car il y a deux fois plus de ressource PCI disponibles pour l'allocation. En 5G, il y a 1008 PCI uniques comparés aux 504 en LTE.

A cet effet, l'outil permet de réaliser ce type de planification des ressources PCI en suivant les étapes suivantes :

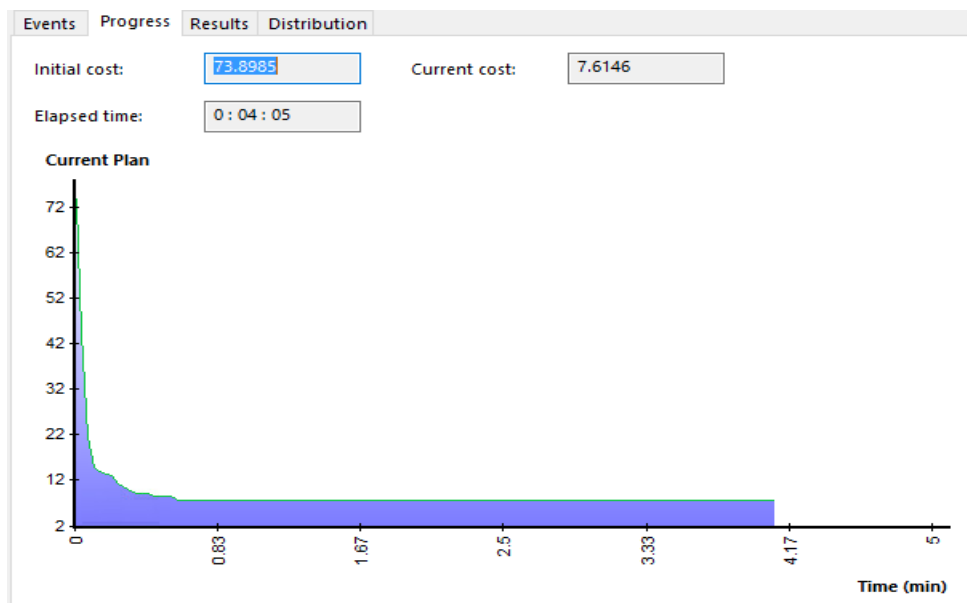
- Dans l'onglet Contraintes, définit le domaine d'allocation en utilisant toute la gamme de PCID.
- Dans la partie Stratégies d'allocation, on sélectionne l'option 1-Identique par site pour l'optimisation de l'ID SSS.

- l'outil d'allocation sera lancé une fois en cliquant sur Start.



Paramétrage du module PCI Planning (allocation)

- Dans l'onglet Progression, on attend la stabilisation de la courbe de coût avant qu'on clique sur le bouton Pause,
- Le plan proposé sera donné dans l'onglet Résultats.



Progression et courbe de coût

- Dans l'onglet Résultats: en bleu, apparaissent les PCID modifiés par l'outil.

ANNEXE

| Site | Transmitter | Name | Radio Access Technol | Frequency Band | Channel Number | Physical Cell ID | PSS ID | SSS ID | Cost | SSS ID Status | PSS ID Status |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------|----------------|------------------|--------|--------|-------------|---------------|---------------|
| 1_00000002F4 | 1_00000002F4_000_f16_5G_L3500 | 1_00000002F4_000_f16_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 54 | 0 | 18 | 0.004047431 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000002F4_000_f17_5G_L3500 | 1_00000002F4_000_f17_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 55 | 1 | 18 | 0.003165111 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000002F4_000_f18_5G_L3500 | 1_00000002F4_000_f18_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 56 | 2 | 18 | 0.003210249 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000003F4 | 1_00000003F4_519_f512_L3500 | 1_00000003F4_519_f512_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 664 | 1 | 221 | 0.000498116 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000003F4_519_f513_L3500 | 1_00000003F4_519_f513_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 665 | 2 | 221 | 0.000498116 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000003F4_519_f514_L3500 | 1_00000003F4_519_f514_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 663 | 0 | 221 | 0.000498116 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000004F4 | 1_00000004F4_519_f509_L3500 | 1_00000004F4_519_f509_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 110 | 2 | 36 | 0.000920108 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000004F4_519_f510_L3500 | 1_00000004F4_519_f510_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 108 | 0 | 36 | 0.000766797 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000004F4_519_f511_L3500 | 1_00000004F4_519_f511_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 109 | 1 | 36 | 0.000896492 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000024F4 | 1_00000024F4_000_f19_5G_L3500 | 1_00000024F4_000_f19_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 436 | 1 | 145 | 0.001273868 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000024F4_000_f20_5G_L3500 | 1_00000024F4_000_f20_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 435 | 0 | 145 | 0.001115214 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000024F4_000_f21_5G_L3500 | 1_00000024F4_000_f21_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 437 | 2 | 145 | 0.001170601 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000034F4 | 1_00000034F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00000034F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 12 | 0 | 4 | 0.001686756 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000034F4_000_f503_5G_L3500 | 1_00000034F4_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 13 | 1 | 4 | 0.001042180 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000034F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00000034F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 14 | 2 | 4 | 0.001032470 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000045F4 | 1_00000045F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00000045F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 10 | 1 | 3 | 0.002231738 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000045F4_000_f503_5G_L3500 | 1_00000045F4_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 11 | 2 | 3 | 0.002386563 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000045F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00000045F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 9 | 0 | 3 | 0.002649758 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000060F4 | 1_00000060F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00000060F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 244 | 1 | 81 | 0.006440423 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000060F4_000_f503_5G_L3500 | 1_00000060F4_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 243 | 0 | 81 | 0.006420702 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000060F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00000060F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 245 | 2 | 81 | 0.006668007 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000061F4 | 1_00000061F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00000061F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 76 | 1 | 25 | 0.004630425 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000061F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00000061F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 75 | 0 | 25 | 0.004626627 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000061F4_000_f505_5G_L3500 | 1_00000061F4_000_f505_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 77 | 2 | 25 | 0.004937647 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000126F4 | 1_00000126F4_519_f509_L3500 | 1_00000126F4_519_f509_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 61 | 1 | 20 | 0.000389099 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000126F4_519_f510_L3500 | 1_00000126F4_519_f510_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 62 | 2 | 20 | 0.000407457 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000126F4_519_f511_L3500 | 1_00000126F4_519_f511_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 60 | 0 | 20 | 0.000799210 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000151F4 | 1_00000151F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00000151F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 94 | 1 | 31 | 0.000933099 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000151F4_000_f503_5G_L3500 | 1_00000151F4_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 95 | 2 | 31 | 0.000971990 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000151F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00000151F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 93 | 0 | 31 | 0.001238166 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000158F4 | 1_00000158F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00000158F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 103 | 1 | 34 | 0.003325839 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000158F5_000_f503_5G_L3500 | 1_00000158F5_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 102 | 0 | 34 | 0.003385806 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000158F6_000_f504_5G_L3500 | 1_00000158F6_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 104 | 2 | 34 | 0.003325551 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000171F4 | 1_00000171F4_619_f520_L3500 | 1_00000171F4_619_f520_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 49 | 1 | 16 | 0.000869302 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000171F4_619_f521_L3500 | 1_00000171F4_619_f521_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 48 | 0 | 16 | 0.002051516 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000171F4_619_f522_L3500 | 1_00000171F4_619_f522_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 50 | 2 | 16 | 0.001015469 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000206F4 | 1_00000206F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00000206F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 112 | 1 | 37 | 0.002592465 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000206F4_000_f503_5G_L3500 | 1_00000206F4_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 111 | 0 | 37 | 0.002596924 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00000206F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00000206F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 113 | 2 | 37 | 0.002711114 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00000237F4 | 1_00000237F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00000237F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 68 | 2 | 22 | 0.002732228 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00002251F4 | 1_00002251F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00002251F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 16 | 1 | 5 | 0.004632521 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00002251F4_000_f503_5G_L3500 | 1_00002251F4_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 15 | 0 | 5 | 0.004494615 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00002251F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00002251F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 17 | 2 | 5 | 0.004525300 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00004333F4 | 1_00004333F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00004333F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 130 | 1 | 43 | 0.001408658 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00004333F4_000_f503_5G_L3500 | 1_00004333F4_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 129 | 0 | 43 | 0.002596516 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00004333F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00004333F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 131 | 2 | 43 | 0.001520728 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00004335F4 | 1_00004335F4_000_f19_5G_L3500 | 1_00004335F4_000_f19_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 162 | 0 | 54 | 0.002277371 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00004335F4_000_f20_5G_L3500 | 1_00004335F4_000_f20_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 164 | 2 | 54 | 0.000217438 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00004335F4_000_f21_5G_L3500 | 1_00004335F4_000_f21_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 163 | 1 | 54 | 0.000233352 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00016004F4 | 1_00016004F4_000_f502_5G_L3500 | 1_00016004F4_000_f502_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 91 | 1 | 30 | 0.003409913 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00016004F4_000_f503_5G_L3500 | 1_00016004F4_000_f503_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 90 | 0 | 30 | 0.002483107 | Not Allocate | Not Allocate |
| | 1_00016004F4_000_f504_5G_L3500 | 1_00016004F4_000_f504_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 92 | 2 | 30 | 0.004200229 | Not Allocate | Not Allocate |
| 1_00025993F4 | 1_00025993F4_000_f7_5G_L3500 | 1_00025993F4_000_f7_5G_L3500 | 5G NR | NR 3500 | NR 3500 | 186 | 0 | 62 | 0.002747932 | Not Allocate | Not Allocate |

Conclusion Générale :

Avec les multiples nouvelles technologies, Le système de communications mobiles de cinquième génération (5G) émerge à un moment historique, se consacre à ouvrir le rideau de ère informationnelle et est bien placé pour répondre aux exigences du prochain réseau mobile de génération à la fois, des utilisateurs et des opérateurs. De plus il est à prévoir que la 5G jouera un rôle essentiel dans les économies numériques, en renforçant la croissance économique et en ouvrant de nouvelles possibilités, ainsi qu'améliorant la qualité de vie des personnes.

Ce travail décrit la conception et l'optimisation des réseaux 5G nr, des modèles et des paramètres de planification NR ont été étudiés et étaient l'objectif majeure d'élaborer une étude qui permet d'effectuer le dimensionnement des réseaux 4G/5G, ensuite réaliser la planification du réseau 5G/NR en utilisant « Atoll».

Quoique l'évolution de la technologie radio mobile (4G), le problème d'allocation de ressources spectrales s'impose, pour cela la cinquième génération des réseaux radio mobile est l'une des solutions offertes par l'ITU avec ces exigences qui couvrent les considérations de bout en bout, y compris les exigences relatives aux utilisateurs, aux systèmes, aux services améliorés, à la gestion et à l'exploitation, aux dispositifs et aux modèles commerciaux. Il est particulièrement important de maintenir les améliorations dans les domaines suivants : Capacité de réseau, Une expérience client cohérente, La flexibilité, Efficacité, des services Innovants.

La 5G promet ainsi des débits, dont les besoins sont en augmentation constante, pouvant être jusqu'à 10 fois supérieurs à ceux de la 4G Ceci grâce à De nouvelles techniques de codage sur les signaux radio permettant d'accroître le nombre de bits transmis par hertz, et l'élargissement des bandes hertziennes dites « millimétriques » qui possèdent du spectre disponible en grande quantité.

Au-delà du secteur des télécommunications, la 5G promet d'être un moteur de transformation numérique pour toute l'industrie (automobile, transports, énergie, smart cités, agriculture, etc.) avec les nouveaux usages qu'elle permet et les perspectives qu'elle offre en termes de compétitivité.

Par ailleurs malgré ces avantages, les entreprises et les décideurs devraient se montrer prudents quant à la question des investissements, toute décision dans la 5G doit s'appuyer sur une opportunité solide à cet égard tout en améliorant la disponibilité et la qualité des réseaux 4G

Conclusion Générale

existants pour définir l'intérêt commercial de la 5G et déterminer s'il s'agit d'une véritable priorité économique.

Enfin pour stimuler le déploiement des réseaux 5G, il faut repenser l'approche des régulateurs, du gouvernement et des autorités locales vis-à-vis des politiques numériques, dans ce contexte, il est important de garantir l'accès financièrement abordable aux biens publics, qui renforce l'intérêt du marché en faveur de l'investissement dans l'infrastructure à petites cellules et les fréquences attribuées à la 5G.

Bibliographie :

- [1] T. Chapman, E. Larsson, P. von Wrycza, E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, "HSPA Evolution e The Fundamentals for Mobile Broadband," Academic Press, 2015.
- [2] ITU-R, IMT Vision—Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Recommendation ITU-R M.2083, September 2015.
- [3] ITU-R, Future technology trends of terrestrial IMT systems. Report ITU-R M.2320, November 2014.
- [4] ITU-R, Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz. Report ITU-R M.2376, November 2014.
- [5] ITU-R, Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). Report ITU-R M.2410 November 2017.
- [6] ITU-R, Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020. Report ITU-R M.2412 November 2017.
- [7] ITU-R, Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-2020. Report ITU-R M.2411 November 2017.
- [8] ITU-R, Workplan, timeline, process and deliverables for the future development of IMT, ITU-R Document 5D/758, Attachment 2.12.30. Ericsson, Ericsson Mobility Report, November 2017.
- [9] Dahlman E, Parkvall S, Sköld J. 4G LTE-Advanced Pro and the Road to 5G **Elsevier** 2016.
- [10] 3GPP, "System Architecture for the 5G System (Release 15), TS 23.501; june-2018.
- [11] P. W. Baier, "CDMA or TDMA? CDMA for GSM?," in IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, The Hague, September 1994.
- [12] 3GPP TS 38.211, NR, Physical Channels and Modulation (Release 15), December 2018.
- [13]<http://www.techplayon.com/5g-nr-cell-search-and-synchronization-acquiring-system-information/>. May 2020
- [14] Benosman. Radia. Sidhoum. Amel. "Etudes et simulation des performances des systèmes MIMO en configurations STBC et V-BLAST". Diss. 2013.
- [15] NASRI Amel; BENFETIMA Amel. Study and Simulation of the Transmit Diversity Technique in LTE Systems. 2017.
- [16] Rozé, Antoine. Massive MIMO, une approche angulaire pour les futurs systèmes

multi-utilisateurs aux longueurs d'onde millimétriques. Diss. INSA de Rennes, 2016.

[17] P. Nagaraj, "Impact of atmospheric impairments on mmWave based outdoor communication," arXiv.org, 2018. [Online].

[18] Harald T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," Proceedings of the I.R.E. and Waves and Electrons, May 1946, pp 254–256

[19] <http://www.techplayon.com/5g-and-4g-comparison/>, may 2020

[20] Dahlman E, Parkvall S, Sköld J. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology **Elsevier** 2018.

[21] 3GPP, "Release 15, TR 21.915; septembre-2019.

[22] <http://www.dolphmicrowave.com/news/%E3%80%905g%E3%80%9015g-spectrum-range-of-3gpp-protocol/>, septembre 2020

[23] <http://www.techplayon.com/control-and-user-plane-separation-for-next-generation-epc-cups-architecture-3gpp-release-14/>, septembre 2020.

[24] <http://www.techplayon.com/5g-nr-cyclic-prefix-cp-design/>, septembre 2020.

[25] https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_FrameStructure.html, septembre 2020.

[26] Samir Ahmed. BEAMFORMING MANAGEMENT AND BEAM TRAINING IN 5G SYSTEM.

https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/118195/Ahmed_Samir.pdf?sequence=2&isAllowed=y, septembre 2020.

[27] BOUCHERIT Yassamine, MADANI Samir, LTE RAN Design and Optimisation, Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication, 2015.

[28] Wikipedia.

[29] <http://www.techplayon.com/5g-network-rf-planning-link-budget-basics/>, septembre 2020.

[30] <http://www.techplayon.com/5g-nr-physical-cell-id-pci-planning/>, septembre 2020.

[31] <http://www.techplayon.com/5g-nr-rach-preamble-types-long-and-short-preambles/>, septembre 2020.

[32] <http://www.techplayon.com/5g-nr-network-relationship-neighbor-planning/> , septembre 2020.