

Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

## Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : TELECOMMUNICATION

Spécialité : RESEAUX ET TELECOMMUNICATION

### Thème

**Mise en place d'un réseau 5G pour une meilleure  
couverture en zone urbaine**

Préparé par :

- IDRISSA BAKO Mahaman Arafat
- IBRAHIM OUMAROU SANDA Haboubacar

Dirigé par :

M. A. KHIREDDINE

Examiné par :

Mme.D. HAMZAOUI

M.H. BELLAHSENE

Année universitaire : 2023/2024

## **Dédicaces**

**Je dédie ce modeste travail :**

A ma très chère mère ;

A mon très cher père ;

A mes sœurs Walida, Farida et Rouwaida ;

A mes cousins et leurs familles ;

A tous mes amis ;

**Arafat**

## **Dédicaces**

**Je dédie ce modeste travail :**

A mes très chers parents ;

A ma très chère sœur Amina ;

A mes très chères sœurs Malika, Zouleihat et Adamou;

A mon neveu Abdallah ;

A toute la famille sans exception ;

A tous mes amis ;

**Haboubacar**

## REMERCIEMENT

*C'est avec humilité et gratitude que nous reconnaissons ce que nous devons : Nous commençons par remercier et rendre grâce à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail. Nos remerciements vont en particulier à Mr. A. KHIREDINE, notre promoteur, qui nous a dirigé et beaucoup aidé afin de mener à bien ce travail. Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail. Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici nos sincères reconnaissances.*

# Sommaire

Dédicaces .....	
Dédicaces .....	
<b>REMERCIEMENT</b> .....	
Sommaire .....	
Liste des abréviations.....	
Liste des tableaux .....	
Liste des figures .....	
Introduction générale.....	17
<b>Chapitre I : GENERALITES SUR LES RESEAUX CELLULAIRES</b> .....	<b>20</b>
<b>I.1. INTRODUCTION</b> .....	21
<b>I.2. EVOLUTION DES RESEAUX MOBILES</b> .....	21
<b>I.3.LES DIFFERENTES NORMES TELEPHONQUES</b> .....	22
<b>I.3.1.La première génération des téléphones mobiles (1G)</b> .....	22
<b>I.3.2.La deuxième génération des téléphones mobiles(2G)</b> .....	23
<b>I.3.3. La troisième génération des téléphones mobiles (3G)</b> .....	26
<b>I.3.4. La quatrième génération des téléphones mobiles (4G)</b> .....	30
<b>I.3.5.La cinquième génération des téléphones mobiles (5G)</b> .....	32
<b>I.4.CONCLUSION</b> .....	<b>38</b>
<b>Chapitre II : MODELE DE PROPAGATION</b> .....	<b>39</b>
<b>II.1. INTRODUCTION</b> .....	40
<b>II.2. MODELE DE PROPAGATION</b> .....	40
<b>II.2.1.modèle de propagation rf</b> .....	41
<b>II.2.2.propagation en espace libre</b> .....	41
<b>II.2.3.modèle cost-231 walfish-ikegami</b> .....	42
<b>II.2.5.Modèle Erceg Greenstein</b> .....	45
<b>II.3.Débit binaire</b> .....	45

II.4. Sensibilité du gNodeB récepteur .....	45
II.5. les marges de bruit .....	46
II.6. Le bilan de liaison de lien montant .....	47
II.7. Calcul de la couverture en lien descendant.....	48
II.8.Bilan de liaison descendante [dB] .....	49
II.9. Conclusion.....	49
<b>Chapitre III : MISE EN PLACE D’UN RESEAU 5G EN ZONE URBAINE.....</b>	<b>50</b>
III.1 : Introduction .....	51
III.2 Présentation générale du logiciel ATOLL.....	51
III.3 Zones géographiques .....	52
III.4 couverture de la zone.....	53
III.5 Méthode de réutilisation de fréquence.....	55
III.5.2Etude de Bilan de liaison .....	57
III.6.L’ équation du bilan de liaison .....	59
III.6. 1 Choix du modèle de propagation.....	60
III.7 Calcul du nombre de sites .....	61
III.7.1 Calcul de rayon de cellule .....	61
III.7.2 Carte de trafic .....	62
III.8 Positionnement des sites .....	63
III.8.1 Distance intersites .....	63
III.8.2 paramètres des secteurs et des cellules .....	66
III.9 Création d’un projet 5G en zone urbaine.....	67
III.9.1 Importation de la carte.....	68
III.9.2 Prédiction de couverture .....	68
III.10 Comparaison sans tenir compte des facteurs d’urbanisme .....	72
III.10.1 comparaison entre les moyennes et grandes villes dans le modèle d’okumura hata .....	72

<b>III.10.2 Comparaison en tenant compte des facteurs d'urbanisme.....</b>	<b>72</b>
<b>. III.11 conclusion .....</b>	<b>73</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>79</b>

## Liste des abréviations

Mots	Définition
<b>1G : 1ère Génération</b>	
<b>2G : 2ème Génération</b>	
<b>3G : 3ème Génération</b>	
<b>4G: 4ème Generation</b>	
<b>3GPP: 3rd GenerationPartnershipProject</b>	
<b>AAA: AuthenticationAuthorizationAccounting</b>	
<b>AAS: Adaptive AntennaSystems</b>	
<b>Ad-Hoc: version du WIFI permettant l'échange direct des informations entre stations</b>	
<b>AES: Advanced Encryption Standard</b>	
<b>AGW (Access Gateway): entité physique du réseau UMB.</b>	
<b>AMPS: Advanced Mobile Phone System</b>	
<b>AMS: Adaptive Modulation Schemes</b>	
<b>ASN: Access Service Network</b>	
<b>ASN-GW: Access Service Network-Gateway</b>	
<b>AT (Access Terminal): terminal d'accès dans le réseau UMB.</b>	
<b>ATM (AsynchronousTransfer Mode): protocole réseau à Commutation de cellules.</b>	
<b>AUC AUthenticationCenter</b>	
<b>BS : Base Station</b>	
<b>BE: Best Effort</b>	



**BSC: Base Station Controller**

**BG : Border Gateway**

**BTS: Base Transceiver Station**

**CDMA: Code Division Multiple Access**

**CSN: Connectivity Service Network CDMA 2000**

**DVB-S (Digital Video Broadcasting over Satellite): norme de diffusion vidéo par satellite sur la voie allée.**

**EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution**

**EIR: Equipment Identity Register**

**EPS :Evolved Packet System**

**eUTRAN: evolved UTRAN**

**EPDG: Evolved Packet Data Gateway**

**EV-DO :Evolution-Data Optimized**

**ETSI :European Telecommunications Standards Institute eN evolved Node B**

**FDD :Frequency Division Duplexing**

**FDMA :Frequency Division Multiple Access**

**GSM: Global System for Mobile Communication**

**GPRS :General Packet Radio Service**

**GGSN: Gateway GPRS Support Node**

**GMSC : Gateway MSC**

**GPC (Grant per Connection): classe des stations abonnées dans le WiMAX.**

**GPSS (Grant per SS): classe des stations abonnées dans le WiMAX.**

**HSDPA :High Speed Downlink Packet Access**

**HSUPA: High-Speed Uplink Packet Access**

**HLR :Home Location Register**

**HSS :Home Subscriber Server**

**HA (Home Agent): routeur localisé dans le réseau d'attachement d'une station.**

**HSPA: High Speed Packet Access**

**IS-95 :Interim Standard-95**

**IS-136: Interim Standard-136**

**IP :Internet Protocol**

**IMS :Internet Protocol MultimediaSubsystem**

**IEEE 802.16 : version améliorée du WiMAX fixe et mobile.**

**IMT,-Advanced International Mobile Telecommunications – Advanced**

**LTE , Long TermEvolution**

**LDPC (Low Density Parity Check): technique de codage.**

**LAN: Local Area Network**

**MAC :Medium Access Control**

**MIMO :Multiple Input Multiple Output**

**MSC :Mobile service Switching Center**

**MC-CDMA : Multi-Carriers Code Division Multiple Access.**

**MS (Mobile Station): station mobile.**

**MIP (Mobile IP): protocole de Handover en Macro mobilité.**

**MME (MobilityManagement Entity): entité physique du réseau LTE.**

**MAN :Metropolitan Area Networks**

**MMS :Multimedia Message Service**

**NAP (Network Access Provider): fournisseur de l'accès radio WiMAX.**

**NSP (Network Service Provider): fournisseur d'accès IP au WiMAX.**

**NMT: Nordic Mobile Telephone**

**NrtPS :non real-time Polling Service**

**NMC :Network and Management Centre**

**OFDMA (Orthogonal FrequencyDivision Multiple Access): méthode d'accès à la couche physique.**

**OMC : Operations and Maintenance Center**

**OSI (Open SystemsInterconnection): modèle de communication entre ordinateurs proposé par l'ISO.**

**PCRF (Policy &ChagingRulesFunction): entité physique du réseau LTE.**

**PDSN (PacketData ServingNode): entité physique du réseau EV-DO.**

**PDN (PacketData Network): réseaux basés sur la commutation de paquets.**

**PDN-GW: Packet Data Network Gateway**

**PCU :Packet Control Unit**

**PDP :Packet Data Protocol**

**PLMN :Public Land Mobile Network**

**QoS (Quality of Service): qualité de service.**

**QAM Quadrature Amplitude Modulation): méthode de modulation.**

**QPSK (Quadrature phase-shift keying): méthode de modulation.**

**RNC : Radio Network Controller**

**RRC :Radio Resource Control**

**RRM :Radio Ressource Management**

**RNS: Radio Network Subsystem**

**rtPS :real-time Polling Service**

**RTC : RéseauTéléphoniqueCommuté**

**SAE (System Architecture Evolution): réseau coeur de l'EPS et LTE.**

**SDMA (SpaceDivision Multiple Access): technologie d'antennes avancée.**

**SRNC (Session Reference Network Controller): entité physique du réseau**

**UMB.**

**SS (Security Sublayer): 3ème sous couche MAC du WiMAX**

**SGW :Serving Gateway**

**SGSN: Serving GPRS Support Node**

**S-GW :Serving Gateway**

**SMS: Short Message Service**

**SNR :Signal to Noise Ratio**

**SIM :Subscriber Identity Module**

**SMSC : Short Message Service Center**

**TDD (Time Division Duplex): technique de multiplexage.**

**TDMA: Time Division Multiple Access**

**TACS: Total Access Communication System**

**TMN: Telecommunications Management Network**

**TDM :Time Division Mutiplexing**

**UIT (International TelecommunicationUnion)**

**UMB :Ultra Mobile Broadband**

**UMTS : (UniversalMobile TelecommunicationsSystem)**

**UGS (UndolictedGrant Service): classe de service dans le WiMAX pour des flux temps-réel de paquets de taille fixe.**

**UWB (Ultra Wide Band, IEEE 802.15.3): technologie de communication radio de courte portée**

**VLR : Visitor Location Register**

**VoIP :Voice over IP**

**WIFI :Wireless Fidelity**

**WiMAX :Worldwide Interoperability for Microwave Access.**

**IEEE802.16 :technologie de communication radio de 3ème génération**

**WLAN (Wireless Local Area Network): réseau local sans fil.**

**WMAN (Wireless Wide Area Network): réseauétendu sans fil.**

**WAN :Wide Area Network**

## Liste des tableaux

<b>Tableau 3.1.</b> Paramètres des différents sites.....	64
<b>Tableau 3.2.</b> Les paramètres des secteurs et des cellules.....	67
<b>Tableau 3.3.</b> Valeurs des paramètres utilisés pour la prédiction.....	69

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : évolution des générations réseaux mobile.....	22
<b>Figure 1.2.</b> Architecture du réseau GSM.....	24
<b>Figure 1.3.</b> Architecture du réseau GPRS.....	25
<b>Figure 1.4.</b> Architecture d'EDGE.....	26
<b>Figure 1.5.</b> Architecture de réseau UMTS.....	26
<b>Figure I.6.</b> Les différentes cellules d'un terminal.....	29
<b>Figure I.7.</b> Les différentes technologies d'accès sans fil pour l'utilisateur 4G.....	30
<b>Figure 1.8</b> : Architecture de la 5G.....	33
<b>Figure 1.9</b> : la gamme des fréquences utilisées par la 5G.....	34
<b>Figure 1.10.</b> : Illustration du duplexage temporel.....	35
<b>Figure 1.11</b> -Différence OFDMA et SC-FDMA.....	36
<b>Figure .12</b> :forme des cellule.....	37
<b>Figure 2.1</b> – Evaluation de l'affaiblissement de parcours.....	40
<b>Figure 2.2</b> -Propagation RF.....	41
<b>Figure 2.3</b> -Propagation en espace libre.....	42
<b>Figure 2.4</b> -Modèle de propagation COS-231 Walfish-Ikegami.....	43
<b>Figure 2.5</b> -Propagation Okumura-hata.....	43
<b>Figure 3.1</b> - logiciel ATOLL.....	52
<i>Figure 3.2: Carte de la ville de Bejaia</i> .....	52
<b>Figure. 3.3</b> : Calcul de couverture.de la zone.....	54
<b>Figure 3.4</b> : division géographique d'une ville.....	55

<b>Figure 3.5</b> : Formation des clusters et réutilisation des fréquences dans les réseaux cellulaires.....	55
<b>Figure 3.6</b> : Types d'Interférences.....	56
<b>Figure 3.7</b> -Le modèle de propagation Okumura-Hata.....	58
<b>Figure 3.8</b> : OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) .....	58
<b>Figure 3.9</b> : Différents types de cellules.....	59
<b>Figure 3.10</b> : Carte de trafic. ....	62
<b>Figure 3.11</b> : Distribution des sites sur la ville de bejaia.....	63
<b>Figure 3.12</b> -Zone couverte par une antenne tiltée à 10° (a), à 6° (b), et la superposition des deux couvertures (c).....	65
<b>Figure 3.13</b> : une cellule tri-sectorisée.....	65
<b>Figure 3.14</b> : Modèle de l'architecture d'une cellule .....	66
<b>Figure. 3.15</b> : Interface présentant un nouveau projet 5G.....	68
<b>Figure. 3.16</b> : panorama de la ville de Bejaia.....	68
<b>Figure 3.17</b> -Zone de prédiction.....	69
<b>Figure 3.18</b> - prédiction de la couverture par le niveau de signal.....	71
<b>Figure 3.19</b> :Modèle d'OKUMURA HATA, (niveau de variation de l'affaiblissement ) .....	72
<b>3.20</b> : Influence de l'orientation de la rue dans le modèle d'IKEGAMI.....	73



# **Introduction générale**

## *Introduction générale*

---

---

Le succès des technologies sans fil et des communications mobiles a déterminé l'existence d'une variété de standards qui permettent aux utilisateurs d'avoir accès à l'Internet. Chaque technologie cherche à atteindre un certain type de client avec des besoins spécifiques.

L'avantage d'avoir une telle diversité est que l'utilisateur a plusieurs choix du point de vue d'accès Internet, de la bande passante et de la couverture. Dans ces conditions, l'expansion des services qui reposent sur tous ces réseaux pose des problèmes d'interconnexion et de gestion de la mobilité en général.

L'évolution rapide des technologies de communication a conduit à l'émergence de la 5G, une norme révolutionnaire offrant des débits ultra-rapides, une latence minimale et une connectivité fiable.

Dans un environnement urbain en constante expansion, la demande croissante en services haut débit et en connectivité mobile nécessite une infrastructure de réseau avancée pour répondre aux besoins des utilisateurs et des entreprises.

Les zones urbaines sont caractérisées par une densité de population élevée, une mobilité constante des utilisateurs et une diversité d'applications exigeant des performances réseaux optimales.

La proposition de mise en place d'un réseau mobile 5G permettra de relever ces défis en offrant une couverture étendue, une capacité accrue et des services adaptés aux besoins variés des utilisateurs urbains.

Malgré ses nombreux avantages, le déploiement de la 5G en milieu urbain pose des défis logistiques et techniques, notamment en termes de densification du réseau, de gestion des interférences et de sécurité des données.

Des solutions telles que l'utilisation de petites cellules et les technologies de sécurité avancées sont essentielles pour garantir un déploiement efficace et sécurisé de la 5G en milieu urbain. Le projet d'un réseau mobile 5G que nous proposons, en zone urbaine, ouvre la voie à une connectivité avancée.

C'est dans cette optique que notre travail sera focalisé, avec le déploiement des réseaux mobiles actuels et leur besoin d'aboutir à un réseau de meilleures qualités et capacité avec le moindre coût.

## ***Introduction générale***

---

---

Aussi, l'essentiel de ce travail a pour but d'identifier et de proposer, des processus et des modèles de propagation nécessaires à la mise en place d'un projet 5G, en se focalisant sur la couverture maximale d'une zone urbaine à forte densité de population

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente les généralités sur les réseaux cellulaires existants, ainsi que les notions de base de cette technologie cellulaire.

Les différentes normes (générations) de téléphonie mobile, on commencera tout d'abord par l'ancienne génération très connu et très répandu dans le monde la 2G (GSM), la 2.5G (GPRS) le réseau issu du réseau GSM, et Les réseaux 3G (UMTS),4G(LTE), et la 5G.

. Le second chapitre sera consacré à la présentation des différents modèles de propagation.

. Le troisième chapitre concerne une proposition de mise en place d'un projet ' réseaux 5G' en zone urbaine, en se basant sur les données de la zone à couvrir et les modèles de propagation, basés sur une étude de prédiction en vue de le concrétiser .

. On terminera par une conclusion générale, des perspectives et des références.

# **Chapitre I : GENERALITES SUR LES RESEAUX CELLULAIRES**

### **I.1. INTRODUCTION**

Au fil des années, l'évolution des réseaux mobiles a connu une croissance continue, donnant naissance à différentes générations telles que la 1G, 2G, 3G, 4G et 5G. Ces avancées ont été marquées par un développement remarquable, offrant des débits en constante amélioration, une bande passante de plus en plus étendue. L'un des bénéfices majeurs de cette expansion de la bande passante est sa capacité à accueillir un nombre croissant d'utilisateurs de manière efficace.

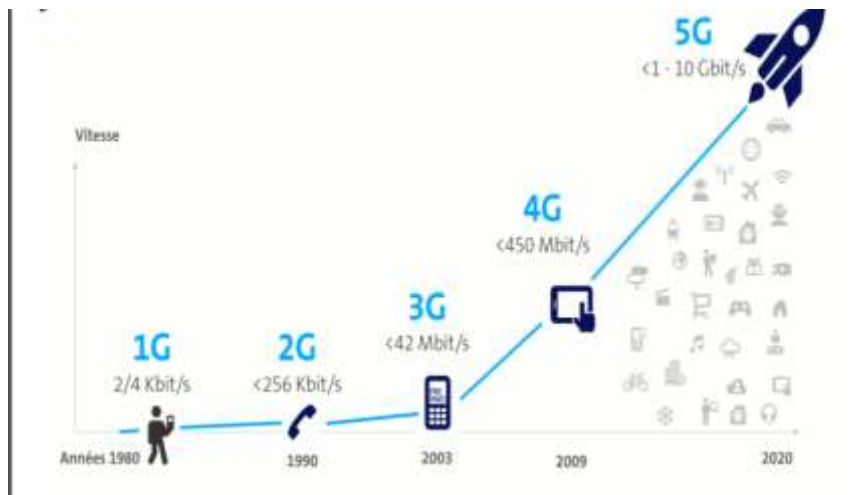
### **I.2. EVOLUTION DES RESEAUX MOBILES**

La prochaine avancée dans la technologie des réseaux mobiles sera baptisée la « 5G ». Comme son appellation l'indique, elle succède aux générations antérieures de la téléphonie mobile. La première génération de téléphones mobiles, connue sous le nom de « 1G » ou « téléphones de voiture », a vu le jour vers 1980. Ces premiers téléphones, introduits sur le marché par Motorola, fonctionnaient comme des radios utilisant des fréquences analogiques.

Dans les années 1990, les téléphones de deuxième génération (« 2G ») ont été développés, marquant une transition vers les réseaux numériques. Les débits de données pour ces téléphones étaient initialement inférieurs à 1000 bits par seconde (bps), mais des améliorations significatives ont été apportées vers l'an 2000 avec l'émergence du « 2,5G ».

Peu après, la troisième génération (« 3G ») est apparue, offrant des débits de données atteignant 100000 bps.

Cette avancée a permis la transmission d'appels vidéo limités et la fourniture de connexions Internet à des vitesses raisonnables. Des améliorations ultérieures ont été introduites avec le codage numérique de la communication (« 3.5G » vers 2009 ; «3.9G » en 2012). En 2015, avec l'avènement de la génération suivante (connue sous le nom de « 4G »), des vitesses de transmission dix fois supérieures sont devenues possibles [1].



**Figure 1.1** : évolution des générations réseaux mobile

### **I.3.LES DIFFERENTES NORMES TELEPHONIQUES**

Afin de comprendre pleinement la technologie actuelle, il est essentiel de retracer l'évolution des techniques utilisées. Cette démarche nous permettra de concrétiser nos avancées et de mieux appréhender notre positionnement actuel dans ce domaine en constante évolution.

#### **I .3.1.LA PREMIERE GENERATION DES TELEPHONES MOBILES (1G)**

Les premiers systèmes cellulaires de la génération 1G étaient basés sur des communications mobiles analogiques. Cette ère a été marquée par deux avancées technologiques majeures des années 1970 : l'introduction du microprocesseur et le développement du transport numérique des données entre les téléphones mobiles et les stations de base. Les appareils utilisés à cette époque étaient notoirement encombrants.

La première génération de systèmes cellulaires 1G se basait principalement sur les normes suivantes :

- AMPS (Advanced Mobile Phone System), déployé aux États-Unis, était un réseau analogique utilisant la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).
- NMT (Nordic Mobile Telephone) était principalement développé dans les pays nordiques et utilisé dans d'autres régions du monde.
- TACS (Total Access Communications System), basé sur la technologie AMPS, était largement adopté au Royaume-Uni.

Cette première génération de réseaux cellulaires, qui fonctionnait avec une technologie analogique, a été remplacée dès l'avènement d'une deuxième génération plus performante exploitant une technologie numérique [2].

### **I.3.2.LA DEUXIEME GENERATION DES TELEPHONES MOBILES**

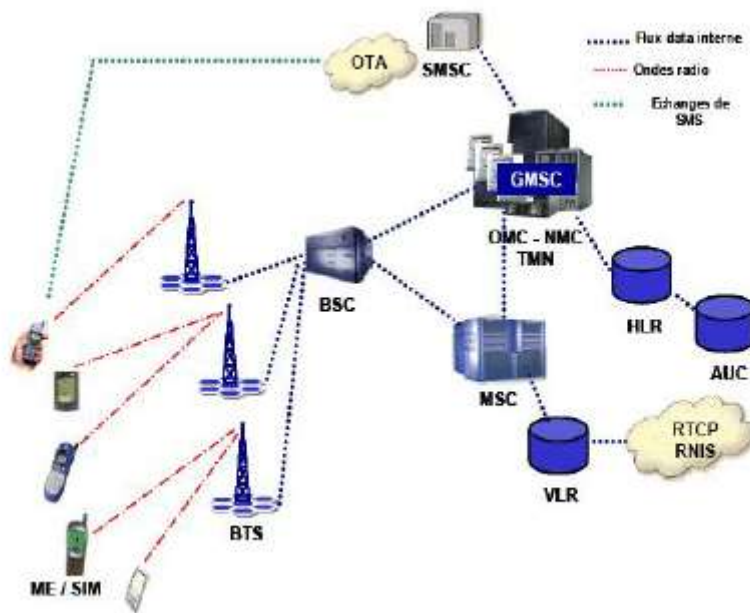
La technologie numérique a été introduite dans la deuxième génération (2G) des systèmes cellulaires à la fin des années 1980. Ces systèmes utilisent le numérique à la fois pour la transmission et la voix, offrant ainsi une qualité améliorée et une capacité accrue à un coût plus abordable pour les utilisateurs. Les normes principales de la deuxième génération de systèmes cellulaires (2G) incluent :

- GSM (2G)
- GPRS (2.5G), un système mobile intermédiaire entre le 2G et le 3G avec des débits inférieurs à 100 kbit/s
- EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution, 2.75G)

#### **I.3.2.1. LE RESEAU GSM**

Le GSM (Global System for Mobile Communication) est un système cellulaire de télécommunication radio-mobile numérique. Les premiers réseaux ont été déployés en GSM 900, et deux ans plus tard, la norme s'est étendue au DCS 1800 (Digital Communication System). L'architecture du réseau GSM est illustrée dans la figure I.2.

Un réseau de radiotéléphonie a pour principale fonction de faciliter les communications entre les abonnés mobiles et les abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC). Il interagit avec le RTC et intègre des commutateurs. Sa caractéristique distinctive réside dans son accès spécifique via la liaison radio. En tant que tout réseau, il doit fournir à l'opérateur des facilités pour l'exploitation et la maintenance.



**Figure 1.2.** Architecture du réseau GSM [3].

### **I.3.2.1.1. Les équipements d'un réseau GSM**

- a) Station de base (BTS-Base Transceiver Station) : Assure la réception les appels entrant et sortant des équipements mobiles.
- b) Le contrôleur de base (BSC-Base Station Controller) : Assure le contrôle des stations de bases.
- c) Commutateurs de service mobile (MSC-Mobile Switching Center) : Assure la commutation dans le réseau
- d) Registre des abonnés locaux (HLR-Home Location Register) : Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des abonnés.
- e) Centre d'authenticité (AuC-Authentication Center) : Assure l'authentification des terminaux du réseau
- f) Registre des abonnés visiteurs (VLR-Visitor Location Register) : Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau.

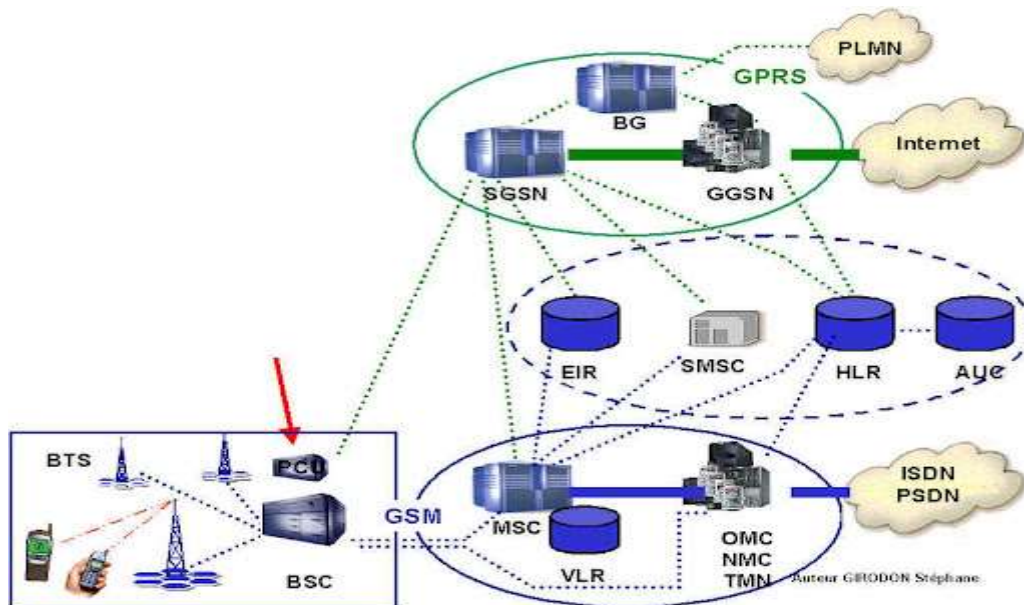
### **I.3.2.2. Le réseau GPRS (2.5)**

Le GPRS (General Packet Radio Service) représente une évolution des réseaux GSM vers les systèmes de troisième génération. En termes de services et de débits, il se rapproche des spécifications de l'IMT 2000. Un réseau GPRS est essentiellement un réseau IP, composé de



routeurs IP. Le réseau GPRS ajoute divers "modules" au réseau GSM sans altérer l'infrastructure existante. Ainsi, tous les modules de l'architecture GSM sont conservés [3].

L'illustration de la figure I.3 présente la structure de l'infrastructure du réseau GPRS



**Figure 1.3.** Architecture du réseau GPRS [3].

### **I.3.2.3. Le réseau EDGE (2.75)**

Avec le GPRS, le système GSM permet un accès au monde de l'internet et ouvre la porte aux applications multimédias par l'utilisation de la commutation de paquets et l'augmentation du débit. Cependant, les débits restent limités à environ 50kbits/s dans la pratique, du fait de la modulation binaire (GMSK) véhiculant environ 1bit/symbole. Le standard EDGE est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation.

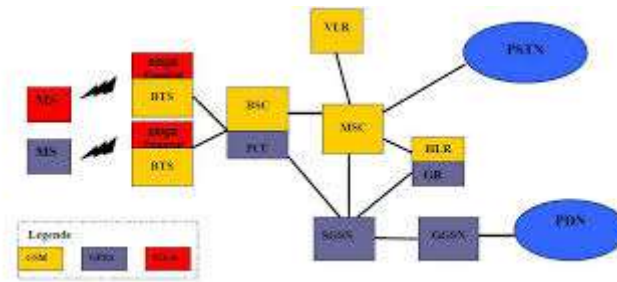


Figure 1.4. Architecture d'EDGE [4].

Le déploiement de L'EDGE nécessite :

- . La mise à jour du BSC et de la BTS.
- . L'ajout d'un émetteur-récepteur (EDGE Transceiver) au niveau de la BTS, capable de supporter la modulation 8-PSK.

### I.3.3. La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS)

Le réseau UMTS s'intègre harmonieusement aux infrastructures préexistantes GSM et GPRS, enrichissant ainsi les capacités de voix et de données de ces derniers. L'objectif principal de la technologie 3G est de fusionner tous les réseaux de deuxième génération à l'échelle mondiale en un seul réseau unifié, doté de capacités multimédia avancées et offrant un haut débit pour les transferts de données.

#### I.3.3.1. Infrastructure du réseau UMTS

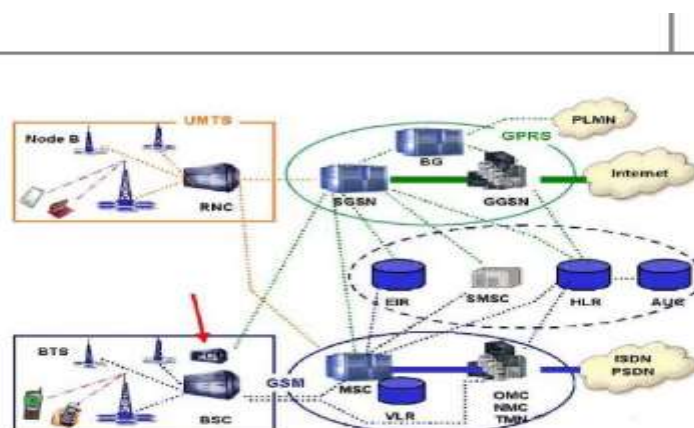


Figure 1.5. Architecture de réseau UMTS [3].

### **I.3.3.2. Présentation de l'infrastructure du réseau UMTS**

#### **a) Nœud B :**

- . Nom donné dans les spécifications techniques à une station de base
- . Effectue les procédures de la couche physique : modulation RF, étalement de spectre, contrôle de puissance en boucle interne, adaptation de débit, combining (suivant le principe du RAKE). Supporte les modes UTRA/FDD et ou UTRA/TDD

#### **b) Radio Network Controller (RNC)**

Contrôleur des stations de base. Il contrôle l'utilisation et l'intégrité des ressources radio : c'est le « cerveau » dans le RNS :

- . Gère les ressources radio : admission, charge, congestion, séquençage dans la transmission de paquets
- . Gestion de la mobilité (handover)
- . Point d'accès pour le mobile vers le réseau cœur
- . Allocation des codes d'étalement
- . Contrôle de puissance « hors boucle »

#### **I.3.3.1.2. Les équipements d'un réseau UMTS**

La mise en place du réseau UMTS implique la mise en place de nouveaux éléments sur le réseau.

#### **a) Le « Node B »**

Le Node B se compose d'un regroupement de stations de base (BS) et de contrôleurs de site qui ont la responsabilité supplémentaire de superviser la macro-diversité, où un mobile peut être connecté à plusieurs nodes B.

Chaque station de base est en charge d'une cellule spécifique. Ainsi, plusieurs cellules peuvent être associées à un même Node B, cependant chaque cellule ne prend en charge qu'un seul mode de duplexage : FDD (Frequency Division Duplex) ou TDD (Time Division Duplex).

Les "Nodes B" sont responsables de la gestion de la couche physique de l'interface radio, incluant le codage du canal, l'entrelacement, l'ajustement du débit et l'étalement.

**b) Le RNC**

Le RNC agit en tant que superviseur du Node B et joue un rôle similaire au BSC dans le réseau GSM. Sa fonction principale est de contrôler et de superviser les ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Resource Control) pour réguler les procédures et les communications entre les appareils mobiles (via les Nodes B) et le réseau. Il est directement connecté à un Node B, assumant ainsi la gestion directe de cette liaison, il gère alors :

- . Le contrôle de charge et de congestion (saturation) des différents Node B
- . Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio (entrée d'un mobile dans la zone de cellules gérées ...)

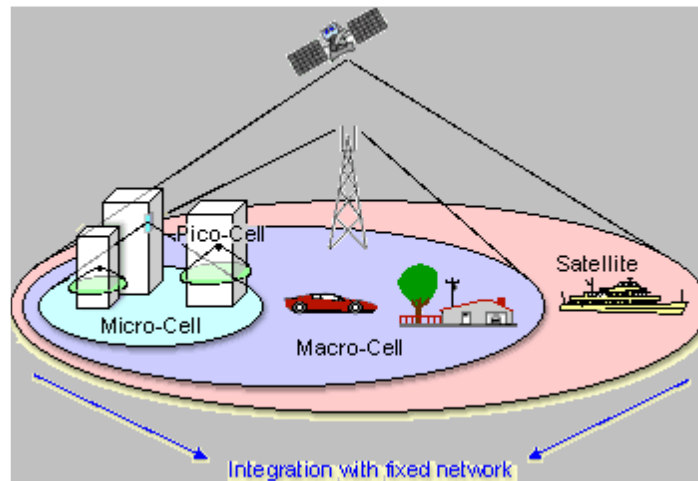
**c) La carte USIM**

La sécurité et la confidentialité des communications sont garanties par la carte USIM, qui utilise des algorithmes avancés de cryptage à clé publique. Les cartes 3G USIM offrent diverses fonctionnalités, notamment des clés de cryptage plus longues et la protection des données d'identité et du terminal de l'abonné, entre autres.

**d) Le mobile**

La convergence des technologies informatiques et de télécommunications entraîne l'intégration de systèmes d'exploitation et d'applications sur les terminaux UMTS. Ces terminaux doivent être adaptables à divers environnements de réseau, notamment les zones rurales (pico-cellule), les bâtiments (microcellule), les espaces urbains (macro-cellule) et même les connexions par satellite.

Ce qui est présenté comme suit :



**Figure I.6.** Les différentes cellules d'un terminal UMTS.

Le débit dépend de la vitesse de l'utilisateur supportée par une cellule particulière :

Macro-cellule, 144 kbps, pour 500 km/h,

Microcellule, 384 kbps, pour 120 km/h,

Pico-cellule, 2 Mbps, pour 10 km/h.

### **I.3.3.3. Le mode de transmission dans le réseau UMTS**

Le réseau cœur de l'UMTS est divisé en deux sections distinctes : d'abord le mode circuit, puis mode paquet.

#### **a) Le mode circuit**

Le mode circuit est conçu pour gérer les services en temps réel dédiés aux conversations téléphoniques, tels que la vidéo-téléphonie, les jeux vidéo et les applications multimédia, qui requièrent des transferts rapides.

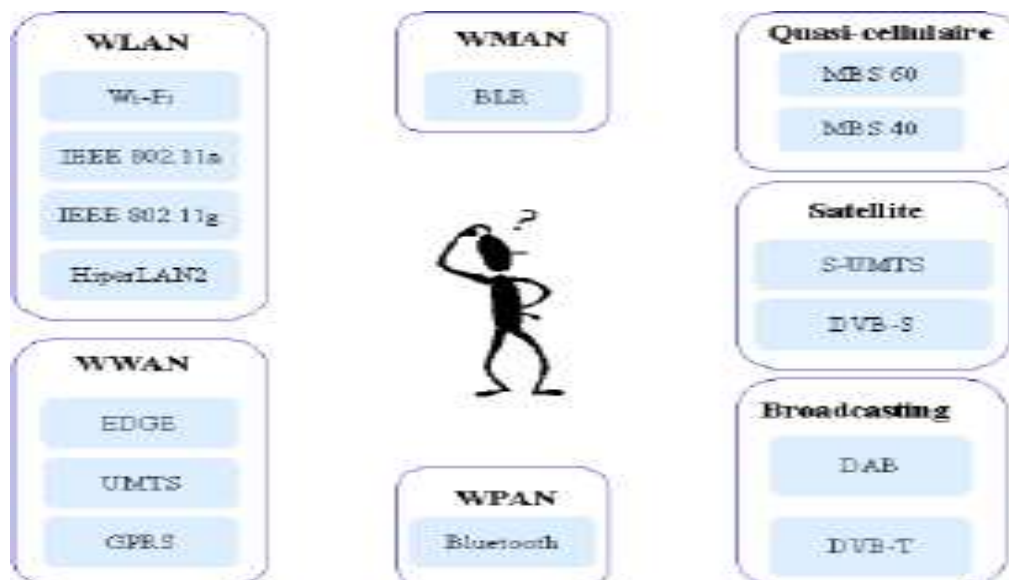
#### **b) Le mode paquet**

Le mode paquet est spécifiquement conçu pour gérer des services non temps réel, tels que la navigation sur Internet et l'accès/utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps, c'est pourquoi les données seront transmises en mode paquet.

### **I.3.4. La quatrième génération des téléphones mobiles 4G**

La définition de la 4G a évolué avec une nouvelle vague d'efforts de commercialisation des données mobiles, plaçant ainsi le terme sous les projecteurs pour se distinguer des autres marques. L'Union internationale des télécommunications (UIT), qui supervise le développement de la plupart des normes de données cellulaires, a récemment clarifié que le terme 4G n'est pas défini. En réaction, les opérateurs mobiles dotés d'architectures 3G avancées ont commencé à commercialiser des services estampillés "4G" [W1].

Les différentes technologies sans fil sont représentées, dans la figure suivante :



**Figure I.7.** Les différentes technologies d'accès sans fil pour l'utilisateur 4G [6].

#### **I.3.4.1. L'objectif de la 4G**

La quatrième génération a pour objectif d'améliorer l'efficacité spectrale et d'accroître la capacité de gestion des utilisateurs dans une même cellule. Son but est également de fournir des débits élevés en situation de mobilité, d'assurer une mobilité fluide à l'utilisateur en assurant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes.

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4ème génération sont les suivants :

- a) Assurer la continuité de la session en cours.

- b) Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- c) Fournir une meilleure qualité de service.
- d) Optimiser l'utilisation des ressources.
- e) Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- f) Minimiser le cout de signalisation.

#### **I.3.4.2. Caractéristiques des systèmes sans fil 4G**

Voici quelques fonctionnalités possibles des systèmes 4G :

- a) Prise en charge multimédia interactives, voix, vidéo, Internet sans fil et autres services large bande.
- b) Haute vitesse, haute capacité et à faible coût par bit.
- c) La mobilité mondiale, la portabilité des services, réseaux mobiles évolutifs.
- d) De commutation transparente, la variété de services basés sur la qualité de service (QoS).
- e) Une meilleure planification et des techniques de contrôle d'admission d'appel.
- f) Les réseaux ad-hoc et réseaux multi-sauts.

#### **I.3.4.3. Qualité de Service (QoS)**

Les réseaux 4G sont prévus pour offrir des services en temps réel et sur Internet. Ces services en temps réel peuvent être catégorisés en deux types :

- a) Charge garantie : Ex voix
- b) Mieux-à-best effort : Ils concernent :
  - Prédictive : Service doit limite supérieure de bout en bout retard.
  - Retard contrôlée : le service pourrait permettre retard dynamiquement variable.
  - Charge contrôlée : Service a besoin de ressources (bande passante et le traitement des paquets).

### **I.3.5.LA CINQUIEME GENERATION DES TELEPHONES MOBILES 5G**

La 5G, abréviation de la cinquième génération de technologie mobile, représente une avancée majeure qui révolutionnera notre perception traditionnelle des Smartphones. Dotée de fonctionnalités hautement avancées, elle est conçue pour résoudre de nombreux défis de notre vie moderne, notamment ceux liés à l'utilisation des technologies actuelles [7].

#### **I.3.5.1. Objectif de la 5G**

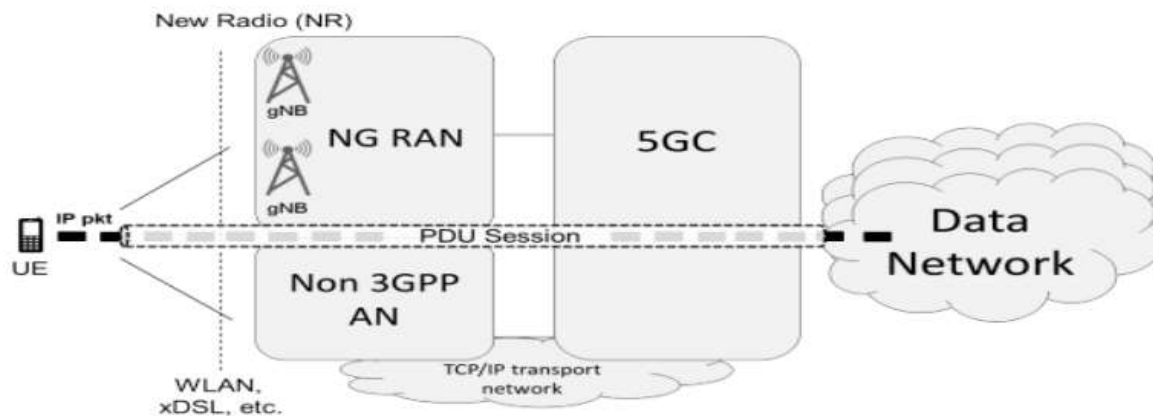
Cette technologie englobera un réseau d'accès radio et un cœur de réseau convergent intégrant à la fois l'accès fixe et l'accès mobile. Son objectif principal est d'améliorer les débits et la capacité des réseaux, tout en se préparant à l'avènement de l'Internet des objets. Parmi les principaux objectifs :

- Moins de BTS : le nombre de terminaux pouvant être connectés par antenne devra être 100 fois supérieur, mais le nombre d'antennes dépend surtout des fréquences utilisées.
- Les meilleurs débits (1 Gb par seconde).
- Un temps de « latence » plus court donne l'impression que le réseau est très réactif.
- Moins de consommation de batteries [8].

#### **I.3.5.2. Architecture de la 5G**

Un réseau 5G se compose d'un réseau d'accès 5G (AN) et d'un réseau cœur 5G. Le réseau d'accès comprend la nouvelle génération de réseau d'accès radio (NGRAN), utilisant la nouvelle interface radio 5G (NR), ainsi qu'un AN non 3GPP connecté au réseau cœur 5G. Ces entités réseau sont interconnectées via un réseau de transport TCP/IP sous-jacent, garantissant la prise en charge des niveaux de service QoS.





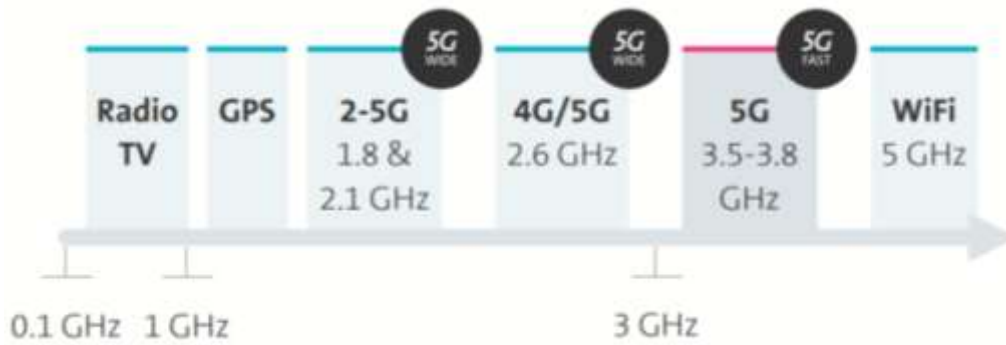
• **Figure 1.8** : Architecture de la 5G [9]

Comme le montre la figure (I.8) le réseau 5G connecte l'équipement d'utilisateur (UE) à des réseaux de données externes. La session PDU représente le service de connectivité 5G, elle constitue par une séquence de tunnels NG dans le 5GC plus un ou plusieurs porteurs radios sur l'interface radio. Cet ensemble de "tubes" relie finement le UE à ses fonctions de contrôle ainsi que le réseau de données externe pour l'échange de trafic d'utilisateur [9].

### **I.3.5.3. Les fréquences de la 5G**

La 5G a besoin de fréquences dans trois bandes de fréquences clés pour proposer une couverture large et permettre tous les cas d'utilisation. Ces trois bandes de fréquences sont : En-dessous de 1 GHz, 1 à 6 GHz et au-dessus de 6 GHz :

- Les fréquences en-dessous de 1 GHz : permettront une couverture large dans les zones urbaines, périurbaines et rurales, et la mise en place de services d'Internet des Objets (IoT).
- Les fréquences de 1 à 6 GHz : proposent un bon compromis entre la couverture et la capacité. Ceci inclut les fréquences dans la plage 3,3-3,8 GHz qui sont visées pour accueillir nombre des premiers services 5G.
- Les fréquences au-dessus de 6 GHz : sont nécessaires pour atteindre les grandes vitesses très hautes débit envisagées pour la 5G. Actuellement les bandes 26 GHz et/ou 28 GHz obtiennent le plus de soutien international dans cette plage de fréquences [10].



**Figure 1.9** : la gamme des fréquences utilisées par la 5G

#### **I.3.5.4. Le débit de la 5G**

Le débit théorique des réseaux 5G est de 1 Tbit/s par km<sup>2</sup>, avec un débit assuré pour l'utilisateur de 100 Mbit/s, soit de 10 à 100 fois plus rapide que la 4G. La 5G réduit les temps de latence à 1 ms, offrant mille fois plus de bande passante par unité de surface par rapport à la 4G LTE, et jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface. Ces améliorations permettront de nouvelles fonctionnalités et favoriseront le développement de l'IOT critique. [W2]

#### **I.3.5.5 Les avantages de la 5G**

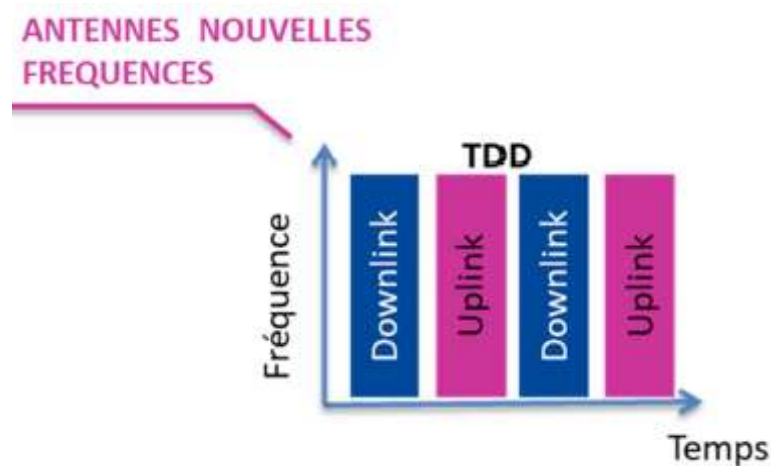
Les avantages de la 5G sont nombreux, permis eux :

- Grande capacité de bande passante (jusqu'à un 10 gigabits par seconde).
- Faible latence (moins de 5 millisecondes).
- L'avenir de l'internet des objets pourrait : nécessiter un réseau mobile pouvant assurer à la fois le transit de quantités massives de données, dans des délais parfois très courts (relations entre voiture connectées pour prévenir les accidents ; vidéo de haute définition ; nécessite de très hauts débits).
- La 5G est en mesure grâce à sa faible consommation énergétique, de concurrencer directement les réseaux bas débits.
- Avoir un meilleur rapport signal sur bruit [11] .

#### **I.3.5.6. Les techniques utilisées dans la 5G**

### **I.3.5.6.1. Duplexage**

En 5G, les nouvelles bandes de fréquences ouvertes adoptent un duplexage temporel appelé TDD (Time Division Duplexing) pour optimiser l'utilisation de tout le spectre disponible dans le sens descendant. Ce mode de transmission unidirectionnel alterne les flux de données. Ainsi, les antennes relais et les terminaux partageront la même bande de fréquences, mais la direction de transmission variera au fil du temps [12] .



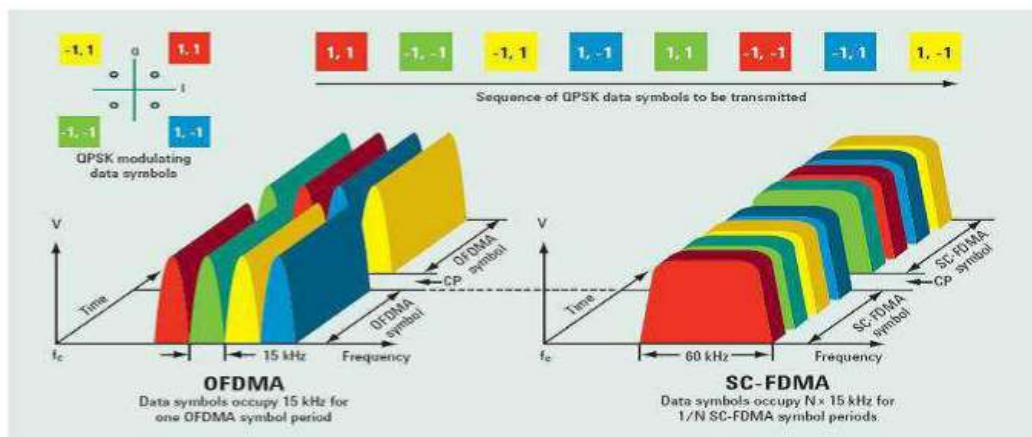
**Figure 1.10. :** Illustration du duplexage temporel (TDD)

### **I.3.5.6.2. Modulation**

La 5G exploite l'OFDMA (Accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence) comme la 4G, mais avec une plus grande flexibilité dans la gestion du temps et de la fréquence pour répondre aux besoins divers des utilisateurs.

L'OFDMA est la technologie d'accès multiple par rapport à l'OFDM, qui est utilisé dans la liaison descendante LTE. C'est essentiellement la combinaison de TDMA et FDMA.

Pour la voie montante, on utilise un dérivé appelé SC-FDMA. En OFDMA ; les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse, alors qu'en SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées (fig.1.11) [12].



**Figure 1.11 -Différence OFDMA et SC-FDMA [12].**

### **I.3.5.6.3. La cellule**

Une cellule se constitue d'une station de base qui établit une connexion radio avec les utilisateurs (terminaux mobiles). Les cellules sont généralement

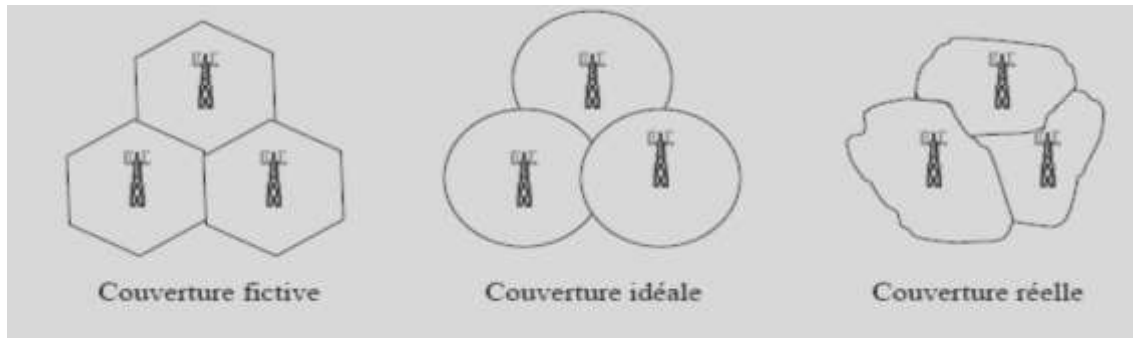
Représentées sous forme d'hexagones, ce choix hexagonal permet une couverture maximale de l'espace avec un minimum de stations de base, tout en réduisant au minimum les interférences entre cellules [13].

Pour couvrir une zone vaste et avoir une grande capacité, on introduit le concept cellulaire. Un réseau cellulaire est formé de plusieurs cellules dont la taille dépend de la puissance d'émission des émetteurs. Ce concept résout le problème d'augmentation de trafic au cours de temps. Le but principal de concept cellulaire est de :

- Affecter une bande de fréquence à chacune des cellules,
- Partager une zone géographique en un certain nombre de sous- zones appelées cellule,
- Réutiliser chaque bande de fréquences de trafic suffisamment éloigné. Cet éloignement se calcule en fonction du diamètre de chaque cellule.

**. Modelés de Cellules**

Dans un système cellulaire, la zone à couvrir est découpée en petites sous zones appelées « cellule ». La forme hexagonale des cellules de point de vue théorique, permet de simplifier le processus de planification d'un réseau cellulaire. En pratique, cette forme est imaginaire, vu les conditions de propagation des ondes radios dans l'environnement mobile. La figure représente la forme des cellules :



**Figure .12 :** forme des cellules

**Macro-cellules :**

Ces cellules, sont déployées tant dans les zones urbaines que rurales. La portée des cellules macro peut s'étendre d'un kilomètre à plusieurs dizaines de kilomètres. La puissance de sortie est généralement de l'ordre de quelques dizaines de Watts [14].

**I.3.5.6.4. Station de Base (BS)**

Chaque station de base assure la couverture d'une zone limitée, appelée cellule, allant de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres (potentiellement quelques dizaines de mètres à l'avenir). Elle est responsable de la transmission et de la réception du signal selon des normes et protocoles propres à chaque génération (2G, 3G, 4G), incluant les algorithmes d'allocation des ressources radio et la gestion des messages associés, tels que l'attribution de fréquences et d'intervalles de temps. Chaque cellule est équipée d'une station de base située au centre [15].

**I.3.5.6.5. Antennes**

Les antennes jouent un rôle crucial en assurant la transition entre l'espace libre et le récepteur, constituant ainsi le premier maillon de la chaîne de réception. Pour les bandes de fréquences

déjà allouées à la téléphonie mobile, les antennes 5G seront généralement similaires aux modèles existants. Cependant, l'utilisation de fréquences plus élevées permet la conception de dipôles élémentaires de taille réduite, environ 5 cm dans la bande 3 400 - 3 800 MHz (avec une longueur d'onde moyenne d'environ 9 cm) et environ 0,5 cm dans la bande 26 GHz (avec une longueur d'onde moyenne d'environ 1,2 cm).

Les antennes 5G dans ces plages de fréquences seront des réseaux bidimensionnels comprenant de nombreux dipôles élémentaires, offrant ainsi la possibilité d'utiliser plusieurs émetteurs/récepteurs [16]. Les types d'antennes sont pratiquement infinis. Nous allons définir les antennes omnidirectionnelles comme suit :

- **Les antennes omnidirectionnelles :**

On peut obtenir des antennes ayant naturellement à la fois une très large bande passante et un diagramme de rayonnement omnidirectionnel. Ces antennes sont une évolution directe des monopoles et des dipôles de base. Ces antennes fournissent un diagramme de rayonnement horizontal de 360°. On sait que plus un dipôle est épais, plus grande est sa bande passante. A partir de cette simple constatation, de nombreuses antennes large bande ont été conçues [17].

#### **I.4. Conclusion**

Les avancées technologiques continuent de transformer notre monde et notre quotidien. Dans cette évolution, la 5G se profile comme une réponse essentielle aux exigences contemporaines, mettant en avant la vitesse et la disponibilité élevée comme des critères majeurs.

# **Chapitre II : MODELE DE PROPAGATION**

## II.1. INTRODUCTION

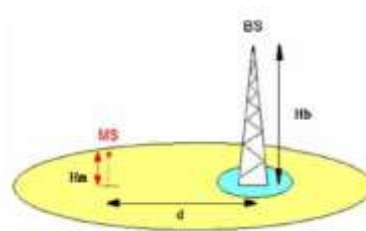
Les modèles de propagation prédisent la façon dont les ondes radio se propagent dans un environnement, en tenant compte de facteurs tels que la fréquence, la distance, l'environnement (urbain, rural, etc.) et les obstacles.

La mise en place d'un réseau cellulaire constitue l'une des tâches les plus complexes à la charge de l'opérateur du réseau. Essentiels pour la planification et le dimensionnement des réseaux cellulaires, car ils permettent d'estimer la force du signal reçu par les utilisateurs à différents endroits.

## II.2. MODELE DE PROPAGATION

Il représente la perte de trajet en fonction de la distance de séparation entre un émetteur et un récepteur. En effet, une prévision de propagation permet d'optimiser l'emplacement des stations émettrices en vue d'assurer une bonne couverture des zones à desservir. Le modèle de propagation doit être choisi de sorte qu'il soit conforme à la région sélectionnée. Les critères du choix du modèle de propagation sont figurés (2.1) :

- La distance par rapport au Node B.
- La hauteur de l'antenne du Node B.
- La hauteur de l'antenne du UE et sa fréquence



**FIGURE 2.1** – Evaluation de l'affaiblissement de parcours

Pour aller au but, le modèle est utilisé pour la prédiction de valeur de Path Loss pour calculé le rayon de cellule, ce paramètre est en fonction de fréquence et de distance entre l'UE (l'utilisateur équipement) et le Node B (Station de base) [18].



$$\text{Path loss} = F(d, f) \quad (2.1)$$

Pour réaliser cet objectif plusieurs modèles de propagation ont été développés qui dépendent aussi de générations en termes de fréquence.

### II.2.1. Modèle de propagation RF :

Un modèle de propagation RF est une formule mathématique utilisée pour caractériser la propagation de l'onde radio entre l'émetteur et le récepteur (fig.2.2). Cette formule dépend de plusieurs facteurs, à savoir :

- La fréquence de l'onde ;
- La distance parcourue par l'onde ;
- Les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception ;
- Type de terrain (morphologie) ;
- Clutter (caractéristiques et densité des bâtiments), etc....

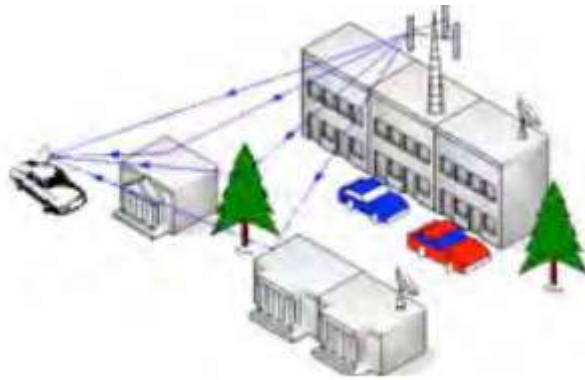


Figure 2.2-Propagation RF [19] .

Dans le domaine des communications radio mobiles, il existe de nombreux modèles pour estimer l'atténuation du trajet. Ces modèles peuvent être classés comme théoriques ou empiriques, ces derniers s'appuyant sur des mesures pratiques approfondies pour approximer le comportement du canal de propagation radio. Certains modèles notables dans ce domaine incluent.

### II.2.2. Propagation en espace libre :

Bien que ce modèle soit idéal, il peut être considéré comme un point de départ pour tout autre modèle (Figure 2.3). L'affaiblissement de trajet dans l'espace libre est donné par :

$$L_{FS} = 10 \log_{10} \left[ \left( \frac{4\pi dF}{c} \right)^2 \right] = 20 \log_{10} \left[ \frac{4\pi dF}{c} \right] \quad (2.2)$$

Avec d, F et c qui sont respectivement la distance parcourue, la fréquence et la célérité de la lumière [19].

## PROPAGATION

### □ La propagation en espace libre

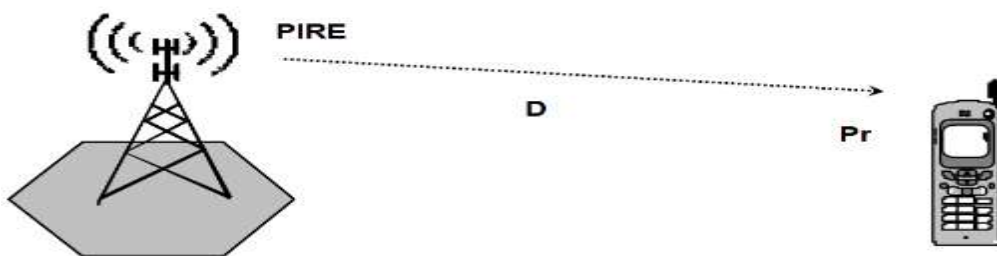


Figure 2.3-Propagation en espace libre.

### II.2.3. Modèle COST-231 Walfish-Ikegami :

Le groupe de recherche COST-231 en Europe utilise un modèle unique qui combine des méthodes empiriques et déterministes pour calculer les pertes de propagation du signal en milieu urbain et suburbain.

Conçu à l'origine pour des fréquences inférieures à 2 GHz, ce modèle a la capacité d'être étendu à des fréquences aussi élevées que 6 GHz. Il prend en compte divers facteurs tels que les pertes de propagation dans l'espace libre, les pertes par diffraction et les pertes entre bâtiments adjacents (comme le montre la figure 2.4). Le fondement de ce modèle s'appuie principalement sur les travaux de Walfish et Bertoni [WAL 88], ainsi que d'Ikegami.

L'expression du PathLoss peut s'écrire comme étant somme de trois termes d'affaiblissement élémentaire, comme suit : [20]

$$L = L_0 + L_{rst} + L_{msd} \quad (2.3)$$

Avec :

- $L_0$  : Propagation en espace libre ;
- $L_{rst}$  : Perte par diffraction du toit vers la rue ;
- $L_{msd}$  : perte par diffraction multi-masques ;

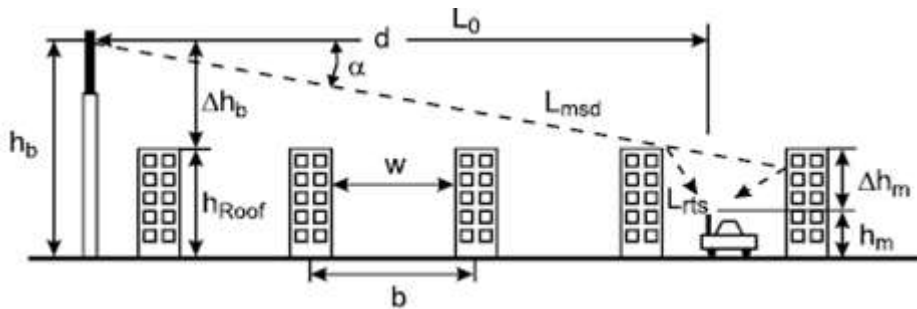


Figure 2.4-Modèle de propagation COST-231 Walfish-Ikegami [20].

#### II.2.4. Modèle d'Okumura-hata

C'est le modèle le plus utilisé à l'heure actuelle au niveau des outils de dimensionnement. Ce modèle empirique a été défini en fonction des mesures faites par Okumura-Hata dans les environnements de Tokyo (fig.2.5) [20].

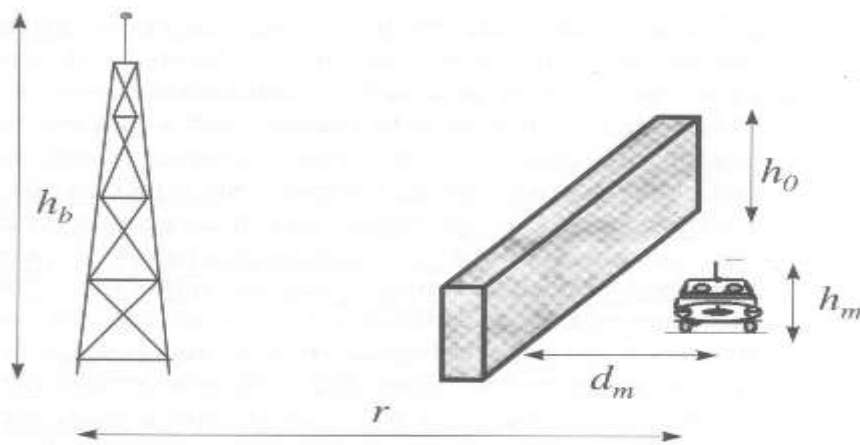


Figure 2.5-Propagation Okumura-hata.

Le principe de base de ce modèle empirique consiste à calculer l'affaiblissement en espace libre et ajouter un facteur d'atténuation. La formule de Hata prend en considération plusieurs paramètres suivants :

$f$  : fréquence (GHz)  $\in [0,3,3000]$  ;

$h_b$  : Hauteur de la station de base (m)  $\in [30,200]$  ;

$h_m$  : Hauteur de la station mobile (m)  $\in [1,10]$  ;

$d$  : distance entre l'émetteur et le récepteur (km)  $\in [1,20]$  ;

$a(h_m)$  : Facteur de correction qui dépend de l'environnement.

Les conditions d'application de ce modèle sont :

$$30m \leq h_b \leq 200m$$

$$1m \leq h_m \leq 10m$$

$$1km \leq d \leq 20km$$

$$150MHz \leq f \leq 1500MHz$$

➤ **Pour zones urbaines :**

A/ Pour des villes de tailles moyennes, le facteur de correction est donné :

$$a(h_m) = [1.11\log(f) - 0.7]h_m - [1.56\log(f) - 0.8] \quad (2.4)$$

B/ Pour des villes de grandes tailles, le facteur de correction est donné :

$$a(h_m) = 3.2[\log(1.54h_m)]^2 - 4.97 \quad (2.5)$$

**zones rurales :**

L'affaiblissement est donné :

$$P_r = P_u - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33\log(f) - 40.94 \quad (2.6)$$

➤ **zones suburbaines :**

L'affaiblissement est donné :

$$P_{su} = P_u - 2\left[\log\frac{f}{28}\right]^2 - 5.4 \quad (2.7)$$

### II.2.5. Modèle Erceg Greenstein :

Le modèle Erceg Greenstein est un modèle empirique développé pour les applications sans fil large bande. C'est un modèle défini par l'équation : [21]

$$L = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi F_{\text{MHz}}d_0}{c}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h \quad (2.8)$$

Avec

$d_0 = 100$  mètres,  $d$  : distance en mètres.

$\gamma = a - b h_b + c / h_b$ .

$X_f = 6 \log_{10} (F_{\text{MHz}}/2000)$ .

$X_h = -10.8 \log_{10} (h_m/2)$ , pour les terrains de type A et B.

$X_h = -20 \log_{10} (h_m/2)$ , pour les terrains de type C.

### II.3. Débit binaire

Le débit binaire requis dépend du service pour lequel le système est dimensionné. Tous les calculs sont effectués par bloc de ressources. Le débit binaire requis  $R_{\text{req}}$  divisé par le nombre de blocs de ressources  $n_{\text{RB}}$  pour obtenir le débit binaire par nbre de bloc [22].

$$R_{\text{req, RB}} = \frac{R_{\text{req}}}{n_{\text{RB}}} \quad (2.9)$$

### II.4. Sensibilité du gNodeB récepteur

La sensibilité de gNodeB récepteur, également appelée sensibilité de réception, est une mesure de sa capacité à recevoir des signaux faibles provenant des terminaux mobiles. Elle est exprimée en dBm (décibels par milliwatt) et représente la puissance de signal minimale requise pour que le gNodeB puisse décoder correctement les données transmises par le terminal [23]. La sensibilité gNodeB récepteur est donnée par l'équation

**Sensibilité = Puissance de réception - (Perte de chemin + Bruit de fond + Figure de bruit)**

Où :

- **Sensibilité** : La puissance de signal minimale requise par le gNodeB pour décoder correctement les données, exprimée en dBm (décibels par milliwatt).
- **Puissance de réception** : La puissance du signal reçu par le gNodeB à l'entrée de l'antenne, exprimée en dBm.
- **Perte de chemin** : La perte de puissance du signal due à la propagation des ondes radio dans l'air, exprimée en dB. Elle dépend de la distance entre le gNodeB et le terminal mobile, de la fréquence du signal et des conditions de propagation (environnement urbain, rural, etc.).
- **Bruit de fond** : Le bruit de fond, causé par des sources telles que les autres équipements radio et les phénomènes naturels, exprimé en dBm.
- **Figure de bruit** : Un paramètre qui représente le bruit interne du gNodeB, exprimé en dB. Elle est généralement comprise entre 2 et 4 dB pour les gNodeB modernes.

### II.5. Les marges de bruit

Les marges de bruit en 5G, aussi appelées marges de bruit et d'interférence, représentent la capacité d'un réseau 5G à supporter des transmissions simultanées de plusieurs terminaux mobiles dans une même zone géographique sans que les signaux des uns n'interfèrent avec les autres. Elles sont exprimées en décibels (dB) et correspondent à la différence entre la puissance de réception maximale autorisée pour un terminal mobile et le niveau d'interférence total reçu par ce terminal [24].

Plusieurs techniques permettent d'améliorer les marges de bruit en 5G, notamment :

- **Contrôle de la puissance de transmission** : Les opérateurs mobiles peuvent contrôler la puissance de transmission des terminaux en fonction de leur distance au gNodeB et des conditions du réseau.
- **Réutilisation de la fréquence** : La réutilisation de la fréquence permet d'utiliser la même bande de fréquence dans différentes cellules du réseau, ce qui réduit le niveau d'interférence et augmente la capacité du réseau.
- **Planification des cellules** : Une planification minutieuse des cellules peut minimiser les interférences entre les cellules voisines.

- **Techniques d'accès multiple (MA) :** Des techniques d'accès multiple, comme le TDMA (accès multiple par répartition dans le temps) et le FDMA (accès multiple par répartition en fréquence), permettent à plusieurs terminaux de partager la même bande de fréquence en temps ou en fréquence, ce qui réduit le niveau d'interférence.

La marge d'interférence en 5G, exprimée en décibels (dB), peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

**Marge d'interférence = Puissance de réception maximale - Niveau d'interférence total**

## II.6. Le bilan de liaison de lien montant

Le bilan de liaison montante, aussi appelé **bilan de liaison UL** (Uplink en anglais), est une analyse mathématique qui permet d'évaluer la capacité d'un terminal mobile à transmettre des données vers un gNodeB (Noeud B de nouvelle génération) dans un réseau 5G. Il prend en compte divers facteurs qui affectent la puissance du signal reçu par le gNodeB, tels que la puissance de transmission du terminal, la distance entre le terminal et le gNodeB, les conditions de propagation et le niveau d'interférence [22].

Le bilan de liaison montante est exprimé par la formule suivante :

$$\text{Puissance reçue (Pr)} = \text{Pt} + \text{Gt} - \text{Lc} + \text{Gr} - \text{F} - \text{I} \quad (2.10)$$

Où :

- **Pr :** Puissance reçue par le gNodeB, exprimée en dBm
- **Pt :** Puissance de transmission du terminal mobile, exprimée en dBW
- **Gt :** Gain d'antenne du terminal mobile, exprimé en dBi
- **Lc :** Perte de chemin, exprimée en dB
  
- **Gr:** Gain d'antenne du gNodeB, exprimé en dBi
- **F :** Figure de bruit du gNodeB, exprimée en dB
- **I :** Niveau d'interférence, exprimé en dBm

## II.7. Calcul de la couverture en lien descendant

Le calcul de la couverture en liaison descendante dans un réseau cellulaire 5G est un processus complexe qui prend en compte plusieurs facteurs, notamment :

### A. Propagation des ondes radio :

**Modèle de propagation :** Différents modèles mathématiques sont utilisés pour prédire la propagation des ondes radio, tels que le modèle de Friis, le modèle de OKUMURA- Hata. Chaque modèle prend en compte des facteurs tels que la fréquence du signal, la distance entre le gNodeB et le terminal mobile, la hauteur des antennes et l'environnement de propagation (urbain, rural, etc.).

- **Conditions de propagation :** Les conditions de propagation peuvent affecter considérablement la couverture. Les obstacles physiques, tels que les bâtiments, les arbres et les collines, peuvent atténuer le signal et réduire la portée des cellules.
- **Interférences :** Les interférences provenant d'autres cellules ou d'autres sources radio peuvent également affecter la couverture.

### B. Caractéristiques du réseau 5G :

- **Bande passante :** La bande passante disponible détermine la quantité de données qui peuvent être transmises simultanément, ce qui affecte la capacité du réseau et la couverture.
- **Densité des cellules :** La densité des cellules, c'est-à-dire le nombre de gNodeB par unité de surface, influence la couverture et la capacité du réseau. Une densité élevée de cellules permet une couverture plus étendue, mais peut également augmenter les coûts d'infrastructure.
- **Puissance de transmission des gNodeB :** La puissance de transmission des gNodeB détermine la portée des cellules et la qualité du signal reçu par les terminaux mobiles.

### C. Caractéristiques des terminaux mobiles :

- **Puissance de réception des terminaux :** La puissance de réception des terminaux mobiles détermine la sensibilité du signal qu'ils peuvent recevoir.



- **Facteur de forme des terminaux** : Le facteur de forme des terminaux, c'est-à-dire leur taille et leur design, peut affecter la réception du signal.

### II.8. Bilan de liaison descendante [dB]

Le bilan de liaison descendante (BLD) en 5G permet d'évaluer la qualité du signal reçu par un terminal mobile en provenance d'un gNodeB (Noeud B de nouvelle génération). Il s'exprime en décibels (dB) et prend en compte plusieurs facteurs qui influencent la propagation des ondes radio et la performance de la liaison. [22]

Le bilan de liaison descendante (BLD) est calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{BLD} = P_t + G_t - \text{Pathloss} - G_r - F_{\text{spl}} - N \quad (2.11)$$

- **P<sub>t</sub>** : Puissance transmise par la station de base (en dBm)
- **G<sub>t</sub>** : Gain de l'antenne de la station de base (en dBi)
- **Pathloss** : Perte de parcours due à la propagation du signal dans l'air (en dB)
- **G<sub>r</sub>** : Gain de l'antenne du terminal mobile (en dBi)
- **F<sub>spl</sub>** : Perte de parcours en espace libre (en dB)
- **N** : Bruit de fond (en dBm)

### II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents modèles de propagation et la phase de dimensionnement, qui consiste à déterminer le nombre des gNodeB requis. Le prochain chapitre introduira une proposition de mise en place d'un réseau 5G sur le plan de couverture pour une zone urbaine, la ville de Béjaia.

# **Chapitre III : MISE EN PLACE D'UN RESEAU 5G EN ZONE URBAINE**

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

La mise en place des réseaux mobiles est confronté à de nombreux défis, tant en termes d'architecture que d'évolutivité. En effet, une bonne compréhension de l'architecture permet de mieux gérer les ressources existantes et de favoriser l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus efficaces, permettant en même temps au réseau de fournir des services de haute qualité.

L'objectif de la phase de cette étape est d'estimer le nombre de sites, le nombre de stations de base et leur configuration en fonction des besoins et des exigences de l'opérateur ainsi que de la propagation radio spécifique au type d'environnement.

Il doit scrupuleusement prendre en compte les exigences en termes de couverture, de capacité et de qualité de service de l'opérateur. La capacité et la couverture sont deux aspects étroitement liés dans les réseaux 5G, et doivent par conséquent être considérés simultanément dans le dimensionnement.

La capacité et la couverture peuvent ensuite être analysées pour chaque cellule ou par région. Pendant que le réseau fonctionne, ses performances peuvent être mesurées et analysées. Les résultats de ces mesures peuvent ensuite être utilisés pour optimiser le réseau. Nous limiterons notre étude à la couverture de ce réseau. Pour cela nous utilisons le logiciel Atoll 3.1.

### **III.2 Présentation générale du logiciel ATOLL.**

Atoll est une conception de réseau de multi-technologie et une plateforme ouvertes, à la conception à la densification et à l'optimisation d'un réseau.

La version 3.1 d'Atoll prolonge plus loin les dispositifs techniques cela ont fait à Atoll la principale optimisation par radio; c'est un logiciel d'optimisation simple et qui permet des possibilités intégrées de conception de réseau.

Il fournit à des opérateurs et à des fournisseurs aujourd'hui un cadre puissant pour la conception et l'optimisation les réseaux 2G/3G/4G /5G intégrés.

La version 3.1 d'Atoll améliore le dimensionnement et l'optimisation des réseaux GSM/UMTS/LTE/5G, et la simulation des fonctions d'optimisation.

Atoll 3.1 incorpore également une architecture mise à jour et une nouvelle interface utilisateur qui fournissent la gestion des données augmentée et exécution de calcul.

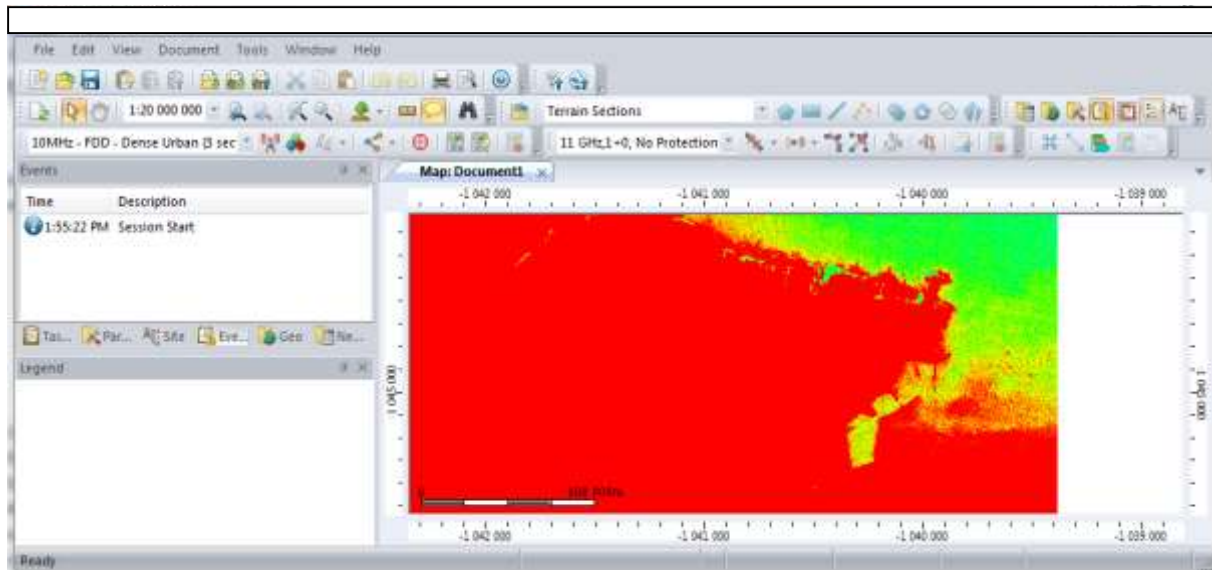


Figure 3.1- logiciel ATOLL.

### III.3 Zones géographiques :

Pour pouvoir travailler sur une carte réelle, l'utilisateur doit importer les données géographiques du terrain (hauteur du sol, types d'environnement, etc.). Pour notre cas, il s'agit de la commune de **Zone géographique à couvrir**. La figure suivante présente un aperçu de la zone à couvrir, la ville de Bejaia qui couvre un peu plus que 45 km<sup>2</sup> :



Figure 3.2: Carte de la ville de Bejaia [26].

### **III.4 couverture de la zone**

En réalité des frontières très irrégulières dessinées principalement par des facteurs de terrain et autres, et en fonction de ces facteurs la force du signal diminue progressivement vers les bords de la cellule. Ce qui implique l'impossibilité de définir exactement les bords d'une cellule.

A ce stade, deux situations peuvent se produire,

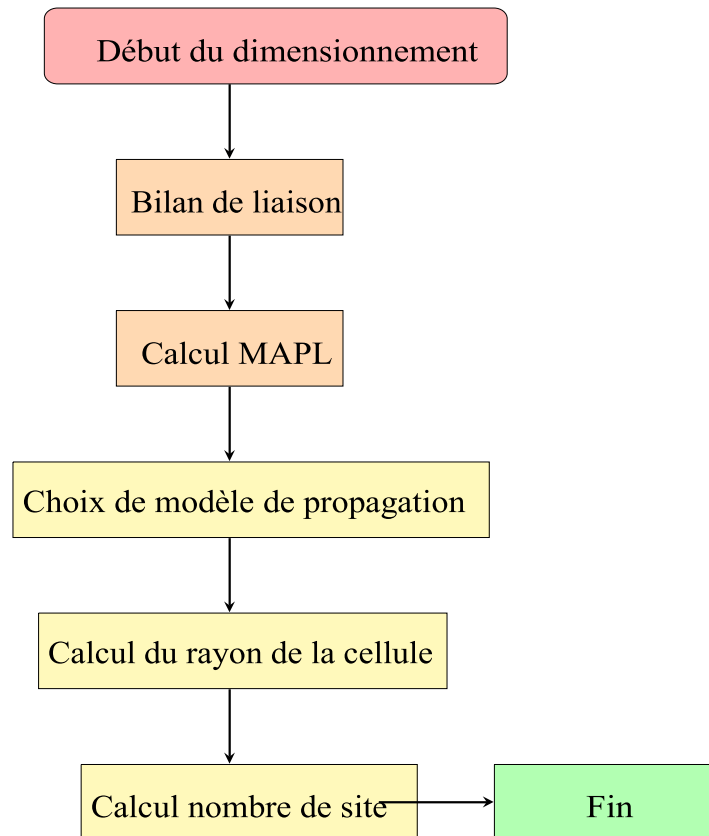
- ✓ Des chevauchements dans la couverture de la zone,
- ✓ Un chevauchement entre deux cellules couvertes par deux antennes qui utilisent la même fréquence et provoquent des interférences,

Pour y remédier à ce problème, les bandes de fréquences attribuées à des cellules adjacentes dans un système cellulaire doivent être différentes pour qu'ils puissent se chevaucher sans causer d'interférences. Le dimensionnement et la couverture d'un réseau de télécommunications sans fil sont des étapes cruciales pour garantir une couverture adéquate et une qualité de service optimale pour les utilisateurs.

Ces processus impliquent :

- ✓ La détermination du nombre de stations de base nécessaires,
- ✓ Leur emplacement
- ✓ Leur configuration pour atteindre les objectifs de couverture souhaités.

L'organigramme correspondant est présenté comme suit :



**Figure. 3.3 :** Calcul de couverture.de la zone.

Cette partie vise à déterminer le nombre de sites (**N**) nécessaires pour couvrir une certaine zone donnée étant donné le rayon d'un site (**R**) et la distance inter-sites (**D**).

- La distance inter-sites peut être calculée en utilisant la formule (3.1) :

$$\mathbf{D = 1,5R.} \quad (3.1)$$

- Le nombre de sites :

$$N = \frac{\text{Surface totale à couvrir}}{\text{Surface couverte par un seul site}} A_{site} \quad (3.2)$$

- Pour calculer la surface couverte par un seul site, il y a deux équations en fonction du type d'antenne utilisé :

– Pour une antenne omnidirectionnelle, la formule est :

$$A_{site} = \frac{3}{2}\sqrt{3}R \quad (3.3)$$

– Pour une antenne à deux secteurs, la formule est

(3.4)

$$A_{site} = \sqrt{3}R^2.$$

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

$$A_{site} = \frac{9}{8}\sqrt{3}R^2 \quad (3.5)$$

### III.5 Méthode de réutilisation de fréquence

La méthode utilisée est de permettre une réutilisation des fréquences, une antenne couvre une région limitée, mais une interférence peut se produire pour les utilisateurs dans la zone de chevauchement des couvertures, cela signifie qu'il est possible de réutiliser un canal une fois en dehors de la portée de l'antenne. C'est le principe de la technologie cellulaire qui nous permet de faire une division géographique (figure 3.4) de l'espace en petite zone plutôt que de diviser les fréquences [26]. Voici un exemple de la division géographique :

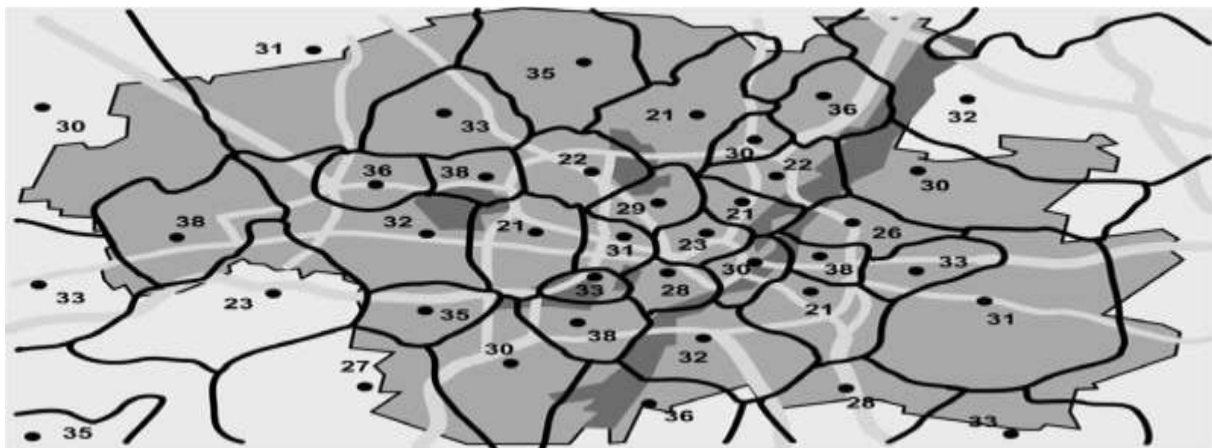


Figure 3.4 : division géographique d'une ville

#### III.5.1 Formation des clusters

Pour distribuer les fréquences, les cellules peuvent être regroupées dans ce qu'on appelle « cluster », la taille d'un cluster est définie par le nombre de cellules K.

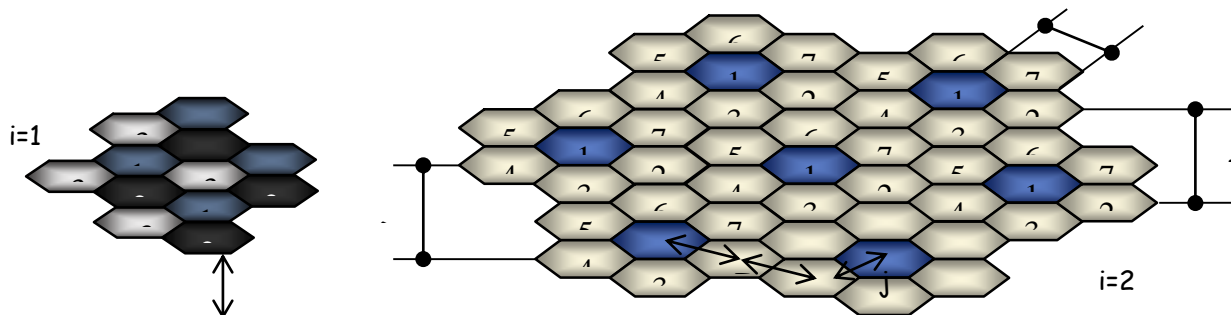


Figure 3.5 : Formation des clusters et réutilisation des fréquences dans les réseaux cellulaires [26].

La répartition spatiale des fréquences est faite de façon systématique, dont on doit respecter une distance  $D$  ; cette distance doit être choisie suffisamment grande pour que les interférences ne se produisent pas, et peut être dérivée à partir du modèle géométrique hexagonale en fonction de  $K$  et le rayon de cellule  $R$  :

$$D = R \sqrt{3K} \quad , \text{Ou} \quad K = i^2 + ij + j^2 \quad \text{donc} \quad K = 3,4,7,9,12 \dots \quad (3.6)$$

❖ La diminution de la taille des cellules a comme effet :

- Augmentation du nombre d'utilisateurs,
- Augmentation du nombre de handovers par appel,
- Augmentation de la complexité dans la localisation du client,
- Consommation faible de puissance au terminal mobile, donc allongement du temps de parler,

**Inconvénients :**

- Frontières très irrégulières dessinées principalement par des facteurs de terrain et autres, et en fonction de ces facteurs la force du signal diminue progressivement vers les bords de la cellule. Ce qui implique l'impossibilité de définir exactement les bords d'une cellule. Pour y remédier à ce problème on doit avoir :

- Attribution des canaux en sous-ensembles disjoints aux différentes cellules

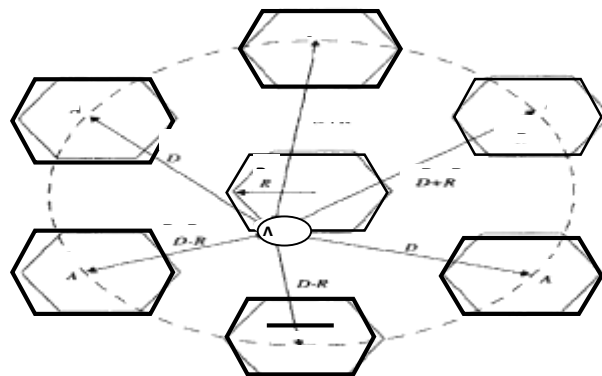
-Prise en charge de l'itinérance (handover) pour assurer la continuité des communications lors du passage à une autre cellule

- Réduire les deux types d'interférences induites dans le système :

Interférence co-canal : causée par l'emploi de fréquences identiques dans des cellules proches

Interférence canal adjacent : causée par l'utilisation de fréquences adjacentes dans la même cellule.

La figure correspondante à ce type d'inconvénient est illustrée comme suit :



**Figure 3.6 :** Types d'Interférences [26].



Pour l'interférence Co-Canal il faut estimer les rapport signal/interférence (S/I) pour atteindre la valeur requise par les équipements. Le rapport S/I pour un mobile qui se trouve sur la frontière de la cellule est donné par l'expression :

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2(Q-1)^{-n} + 2(Q+1)^{-n} + 2Q^{-n}}$$

Le rapport S/I est indépendant des puissances de transmissions des antennes et dépend uniquement du facteur de réutilisation Q

### **III.5.2 Etude de Bilan de liaison**

Le bilan de liaison RLB (*Radio Link Budget*) permet de déterminer l'affaiblissement maximal admissible MAPL qui pris comme entrée pour les modèles de propagation aboutit à la détermination du rayon maximal de la cellule et par suite le nombre de sites requis. [27]

Les critères techniques liées aux services (type de service, débit...), aux types d'environnement, au comportement des mobiles utilisés (puissance, vitesse...), à la configuration du réseau (les gains d'antenne, les pertes dans les câbles, les gains de diversité, les marges d'évanouissement...) et les critères de la QoS fixés au préalable devraient être pris en considération lors de ce calcul. Cette phase peut être divisée en quatre étapes :

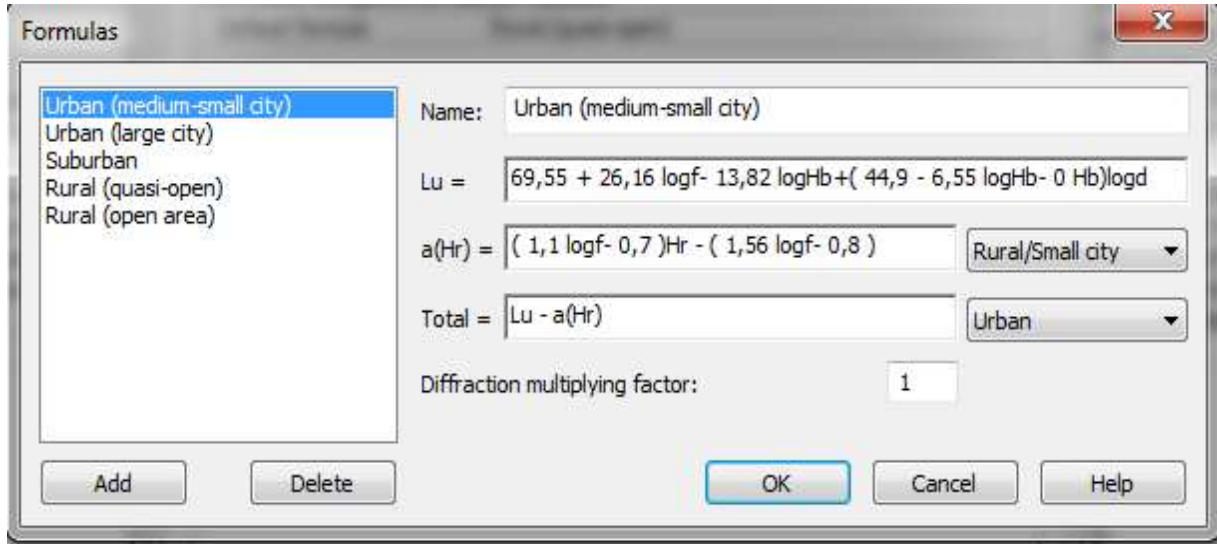
- Choix du modèle de propagation ;
- Technique d'accès à utiliser
- Détermination du rayon de la cellule

Le but du calcul du bilan de liaison est de déterminer la perte de trajet maximale autorisée (MAPL) ou l'atténuation du signal reçu entre les antennes de l'appareil mobile et la station mobile, à la fois pour les transmissions en liaison descendante et en liaison montante.

### **Interface pour le modèle de propagation choisi**

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, le modèle de propagation permet de déduire le rayon des cellules à partir des résultats fournis par les données de l'opérateur. Pour chaque environnement (urbain, suburbain, et rural), le modèle de propagation doit être calibré pour correspondre au mieux à l'environnement réel.

On a choisi le modèle Okumura-Hata pour le modèle de propagation et proposé une formule générale avec des facteurs qui varie selon le type d'environnement. Nous avons introduit ces données dans le logiciel pour une zone urbaine moyenne :

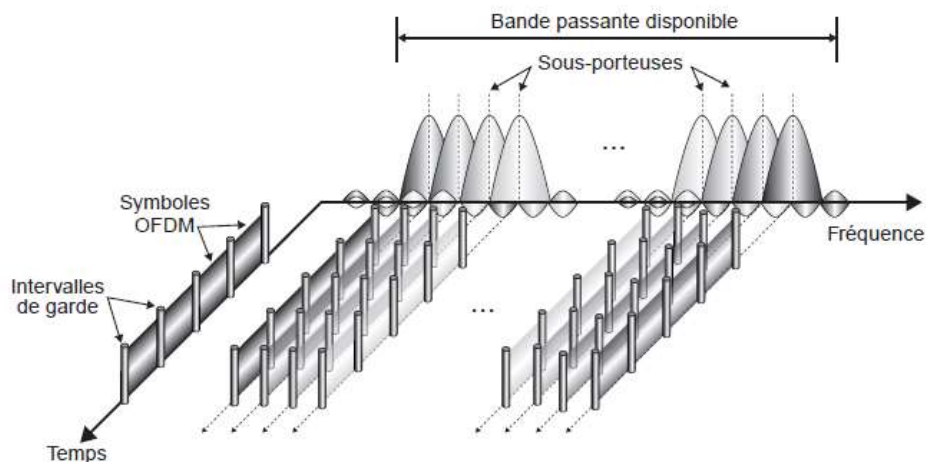


**Figure 3.7-**Le modèle de propagation Okumura-Hata.

**Techniques d'accès utilisées**

➤ **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing):**

L'OFDM est une des techniques les plus utilisées aujourd'hui dans les réseaux modernes. Elle utilise la technique d'allocation FDMA, qui nous permet d'utiliser des fréquences orthogonales : lorsque la puissance est maximale sur une fréquence, elle est nulle sur les fréquences connexes. Cette solution est illustrée à la figure 3.8).



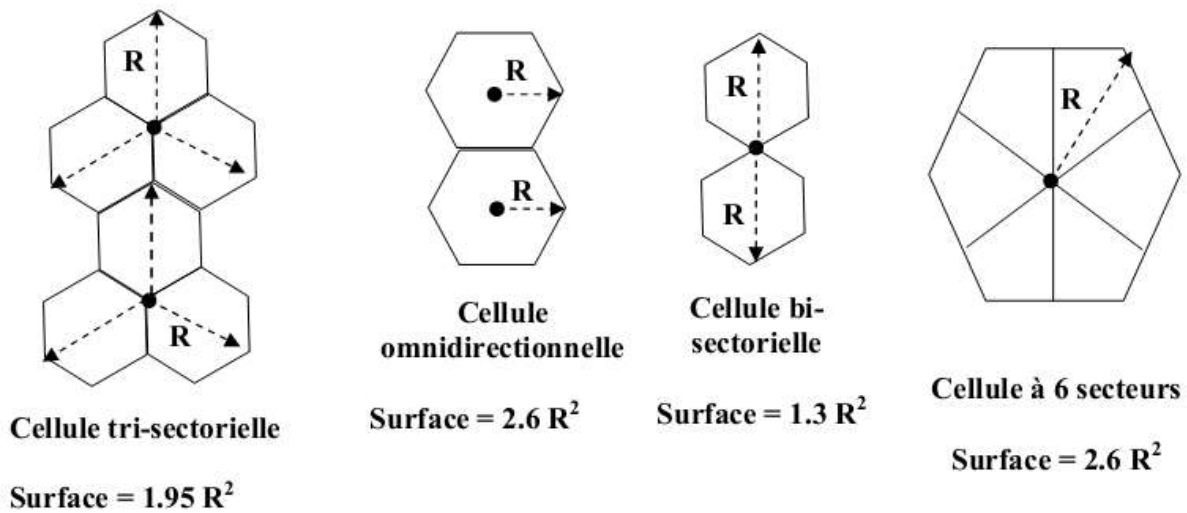
**Figure 3.8:** OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Cette solution permet de transporter des éléments binaires différents sur chaque sous bande, de telle sorte que plusieurs bits voire octets peuvent être transmis simultanément

Cette solution permet de beaucoup mieux utiliser l'espace hertzien et donne une forte réutilisation des fréquences. De plus, le signal étant directif, la portée peut-être bien plus grande.

**Détermination du rayon de la cellule :**

Le calcul des rayons permet d'estimer la surface couverte par chaque site. Pour différents sites, cette surface élémentaire est donnée dans la figure suivante :



**Figure 3.9 :** Différents types de cellules

Pour notre cas nous avons utilisé des cellules tri sectorielles.

**III.6.L' équation du bilan de liaison**

Les équations du bilan de liaison, sont des outils fondamentaux pour analyser et concevoir des systèmes de communication par onde radio. Elles permettent de calculer la puissance reçue par un récepteur à une distance donnée d'un émetteur [27].

L'équation de base du bilan de liaison s'exprime comme suit :

$$Prx = Ptx + Gt - G1 + Gp - Lf \quad (3.7)$$

Où :

- **Prx**: Puissance reçue par le récepteur (en dBm)
- **Ptx**: Puissance transmise par l'émetteur (en dBm)

- **Gt:** Gain d'antenne de l'émetteur (en dBi)
- **Gl:** Gain d'antenne du récepteur (en dBi)
- **Gp:** Gain de propagation (en dB)
- **Lf:** Perte de parcours en espace libre (en dB)

### **III.6. 1 Choix du modèle de propagation**

#### **III.6.1 .1 modèle d'Okumura-hata :**

Le principe de base de ce modèle empirique consiste à calculer l'affaiblissement en espace libre et ajouter un facteur d'atténuation. La bande de fréquence est :

f : fréquence (GHz) [24,100]

#### **Pour zones urbaines :**

A/ Pour des villes de tailles moyennes, le facteur de correction est donné :

$$a(h_m) = [1.11 \log(f) - 0.7] h_m - [1.561 \log(f) - 0.8] \quad (3.8)$$

on de base (m)  $\in \in [30,200]$ ;

$h_m$  : Hauteur de la station mobile (m) [1,10] ;

d : distance entre l'émetteur et le récepteur (km) [1,20] ;

$a(h_m)$  : Facteur de correction qui dépend de l'environnement.

Les conditions d'application de ce modèle sont:

$$30m \leq h_b \leq 200m$$

$$1m \leq h_m \leq 10m$$

$$1km \leq d \leq 20km$$

B/ Pour des villes de grandes tailles, le facteur de correction est donné :

$$a(h_m) = 3.2 [\log(1.54 h_m)]^2 - 4.97 \quad (3.9)$$

En utilisant les chemins de liaison montante (UL) et descendante (DL), ainsi que le modèle de propagation sélectionné et les MAPL UL et DL, il est possible de calculer le rayon de la cellule. Le plus petit des rayons de trajet UL et DL déterminera le rayon effectif.

Le gNB et l'UE ont des hauteurs d'antenne respectivement de 30 et 1,5 mètres. La formule d'Okumura-Hata et le MAPL du bilan de liaison radio descendante seront utilisés dans ce calcul.

### **III.7 Calcul du nombre de sites**

Tout d'abord, pour calculer le nombre de sites nécessaires, nous devons déterminer la surface couverte par un seul site. Étant donné que la zone cible est une zone urbaine, nous supposons que tous les gNB sont des antennes à trois secteurs.

La superficie du site et le nombre total de sites basés sur la couverture peuvent être calculés à l'aide de l'équation.

$$A_{site} = \frac{9}{8}\sqrt{3}R^2 \quad (3.10)$$

$$R = 0,297 \text{ km.} \quad (3.11)$$

En substituant cette valeur, on obtient :

$$A_{site} = \frac{9}{8}\sqrt{3}(0,297)^2 = 0,172\text{km}^2. \quad (3.12)$$

Le nombre de sites nécessaires est donc donné par :

$$N = \frac{\text{Surface totale à couvrir}}{\text{Surface couverte par un seul site}} \quad (3.13)$$

Où  $N=29,53 \approx \boxed{30 \text{ sites}}$ .

#### **III.7.1 Calcul de rayon de cellule :**

Une fois que nous avons déterminé le Path Loss maximal dans la cellule à partir du bilan de puissance, il ne reste plus qu'à appliquer le modèle de propagation connu pour estimer le

rayon de la cellule. Le modèle de propagation doit être choisi de sorte qu'il soit conforme à la région à couvrir.

L'équation pour calculer la distance en kilomètre R est la suivante :

$$R = 10^a \quad (3.14)$$

Et d'après l'équation donnée par le modèle OKUMURA HATA, on a :

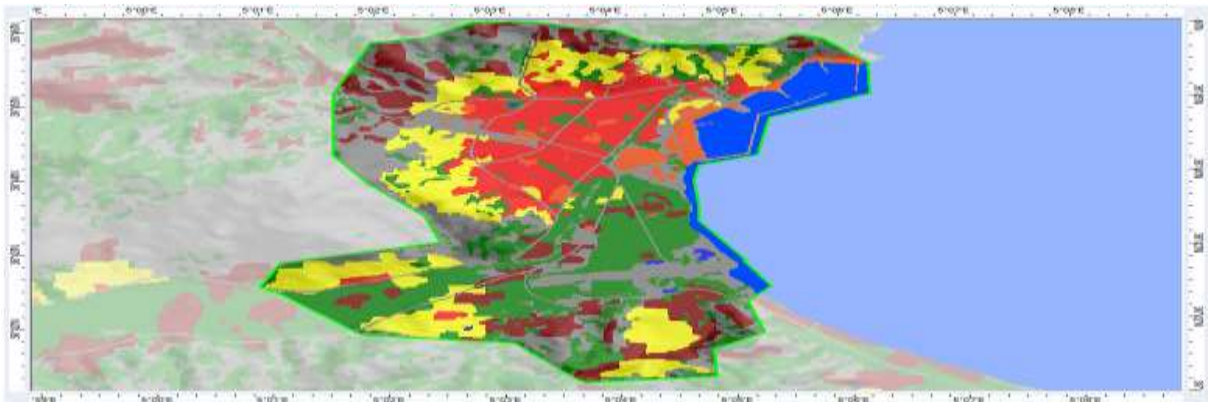
$$L_{PMAX} = A - 13.82 \log h_b - (ahm) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log R \quad (3.15)$$

$$\alpha = \frac{L_{PMAX} - A + 13.82 \log h_b + (ahm)}{44.9 - 6.55 \log h_b} \quad (3.16)$$

### III.7.2 Carte de trafic

La carte de trafic (*Traffic Map*) permet d'introduire les données sur le trafic au niveau de la zone à couvrir. Il existe divers types de cartes de trafic. Dans notre étude, on définit une carte de trafic qui se base sur la densité de la population. Pour notre cas, la zone urbaine de Béjaia.

La carte de trafic obtenu est illustrée par la figure suivante :



**Figure 3.10** : Carte de Traffic.

- ✓ La couleur rouge est la zone urbaine
- ✓ La couleur jaune est la zone suburbaine
- ✓ La couleur bleue est la zone rurale.

### **III.8 Positionnement des sites**

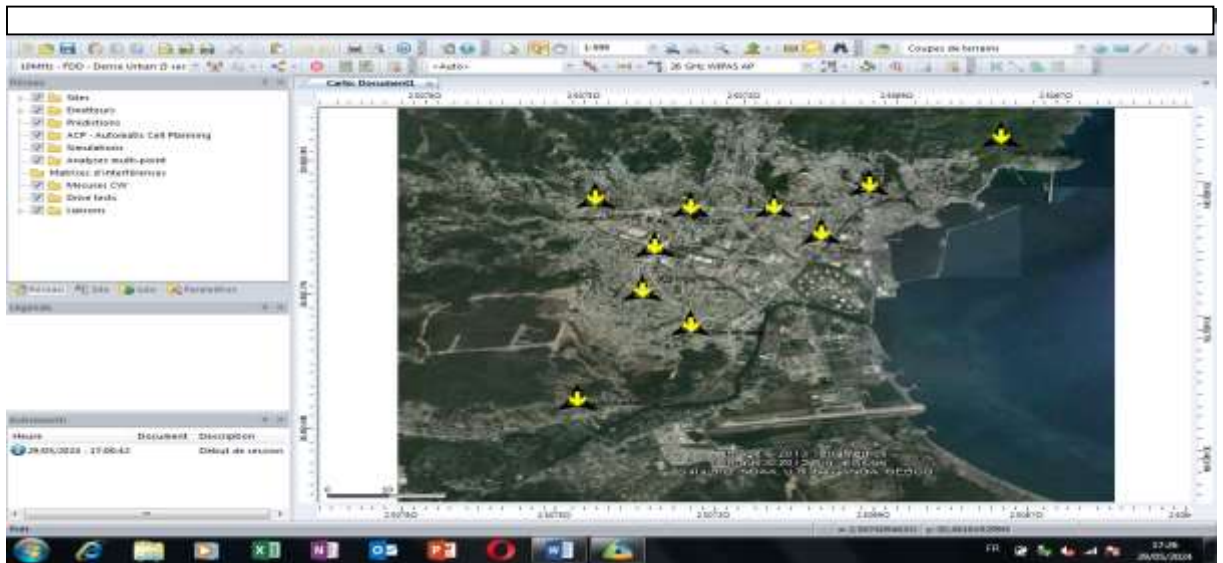
#### **III.8.1 Distance intersites :**

Le choix de la distance intersites doit tenir en compte les facteurs de couverture et de soft handover d'un côté, et la minimisation des interférences entre cellules de l'autre.

La forme théorique hexagonale des cellules simplifie la représentation et la planification du réseau cellulaire. Une zone de chevauchement de 20% à 25% entre les surfaces de couvertures des sites voisins est nécessaire pour le processus de réutilisation de fréquence.

Dans notre application les sites sont tous supposés tri-sectoriel, par conséquent la distance intersites est de  $1,5 R$ , elle assure 23 % de recouvrement.

La figure suivante représente le positionnement des différents sites de la ville de Bejaia :



**Figure 3.11:** Distribution des sites sur la ville de Bejaia.

On a pris 3 sites à couvrir en zone urbaine pour notre cas qui sont illustrés dans le tableau ci-dessous : ceci permettra de mieux élargir la couverture de la zone urbaine :

Nom du site	Latitude	Longitude	Hauteur d'antenne / au sol (m)	Nom de l'émetteur	Azimu t (°)	Tilt mécanique (°)
Urbain						
AAMRIW	36°45'04.21"N	5°03'20.46"E	20	1	58	0
				2	160	0
				3	283	0
CITE SGHIR	36°44'53.67 " N	5°03'32.99" E	25	1	60	0
				2	132	0
				3	248	0
DAOUADJ I	36°45'05.06 " N	5°03'53.69" E	23	1	0	0
				2	120	0
				3	270	0

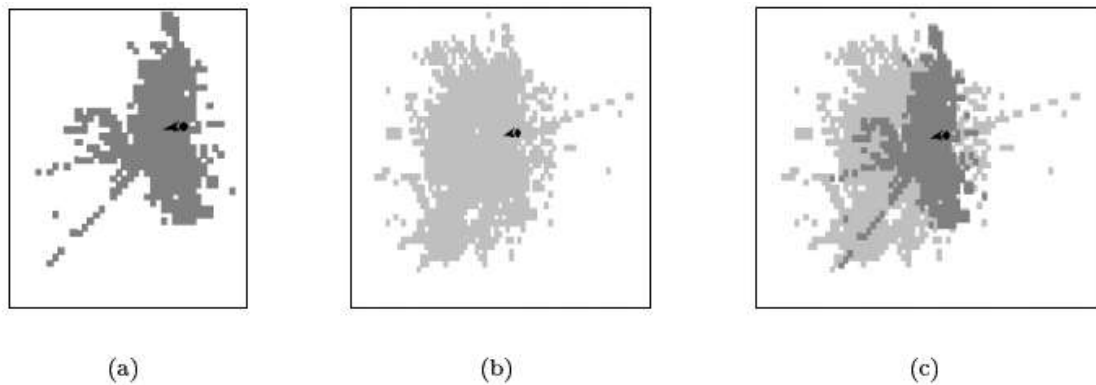
**Tableau 3.1** : Paramètres des différents sites

➤ **Tilt :**

Le tilt d'une antenne correspond à son angle d'inclinaison dans un plan vertical. En « tiltant » l'antenne vers le bas (ce qui correspond à une augmentation de l'angle du tilt), la zone couverte par l'antenne diminue et l'intensité de la puissance moyenne reçue dans la cellule



augmente. L'influence du tilt sur la surface couverte par l'antenne est illustrée sur la figure suivante :



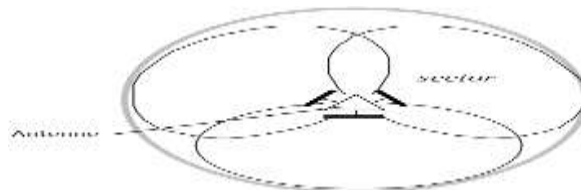
**Figure 3.12-**Zone couverte par une antenne tiltée à 10° (a), à 6° (b), et la superposition des deux couvertures (c).

➤ **Azimut :**

L'angle d'azimut correspond à l'orientation du lobe principal de l'antenne dans le plan horizontal. Idéalement, dans un site tri-sectoriel, l'orientation des antennes est séparée de 2/3. Une modification de l'angle d'azimut peut être utile suite à un effet de masque lié au paysage ou à des bâtiments, qui peuvent causer des réflexions et des interférences indésirables.

**Modèle de la cellule utilisée :**

Le réseau urbain utilise un modèle de cellule performant, il s'agit de sectoriser la cellule en plusieurs secteurs pour avoir plus d'efficacité. Chaque secteur peut être considéré comme une nouvelle cellule utilisant un ensemble différent de canaux et une antenne directionnelle. Comme montré dans la figure 3.13, la configuration utilisée comporte 3 secteurs dans chaque cellule :



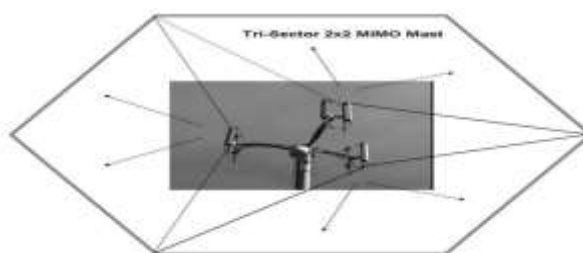
**Figure 3.13:** une cellule tri-sectorisée

**Avantage de la sectorisation**

- La sectorisation nous permet de concentrer l'énergie émise sur une zone urbaine bien définie, ce qui permet de maîtriser la couverture radio et de limiter l'émission hors de la zone de service.

- Un autre avantage très important de la sectorisation c'est la multiplication de nombre de cellules ce qui permet à une multiplication aussi du nombre d'utilisateurs qui profitent de la station de base

Donc, l'idée est d'utiliser 3 antennes, chacun couvre une ouverture de 120°. Le facteur de Réutilisation de fréquence égale à 3 où chaque secteur est composé d'un ensemble de sous-porteuses. Ce type de conception est appelé 1x3x3 ce qui veut dire 1 fréquence, 3 secteurs, 3 groupes de sous porteuses. Chaque antenne de chaque secteur utilise la technique MIMO où on a deux émetteurs et un récepteur au niveau de chaque antenne.



**Figure 3.14 :** Modèle de l'architecture d'une cellule

**III.8.2 paramètres des secteurs et des cellules :**

Les paramètres à introduire par environnement sont illustrés par le tableau suivant :

	urbain	
Equipement BTS	GNode B	
Nombre de secteur	3	
Numéro de la porteuse	0	
Fréquence (Mhz)	2110	
Débit chip (Mhz)	3.84	
Gain de diversité d'antenne	0 dB	
Rayon hexagonal (km)	0.47	
Hauteur (mètre)	15	
Facteur d'orthogonalité	0.6	

Résolution		10	
Angle de l'antenne par rapport au nord		Dépend de l'environnement	
Downtilt de l'antenne		0	
Type de feeder		600 MHZ	
Longueur des feeder émission/réception(m)		17	
Les paramètres	Puissance max (dBm)	43	
	Charge max DL	75%	
	Charge max UL	75%	
	Débit max/utilisateur DL et UL (kbps)	1000	
	Puissance totale transmise (dBm)	40	
	Facteur de charge UL	75	

*Tableau 3.2 : Les paramètres des secteurs et des cellules.*

### III.9 Création d'un projet 5G en zone urbaine

On peut utiliser Atoll pour la mise en place du projet urbain la 5G., qui peut également être utilisé par les autres technologies telle que la 4G/LTE et autres. Cette application est donc multiplateforme : Notre choix se porte sur le projet de mise en place d'un réseau 5G pour la couverture d'une zone urbaine à forte densité de population. Dans notre cas, nous avons choisi la ville de Béjaia :

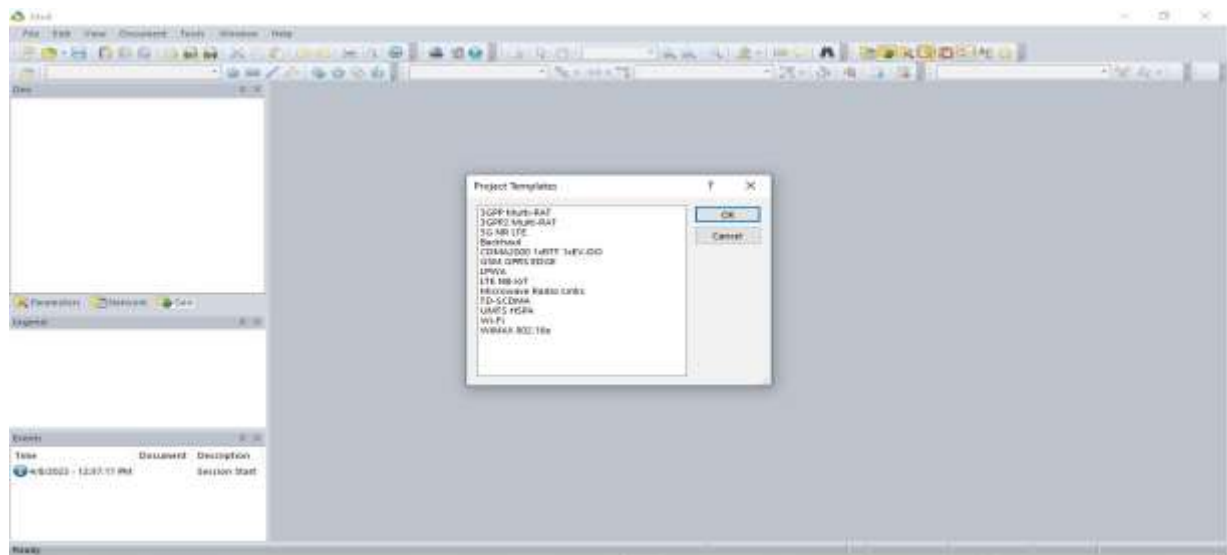


Figure. 3.15: Interface présentant un nouveau projet 5G

### III.9.1 Importation de la carte

La carte de la ville de *Bejaia* est présentée dans l'interface : (FIG. 3.16) :

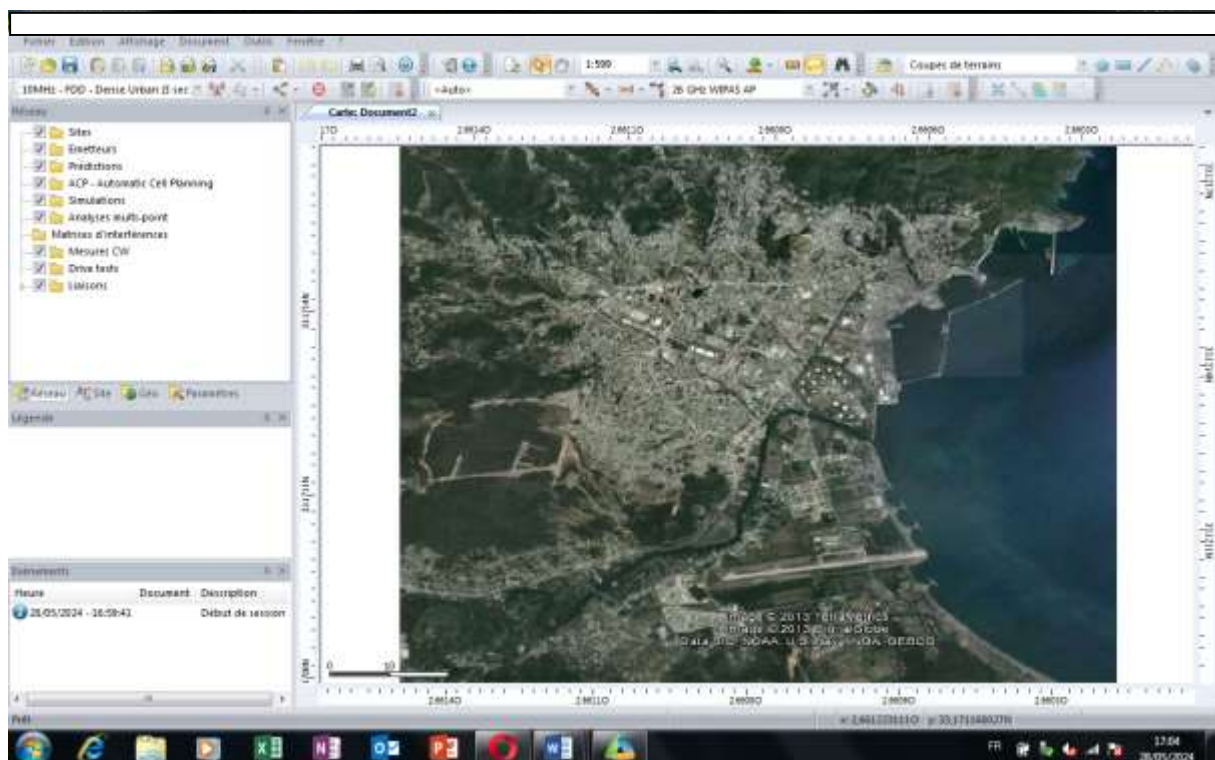
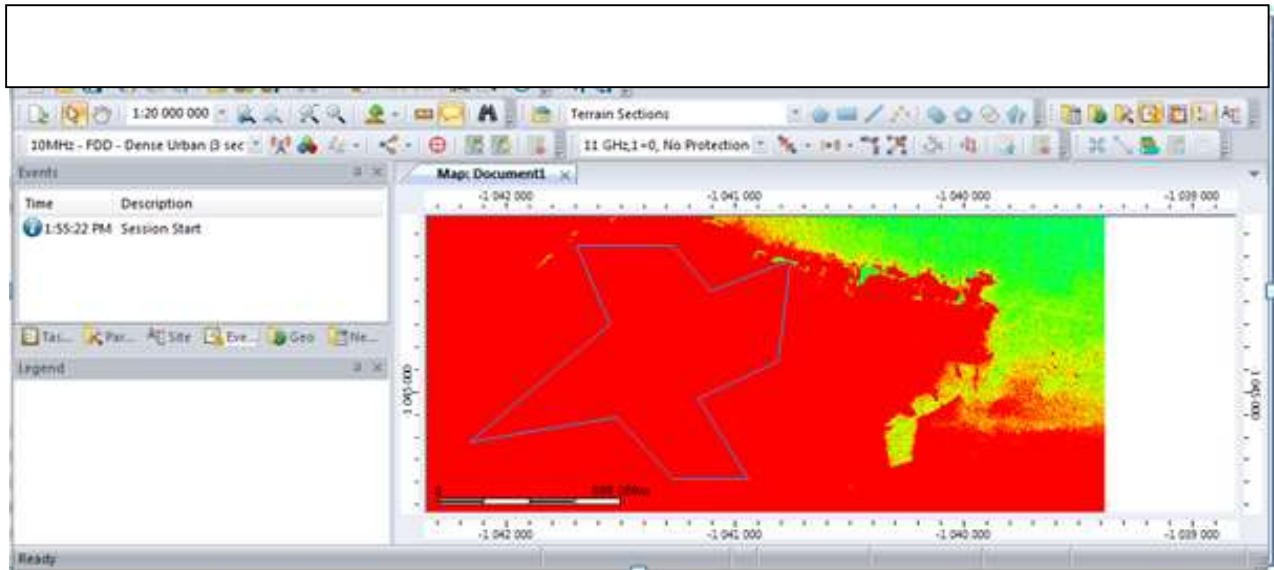


Figure. 3.16: panorama de la ville de Bejaia

### III.9.2 Prédiction de couverture :

Pour la zone de prédiction, on a choisi, en utilisant Atoll, la zone entourée sur la figure :



**Figure 3.17-Zone de prédiction**

Pour le travail que nous allons effectuer, nous utiliserons les données suivantes selon notre prédiction :

Fréquence d'émission	f=24 GHZ
Hauteur d'antenne d'émission	hub=30 m
Hauteur d'antenne de réception	hm=2m
Distance entre l'émetteur et récepteur	D=3 à 5 km
Largeur moyenne des rues	w=10m
Hauteur moyenne des bâtiments	hb=15 m
Hauteur d'immeuble le long de la rue	hmt=20 m
Hauteur d'immeuble à côté de la station de base	hst=15m
Espacement moyen des bâtiments	d= 12m
Hauteur antenne station de base/altitude du mobile	h=28.5 m
Coefficient de réflexion	R=6 dB
Orientation de la rue par rapport à l'axe principal du faisceau	$\Phi=55^\circ$

**Tableau 3.3** valeurs des paramètres utilisés pour la prédiction

Après avoir lancé une nouvelle prédiction sur le logiciel ATOLL nous allons étudier deux types de prédiction :

*-Couverture par niveau de signal*

*-Prédiction de couverture par émetteur :*

✓ **Couverture par niveau de signal**

Pour avoir une bonne couverture dans les zones urbaines, plusieurs paramètres liés aux émetteurs vont permettre d'atteindre nos objectifs (tilt, azimuth, la hauteur des émetteurs).

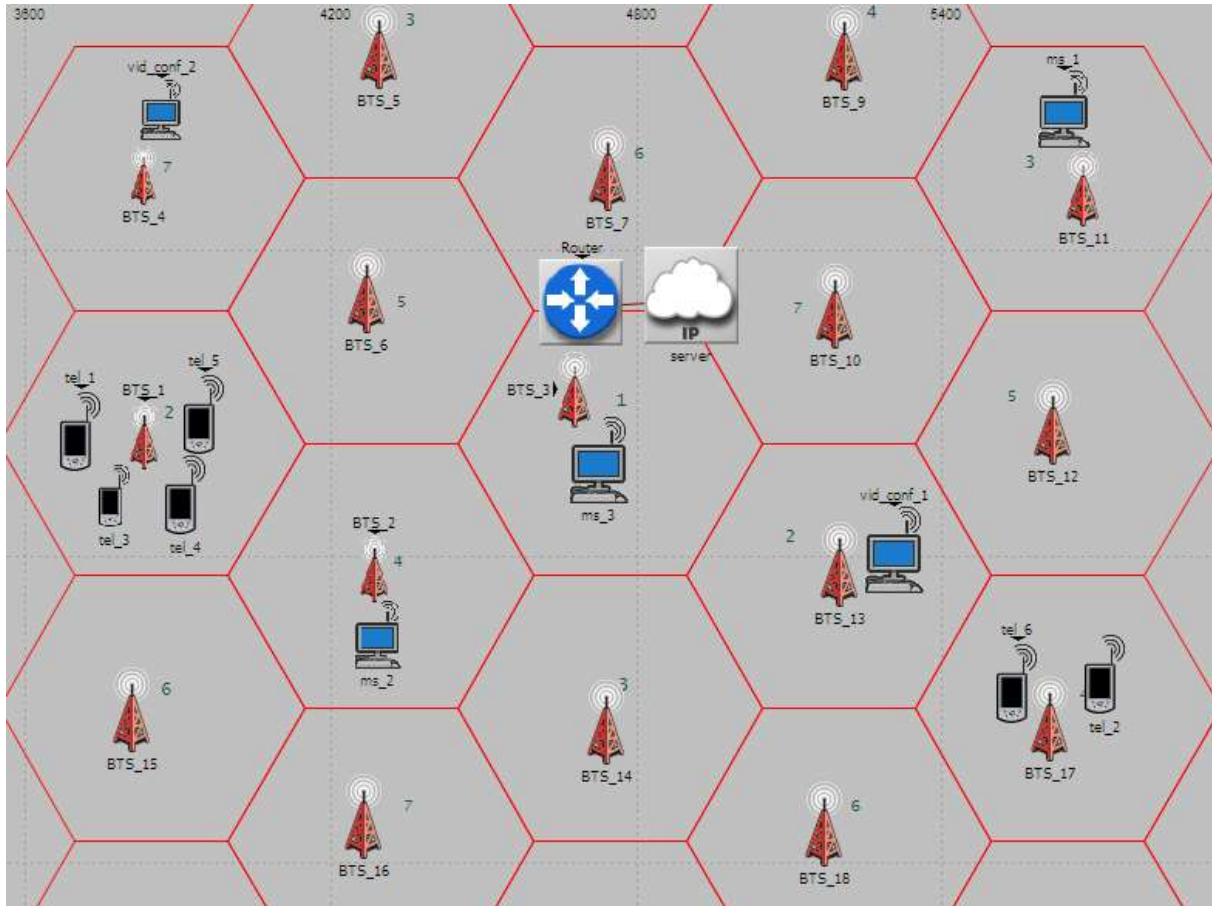
Pour faire cette prédiction :

- Créer une nouvelle couverture par niveau de signal.
- Régler des paramètres généraux (nom, la résolution, dossier de stockage).
- Définir les signaux qui seront considérés pour chaque pixel.
- Régler les paramètres d'affichage.

L'accès au canal suit la technique OFDM qui permet :

- La réutilisation des fréquences ( $k=7$  cellules)
- La génération de trafic

Voici la proposition avec une vue globale sur la mise en place un projet 5G en zone urbaine :  
On voit les trois secteurs qui peuvent couvrir toute la zone urbaine avec des antennes tri sectorielles :



**Figure 3.18-** Prédiction de la couverture par le niveau de signal.

### ✓ Prédiction de couverture par émetteur :

Une prévision de couverture par l'émetteur laisse prévoir des zones de couverture par l'émetteur à chaque pixel.

Pour un émetteur avec plus d'une cellule, la couverture est calculée pour la cellule avec la puissance la plus élevée.

Pour faire cette prédiction, on suit de la même manière les étapes suivantes :

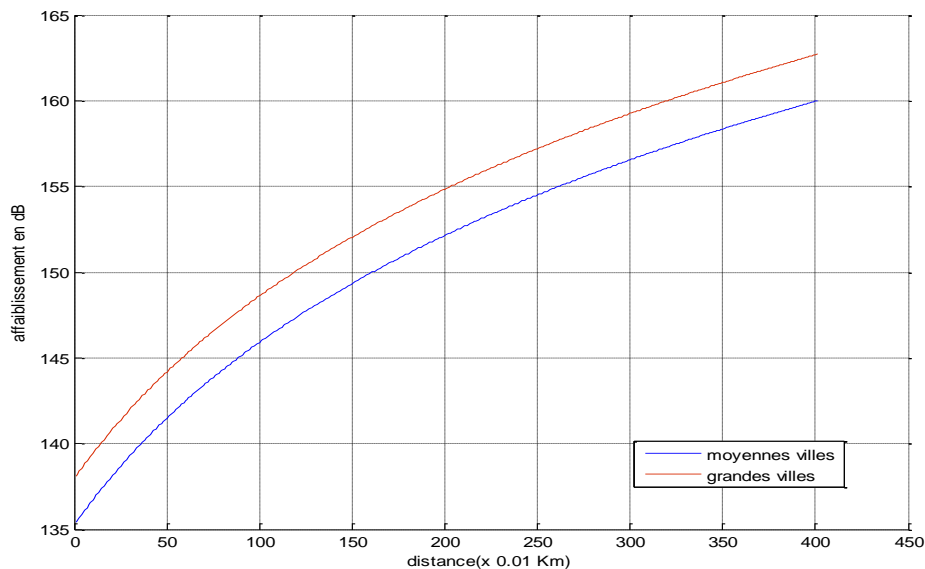
- Créer une nouvelle couverture par niveau de signal
- Réglage des paramètres d'affichage (chaque zone de couverture affichée par la même couleur que celle qui définit pour chaque émetteur).

### **III.10 Comparaison sans tenir compte des facteurs d'urbanisme**

Pour les moyennes et grandes villes, et de même pour les petites villes, l'affaiblissement est donné en fonction de la distance entre le mobile et la station..

#### **III.10.1 Comparaison entre les moyennes et grandes villes dans le modèle d'OKUMURA HATA**

La Figure 3.19 nous montre que dans le modèle d'OKUMURA HATA, l'écart d'affaiblissement entre les petites et les grandes villes n'est pas importante, nous pouvons expliquer cela par le fait que ce modèle implique peu de paramètres et néglige certaines situations qui peuvent introduire des affaiblissements tels que les paramètres d'urbanisme. Par contre ce modèle présente un avantage majeur qui est sa facilité de mise en œuvre.



**Figure 3.19 :** Modèle d'OKUMURA HATA, (niveau de variation de l'affaiblissement en fonction de la distance entre stations)

#### **III.10.2 Comparaison en tenant compte des facteurs d'urbanisme**

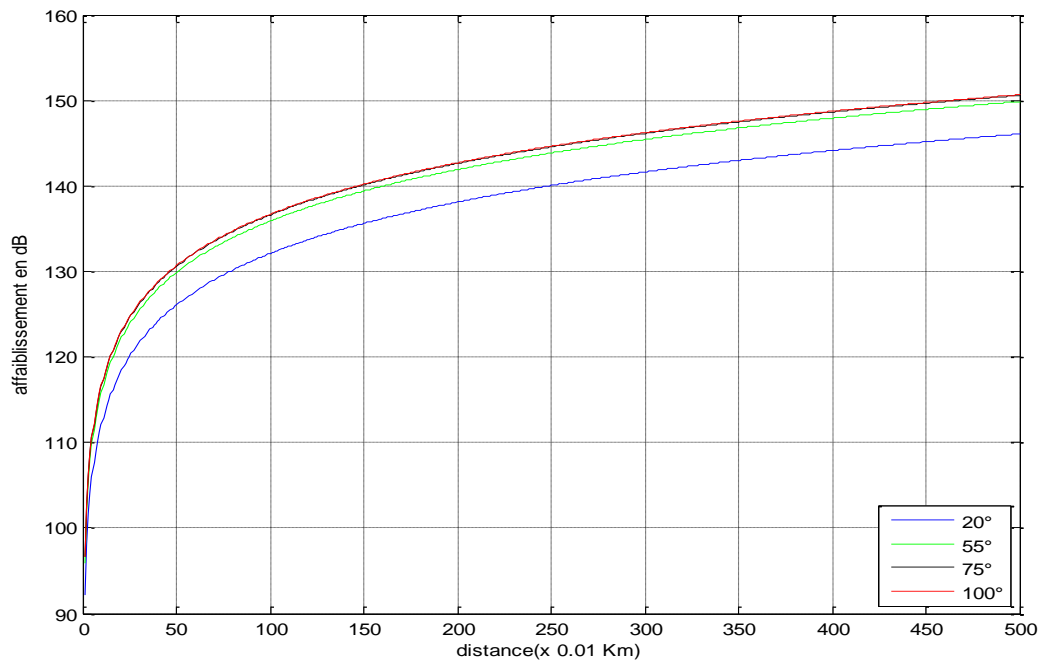
Par rapport au modèle de propagation utilisé, les modèles de Bertoni-Walfish, Ikegami, Sakagami et Cost-Cnet ne tiennent pas compte de certaines caractéristiques de la ville étudiée tel que l'orientation des rues, la hauteur des bâtiments et l'espacement entre les bâtiments.

- **Influence de l'orientation des rues**



Pour cette première comparaison nous nous intéressons au premier facteur qui est l'orientation des rues par rapport à l'onde incidente provenant de la station de base. Trois modèles tiennent compte de ce facteur à savoir IKEGAMI. En utilisant les valeurs des paramètres cités plus haut, et en faisant varier  $\Phi$  pour chacun de ces modèles, nous obtenons

les trois figures suivantes :



**Figure 3.20 :** Influence de l'orientation de la rue dans le modèle d'IKEGAMI

Sur la Fig3.20 nous avons représenté l'atténuation du signal pour plusieurs valeurs de  $\Phi$  et ce pour le modèle d'IKEGAMI. L'observation à noter est que l'atténuation augmente progressivement avec l'augmentation de  $\Phi$ , mais atteint  $75^\circ$  ce modèle ne donne plus une bonne estimation de l'affaiblissement comparé au modèle OKUMURA HATA.

#### . III.11 conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons exploré les différentes techniques de la couverture réseau en utilisant "Atoll". Il est important de souligner que nous n'avons pas eu accès aux données réelles ni aux paramètres de simulation lors de cette analyse. Néanmoins, cette étude a permis de développer une approche robuste pour la mise en place d'un 'projet 5G'.

### ***Chapitre III : MISE EN PLACE D'UN RESEAU 5G EN ZONE URBAINE***

---

---

Cette approche englobe la lecture des modèles numériques de terrain, la sélection des emplacements des sites cellulaires, la configuration des paramètres des sites et la génération de cartes prédictives de la couverture et de la qualité du signal dans la zone de déploiement.

Dans ce chapitre, nous avons présenté la phase de dimensionnement, qui consiste à déterminer le nombre des gNodeB requis (dimensionnement couverture),

On a introduit les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement 5G sur le plan couverture pour une zone urbaine, en choisissant trois sites qui couvrent toute la zone urbaine.

En d'autres termes, ce travail a permis d'établir une méthodologie complète pour *la mise en place d'un réseau 5G*.

# Conclusion générale

Le travail de ce mémoire a pour objectif le déploiement et la mise en œuvre d'un réseau 5G pour une meilleure couverture en zones urbaines sur la ville de Bejaia. Ce projet nous a permis d'acquérir beaucoup de connaissances et des bases non seulement sur la technologie 5G et leur déploiement, mais aussi sur la prédiction.

Nous avons commencé par une étude des généralités des réseaux cellulaires ; on a pu constater qu'ils ont été développés pour garantir de meilleures performances. Mais leurs utilisations sont limitées.

La seconde partie de ce mémoire a été consacrée pour l'étude détaillée des différents modèles de propagation et de prédiction du réseau 5G.

Les résultats des simulations et des discussions dans le troisième chapitre ont apporté plusieurs éléments clés liés au déploiement du réseau 5G.

L'infrastructure technologique des réseaux mobiles innovants peut améliorer le débit de transfert des données des réseaux existants pour mieux couvrir le nombre croissant des services accessibles depuis la station de base.

Les paramètres qui ont poussé les acteurs des opérateurs des systèmes de traitement d'information et de l'industriel à se tourner vers l'utilisation des techniques de compression, sont :

- ✓ Pouvoir atteindre une vitesse théorique maximale de transmission.
- ✓ Une très faible latence et une communication permanente entre l'émission et la réception, en temps réel,
- ✓ Une couverture maximale de la zone urbaine

En perspectives, nous souhaitons que ce modeste travail servira de base aux prochaines promotions, pour l'amélioration des résultats en matière de couverture maximale sur l'ensemble des sites de la wilaya.

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] edward m. roche, benjamin h. dickens-jr. et walker townes, « la prochaine generation de telephonie mobile (5g) et ses implications (infrastructure, reglementation) », novembre 2018.
- [2] martin sauter, bref historique de la 1g a la 5g –rohdes &schwarz, juin 2022.
- [3] tonye et ewoussaoua, « planification et ingenierie des reseau detelecoms », memoire professionnel de telecommunication, universite de yaounde i, 2011.
- [4] ajgou.r, et abdesselam.s, evolution de reseau gsm (gprs, edge), page 38 ,fevrier 2013
- [6] merah hocine, conception d'un modem de la quatrieme generation (4g) des reseaux de mobiles a base de la technologie mc-cdma,mai 2016
- [7] anouar kouach, «la technologie de cinquieme generation : 5g», page 72 ,avril 2023.
- [8] bendahmane amira meriem et ghermoul rania memoire «etude de methodes de beamforming a maximisation du rapport signal sur bruit pour des systemes fbmc », juin 2014
- [9] detti, andrea. "functional architecture." cnit - electronic eng. dept., universite de rome tor vergata, septembre 2008
- [10] spectre 5g position de politique publique de la gsma novembre 2018
- [11] corinne erhel, laure de la raudiere, commission des affaires economique «rapport d'information sur les objets connectes- page 104 »,decembre 2012
- [12] evaluation de l'exposition du public aux ondes electromagnetiques 5g : volet 1 : presentation generale de la 5g-anfr juillet 2019
- [13] s. tabbane. ingenierie des reseaux cellulaires. © lavoisier, isbn : 2-7462-0550-5. 2012.

- [14] frederic launay, andre perez «lte-advanced pro : une etape vers le reseau de mobiles 5g-  
page 25»,mai 2019
- [15] x. lagrange, a. pelov, g. simon, telecom bretagne, mooc introduction aux reseaux mobiles  
– 2014
- [16] p. picard j. pezzani « les antennes» - april 2011
- [17] kebbab radhwane« conception d’antennes ultra large bande en technologie imprimee» -  
universite abou bakr belkaid-tlemcen—2010
- [18] h. terdayet et m. boujnah, “calibration de modeles de propagation pour les reseaux gsm,  
wcdma et lte,” *memoire de master, sciences et technologies de l’information et de la  
communication-option rst, tunisie*, t. 2013, 2012.
- [19] telecom.ulg.ac.be <<modele de propagation >>, aout 2017
- [20] j. c. ogbulezie, m. onuu, j. ushie et b. usibe, “propagation models for gsm 900 and 1800  
mhz for port harcourt and enugu, nigeria,” *network and communication technologies*, t. 2, n° 2,  
p. 1, september 2013.
- [21] s. i. popoola et o. f. oseni, “empirical path loss models for gsm network deployment in  
makurdi, nigeria,” *international refereed journal of engineering and science*, t. 3, n° 6, p. 85-  
94, 2014
- [22] edugroupe <<conception et planification d’un reseau 5g>>, juin 2003
- [23] di<< dimensionnement de la couverture et capacite d’un reseau>>,avril 2013.
- [24] fsolver.fr<<unite de mesure d’un debit binaire>>decembre 2015.
- [25] marceaucoupechoux.wp<<bilan de liaison>>,janvier 2016.

[26] “reseaux cellulaires et communications mobiles” ’par mohamed ibn abdeljalil et pascal chevalier (2017).

[27] “radiocommunication mobiles” par bernard voegeli (2018).

## **webographie**

[w1] george lawton, “4g: engineering versus marketing”, <http://computingnow.computer.org>, march 2011.

[w2] [https://fr.wikipedia.org/wiki/5g-pour l'internet des objets](https://fr.wikipedia.org/wiki/5g-pour_l'internet_des_objets)

## Résumé

L'évolution rapide des technologies de communication a conduit à l'émergence de la 5G, une norme révolutionnaire offrant des débits ultra-rapides, une latence minimale et une connectivité fiable. Dans un environnement urbain en constante expansion, la demande croissante en services haut débit et en connectivité mobile nécessite une infrastructure de réseau avancée pour répondre aux besoins des utilisateurs et des entreprises. Les zones urbaines sont caractérisées par une densité de population élevée, une mobilité constante des utilisateurs et une diversité d'applications exigeant des performances réseaux optimales.

Dans ce mémoire nous avons pu montrer les différents modèles de propagation, et on n'a mis en places le réseaux 5G en zones urbaines grâce au logiciel atoll.

**Mots clés :** Prédiction, affaiblissement, modèle de propagation, Okumura Hata, zone urbaine, 5G.

## Abstract

The rapid evolution of communications technologies has led to the emergence of 5G, a revolutionary standard offering ultra-fast speeds, minimal latency and reliable connectivity. In an ever-expanding urban environment, the increasing demand for broadband services and mobile connectivity requires advanced network infrastructure to meet the needs of users and businesses. Urban areas are characterized by high population density, constant user mobility and a diversity of applications requiring optimal network performance.

In this thesis we were able to show the different propagation models, and we have set up 5G networks in urban areas using the Atoll software.

**Keywords:** Prediction, attenuation, propagation model, Okumura Hata, urban area, 5G.

