

Institut Supérieur des Sciences Appliquées et Technologie de Gafsa

---

# Projet de Fin d'Etudes

*Présenté à*

**L'Institut Supérieur des Sciences Appliquées et  
de Technologies de Gafsa**

*En vue de l'obtention de la*

**LICENCE APPLIQUEE**

*En technologies d'information et de la communication*

---

**CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE D'UNE APPLICATION  
MOBILE POUR LE DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSEAU  
5G**

---

Elaboré par :  
Khadija Achour

Encadré par :  
Mr Malek Ferhi

Année Universitaire : 2022/2023



## DEDICACES

*Certes ce souffle général leur dédies, émetteur d'énergie et processeur de travail soigné ne peut être que fruit d'appels sérieux à une réussite distinguée appelé professé par des chères personnes transmettant l'amour non seulement de travail mais l'amour de la vie.*

*J'ai l'honneur en ce moment particulier de professer mon urgent désir de dédier ce travail à ma chère mère ..... pour tout l'amour et pour leur sacrifice illimité. Et également de dédier ce document à l'âme de mon père .....à ce grand cœur à ce grand sourire qui m'a enseigné sacrifice, force et ambition. Aussi à mon frère .....et à ma sœur .....que j'aime beaucoup et qui m'ont suivi avec une affection chaleureuse et continue.*

*A tous ceux qui m'ont inspiré, qui m'ont encouragé, et que dans mes moments les plus difficiles m'ont soutenu, je dédie ce fruit de travail qu'ils trouvent en lui leur paix et satisfaction. Merci Dieu pour cette flamme d'ambition et merci pour le proverbe qui était mon moteur : « Il faut sacrifier aujourd'hui pour gagner demain ».*

*Khadija*

## **Remerciements**

*Au terme de ce rapport il est de notre devoir de présenter nos profondes gratitudee à tous ceux qui nous ont aidées, encouragé et dirigé pour l'élaboration de ce travail.*

*Je voudrais remercier mon encadreur Mr Ferhi Malek tout d'abord de m'avoir proposé ce sujet, de m'avoir aidé, encadré tout au long du projet et pour son soutien et ses recommandations judicieuses. Je le remercie pour sa patience et sa disponibilité durant ma préparation de ce mémoire.*

*Je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin dans le bon déroulement du projet. Nous exprimons aussi notre reconnaissance à nos enseignants de l'ISSAT Gafsa qui ont si bien mené leur noble métier d'enseignement. Nous les remercions non seulement pour le savoir qu'ils nous ont transmis, mais aussi pour la fierté et l'ambition que leurs personnes nous aspirent.*

*Nous remercions également tous les membres du jury d'avoir accepté d'assister à la présentation de ce travail*

# Table des matières

Remerciements .....	4
Table des matières .....	5
Liste des figures .....	7
Liste des tableaux .....	8
Introduction Générale .....	9
Chapitre 1 : Contexte générale du projet.....	11
1. Introduction.....	11
2. Organisme d'accueil .....	11
3. Etude de l'existant et Problématique.....	12
4. Solution proposée .....	12
5. Conclusion .....	13
Chapitre 2 : Généralités sur le réseau 5G.....	15
1. Introduction.....	15
2. Bref historique des réseaux sans fil cellulaires.....	15
2.1. Première génération 1G .....	15
2.2. 2G : GSM (Global System for Mobile communication) .....	16
2.3. 3G : UMTS (Universal Mobile Télécommunications System) .....	16
2.4. 4G : LTE (Long Term Evolution) .....	16
2.5. 5G :Cinquième génération .....	17
2.5.1. Les exigences du réseau 5G.....	17
2.5.2. Architecture du réseau 5G .....	17
2.5.3. Technologies clés de réseau 5G .....	18
2.5.4. Domaines d'applications du réseau 5G .....	20
3. Conclusion .....	21
Chapitre 3 : Planification et Dimensionnement du Réseau Mobile 5G.....	23
1. Introduction.....	23
2. Processus de Dimensionnement .....	23
3. Dimensionnement de couverture .....	24
3.1. Bilan de liaison.....	25
3.2. Modèle de Propagation.....	26
3.2.1. Modèle Okumura-Hata.....	26
3.2.2. Modèle COST-231 Hata .....	27
3.3. Détermination du nombre de sites .....	27
4. Conclusion .....	28

Chapitre 4 : Spécification des besoins et conception.....	30
1. Introduction.....	30
2. Spécification des besoins .....	30
2.1. Paramètres d'entrée .....	30
2.2. Paramètres de sortie .....	30
2.3. Besoins fonctionnels.....	30
2.4. Besoins non fonctionnels .....	31
3. Conception .....	31
3.1. Diagramme de cas d'utilisation .....	32
3.2. Diagramme de classe.....	33
3.3. Diagramme de séquence.....	35
4. Conclusion .....	36
Chapitre 5 : Réalisation .....	38
1. Introduction.....	38
2. Environnement de travail.....	38
2.1. Environnement matériels.....	38
2.2. Environnement Logiciel .....	38
3. Présentation des interfaces.....	39
3.1. Interface d'inscription .....	39
3.2. Interface d'authentification .....	40
3.3. Interface « Welcome » .....	41
3.4. Interface Paramètres et Calcul de Path Loss .....	41
3.5. Interface Calcul de nombre de sites.....	42
4. Conclusion .....	43
Conclusion Générale.....	44
Bibliographie.....	45

## Liste des figures

Figure 1. Logo Tunisie Telecom.....	11
Figure 2. Architecture global NG-RAN .....	18
Figure 3. Une illustration de MIMO massive .....	19
Figure 4. Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD .....	20
Figure 5. Application des réseaux 5G .....	21
Figure 6. Processus de dimensionnement.....	23
Figure 7. Processus Calcul de Dimensionnement de couverture .....	25
Figure 8. Diagramme de cas d'utilisation .....	33
Figure 9. Diagramme de classe.....	34
Figure 10. Diagramme d'authentification .....	35
Figure 11. Diagramme de calcul de Path Loss .....	35
Figure 12. Logo Android Studio .....	39
Figure 13. Logo star UML .....	39
Figure 14. Interface d'inscription.....	40
Figure 15. Interface d'authentification.....	40
Figure 16. Interface Welcome.....	41
Figure 17. Interface Paramètres et calcul de Path Loss.....	42
Figure 18. Interface calcul de nombre de sites .....	43

## Liste des tableaux

Tableau1. *Performances du réseau 5G ciblées par le projet IMT-2020*..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau2. *Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs* ..... 28



# Introduction Générale

Suite à la forte pénétration des appareils nomades (tablettes et smartphones) dans le secteur de la téléphonie mobile, on constate actuellement une explosion du trafic de données dans les réseaux cellulaires. Les performances de ces dispositifs mobiles ont permis en effet de faire évoluer les usages, avec la prolifération d'applications gourmandes en débit et utilisant la géo localisation (visioconférence, vidéo streaming, cloud computing, info trafic, etc.). A ceci se rajoute en perspective les communications sans fil entre objets (« Internet Of Things »).

Cette évolution a conduit les opérateurs à adapter leurs méthodes de dimensionnement et de planification aux nouvelles technologies. La complexité au niveau du réseau est augmentée, et elle devient encore plus importante lorsque les réseaux regroupent plusieurs technologies d'accès pour former un réseau hétérogène. La prochaine évolution des technologies de communications sans fil concerne les réseaux mobiles de prochaine génération, dont le développement est basé sur l'infrastructure préexistante. La planification doit répondre à de nouveaux défis, l'accroissement des nouveaux services, la compatibilité avec les réseaux actuels, la gestion intercellulaire des utilisateurs ainsi que la qualité de service. Ce passage doit faire l'objet d'une bonne planification qui vise à déterminer l'ensemble des composantes (matérielles et logicielles) de tels système, les positionner, à les interconnecter et à les utiliser de façon à minimiser le cout supplémentaire d'exploitation des ressources de réseau, tout en garantissant un certain degré de disponibilité et de performance.

Dans ce cadre, se réalise notre projet de fin d'étude qui est effectué en collaboration avec la société Tunisie Telecom et qui vise à réaliser un outil de planification de réseau 5G. De ce fait, nous avons organisé notre plan de projet comme suit :

- Généralité sur le réseau 5G
- Études technologiques du réseau 5G
- Dimensionnement du réseau 5G
- Les résultats de simulation du dimensionnement

# **Chapitre 1 :** ***Contexte générale du projet***

## Chapitre 1 : Contexte générale du projet

### 1. Introduction

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter l'organisme d'accueil de notre projet « Tunisie Telecom » tout en précisant ses activités ainsi que ses objectifs. Par la suite nous allons détailler le contexte du projet suivi de la problématique. Enfin, nous allons décrire la méthodologie qui consiste à concevoir et à développer une application pour la solution adoptée.

### 2. Organisme d'accueil

L'office national des télécommunications est créé suite à la promulgation de la loi N°36 du 17 avril 1995. Il a ensuite changé de statut juridique en avril 2004, pour devenir une société anonyme dénommée « Tunisie Telecom ».

Depuis sa création, Tunisie Telecom œuvre à consolider l'infrastructure des télécoms en Tunisie, à améliorer le taux de couverture et à renforcer sa compétitivité. Elle contribue activement à la promotion de l'usage des TIC et au développement des sociétés innovantes dans le domaine des télécoms.

Cette entreprise se place aujourd'hui parmi les plus grands opérateurs des télécommunications de la région et elle est présente sur les segments de la téléphonie fixe, mobile, de l'internet et elle compte plus de 6 millions abonnés dans la téléphonie fixe et mobile.

Sa politique de diversification des services lui a permis d'offrir à ses clients une gamme de services au niveau de la téléphonie fixe, de la téléphonie mobile, et transmission par satellite, l'ADSL et fibre optique.



**Figure 1.** *Logo Tunisie Telecom*

### 3. Etude de l'existant et Problématique

L'évolution technologique au niveau des réseaux radio mobiles est devenue très perpétuelle. On cherche toujours à optimiser ces réseaux en élargissant la portée des stations de base, augmenter leurs capacités de point de vue débit par exemple et améliorer la qualité de service. Les dernières technologies 3G comme l'UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), HSPA (High-Speed Packet Access) et la 4ème Génération 4G offrent des performances acceptables.

Cette évolution technologique, malgré les améliorations apportées, s'est confrontée à une explosion spectaculaire du trafic, du nombre d'utilisateurs et des contenus multimédia. C'est pourquoi, ces anciennes générations de réseau cellulaire ne devraient rapidement plus suffire seules à faire face à cette progression du trafic mobile. Cependant, les organismes de standardisation comme le 3GPP ou le IEEE cherchent toujours à développer de nouvelles normes afin d'atteindre les caractéristiques de la 5ème génération (5G). Cette nouvelle norme apporte des débits plus importants que la 4G, et qui peuvent être garantis (la 4G n'assure qu'un débit maximal possible), avec aussi un temps de latence plus faible. Comment alors peut-on Réaliser :

- ❖ Le dimensionnement d'un réseau cellulaire 5G: combien de stations de base sont-elles nécessaires pour couvrir une région caractérisée par une certaine propagation radio et un certain trafic ?
- ❖ La capacité d'un réseau cellulaire : combien d'abonnés peuvent être servis par le réseau ?
- ❖ La couverture : quelle est le rayon des cellules ?
- ❖ Le déploiement : quelles techniques radio utilisées pour augmenter la couverture et/ou la capacité ?

### 4. Solution proposée

Pour remédier à ces problèmes, nous développerons un outil de planification de la couverture radio du réseau 5G simple et efficace qui a pour but la détermination de la densité nécessaire et la configuration des sites radio pour aboutir à une meilleure qualité de services. Pour cela nous décrirons le processus de dimensionnement, les méthodes, les modèles et les outils de mise au point nécessaires. Notre application de planification permet de faciliter ainsi le travail des agents de Telecom et les aider à prendre une décision adéquate concernant le dimensionnement de réseau 5G.

Notre projet a pour objectif :

- ❖ Description des fonctionnalités du réseau 5G nécessaire pour le dimensionnement.
- ❖ Présentation des modèles de base pour le dimensionnement du réseau d'accès.
- ❖ Estimation de la couverture ainsi que les éléments du réseau.
- ❖ Développement et description d'une application de planification.

## **5. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons décrit l'organisme d'accueil en représentant le contexte, étude de l'existant, et la problématique du projet. Nous avons par la suite présenté la solution à mettre en place. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter une étude technologique de réseau 5G.

# *Chapitre 2 : Généralités sur le réseau 5G*

## Chapitre 2 : Généralités sur le réseau 5G

### 1. Introduction

Les réseaux mobiles ont connu de nombreuses évolutions depuis une trentaine d'années. Ces innovations technologiques ont permis d'offrir de plus en plus de services aux différents utilisateurs avec des débits croissants. Le monde a été témoin de cinq générations de systèmes de communication mobile qui font généralement référence à un changement de nature du système, chacun associé à un ensemble spécifique de technologies et de cas d'utilisation assistés.

Aujourd'hui, il y aurait des milliards d'objets connectés au niveau mondial. Cette valeur provient surtout des services créés qui reposent en grande partie sur le traitement massif des données (Big Data). L'architecture même des réseaux est évoluée pour répondre à une demande croissante de qualité de service, de fiabilité et de rapidité. La 5G est présentée comme l'ensemble des technologies dont le but est notamment d'améliorer l'efficacité spectrale en transmettant plus de contenus avec un débit plus élevé.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'évolution des générations des réseaux mobiles, en se focalisant sur la cinquième génération. Nous commençons par une simple comparaison entre ses performances avec celles de la 4G et ses exigences en termes de débit, latence et capacité. Ensuite, nous décrirons son architecture radio. Enfin, nous introduirons le concept des réseaux cellulaires.

### 2. Bref historique des réseaux sans fil cellulaires

Les réseaux de communication mobile ont toujours connu une évolution continue et rapide depuis leur lancement en tant que réseaux téléphoniques. D'une génération à l'autre, les services se sont multipliés et diversifiés pour inclure les données dans un premier temps puis la vidéo et de nombreux autres services au fur et à mesure.

#### 2.1. Première génération 1G

La communication mobile était disponible avant le réseau de la première génération (1G), mais généralement à petite échelle et ciblant un groupe très sélectionné de personnes. Dans les années 80, le réseau mobile était une version analogique connue sous le nom de première génération (1G).

La 1G était en mesure de gérer uniquement la voix, caractérisée par des communications non sécurisées entre les terminaux et les stations de bases, sans roaming vers l'international. Les systèmes 1G reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Ils utilisaient une technique d'accès multiple FDMA (Frequency Division Multiplex Access) qui consiste à diviser la bande passante du support de communication en bandes de fréquences distinctes. La capacité de ces systèmes reste limitée à quelques appels voix simultanés par cellule.

### **2.2. 2G : GSM (*Global System for Mobile communication*)**

La deuxième génération (2G) repose sur l'utilisation d'un système numérique par onde électromagnétique. L'un de ses standards qui a rencontré le plus large succès est le GSM, idéal pour la communication de type voix où les ressources ne seront allouées que pour la durée de la conversation. Cette génération permet également la transmission des données, notamment des messages courts (SMS) et des messages multimédias (MMS).

Cependant, l'utilisation de ces services a augmenté significativement le trafic des données dans les réseaux (2G) qui n'étaient plus en mesure de satisfaire toutes les exigences des usagers.

### **2.3. 3G : UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)**

L'UMTS est l'une des technologies mobiles de troisième génération. Cette technologie utilise la bande de fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données avec des débits pouvant aller jusqu'à 2 Mbps. Elle est basée sur la technique d'étalement de spectre WCDMA (Wideband CDMA) qui consiste à exploiter une plus large bande de fréquence pour envoyer un grand nombre de données par paquet. L'UMTS ouvre la porte à des nouvelles applications et services, concernant surtout l'aspect vidéo : Visiophonie, MMS Vidéo, Vidéo à la demande et Télévision.

### **2.4. 4G : LTE (*Long Term Evolution*)**

L'organisme de standardisation 3GPP a défini la norme LTE commercialisée en octobre 2010, basée entièrement sur les protocoles IP. Cette norme opère sur une fréquence à large bande de 1,4 MHz à 20 MHz et un débit de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s en mode stationnaire. L'architecture du LTE permet de réduire la latence, de mieux gérer les utilisateurs en mobilité, d'offrir une meilleure qualité de service et une meilleure gestion de la sécurité [1], [2].



### 2.5. 5G : Cinquième génération

L'avancée impressionnante réalisée par les systèmes 4G n'est plus suffisante pour faire face à l'explosion du volume de trafic des données. Ce déluge de données est causé par la forte croissance du nombre d'appareils connectés sur les réseaux (téléphones intelligents, tablettes, etc.), d'une part, et le partage des vidéos à très haute définition via surtout les médias sociaux tel que You Tube et Face book, d'autre part. Visant à satisfaire cette exigence, des études sur les systèmes de cinquième génération (5G) ont été récemment entamées par des industriels et groupes de recherche [3].

#### 2.5.1. Les exigences du réseau 5G

Les exigences de la 5G vont au-delà de celles exigées par le secteur de la radiocommunication de l'ITU pour la 4G [4]. Certaines des principales exigences de la 5G sont :

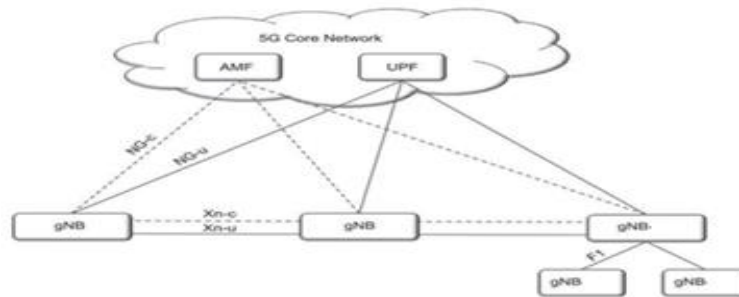
**Tableau1.** Performances du réseau 5G ciblées par le projet IMT-2020

Paramètres	Valeurs
Débit maximum descendant	20Gbit/s
Débit maximum ascendant	10Gbit/s
Efficacité spectrale maximale dans le sens descendant	30 bit/s/Hz
Efficacité spectrale maximale dans le sens ascendant	15 bit/s/Hz
Trafic par unité de surface	10 Mbit/s/m <sup>2</sup>
Temps de latence	1 - 4 ms
Densité de terminaux connectés	1 million/km <sup>2</sup>
Largeur de bande	100z – 1 GHz

#### 2.5.2 : Architecture du réseau 5G

Un système de radiocommunication mobile se compose essentiellement du réseau central (réseau de transport et de commande) et du réseau d'accès radio. Le réseau central relie les stations d'émetteurs entre elles et transporte les données d'utilisateur et les signaux de commande entre les stations d'émetteurs et les autres réseaux de télécommunication

(autres réseaux de téléphone, internet, etc.). Le réseau central 5G se nomme "5G Core Network" (5G CN). Le réseau d'accès radio comprend les stations d'émetteurs (stations de base) et constitue l'interface vers les terminaux.



**Figure 2.** Architecture globale NG-RAN

La figure ci-dessus décrit l'architecture simplifiée du réseau 5G [5]. Les stations de base sont soit des gNB fournissant des terminaisons de protocoles du plan utilisateur et du plan de contrôle, soit des ng-eNB. Les gNB sont les stations de base 5G natives supportant les fonctionnalités radio 5G par défaut alors que les stations de base ng-eNB sont des stations de base 4G mises à niveau pour supporter les services radio 5G dans le but d'assurer une migration progressive entre les deux standards.

Les stations gNB et ng-eNB sont interconnectées via l'interface Xn. L'ensemble de ces stations constitue le réseau d'accès de nouvelle génération (NG-RAN, Next Generation Radio Access Network). L'interconnexion des gNB et ng-eNB avec le réseau cœur (5G Core) se fait avec les fonctions réseau AMF (Access and Mobility Management Function) et UPF (User Plane Function) du cœur à travers l'interface NG.

La fonction AMF est chargée de la signalisation non liée aux données utilisateur (mobilité, sécurité, ...). Elle supporte des terminaux utilisateurs (UE, User Equipment) avec différents profils de mobilité. L'UPF gère les fonctionnalités liées aux données utilisateur (routage de packets, QoS, reporting du trafic utilisateur...). AMF et UPF sont les fonctions du réseau cœur qui s'interfaçent avec le réseau d'accès.

### 2.5.2. Technologies clés de réseau 5G

#### ❖ Ondes millimétriques

La majorité des réseaux cellulaires actuels opèrent dans des bandes particulièrement étroites au-delà des 2 GHz et dans laquelle les signaux se propagent sur une grande distance

dans l'air libre, en demeurant, toutefois, dans un spectre quelque peu limité. Les ondes millimétriques offrent une bande passante substantiellement plus grande que les bandes présentement utilisées dans les télécommunications. Cependant, l'utilisation de ces ondes nécessite l'installation de dizaines de milliers de nouvelles antennes.

#### ❖ MIMO massive

Cette technologie se caractérise par l'utilisation d'un nombre d'antennes particulièrement élevé sur une station de base (des dizaines ou plus de 100 éléments). Ces antennes permettent de former des faisceaux très directifs vers les terminaux, qu'ils soient fixes ou en mouvement.

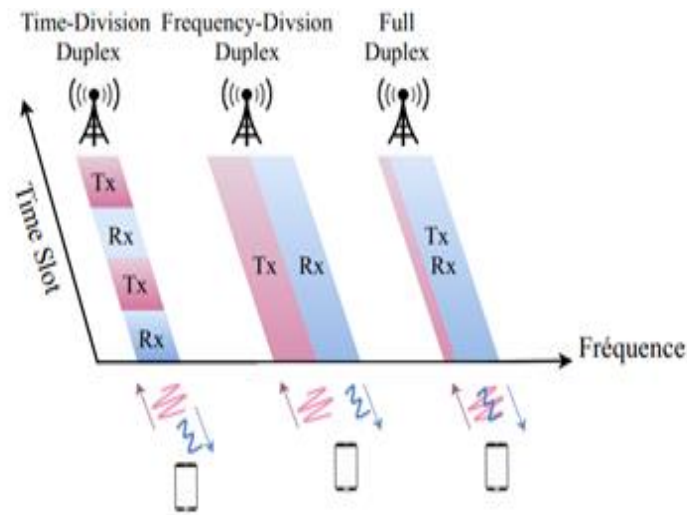
Les antennes Massive MIMO permettent d'atteindre un débit et une capacité de transmission de données inaccessibles aujourd'hui avec la 4G.



**Figure 3.** Une illustration de MIMO massive

#### ❖ Les communications full duplex

Dans les systèmes classiques, l'émission et la réception se font, soit sur des bandes de fréquence différentes FDD (Frequency Division Duplexing), soit à des instants différents TDD (Time Division Duplexing). Le concept de développer le full duplex 5G est de pouvoir émettre et recevoir simultanément des données, sur la même fréquence, au même moment et au même endroit [6], comme illustré par la figure 4.



**Figure 4.** Illustration du full-duplex, comparé au FDD et TDD

### 2.5.3. Domaines d'applications du réseau 5G

L'essor de la 5G permettra le déploiement massif de l'Internet des objets (IoT), et il peut être très bénéfique s'il est utilisé à des fins industrielles ou dans des applications liées à la santé. Différentes applications de la 5G sont illustrées par la figure 5 :

- La ville intelligente (smart-city) dont l'infrastructure pourrait être gérée plus efficacement tout en optimisant sa consommation de ressources grâce à des réseaux de capteurs complexes.
- La maison connectée qui grâce à des capteurs et à la domotique pourra être gérée, notamment en terme de ressources, et utilisée facilement et efficacement ou encore sécurisée à distance.
- Les transports connectés, avec notamment l'avènement des voitures autonomes, qui permettra de sécuriser et d'optimiser le réseau routier.
- La santé connectée avec des innovations majeures telles que la chirurgie à distance des patients et personnes à risques.
- ...



**Figure 5.** Application des réseaux 5G

### 3. Conclusion

Pour permettre la connectivité pour une étendue des applications large et employer des cas, les possibilités de l'accès 5G sans fil doivent sortir loin au-delà de ceux des générations précédentes des communications mobiles. Ces possibilités incluent des débits réalisables très élevés, la latence très basse et la fiabilité ultrahaute. L'accès 5G sans fil permet donc de soutenir une augmentation massive du trafic dans une manière accessible et soutenable, impliquant un besoin de réduction dramatique de la consommation de coût et d'énergie.

**Chapitre 3 :**  
***Planification et***  
***Dimensionnement du Réseau***  
***Mobile 5G***

## Chapitre 3 : Planification et Dimensionnement du Réseau Mobile 5G

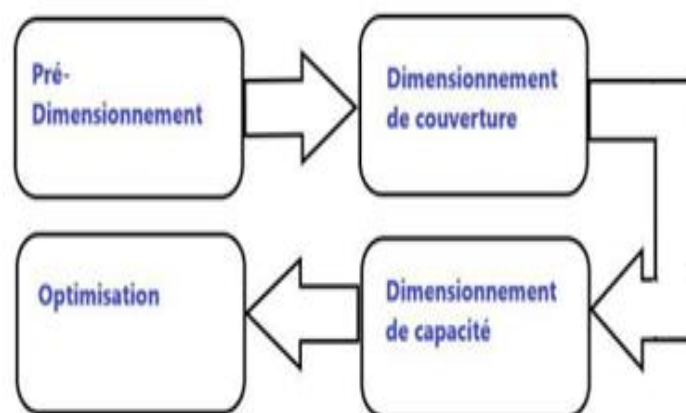
### 1. Introduction

Le dimensionnement d'un réseau mobile est une phase très importante. En effet, un opérateur doit se focaliser sur la planification avant la mise en œuvre de son réseau afin d'assurer un coût minimal des liaisons radio et de l'infrastructure du réseau, et ce en tenant compte de la couverture radio et de la taille des cellules sous réserve de contraintes de la QoS (Quality of Service), et d'estimer le nombre approximatif des sites nécessaires et le nombre des stations de base. Dans ce chapitre, nous présenterons notre processus de planification et de dimensionnement du réseau 5G.

### 2. Processus de Dimensionnement

L'étape de dimensionnement constitue une étape fondamentale dans la conception d'un réseau cellulaire. Cette phase permet aux concepteurs de trouver une disposition optimale des sites radio. Etant donné les caractéristiques de l'environnement à couvrir, les caractéristiques des abonnés à desservir en termes de densité et de demande en trafic, les spécifications des équipements et la bande de fréquence, notre objectif est de dimensionner le réseau en essayant de concilier le coût en tenant compte des contraintes de QoS. L'opération de dimensionnements se base sur des données de départ obtenues suite à des statistiques et estimations pour aboutir à des résultats permettant au réseau de couvrir la totalité de la zone considérée en divers services.

Le dimensionnement se fait sur deux plans : le plan capacité et le plan couverture. En fait, l'analyse de la couverture reste l'étape la plus critique dans la conception du réseau 5G.



**Figure 6.** *Processus de dimensionnement*

Comme montre la **figure 6**, le processus de dimensionnement comporte 4 étapes :

❖ **Pré-dimensionnement\***

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement comme par exemple :

- Les informations (en détail) sur l'eNodeB et l'User Equipement.
- Les informations sur la zone de déploiement (superficie, informations démographiques).
- Les données géographiques : cartographie, population, zone à couvrir et taux de pénétration des abonnés dans cette zone (trafic offert, services demandés, ...).
- Les services à offrir : voix et données.
- La liste des sites : identifier clairement les lieux pour placer les eNodeB.
- Type d'antenne à utiliser.

❖ **Dimensionnement de couverture :**

Le dimensionnement de couverture est une phase très importante. On va se baser sur le bilan de liaison, qui fournit une estimation du taux de perte du trajet. Pour ce faire, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée et complétée par les besoins de capacité.

❖ **Dimensionnement de capacité :**

Le dimensionnement de capacité permet d'évaluer le nombre de sites nécessaires, pouvant supporter la charge demandée selon le résultat du dimensionnement par couverture, sinon de nouveaux sites doivent être ajoutés.

❖ **Optimisation :**

L'optimisation consiste à comparer les résultats du dimensionnement (en couverture et en capacité) et d'en retenir que ceux avec le plus grand nombre de sites.

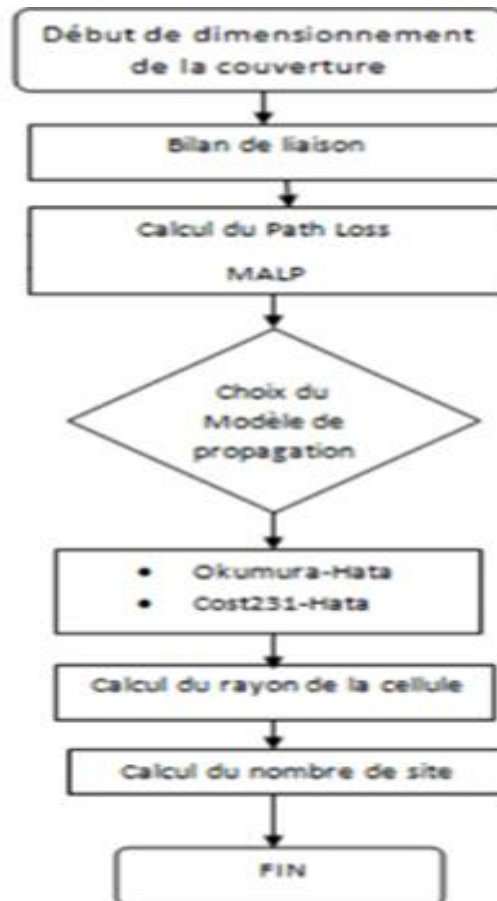
### **3. Dimensionnement de couverture**

Le dimensionnement de la couverture d'un réseau consiste à déterminer le nombre des sites nécessaire pour couvrir une zone donnée. On va se baser sur le bilan de liaisons (RLB:



Radio Link Budget), qui permet d'estimer le taux perte du trajet (Path Loss). Pour cela, il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié.

Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites nécessaire pour couvrir le domaine. Cette démarche se résume dans la figure 7.



**Figure 7.** *Processus Calcul de Dimensionnement de couverture*

Initialement nous devons déterminer l'affaiblissement de parcours maximal (Maximum Allowable PathLoss MAPL) en passant par le bilan de liaison (RLB).

### 3.1. Bilan de liaison

Un équilibrage de puissance est nécessaire pour les liaisons montantes et descendantes, pour cela un ajustement des paramètres des liaisons est nécessaire pour les équilibrer. Une liaison équilibrée signifie un fonctionnement symétrique du système en tout point de la couverture.

Le but de bilan de liaison est de calculer l'atténuation de parcours maximale permise entre la station de base ou relais et le récepteur pour un service donné. L'atténuation de parcours maximale est alors employée pour choisir des antennes et des configurations pour les stations de base ou relais, et pour la planification de la puissance de sortie sur les différents canaux des stations de base ou relais.

L'équation RLB de base peut être écrite comme suit (en dB) :

$$\text{PathLoss} = T_x \text{Power} + T_x \text{Gains} - T_x \text{Losses} - S_{eNB} + R_x \text{Gain} - R_x \text{Losses} - R_x \text{Noise}$$

Avec :

- ✓ PathLoss : perte de trajet totale rencontré par le signal provenant de l'émetteur au récepteur (dB)
- ✓  $T_x \text{Power}$  : La puissance transmise par l'antenne de l'émetteur (dBm)
- ✓  $T_x \text{Gain}$ : Gain d'antenne d'émission (dBi)
- ✓  $T_x \text{Losses}$  : les pertes de l'émetteur (dB)
- ✓  $S_{eNB}$ : Sensibilité de eNodeB (dBm)
- ✓  $R_x \text{Gains}$  : Gain d'antenne de réception (dB)
- ✓  $R_x \text{Losses}$  : Les pertes du récepteur (dB)
- ✓  $R_x \text{Noise}$  : Bruit du récepteur (dB)

### 3.2. Modèle de Propagation

Les modèles de propagation simulent la manière avec laquelle les ondes radio se propagent dans l'environnement d'un point à l'autre. On distingue plusieurs types de modèles :

#### 3.2.1. Modèle Okumura-Hata

Ce modèle prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement la nature de l'environnement (urbain, suburbain, rural) [8]:

- ❖ Fréquence (f) : 150 à 1500MHz.
- ❖ Hauteur de la station de base (Hb) : 30 à 200 m (dépend toujours de la zone).
- ❖ Hauteur du terminal mobile (Hm) : 1 à 10m.
- ❖ Distance (d) : 1 à 20km.

$$L(db) = A + B \log_{10}(d) \rightarrow \text{Pour la zone urbaine}$$

$$L(db) = A + B \log_{10}(d) - C \rightarrow \text{Pour la zone suburbaine}$$

$$L(db) = A + B \log_{10}(d) - D \rightarrow \text{Pour la zone rurale}$$

Avec :

- $A = 69.55 + 26.161 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(Hb) - a(Hm)$
- $B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb)$
- $C = 5.4 + 2[\log_{10}(\frac{f}{28})]^2$
- $D = 40.94 + 4.78[\log_{10}(f)]^2 - 18.33 \log_{10}(f)$
- $a(Hm) = [1.1 \log_{10}(f) - 0.7]Hm - [1.56 \log_{10}(f) - 0.8]$  pour les petites ou moyennes villes.
- $a(Hm) = 8.29[\log_{10}(1.54Hm)]^2 - 1.1$  pour les grandes villes et  $f < 200$  MHz
- $a(Hm) = 3.2[\log_{10}(11.75Hm)]^2 - 4.97$  pour les grandes villes et  $f \geq 400$  MHz

### 3.2.2. Modèle COST-231 Hata

Le modèle Cost231-Hata [7] est une dilatation du modèle Okumura-Hata à 2 GHz dans les zones urbaines, puis l'aboutir, en ajoutant des achèvements correctifs pour tous les autres entourages (suburbain et rural).

- ❖ Fréquence (f) : 1500 à 2000MHz.
- ❖ Hauteur de la station de base (Hb) : 30 à 200 m (dépend toujours de la zone).
- ❖ Hauteur du terminal mobile (Hm) : 1 à 10m.
- ❖ Distance (d) : 1 à 20km.

L'affaiblissement L en dB est donné par :

$$L(db) = A + B \log_{10}(d) + C$$

Avec :

$$A = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.28 \log_{10}(Hb) - a(Hm)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb)$$

$$a(Hm) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)Hm - 1.56 \log_{10}(f) + 0.8 \text{ et } C = 0 \text{ db pour la zone urbaine et suburbaine.}$$

$$a(Hm) = 3.2(\log_{10}(11.75Hm))^2 \text{ et } C = 3 \text{ db pour la zone urbaine dense.}$$

### 3.3. Détermination du nombre de sites

Après avoir calculé l'affaiblissement de parcours maximum (MAPL) par l'établissement d'un bilan de liaison équilibré, nous pouvons déterminer le rayon de la cellule en utilisant le modèle de propagation adéquat.

En effet, lorsque l'affaiblissement de parcours est égal à sa valeur maximale, la distance parcourue est égale au rayon de la cellule. On peut prendre un exemple, en supposant

que l'environnement est urbain et qu'on va y appliquer le modèle Okumura-Hata. Alors, on obtient:

- ❖  $MAPL = 69.5 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(Hb) - a(Hm) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb)] \log_{10}(R_{cell})$
- ❖  $MAPL - (69.5 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(Hb) - a(Hm)) = (44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb)) \log_{10}(R_{cell})$
- ❖  $\log_{10}(R_{cell}) = [MAPL - (69.5 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(Hb) - a(Hm))] / (44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb))$

D'où le rayon de la cellule en Km est donné par :

$$❖ R_{cell} = 10^{([MAPL - (46.33 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(Hb) - a(Hm))] / (44.9 - 6.55 \log_{10}(Hb)))}$$

Une fois le rayon de la cellule est déterminé, on peut calculer la superficie de couverture de la cellule (Empreinte). Cette dernière dépend bien du nombre de secteurs par site (omnidirectionnel, bi-sectoriel ou tri-sectoriel) :

Nombre de secteur par site	Empreinte
1	$S_{cell} = 2,6 \times R_{cell}^2$
2	$S_{cell} = 1,3 \times 2,6 \times R_{cell}^2$
3	$S_{cell} = 1,95 \times 2,6 \times R_{cell}^2$

**Tableau2.** *Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs*

Avec l'empreinte du site, et sachant la superficie totale de la zone de déploiement, on peut enfin aboutir au nombre de sites demandés pour la couverture par la division de la superficie totale par l'empreinte du site.

#### 4. Conclusion

L'étape de dimensionnement d'un réseau est l'étape cruciale pour la mise en place du réseau dans le but de l'optimisation du déploiement. Dans ce chapitre nous avons détaillé les calculs nécessaires pour le dimensionnement de réseau 5G qui seront nécessaires par la suite pour la conception et le développement de notre application.

# *Chapitre 4 : Spécification des besoins et conception*

## Chapitre 4 : Spécification des besoins et conception

### 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous entamons la spécification des besoins et la conception de notre application. Nous commençons par définir les besoins fonctionnels et non fonctionnels. Nous élaborerons ensuite une étude conceptuelle détaillée de notre application, telle que le diagramme de cas d'utilisation, diagramme de classe et diagramme de séquences.

### 2. Spécification des besoins

Cette application doit nous permettre de dimensionner la couverture radio d'une zone bien définie avec des différents modèles de propagation telle que Okumura-Hata et Cost213-Hata et donc de permettre d'alléger le travail du planificateur. Elle se base sur un ensemble de paramètres d'entrée qui sont propres à l'opérateur, équipementier et les besoins clientèles.

#### 2.1. Paramètres d'entrée

- ❖ La fréquence utilisée et les caractéristiques des antennes à l'émission et à la réception, tel que son gain et sa puissance.
- ❖ Les paramètres du modèle de propagation.
- ❖ Les paramètres du bilan de liaison, tel que les différentes pertes dues à la propagation des ondes à l'espace libre.
- ❖ Caractéristiques de la zone choisie : superficie, type d'environnement (sa densité de la population, nature de la zone, etc).

#### 2.2. Paramètres de sortie

L'application doit afficher les résultats suivants à l'utilisateur :

- ❖ MAPL
- ❖ Rayon de couverture
- ❖ Nombre d'eNodeB
- ❖ Nombre de sites total

#### 2.3. Besoins fonctionnels

L'application doit offrir un GUI (Graphical User Interface) bien structuré, pour simplifier le maximum possible la saisie des données relatives à la phase de pré-dimensionnement.

- Calcul de dimensionnement du réseau suivant les algorithmes et les équations établis dans le chapitre 3

Pour dimensionner le réseau 5G, on doit :

- ❖ Saisir les paramètres d'entrée
- ❖ Choisir un modèle de propagation selon le scénario à étudier
- ❖ Calculer la perte de trajet totale (Path Loss) de liaison.
- ❖ Calculer le rayon de la cellule de couverture
- ❖ Calculer le nombre de relais nécessaire pour la couverture de la zone à étudier

Le responsable de planification doit :

- ❖ Analyser les différents résultats fournis par chaque modèle de planification.
- ❖ Recommander à l'opérateur le modèle qu'il doit utiliser pour la planification d'une zone bien déterminée.

#### **2.4. Besoins non fonctionnels**

Les besoins non fonctionnels sont des exigences qui ne concernent pas le comportement du système, mais plutôt identifient des contraintes internes et externes du système.

Les besoins non fonctionnels de notre application se résument dans les points suivants :

- ❖ L'ergonomie : l'application offre une interface conviviale et facile à utiliser sans nécessiter des connaissances poussées.
- ❖ Fiabilité : Accès rapide et directe
- ❖ Sécurité: L'accès à cette application est par un identifiant et un mot de passe
- ❖ Le code doit être clair pour permettre des futures améliorations.
- ❖ Garantir l'intégrité et la cohérence des données à chaque insertion.

### **3. Conception**

Pour la conception de notre système, nous avons choisi l'UML (Unified Modeling Language) qui est un langage graphique conçu pour représenter, spécifier, construire et documenter les composants d'un système. UML permet entre autres de :

- ❖ Standardiser l'élaboration et la construction des logiciels ;

- ❖ Limiter les ambiguïtés grâce à son formalisme ;
- ❖ Normaliser les concepts objet ;
- ❖ Faciliter la représentation et la compréhension des solutions objets ;
- ❖ Construire un langage universel indépendant des langages de programmation.

La modélisation UML contient 3 types de vue :

- Les vues statiques : Diagrammes de classes.
- Les vues fonctionnelles : Diagrammes de cas d'utilisation.
- Les vues dynamiques : Diagrammes de séquence.

### ***3.1. Diagramme de cas d'utilisation***

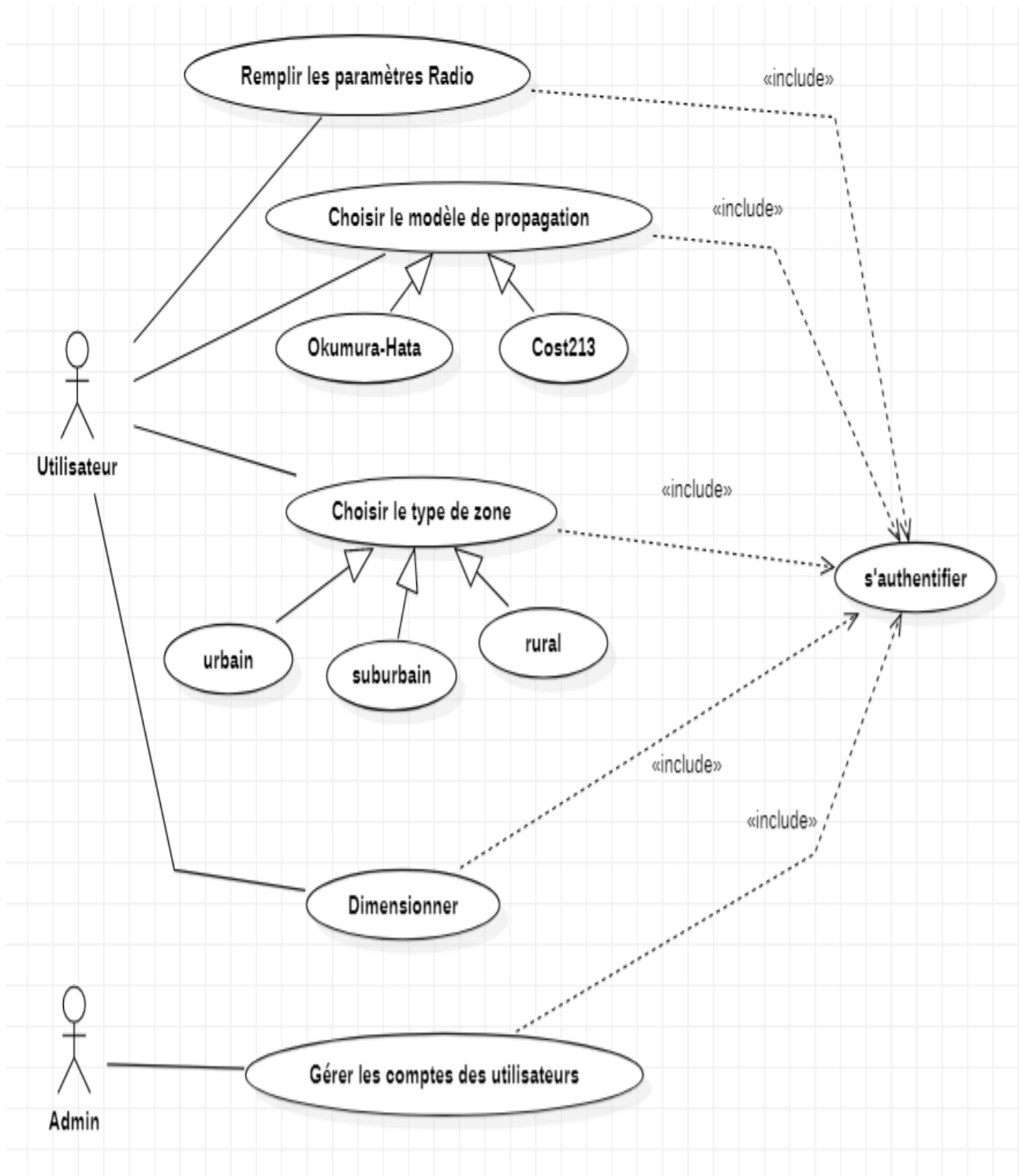
Le but de la conceptualisation d'un diagramme de cas d'utilisation est de comprendre et structurer les besoins de l'utilisateur. Ces besoins qui sont le but attendu par le système à implémenter.

Les acteurs de l'application :

-**Le planificateur** : c'est la personne qui a le droit d'accéder à l'application pour effectuer l'opération de dimensionnement, il doit donc tout d'abord s'identifier. Par la suite il peut commencer par saisir les paramètres radio et les exigences de couverture. Il peut choisir le modèle de propagation et le type de la zone étudiée. Finalement et grâce à l'utilisation de notre outil de dimensionnement, le planificateur peut analyser les différents résultats fournis par chaque modèle de planification et recommander à l'opérateur le modèle le plus adéquat.

-**L'administrateur** : C'est le gérant de l'application, il a une visibilité totale sur l'application. Il a pour tâches de gérer les comptes des membres de son équipe par l'ajout de nouveaux compte ou la suppression des comptes déjà existants.



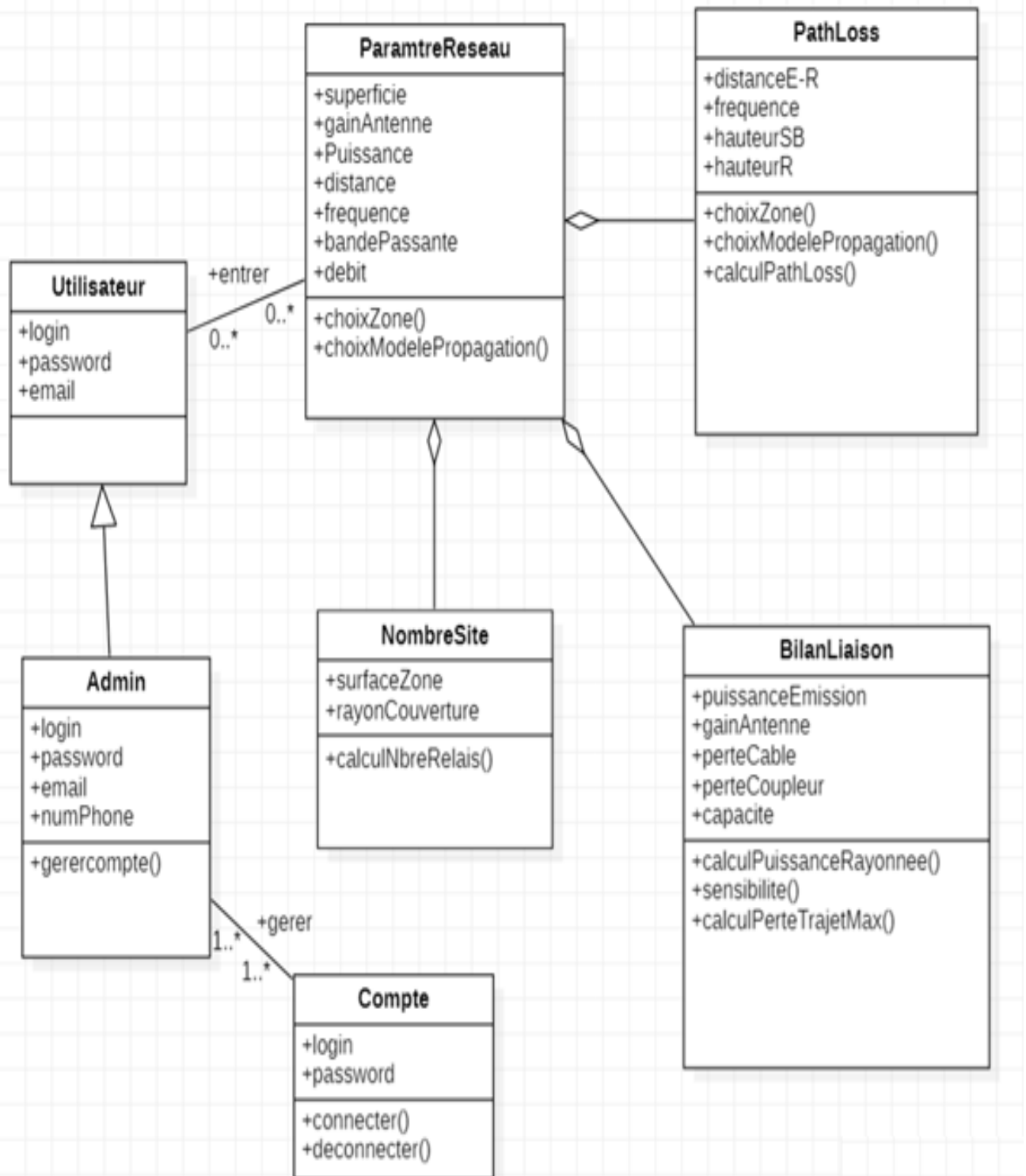


**Figure 8.**Diagramme de cas d'utilisation

### 3.2. Diagramme de classe

Le diagramme de classe est considéré comme le plus important de la modélisation orienté objet. Il s'agit d'une vue statique du fait qu'on ne tient pas compte du facteur temporel

dans le comportement du système. Dans notre cas, le diagramme de classes contient les principales classes utilisées dans notre application avec leurs différents attributs qui seront utilisés plus tard comme des paramètres, ainsi que les relations entre les classes qui précisent le fonctionnement de notre outil.



**Figure 9.**Diagramme de classe

### 3.3. Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence est un diagramme d'interaction entre les objets, qui met l'accent sur le classement des messages par ordre chronologique durant l'exécution du système.

#### Diagramme de séquence : Authentification

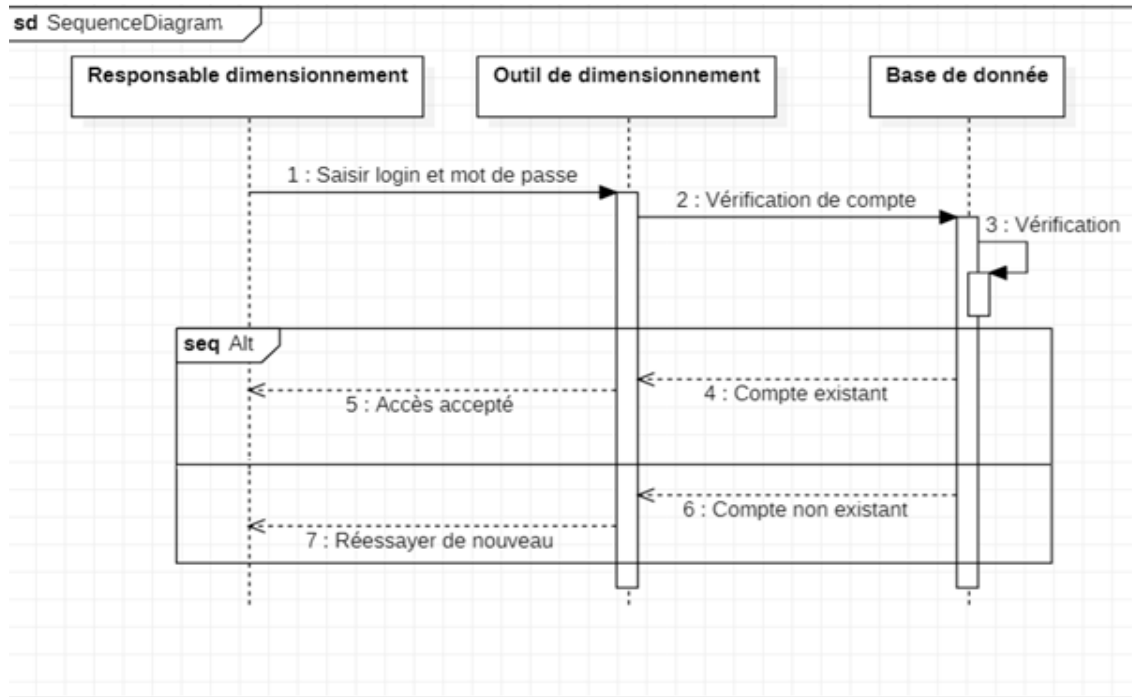


Figure 10. Diagramme d'authentification

#### Diagramme de séquence : Calcul de path loss

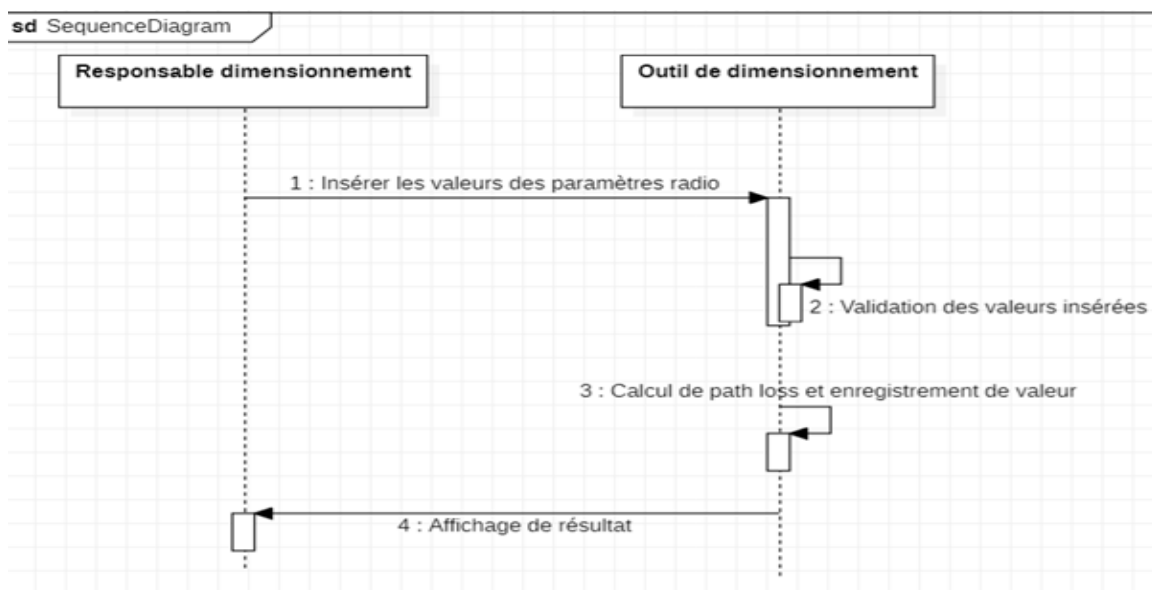


Figure 11. Diagramme de calcul de Path Loss

#### **4. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons précisé les besoins fonctionnels et non fonctionnels de notre système. Par la suite, nous avons modélisé notre application à l'aide du langage de modélisation UML ce qui nous facilitera l'étape final de la réalisation.

# *Chapitre 5 : Réalisation*

## Chapitre 5 : Réalisation

### 1. Introduction

Dans cette partie, nous entamons l'étape finale de notre travail en précisant l'environnement utilisé pour l'élaboration de notre outil de dimensionnement. Ensuite, et pour finir nous allons présenter les différentes interfaces et fonctionnalités de notre application avec des captures écran du système.

### 2. Environnement de travail

#### 2.1. Environnement matériels

Les différentes étapes de réalisation de notre projet sont réalisées sur une machine présentant les caractéristiques suivantes :

- ❖ Processeur Intel (R) Core (TM) i7 -6500U.
- ❖ Disque dur de capacité : 244 Go
- ❖ Mémoire RAM : 8 Go
- ❖ Système d'exploitation : Windows 10 Professionnel avec 64 bits

#### 2.2. Environnement Logiciel

Dans cette partie nous allons citer les différents logiciels utilisés pour la conception et la réalisation de l'application.

##### ✓ *Android studio*

Android est un système d'exploitation pour téléphone portable de nouvelle génération développé par Google. Celui-ci met à disposition un kit de développement (SDK) basé sur le langage Java.

La plateforme Android est un OS (Operating System) basée sur un kernel linux entièrement gratuit, sous licence open source. Elle est composée d'un système d'exploitation, de bibliothèques, et d'un ensemble d'applications.



**Figure 12.***Logo Android Studio*

✓ *StarUML*

StarUML est un logiciel de modélisation UML, cédé comme open source par son éditeur, à la fin de son exploitation commerciale, sous une licence modifiée de GNU GPL. Il gère la plupart des diagrammes spécifiés dans la norme UML 2.0.



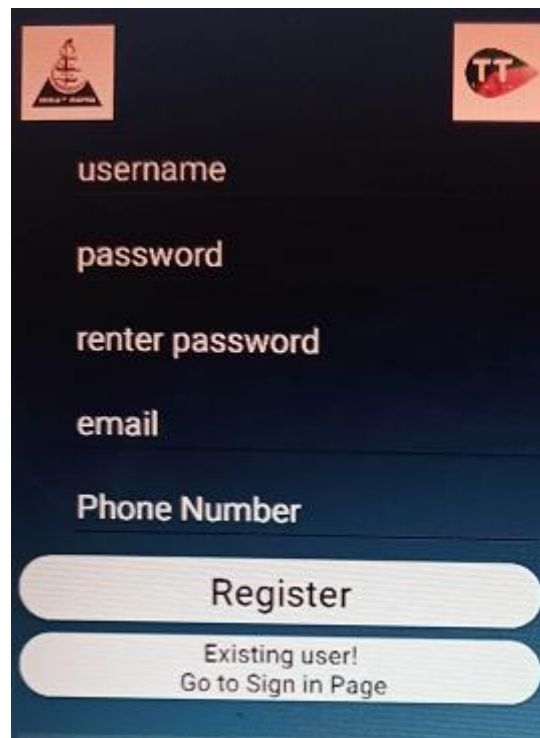
**Figure 13.***Logo star UML*

### 3. Présentation des interfaces

Avant de passer à la simulation, Nous présentons la fenêtre d'accueil de notre application qui est composée de deux choix : « s'inscrire » et « s'authentifier ». Le bouton « s'inscrire » permet de créer un nouveau compte et d'entrer dans l'interface de choix de calcul à faire pour le dimensionnement. Le bouton « s'authentifier » permet d'accéder directement à notre application si vous procédez déjà un compte.

#### 3.1. Interface d'inscription

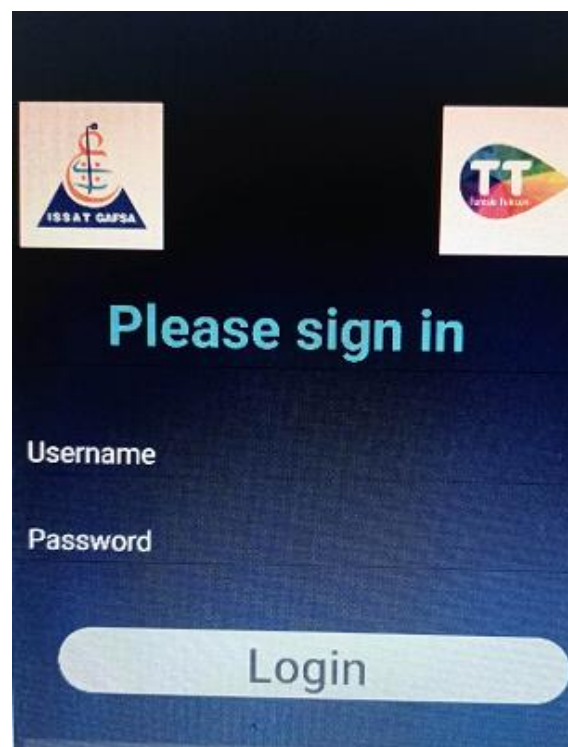
Pour s'inscrire à l'application, il suffit de remplir les données personnelles tel que le nom, mot de passe, mail et numéro de téléphone. Ces données sont construites et stockés dans une base SQLite.


 The image shows a registration form on a dark blue background. At the top left is a logo with a caduceus and the text 'ISSAT GAFSA'. At the top right is a logo with the letters 'TT' and the text 'Tunis Tech'. The form contains five input fields: 'username', 'password', 'reenter password', 'email', and 'Phone Number'. Below these fields are two buttons: a white 'Register' button and a light blue button with the text 'Existing user! Go to Sign in Page'.

**Figure 14.** *Interface d'inscription*

### 3.2. *Interface d'authentification*

Cette page sert à authentifier les utilisateurs de l'application au moyen d'un login et un mot de passe. Si les données sont non valides, un message d'erreur s'affiche.


 The image shows a login form on a dark blue background. At the top left is a logo with a caduceus and the text 'ISSAT GAFSA'. At the top right is a logo with the letters 'TT' and the text 'Tunis Tech'. The form has the heading 'Please sign in' in light blue. Below the heading are two input fields: 'Username' and 'Password'. At the bottom is a white 'Login' button.

**Figure 15.** *Interface d'authentification*



### 3.3. Interface « Welcome »

Après l'authentification, l'interface qui apparaît juste après est celle qui permet de choisir quelque calcul utile pour le dimensionnement du réseau.

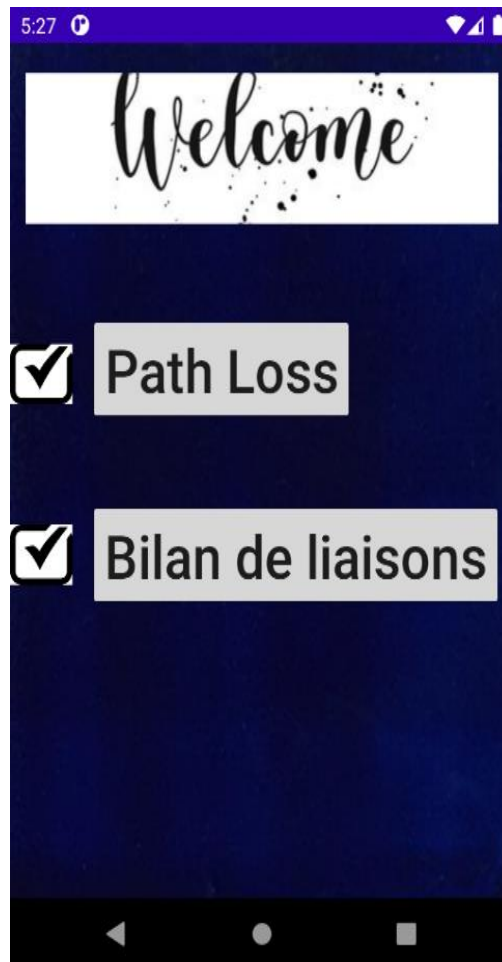


Figure 16. Interface Welcome

### 3.4. Interface Paramètres et Calcul de Path Loss

Dans cette fenêtre, l'utilisateur doit choisir :

- ✓ Type de la zone à dimensionner : urbain, suburbain ou rural
- ✓ Modèle de propagation : Okumura-Hata ou Cost231
- ✓ Bande de fréquence utilisée
- ✓ La distance maximale entre la base et le mobile
- ✓ Hauteur de la station de base

✓ Hauteur mobile

**Figure 17.**Interface Paramètres et calcul de Path Loss

Après le saisie des paramètres précédents, le résultat de calcul de Path Loss s'affiche en cliquant sur le bouton « Calculer PathLoss en DB »

### 3.5. Interface Calcul de nombre de sites

Cette interface permet de calculer et d'afficher le nombre estimé de site à déployer avec le rayon de chaque site après la saisie de la superficie totale.

**Figure 18.***Interface calcul de nombre de sites*

#### 4. Conclusion

Notre application est un outil d'aide de prise de décision quant aux travaux d'investissement et de coûts de maintenance. Les réseaux hauts débits permettront de satisfaire une clientèle gourmande de la bande passante. La satisfaction passe par l'implantation des nouvelles normes que ce soit au niveau accès ou cœur.

## Conclusion Générale

Le dimensionnement d'un réseau sans fil est une étape primordiale car il permet d'assurer la minimisation du coût de la liaison radio et de l'infrastructure du réseau, en tenant compte de la couverture radio, de la taille des cellules et de la topologie du réseau sous réserve de contraintes de la QoS.

Nous avons donc développé une application mobile qui a pour but de simplifier les calculs compliqués essentiels au dimensionnement de la couverture du réseau d'accès 5G. Ces calculs permettent de fixer le nombre des sites optimisés et de générer des statistiques qui paraissent très utiles à la phase de planification.

Pour y parvenir nous sommes passés par quatre étapes essentielles, nous avons commencé de voir les différents réseaux mobile existant, ainsi que leurs évolutions dans le temps, et enfin les technologies du réseau 5G, ces objectifs, ces caractéristiques, son architecture et ses spécifications techniques.

Ensuite, nous avons expliqué le processus de planification et citer les différentes règles spécifiques aux modèles de propagation nécessaires pour la planification orientée couverture.

Une étude conceptuelle de l'outil de dimensionnement composée de diagrammes de cas d'utilisation, de diagramme de classe et de diagrammes de séquence nous a mené à simplifier la réalisation de l'application.

Bien que les résultats obtenus soient en général concluants, quelques points peuvent être améliorés. Avec plus de temps, nous aurions pu ajouter la planification orientée capacité.

## Bibliographie

- [1] Ahmad Rahil, "Gestion du Handover dans les réseaux hétérogènes mobiles et sans fil", Université de Bourgogne, 2015
- [2] Yannick Bouguen, Éric Har douin et François-Xavier Wolff , "LTE et les réseaux 4G", © Groupe Eyrolles, 2012
- [3] Assane NGOM, "Conception de petits réseaux d'antennes reconfigurables ou « Small-Cells » pour le standard 5G ", Thèse de doctorat, 2019
- [4] E. H. W. Chan, "Suppression of Coherent Interference Effect in an Optical Delay Line Signal Processor Using a Single Tone Phase Modulation Technique," in IEEE Photonics Technology Letters, vol. 21, no. 4, Feb.15, 2009
- [5] Arcep, "Les enjeux de la 5G", Rapport technique, Autorité de régulation des communications électroniques et des postes, Mars 2017
- [6] Agence nationale des fréquences (ANFR), " Evaluation de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques 5G ", Juillet 2019
- [7] Abdul basset syed , "Dimensioning of LTE Network" , these master , fevrier 2009
- [8] AHMED SIDI AMAN, "Dimensionnement et planification d'un réseau 4g LTE: optimisation du réseau d'accès", 27 Mars 2015

# Résumé

Les réseaux et les services de communications sont devenus des ressources vitales pour l'homme. Les besoins grandissant en information entraînent la complexité des systèmes de télécommunication et des architectures réseau. De ce fait, les opérateurs doivent pouvoir offrir des services d'excellente qualité. Le présent mémoire contribue à la réalisation d'un outil de planification et dimensionnement de la couverture radio du réseau 5G selon les différents modèles de propagation les plus utilisés.

**Mots clés : 5G, planification, dimensionnement, couverture radio, les modèles de propagation**

# Abstract

Networks and communication service are becoming vital resources for human. Growing needs of information cause the complexity of the telecommunication systems and the network architectures. Consequently, the operators must be able to offer excellent quality services. The present memory contributes to the realization of a tool for planning and dimensioning the radio cover of the 5G network according to the different most used propagation models.

**Keywords : 5G, planning, dimensioning, radio cover, propagation models**