

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Saad Dahlab Blida 1



Institut d'Aéronautique et des Études Spatiales  
Département Études Spatiales

Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du diplôme de Master en Aéronautique

*Option : Télécommunications Spatiales*

**THEME**

*Dimensionnement et Planification d'un réseau de  
quatrième génération*

Proposé et dirigé par :

Dr. AZMEDROUB Boussad  
Dr. TEBBI Mohsene Abdelfettah

Réalisé par :

Mlle. BENTAOUES Sabrine  
Mr. BRAHIMI Allaeddine

Soutenue le ... **Septembre 2020**, devant le jury composé de:

M. AZMEDROUB Boussad    MCB    IAES    Président Mr TAHRAOUI  
Encadreur Mr AZMEDROUB Boussad  
Examineur Mme MOUFFOK Lila

*Promotion: 2019 / 2020*

## *Dédicace SABRINE*

*On remercie ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage afin d'accomplir ce travail.*

*Je tiens à exprimer mes chaleureuses dédicaces*

*À mes chers parents que dieu les bénissent, qui ont su me guider par leurs précieux conseils, qui m'ont tout donné, qui ont été toujours là pour moi et leurs encouragements continuels ; merci maman et grand merci papa. J'espère qu'un jour je serai capable de leurs donner au moins le minimum car quoiqu'on face on arrivera jamais de leurs rendre tout.*

*A mes sœurs AMEL et YOUSRA qui me donne le courage dans cette période de covid19*

*A mon frère ALAE DINE*

*A mes cher(es) ami (es) à toi particulièrement RANAD ACHOUR, ADEL AMINE ET HANNA BERGHOTI*

*Je vous aime*

*À toute la promo merci pour les bons moments ensemble.*

*A tous ceux qui m'ont prêté aide, soutien et encouragement de Près ou de loin.*

## *Dédicace ALLAEDDINE*

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

### *Je dédie cette thèse à mes très chers parents :*

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

### *Mes chères sœurs*

### *Mes grands-parents, mon oncle SADEK et à toute ma famille*

### *Mes ami(e)s ;*

*Ihab, Billel, Rachid, Amine, Rayane, Bachir, Sidali , Walid et Hocine*

*A tous ceux que j'ai omis de citer*

## Remerciement

Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur et directeur de mémoire *Mr AZMEDROUB Boussad* Maître de Conférence à l'Université de SAAD DAHLEB BLIDA 1 pour nous avoir permis de bénéficier de son grand savoir dans la matière et son aide tout au long de ce travail. On remercie également notre Co-encadreur *Mr TEBBI Mohsene Abdelfettah* ingénieure en télécommunications à ALGERIE TELECOM, ALGER pour ses remarques pertinentes et ses informations sur le logiciel RND et ATOLL.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit des membres du jury, pour l'évaluation et la révision de ce mémoire, afin d'améliorer sa qualité.

Pour finir, on remercie de tout cœur nos familles et nos amis qui nous ont toujours encouragées, conseillée et supportée moralement tout au long de cette maîtrise.

## **Résumé :**

Dans le contexte actuel où l'information est la clé du succès, peu importe le domaine où l'on se place, les réseaux de télécommunications sont de plus en plus sollicités. D'énormes quantités d'informations circulent sur les réseaux à chaque seconde. Il est primordial d'assurer la disponibilité de ces réseaux afin de garantir la transmission de ces données en toutes circonstances.

La quatrième génération a essentiellement révolutionné le monde des télécommunications par son haut débit. Cependant, Algérie Télécom fait face à des difficultés pour assurer un bon débit et une bonne qualité de service de cette nouvelle technologie, en raison de l'insuffisance des sites et les problèmes de couverture de la zone. A cet effet, la démarche que nous avons utilisée pour reprendre cette planification est celle du fournisseur Huawei. Celle-ci a été choisie du fait que les sites déployés sur la région d'Oran sont livrés par ce fournisseur.

Dans cette thèse nous avons étudié le réseau LTE dans le but de le dimensionner et le planifier en mettant en œuvre un logiciel de calcul qui facilite cette tâche et la rend plus simple.

## **Abstract:**

In the current context where information is the key to success, regardless of the field in which we are located, telecommunications networks are increasingly in demand. Huge amounts of information flow on the networks every second. It is essential to ensure the availability of these networks to ensure the transmission of these data in all circumstances.

The 4G technology has revolutionized the world of communications with high-speed Internet access. Algeria Telecom has some difficulties in ensuring a good flow and high quality of service for this technology, as there are not enough sites and coverage problems of the area.

In this thesis, we studied the LTE network in order to size the planning and implementing a computing software that facilitates this task and makes it simple.

## الملخص

في السياق الحالي حيث المعلومات هي مفتاح النجاح، بغض النظر عن المجال الذي تعمل فيه، يزداد الطلب على شبكات الاتصالات. تتدفق كميات هائلة من المعلومات عبر الشبكات كل ثانية. من الضروري التأكد من توفر هذه الشبكات من أجل ضمان نقل هذه البيانات في جميع الظروف. أحدثت تقنية الجيل الرابع ثورة في عالم الاتصالات من خلال الانترنت عالي التدفق الذي تسمح به. تواجه اتصالات الجرائر بعض الصعوبات في ضمان التدفق الجيد ونوعية الخدمة العالية لهذه التكنولوجيا وذلك لعدم توفر العدد الكافي من المواقع ومشاكل في التغطية المنطقة. الطريقة المنتهجة في هذا العمل هي نفسها المعتمدة من شركة هواوي وهذا لان العمل انجز على ولاية وهران التي تحتوي على أجهزة هذه الشركة.

في هذه الاطروحة درسنا شبكة من اجل تحديد حجمها والتخطيط من خلال تنفيذ برنامج الحساب الذي يسهل هذه المهمة ويجعلها بسيطة.

## Table des Matières

Dédicace

Remerciement

Liste des Figures

Liste des Tables

Introduction générale

<b>1</b>	<b>Chapitre 1 : Les réseaux mobiles .....</b>	<b>15</b>
1.1	Introduction :.....	15
1.2	Le concept de base des réseaux mobiles : .....	15
1.3	Taille des cellules et bandes de fréquences : .....	15
1.4	L'architecture de réseaux mobile :.....	16
1.5	Évolution des systèmes cellulaires : .....	18
1.5.1	Deuxième génération :.....	19
1.5.2	Troisième génération : .....	19
1.5.3	La 4eme génération :.....	19
1.5.4	La 5eme génération :.....	20
1.6	Conclusion : .....	21
<b>2</b>	<b>Chapitre 2 : Etude détaillée des réseaux 4G.....</b>	<b>22</b>
2.1	Introduction :.....	22
2.2	Les caractéristiques de réseaux 4G : .....	22
2.3	L'architecture des réseaux 4G .....	23
2.3.1	Les terminaux des utilisateurs :.....	23
2.3.2	Réseau cœur (EPC) 4G/LTE :.....	23
2.3.3	Le réseau d'accès radio eUTRAN .....	25
2.4	Les canaux : .....	25
2.4.1	Le concept de canal :.....	25
2.5	Association des différents canaux :.....	27
2.6	Les signaux physiques :.....	27
2.7	Structure de trame de l'interface radio :.....	28
2.8	La technologie dans le réseau 4G.....	30
2.8.1	La technologie MIMO :.....	30
2.8.2	La modulation adaptative (AMS) :.....	31
2.8.3	Les antennes adaptatives (AAS) : .....	31

2.8.4	L'Advanced Encryption Standard (AES) : .....	31
2.9	Le réseau LTE «4G» fixe.....	32
2.10	Conclusion : .....	32
<b>3</b>	<b>Chapitre 03 : Planification des réseaux 4G .....</b>	<b>33</b>
3.1	Introduction :.....	33
3.2	Types de planification LTE : .....	33
3.2.1	Planification du réseau cœur LTE : .....	33
3.2.2	Planification du réseau d'accès radio RAN (Radio Access Network Planning) LTE : .....	33
3.3	Processus de dimensionnement et planification RAN : .....	34
3.2.1	Préparation.....	34
3.3.1	Dimensionnement.....	36
3.3.1.1	Dimensionnement de couverture .....	36
3.3.1.2	Dimensionnement de capacité : .....	40
3.3.2	La planification nominale .....	43
3.3.2.1	Prédictions de couverture .....	43
3.3.2.2	Prédiction de capacité .....	44
3.3.2.3	Simulation de Monte Carlo.....	44
3.3.3	Planification détaillée .....	45
3.3.3.1	Etude de l'emplacement des sites.....	46
3.3.3.2	Visite technique.....	46
3.3.3.3	Planification cellulaire (Cell palnning) .....	46
3.4	Présentation du logiciel RND (radio network dimensionning) : .....	47
3.4.1	Dimensionnement de couverture : .....	49
3.4.1.1	Calcul du rayon de couverture .....	49
3.4.1.2	Calcule le nombre de site .....	50
3.4.2	Dimensionnement de capacité : .....	50
3.5	Conclusion : .....	51
<b>4</b>	<b>Chapitre 4 : Simulation avec le logiciel Atoll .....</b>	<b>52</b>
4.1	Introduction.....	52
4.2	Présentation de logiciel Atoll : .....	52
4.3	L'environnement de travail : .....	52
4.4	Planification nominale.....	53
4.4.1.1	Configuration initiale .....	54
4.4.1.2	Mise en place des sites.....	58
4.4.1.3	Réalisations des prédictions de couverture .....	60
4.5	Prédiction de capacité .....	72

**Table des Matières**

---

4.6 Conclusion .....	75
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>77</b>

## Liste des Figures

Figure 1 : différent type des cellules.....	16
Figure 2 : illustre l'architecture générale simplifiée des réseaux mobiles (yannick bouguen s.d.)...	17
Figure 3 : montre l'architecture des réseaux GSM. (Adjarath 2014) .....	17
Figure 4 : Architecture des réseaux UMTS (Adjarath 2014).....	18
Figure 5 : l'évolution de réseaux mobiles (Skold s.d.).....	18
Figure 6 : représente les caractéristiques de la technologie 5G .....	20
Figure 7 : Architecture des réseaux LTE .....	23
Figure 8 : architecture core network .....	24
Figure 9 : Les interfaces existent dans l'E-UTRAN.....	25
Figure 10 : associations entre canaux logiques, de transports et de physiques en voie montante..	27
Figure 11 : associations entre canaux logiques de transport et physiques en voie descendante ....	27
Figure 12 : structure de trame FDD et half -duplex.....	28
Figure 13 : structure de trame TDD .....	29
Figure 14 : bloc de ressources .....	30
Figure 15 : processus de planification (Amine 2019) .....	34
Figure 16 : la zone d'Oran .....	35
Figure 17 : type de combinaison de dimensionnement .....	36
Figure 18 : les étapes de dimensionnement de couverture .....	36
Figure 19 : informations pour les paramètres de la voie descendante .....	37
Figure 20 : montre les paramètres nécessaires pour le calcul du SINR ciblé. ....	38
Figure 21 : Informations et paramètres pour la voie montante .....	39
Figure 22 : Relation entre le rayon de la cellule et le MAPL.....	40
Figure 23 : Etape du dimensionnement de capacité.....	41
Figure 24 : Etape de la planification détaillé (Amine 2019).....	46
Figure 25 : interface logiciel Radio Network Dimensioning.....	48
Figure 26 : l'utilisation d'interface atoll .....	53
Figure 27 : Création d'un nouveau projet sur Atoll Prédiction de couverture .....	54
Figure 28 : L'importation des cartes topographique et la configuration des paramètres .....	54
Figure 29 : hauteurs de sursol .....	55
Figure 30 : Carte du modèle numérique de terrain.....	55
Figure 31 : Carte des classes de sursol .....	56
Figure 32 : Sélection du modèle de propagation .....	56
Figure 33 : Importation des antennes réellement utilisées.....	57
Figure 34 : Sélection du modèle de site .....	57
Figure 35 : Configuration des paramètres généraux et LTE du site.....	58
Figure 36 : Mise en place des sites .....	59
Figure 37 : Importation des sites utilisés réellement dans la région d'Oran .....	60
Figure 38 : L'onglet permettant de modifier le tilt mécanique, le tilt électrique et l'azimut.....	61
Figure 39 : couverture par émetteur (a) avant la modification, (b) après les modifications.....	62
Figure 40 : Couverture par émetteur exporté en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications .....	63
Figure 41 : Couverture par zone de recouvrement avant les modifications .....	63

Figure 42 : Couverture par zone de recouvrement après les modifications .....	64
Figure 43 : Pourcentage de zones couvertes en fonction du nombre de serveurs (a) avant la modification, (b) après les modifications.....	64
Figure 44 : Couverture par zone de recouvrement exportée en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications.....	65
Figure 45 : Intensité du signal avant les modifications .....	65
Figure 46 : Intensité du signal après les modifications .....	66
Figure 47 : Echelle de référence pour la qualité de l'intensité du signal .....	66
Figure 48 : Surface en fonction du meilleur niveau champ (a) avant la modification, (b) après les modifications .....	67
Figure 49 : intensité du signal exportée en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications .....	67
Figure 50 : Couverture par indicateur de qualité avant les modifications.....	68
Figure 51 : Couverture par indicateur de qualité après les modifications.....	68
Figure 52 : Surface en fonction de la couverture par niveau de qualité (a) avant la modification, (b) après les modifications .....	69
Figure 53 : Couverture par indicateur de qualité exportée en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications.....	69
Figure 54 : Couverture par niveau de SINR avant les modifications .....	70
Figure 55 : Couverture par niveau de SINR après les modifications.....	70
Figure 56 : Surface en fonction de la couverture par niveau de SINR avant les modifications .....	71
Figure 57 : Surface en fonction de la couverture par niveau de SINR après les modifications .....	71
Figure 58 : Couverture par niveau de SINR exportée en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications.....	72
Figure59:Couverture par débit la couche RLC (a) avant la modification,(b) après les modifications	73
Figure 60:Surface en fonction de la couverture par débit de la couche RLC avant les modifications	73
Figure61 :Surface en fonction de la couverture par débit de la couche RLC après les modifications	74
Figure 62 : Couverture par débit de la couche RLC exporte en Google earth (a) avant la modification , (b) après les modifications .....	74

## Liste des Tables

Tableau 3-1 présente les informations collecté de la région d’Oran.....	35
Tableau 3-2 shadow fading margin en fonction de la morphologie de la zone .....	38
Tableau 3-3 body loss en fonction du type de service .....	39
Tableau 3-4 PAR en fonction de la morphologie .....	42
Tableau 3-5 présente la configuration de ces paramètres dans le logiciel .....	48
Tableau 3-6 montre la configuration de ces deux paramètres en fonction de la morphologie. ....	49
Tableau 3-7 montre le résultat de rayon en fonction de la morphologie de la zone. ....	50
Tableau 3-8 montre le nombre de site.....	50
Tableau 3-9 calcul du débit total moyen que peut desservir une cellule .....	51
Tableau 4-1 Configurations réelles des paramètres des sites de la région d’Oran et ces environs ..	60

## **Introduction général**

Les réseaux de télécommunications ont pris de plus en plus d'importance dans notre société. Pour satisfaire au mieux les besoins et les intérêts des clients, les opérateurs doivent pouvoir offrir, au meilleur prix, des services d'excellente qualité. C'est dans ce cadre que s'inscrit le problème de planification des réseaux qui consiste à optimiser les coûts engendrés par l'installation et l'utilisation du système. Une planification bien effectuée a pour effet de réduire le temps de mise en marché, le coût des dépenses d'investissement ainsi que le coût des dépenses opérationnelles.

La planification d'un réseau téléphonie mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et de les utiliser de façon optimale. En respectant, entre autres, une série de contraintes de qualité de service L'objectif initial de notre travail est de planifier un réseau de télécommunication mobile de 4eme génération LTE 4G grâce au logiciel Atoll. Ces processus peuvent être à la fois longs et coûteux avant la mise en opération du réseau. Pour les réseaux de première génération (1G), de deuxième génération (2G), de troisième génération (3G) et de quatrième génération (4G), une série de recherche ont été menées et visent à minimiser les coûts des équipement, tout en maintenant une communication de qualité et une capacité élevée. Toutefois, ces dernières années, les recherches partent surtout sur l'analyse des réseaux de quatrième génération (4G) pour offrir une gamme de services de plus en plus rapides et sophistiqués, débits très élevés ainsi que (l'accès rapide à l'internet, la vidéoconférence, la télémédecine, l'accès à la Visio-Téléphonie, et même la téléconférence etc...) ayant chacune ses caractéristique et certaines contraintes particulières. Quelques tentatives ont été faites pour proposer des modèles qui permettent de faire la planification de tels réseaux. Ces modèles, dans l'ensemble, apportent des solutions au problème de planification pour les zones clé pour visualiser de toute l'infrastructure. Dans la première phase, on définit d'abord les concepts de base des réseaux mobiles. Ensuite, les éléments de la problématique y sont présentés, suivi des objectifs de la recherche. Dans le cadre de notre projet de fin d'études, notre travail consiste à effectuer une planification d'un réseau téléphonie fixe (4G) dans la région d'Oran en utilisant l'outil de planification radio professionnel ATOLL. Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous allons présenter une évolution des réseaux mobile, en détaillant les différentes normes de téléphonie mobile tel que la 1ère génération (1G) comme l'était, au départ, la téléphonie fixe, le GSM (2G) qui donnaient accès au service.

Voix en mobilité, le GPRS (2,5 G), l'EDGE (2,75 G) et l'UMTS (3G) qui permet aux utilisateurs d'avoir accès à un vrai internet mobile avec l'intégration de nouveaux services. Au cours du deuxième chapitre, on va passer vers une étude du LTE (Long-Term Evolution), ses caractéristiques, son architecture, ses spécifications techniques. Dans le troisième chapitre, on présentera le processus de dimensionnement et la planification dans le réseau LTE. Nous allons introduire conception de base et de calcul mathématiques nécessaires pour le dimensionnement de couverture. Le dernier chapitre a pour objectif d'exposer les

## ***Introduction générale***

---

différentes étapes de notre démarche de simulation de couverture radio, ainsi que d'expliquer l'utilisation du logiciel ATOLL. De ce fait, on présentera la configuration les différents paramètres à introduire, puis une exposition des résultats obtenus par les différentes méthodes de prédiction de la couverture radio d sur la willaya d'Oran.

# 1 Chapitre 1

## Les réseaux mobiles

### 1.1 Introduction :

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive de câbles.

Le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G et prochainement la 5G qui n'est pas encore mis en œuvre) et ont connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés.

Dans ce chapitre nous allons présenter le concept de base de réseaux mobile et leurs évolutions.

### 1.2 Le concept de base des réseaux mobiles :

Les réseaux mobiles couvrent généralement une grande zone divisée en plusieurs régions géographiquement limitées appelées cellules. La forme et la taille des cellules dépendent de plusieurs facteurs. La morphologie de la région couverte (plaine, collines, zone rurale, immeubles, etc.) est un facteur important en ce sens que les obstacles sur le chemin des faisceaux hertziens diminuent leur portée. Chaque cellule est couverte par une station de base (BS) comprenant une antenne qui assure la transmission radio et la signalisation à l'intérieur de la cellule. La hauteur et le type de l'antenne utilisée comptent aussi car plus haute est l'antenne, plus grande sera l'étendue de la zone couverte. Il faudra également faire attention à l'azimut de l'antenne afin de s'assurer qu'elle couvre aussi la région toute proche d'elle. Lorsque l'antenne est omnidirectionnelle, la forme de la cellule est théoriquement circulaire.

Ce cercle est toutefois déformé par les obstacles se trouvant sur le chemin du signal. (Adjarath 2014)

En général, les cellules se chevauchent partiellement entre elles afin d'assurer une couverture complète de la zone géographique désignée. La taille de la cellule dépend aussi de la densité de la région. En effet, plus le nombre d'abonnés dans une région est élevée, plus petite est la taille de la cellule. Cela est dû au fait que les antennes ont une capacité limitée. Ainsi, pour garantir une bande passante minimale à chaque abonné, on ne peut autoriser qu'un nombre limité d'abonnés par antenne. (Adjarath 2014)

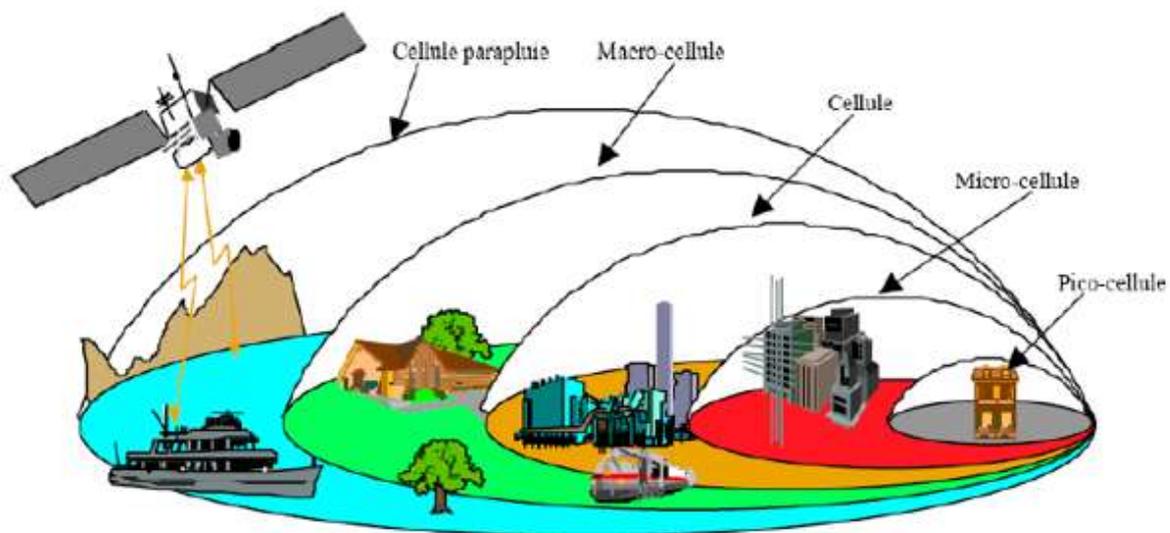
### 1.3 Taille des cellules et bandes de fréquences :

La taille des cellules varie d'un réseau cellulaire à un autre et dépend principalement des bandes de fréquences utilisées. En effet, la portée des ondes millimétriques est d'autant plus grande que la fréquence est élevée. Dans les premiers systèmes cellulaires, on utilisait d'abord des fréquences allant de 30 à 300 MHz dans les bandes UHF (ULTRA HIGH FREQUENCY), puis des fréquences comprises entre 300 MHz et 3 GHz dans les bandes VHF (VERY HIGH FREQUENCY). Un premier système de communications mobiles fonctionnant dans la gamme des 890-915 MHz et 935-960 MHz a été normalisé en 1982 pour l'ensemble

de l'Europe. De nos jours, on utilise des fréquences nettement plus élevées, allant de 20 à 60 GHz.

En tenant compte de la fréquence et de la puissance disponibles, on distingue différentes tailles de cellule que présente dans la figure1 : pico-cellule, microcellule, cellule, macro-cellule, cellule parapluie.

La pico-cellule désigne un espace de desserte de quelques mètres de diamètre et la micro-cellule, une surface géographique de quelques dizaines de mètres de diamètre. La cellule proprement dite a une superficie dont le diamètre varie de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. Quant à la macro-cellule, elle correspond à une étendue géographique de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres de diamètre. Enfin, la cellule parapluie définit une région de quelques centaines de kilomètres de diamètre.



**Figure 1 : différent type des cellules.**

#### **1.4 L'architecture de réseaux mobile :**

L'architecture de base des réseaux mobiles est composée d'une partie fixe et d'une partie mobile. La partie mobile est constituée essentiellement des usagers mobiles (UM). Dans la partie fixe, on retrouve le réseau d'accès composé des stations de base et de leurs contrôleurs qui constituent des passerelles vers le réseau cœur, et le réseau cœur composé de commutateurs et/ou de routeurs. Le réseau d'accès sert d'interface entre les utilisateurs mobiles et le réseau cœur. Le réseau cœur, quant à lui, assure l'interconnexion avec le réseau d'accès et d'autres réseaux cœurs si nécessaire. Lorsque la zone à couvrir est vaste ou que le nombre d'équipements dans le réseau est élevé, un réseau de transport sert d'interface entre le réseau d'accès et le réseau cœur. (Adjarath 2014)

L'interconnexion des stations de base aux contrôleurs est effectuée suivant certains critères, et est appelée planification du réseau d'accès tandis que celle des contrôleurs aux commutateurs et des commutateurs entre eux est nommée planification du réseau cœur. Le réseau cœur intègre aussi des bases de données de localisations à savoir une base de données nominale (HLR) et une base de données visiteurs (VLR) pour chaque commutateur.

Le HLR est une base de données statique qui gère les abonnés rattachés au commutateur alors que le VLR sert à localiser les abonnés en transit dans la zone contrôlée par le commutateur et est donc dynamique. La Figure 2 illustre l'architecture générale simplifiée des réseaux mobiles.

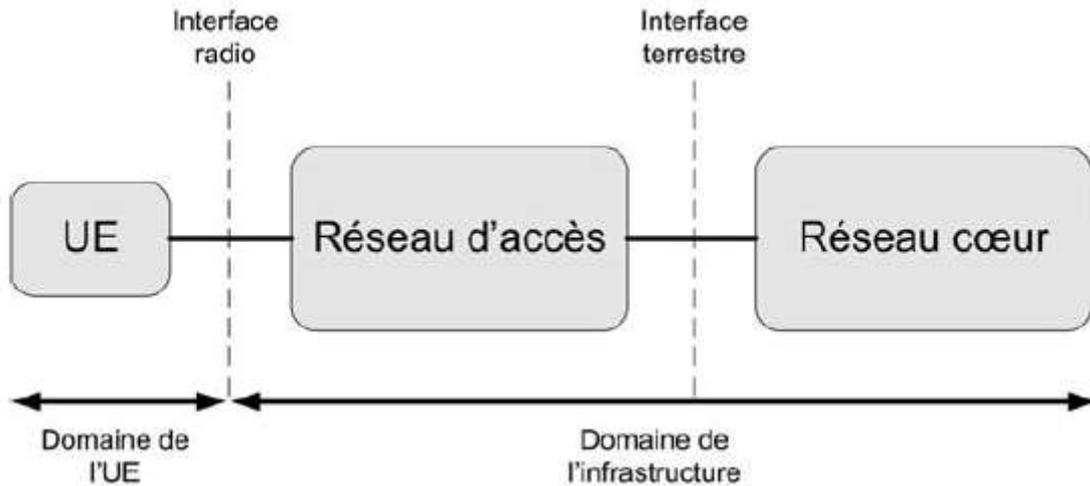


Figure 2 : illustre l'architecture générale simplifiée des réseaux mobiles (yannick bouguen s.d.)

Dans les réseaux GSM (Global System for Mobile Communications), par exemple, les stations de base (BS) sont reliées à des contrôleurs de station de base (BSC) qui gèrent les ressources radio ou les bandes passantes des BS qui leur sont associées. L'ensemble des BS et des BSC constituent le réseau d'accès, encore appelé sous-système radio (BSS), qui sert d'interface entre les utilisateurs (mobiles) et le réseau (fixe). Le sous-système réseau (NSS) ou réseau cœur est composé de commutateurs appelés MSC (Mobile Switching Center) qui interconnectent les BSC entre elles et avec d'autres éléments fixes du réseau. La Figure 3 montre l'architecture des réseaux GSM. (Adjarath 2014)

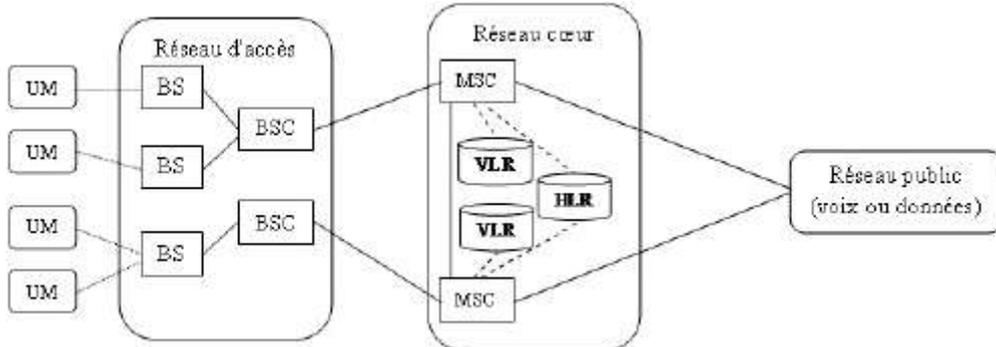


Figure 3 : montre l'architecture des réseaux GSM. (Adjarath 2014)

Dans les réseaux UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), les stations de base, appelées node B (node for Broadband Access), sont reliées à des contrôleurs RNC (Radio

Network Controller) qui gèrent les ressources radio des nœuds B qui leur sont associés. Les RNC assurent aussi l'acheminement du trafic du réseau d'accès au réseau cœur. L'ensemble des nodeB et des RNC auquel ils sont reliés forment le sous-système radio ou RNS (Radio Network Subsystem). Le réseau cœur est composé de deux types de commutateurs à savoir, le MSC utilise pour la transmission de circuits (voix) et le SGSN (Serving GPRS Support Node) pour la transmission des paquets (données). Le MSC et le SGSN sont respectivement reliés aux passerelles GMSC (Gateway MSC) qui assure la liaison avec le RTPC (Réseau Téléphonique Public Commuté) et le GGSN (Gateway GPRS Support Node) qui le relie au PDN (Public Data Network) ou réseau public de transmission de données. la figure 4 montre l'architecture de réseau UMTS. (Adjarath 2014)

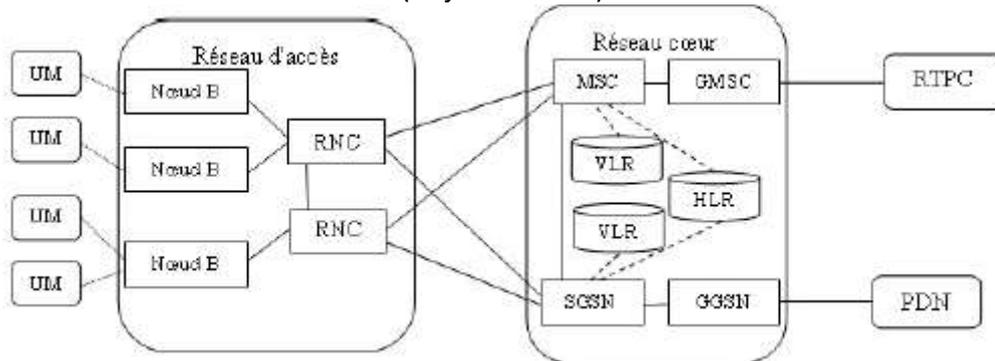


Figure 4 : Architecture des réseaux UMTS (Adjarath 2014)

### 1.5 Évolution des systèmes cellulaires :

Le terme génération sert à désigner les améliorations incrémentales survenues au cours de l'évolution des systèmes cellulaires. Dans cette section, nous allons présenter succinctement les différentes générations de systèmes cellulaires.

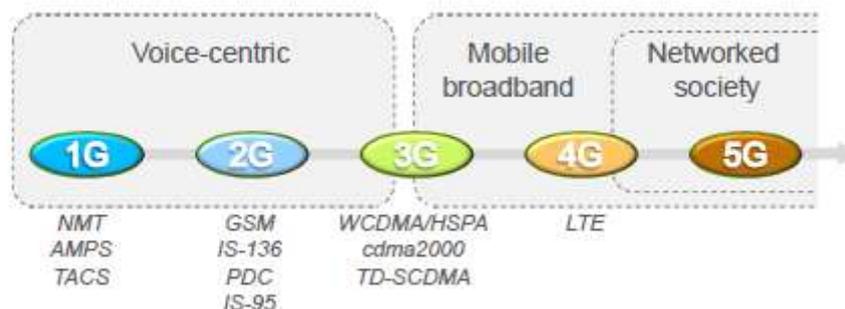


Figure 5 : l'évolution de réseaux mobiles (Skold s.d.)

#### Première génération :

La première génération des réseaux cellulaires (1G) est apparue vers le début des années 1970 avec un mode de transmission analogique et des appareils de taille relativement volumineuse.<sup>i</sup>

La (1G) utilisait essentiellement les standards suivants :

- **AMPS (Advanced Mobile Phone System)**, lancé aux Etats-Unis, est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).

- **NMT (Nordic Mobile Telephone)** a été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisés dans d'autres parties de la planète.
- **TACS (Total Access Communications System)**, qui repose sur la technologie AMPS, a été fortement utilisé en Grande Bretagne.

### **1.5.1 Deuxième génération :**

Le mode de transmission numérique est apparu au début des années 90 avec la deuxième génération des réseaux mobiles (2G). Il devient ainsi possible de transmettre, en plus de la voix, des données numériques de faible volume telles que les SMS (Short Message Service) et les MMS (Multimedia Message Service). Les standards 2G les plus utilisés sont le GSM, l'IS-95 (Intérim Standard-95) qui est basé sur le codage CDMA (Code Division Multiple Access) et l'IS-136 (Intérim Standard-136) qui se base sur le codage TDMA (Time Division Multiple Access). Le GSM est cependant le standard ayant connu la plus grande percée avec l'utilisation de la bande des 1900MHz en Amérique du Nord et au Japon et de la bande des 900MHz et 1800Mhz sur les autres continents. C'est d'ailleurs sur ce standard que se basent les réseaux GPRS (General Packet Radio Service : 2.5G) et EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution : 2.75G) qui sont venus corriger les faibles débits du GSM (environ 9,6 kbps). Le GPRS propose un débit théorique de 114 kbps permettant ainsi la transmission simultanée de la voix et de données. L'utilisation des applications multimédias est rendue possible par EDGE qui offre des débits allant jusqu'à 384 kbps.

### **1.5.2 Troisième génération :**

La troisième génération des réseaux mobiles (3G) est apparue pour établir des normes internationales afin de garantir une compatibilité mondiale, une mobilité globale, la compatibilité avec les réseaux 2G et des débits de 2 Mbps pour une mobilité faible et allant jusqu'à 144 kbps pour une mobilité forte. Les principales normes 3G sont le CDMA2000 et l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). La norme CDMA2000 est une amélioration de la norme IS-95 et n'est pas compatible avec le GSM. D'autres améliorations ont été apportées plus tard en termes de débit à l'UMTS donnant lieu aux normes HSDPA (High Speed

Downlink Packet Access : 3.5G) qui offre un débit théorique maximum de 14.4 Mbps en ligne descendante et HSUPA (High Speed Uplink Packet Access : 3.75G) offrant un débit théorique maximum en ligne ascendante de 5.76 Mbps [78]. Ces deux normes sont regroupées sous le nom de HSPA (High Speed Packet Access).

### **1.5.3 La 4eme génération :**

La quatrième génération (4G) des réseaux sans fil est caractérisée par une mobilité accrue, des services diversifiées et des débits plus élevés. Elle projette des débits théoriques de 100Mbps pour une mobilité forte et jusqu'à 1 Gbps pour une faible mobilité .Les principales normes 4G sont le LTE (Long Term Evolution) et le WiMAX. Le LTE a été développé par le groupe 3GPP (Third Generation Partnership Project) et constitue une extension du HSPA La première version de LTE était conçue pour offrir un débit théorique maximum de 100 Mbps en ligne descendante et de 50 Mbps en ligne ascendante pour une bande passante maximale de 20 MHz.Des améliorations sont en cours donnant ainsi la norme LTE-Advanced qui prévoit atteindre un débit maximum de 1 Gbps en ligne descendante et la moitié en ligne

ascendante. La norme WiMAX, quant à elle, est développée par un nouveau groupe, le WiMAX forum. La technologie WiMAX est généralement utilisée pour le déploiement des réseaux à grande échelle (WAN) en utilisant un nombre réduit de stations de base (BS), en raison de sa longue portée. Basée sur la norme IEEE 802.16, la technologie WiMAX était, à son origine, conçue pour une utilisation dans les réseaux fixes à large bande en offrant une bande passante allant de 10 à 66 GHz avec une portée théorique de 50 km. La technologie WiMAX s'est beaucoup améliorée depuis la sortie de la première version de la norme IEEE 802.16 en décembre 2001. La mobilité a été introduite en 2005, la rendant ainsi compétitive par rapport aux réseaux 3G avant son évolution vers la norme IEEE 802.16m qui est connue comme étant la norme WiMAX 4G. Une autre norme moins connue, l'UMB (Ultra Mobile Broadband) a été développée par le groupe 3GPP2 pour la quatrième génération. Ces trois normes utilisent la même interface air, l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Acces). (Adjarath 2014)

#### **1.5.4 La 5eme génération :**

La technologie de la 5ème génération, ou tout simplement 5G, sera une nouvelle technologie de la technologie mobile, Les fonctionnalités qui sont offertes par cette technologie changeront complètement l'idée traditionnelle que nous avons des smartphones. la figure 6 représente les caractéristiques de la technologie 5G.<sup>ii</sup>



**Figure 6 : représente les caractéristiques de la technologie 5G**

Avec un grand éventail de fonctionnalités innovantes, maintenant votre Smartphone peut devenir le seul abonnement téléphonique dont un foyer aura besoin, notamment avec sa rapidité et la possibilité de connecter jusqu'à 100 appareils simultanés, ce sont des fonctionnalités qui pourront changer le cours de notre vie durant les 10 prochaines années.

## **1.6 Conclusion :**

Dans cette partie du projet, nous avons en premier lieu commencé par présenter le concept de base des réseaux mobile ensuite nous avons parlé sur la taille de la cellules et les bandes de fréquences, ainsi nous avons données une petite explication sur l'architecture général de réseaux mobiles puis nous avons présenté un aperçu sur les différentes générations de réseaux cellulaires à savoir 1G ,2G ,3G,4G et la 5G génération.

## 2 Chapitre 2 : Etude détaillée des réseaux 4G

### 2.1 Introduction :

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par le réseau. L'objectif de ce chapitre de présenter une vue globale de bout en bout de réseau employé en LTE.

### 2.2 Les caractéristiques de réseaux 4G :

<b>Caractéristique</b>	<b>Description</b>
<b>Débit sur l'interface radio</b>	L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantanément (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s, tout en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant, et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20MHz. (HAMZA 2018)
<b>Flexibilité de la bande passante</b>	Possible d'opérer avec une bande de taille différente avec les possibilités suivantes 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz, pour les sens permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.
<b>Efficacité du spectre</b>	Le LTE utilise une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens Descendant, et 2,5 bit/s/Hz
<b>Méthode de duplexage</b>	Le LTE utilise le Frequency Division duplexing (FDD) et le Time Division Duplexing (TDD)
<b>Technologies d'accès</b>	Division Multiple Access (OFDMA) pour la division Multiple Access (SC-FDMA) et pour leSens
<b>Coexistence et interfonctionnement avec la 3G</b>	Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms Pour les services non temps-réel. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre LTE et La 2G/3G est toujours possible.
<b>Mobilité</b>	La mobilité est assurée des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer dans des conditions ou l'utilisateur se déplace à grande vitesse.
<b>Technologie d'antenne</b>	LTE utilise la technologie d'antenne Multiple Input Multiple Output (MIMO)
<b>Support du multicast</b>	Notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast. (HAMZA 2018)

## 2.3 L'architecture des réseaux 4G

Les réseaux 4G présentent la même architecture générale que les autres types de réseaux mobiles. On peut distinguer trois parties à savoir les terminaux des utilisateurs, le réseau d'accès et le réseau cœur. Le Figure 7 montre l'architecture d'un réseau LTE.

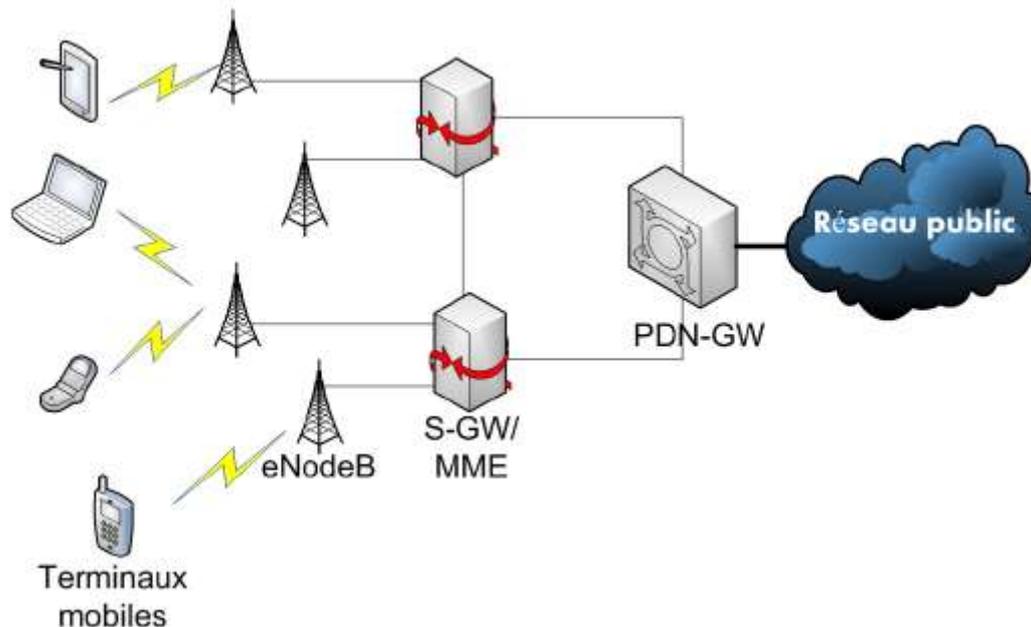


Figure 7 : Architecture des réseaux LTE

### 2.3.1 Les terminaux des utilisateurs :

Les terminaux des utilisateurs sont les appareils utilisés par les clients. Ils comprennent les appareils fixes, mobiles et portables et permettent aux utilisateurs d'accéder aux services auxquels ils ont souscrit. Ces terminaux peuvent être tout appareil disposant du protocole IP tel qu'un ordinateur, un téléphone intelligent ou une télévision IP.

### 2.3.2 Réseau cœur (EPC) 4G/LTE :

Ce réseau cœur est basé sur le protocole IP. Il permet de réduire le temps de latence lors du transport des données et il permet aussi de faire :

- L'interconnexion entre les eNodeB à travers des routeurs
- L'interconnexion entre les réseaux des autres opérateurs mobiles
- L'interconnexion entre le réseau téléphonique fixe et le réseau internet

Le réseau cœur est constitué de plusieurs équipements illustrés dans la figure 8 à savoir :

#### - La PGW (Packet GateWay) :

Il s'agit d'un routeur qui assure que les paquets de données soient routés vers une « Porte d'entrée » unique. Lorsque l'utilisateur consulte un serveur, une connexion logique est établie entre la PGW et ce dernier, Les paquets sont alors acheminés du serveur vers la

PGW, ensuite du PGW vers l'eNodeB, en utilisant le réseau IP propre à l'opérateur mobile et enfin ils sont acheminés de l'eNodeB vers l'utilisateur par voie radio.

**- La SGW (Serving GateWay) :**

La passerelle de service SGW, est un élément plan de données au sein de le LTE/SAE. Son objectif principal est de gérer la mobilité du plan utilisateur, elle agit également comme une frontière principale entre le Radio Access Network, RAN et le réseau coeur. La SGW maintient également les chemins de données entre les eNodeBs et les passerelles PDN. De cette façon le SGW forme une interface pour le réseau de données par paquets à l'E-UTRAN. Aussi quand les UEs se déplacent dans les régions desservies par des eNodeBs différentes, la SGW sert de point d'ancrage de mobilité veillant à ce que le chemin de données soit maintenu. (Greg HARMAN 2013)

**-HSS (Home Subscriber Server) :**

Cet équipement est une base de données contenant les informations de tous les abonnés de l'opérateur notamment : L'identité IMSI (International Mobile Subscriber Identity), le numéro MSISDN (Mobile Subscriber ISDN Number) et les offres de services auxquelles les abonnés ont souscrit ainsi que leurs localisations. Ces informations sont utilisées par les différents équipements du réseau LTE. Le HSS a aussi pour rôle d'assurer la sécurité des différentes données de signalisation transmises sur le réseau comme l'authentification et l'autorisation d'accès au réseau des abonnés.

**- MME (Mobility Management Entity) :**

Cet équipement est une base de données temporaire contenant les informations des abonnés de l'opérateur relevant d'une région considérée. Le MME est responsable de la localisation des terminaux mobiles UE et procède à la sélection appropriée d'un S-GW à travers une connexion,

- Autres équipements dans le réseau coeur :

**- EIR : (Equipment Identity Register)**

Cet équipement est une base de données qui contient les IMEI des terminaux mobiles, utilisé pour s'assurer de la légitimité d'un mobile, ceci consiste à identifier si le mobile est volé ou non.

**- PCRF: (Policy and Charging Rules Function)**

Cet équipement permet d'avoir un contrôle dans la gestion de la qualité de service, la figure 8 illustre que cet équipement est relié au PGW via l'interface Gx.

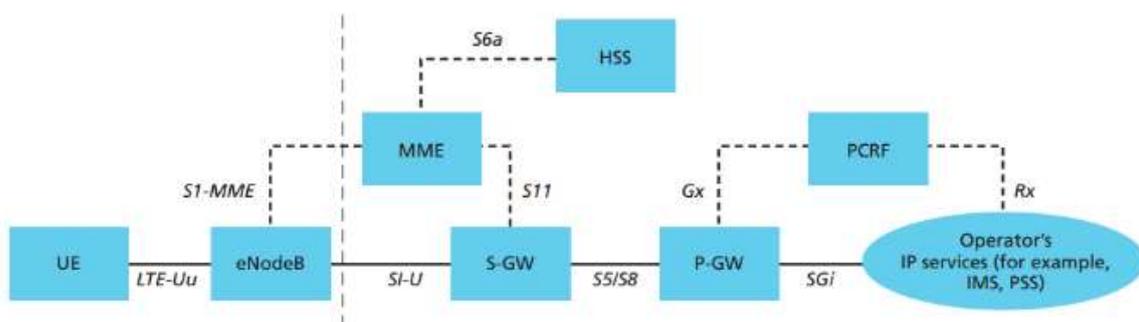


Figure 8 : architecture core network

### 2.3.3 Le réseau d'accès radio eUTRAN

Ce réseau représente les stations de bases appelées eNodeB (Evolved Node B). Elles sont constituées d'un ensemble d'émetteurs-récepteurs, antenne, RRU (Remote Radio Unit), BBU (Base band Unit) et qui ont pour rôle principale d'Assurer les fonctions interdépendantes liées à la gestion des ressources radio RRM (Radio Resource Management) tel que :

- La Modulation/démodulation du signal et le codage/décodage du canal.
- Le contrôle d'admission radio.
- L'ordonnancement de paquets (scheduling).

#### Les interfaces

**L'interface X2** : C'est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des informations de signalisation durant le Handover ou la signalisation, sans faire intervenir le réseau cœur.

**L'interface S1** : C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, et elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires. Cette dernière consiste en :

- S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW.
- S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME.

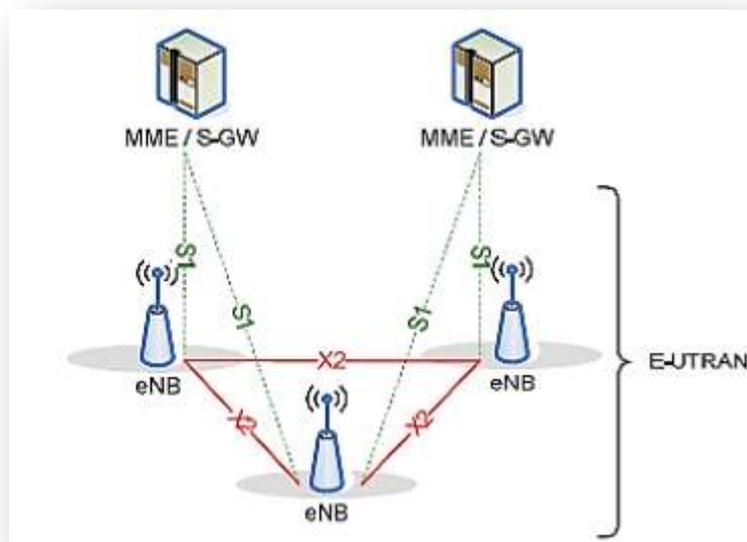


Figure 9 : Les interfaces existant dans l'E-UTRAN

## 2.4 Les canaux :

### 2.4.1 Le concept de canal :

Le système LTE, de manière similaire à l'UMTS, utilise le concept de *canal* afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission. Ces canaux sont des composants de l'architecture du système et sont donc à distinguer du canal de transmission (qui capture les effets de la propagation radio) et du canal fréquentiel (ou porteuse) déjà rencontrés. (yannick bouguen s.d.)

Les canaux de l'interface radio sont des points d'accès aux services proposés par une couche  $N$  : ils permettent à la couche  $N+1$  de délivrer à cette couche  $N$  des données qui devront être traitées (et éventuellement marquées) selon les spécificités du canal. (yannick bouguen s.d.)  
On distingue trois classes de canaux, selon les couches du modèle OSI auxquelles ils sont attachés.

**Les canaux logiques** : qui opèrent entre les couches RLC et MAC et sont définis selon le type d'information qu'ils transportent (par exemple : signalisation du plan de contrôle ou données du plan usager). (yannick bouguen s.d.)

Les canaux logiques fournis par la couche MAC sont :

- **BCCH** : un canal DownLink, utilisé par le réseau pour le Broadcast des informations système de l'eUTRAN à l'ensemble des terminaux présents dans une cellule radio.
- **CCH** : un canal DownLink qui transfère les informations de paging aux terminaux dans une cellule.
- **CCCH** : utilisé pour la communication entre le terminal et l'eUTRAN. Ce canal est typiquement utilisé dans les premières phases de l'établissement de communication.

**Les canaux de transport** : qui opèrent entre la couche MAC et la couche physique et sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio (par exemple la méthode d'accès aux ressources radio). (yannick bouguen s.d.)

Un canal de transport se distingue d'un autre par la manière dont les données vont être transportées sur la couche physique.

- **BCH** : est associé au canal logique BCCH.
- **DL-SCH** : qui est utilisé pour transporter le contrôle d'usager ou le trafic data.
- **MCH** : qui est associé au MBMS pour le contrôle des informations de transport.
- **RACH** : qui est un canal de transport spécifique supportant un contrôle d'information limité. Il est utilisé durant les premières phases d'établissement de communication.

**Les canaux physiques** : qui sont utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission (par exemple leur placement dans la trame). Dans une configuration donnée de l'interface radio (déterminée par le protocole RRC), un canal logique ne peut être porté que par un seul canal de transport, mais ce dernier peut transporter plusieurs canaux logiques. La même règle s'applique pour les canaux de transport et les canaux physiques. Enfin, certains canaux physiques ne sont associés à aucun canal de transport ni canal logique, car ils portent uniquement des informations relatives à la couche physique.

Ce sont en fait les canaux physiques qui transportent les données des utilisateurs ainsi que les messages de contrôles qui lui sont parvenus des canaux logiques. La plupart des canaux physiques sont employés pour la liaison descendante :

- **PBCH** (Physical Broadcast Channel) : livre les informations systèmes nécessaires essentiels pour les UEs afin d'accéder au réseau.
- **PDCCH** (Physical Downlink Control Channel) : livre essentiellement l'ordonnancement de l'information. Pour la liaison montante.
- **PUCCH** (Physical Uplink Control Channel) : apporte les acquittements de HARQ.

- **PUSCH** (Physical Uplink Shared Channel) : ce canal est l'équivalent du canal PDSCH en liaison descendante.
- **PRACH** (Physical Random Access Channel) : déployé pour les fonctions d'accès aléatoire

## 2.5 Association des différents canaux :

Les figures 10 et 11 suivantes décrivent l'association entre les canaux logiques, de transport et physiques, respectivement pour la voie montante et la voie descendante. (yannick bouguen s.d.)

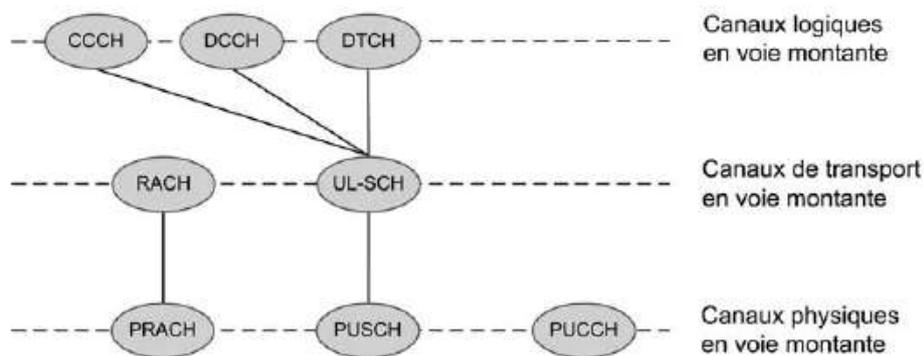


Figure 10 : associations entre canaux logiques, de transports et de physiques en voie montante

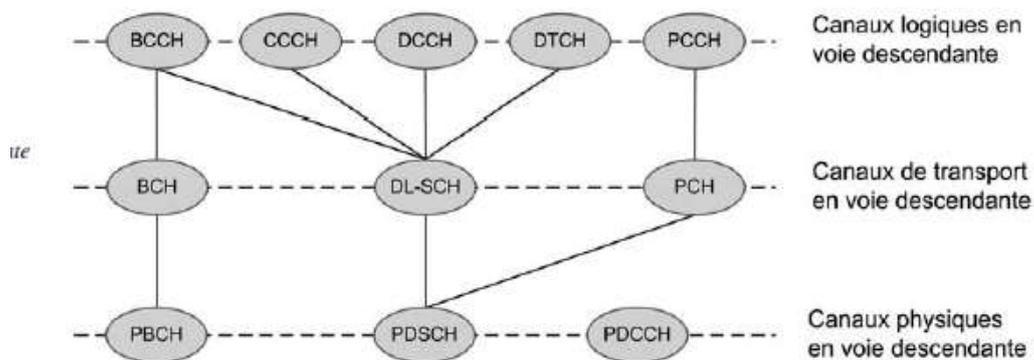


Figure 11 : associations entre canaux logiques de transport et physiques en voie descendante

## 2.6 Les signaux physiques :

Outre les canaux physiques, la couche physique utilise également des signaux physiques, qui ne portent pas d'information issue des couches supérieures (c'est-à-dire de canaux de transport) mais sont nécessaires aux opérations de la couche physique. Les signaux physiques correspondent également à des éléments de ressource et sont associés à des paramètres de transmission physiques prédéfinis.

On distingue deux grands types de signaux physiques :

- les signaux de référence ou Reference Signals (RS).
- les signaux de synchronisation.

-Les signaux de référence portent des séquences de symboles prédéfinies et connues du récepteur, qui lui permettent notamment d'estimer le canal de transmission. Cette information est cruciale pour de nombreuses fonctions de la couche physique : l'estimation de la qualité du canal pour le scheduling, l'adaptation de lien et la détermination des paramètres MIMO, la démodulation cohérente, ainsi que les mesures nécessaires à la mobilité.

- Les signaux de synchronisation permettent au mobile de se synchroniser à la cellule et sont présents en voie descendante uniquement. Chaque cellule émet un signal de synchronisation qui l'identifie de manière unique dans une zone donnée.

## 2.7 Structure de trame de l'interface radio :

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en *trames radio* consécutives de 10 ms. Une trame radio est divisée en dix *sous-trames* de 1 ms chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame constitue un TTI (*Transmission Time Interval*), c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame, illustrés sur les deux figures suivantes :

- Le type 1 est adapté au FDD et au FDD half-duplex.
- Le type 2 est adapté au TDD.

Dans la structure de trame de type 1, chaque sous-trame est divisée en deux *slots* de 0,5 ms chacun.

Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames sont disponibles pour la voie descendante par période de 10 ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes. En FDD half-duplex, un UE ne peut transmettre et recevoir simultanément, ce qui restreint le nombre de sous-trames utilisables dans chaque direction de transmission.

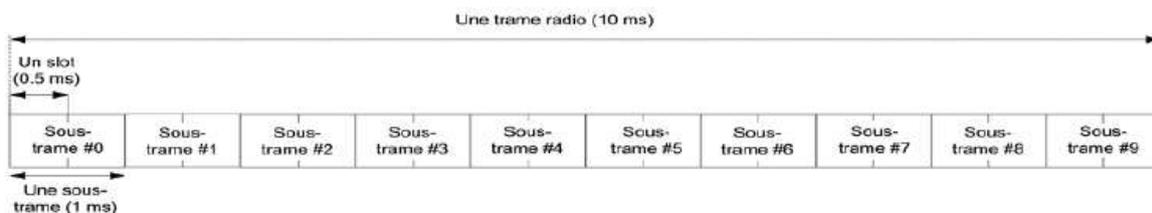


Figure 12 : structure de trame FDD et half -duplex

En TDD, certaines sous-trames sont réservées pour la voie montante tandis que d'autres le sont pour la voie descendante. Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement entre la voie descendante et la voie montante. Ce temps de garde est noté GP (Guard Period) sur la figure suivante. Le temps de garde nécessaire au basculement de l'eNodeB entre la réception d'une sous-trame montante et l'émission d'une sous-trame descendante est créé par elle-même en avançant dans le temps les sous-trames montantes par rapport aux sous-trames descendantes. L'UE est informé de ce décalage par la commande d'avance de temps, qui lui indique de démarrer sa transmission un peu plus tôt (ou un peu plus tard). Une avance de temps par défaut de 20  $\mu$ s est ainsi spécifiée en TDD, car cette durée est attendue comme la valeur maximale potentiellement nécessaire aux équipements pour basculer de réception à émission. Au plus,

deux sous-trames spéciales est présentée par frame, afin de limiter la perte d'efficacité du système due au temps de garde.

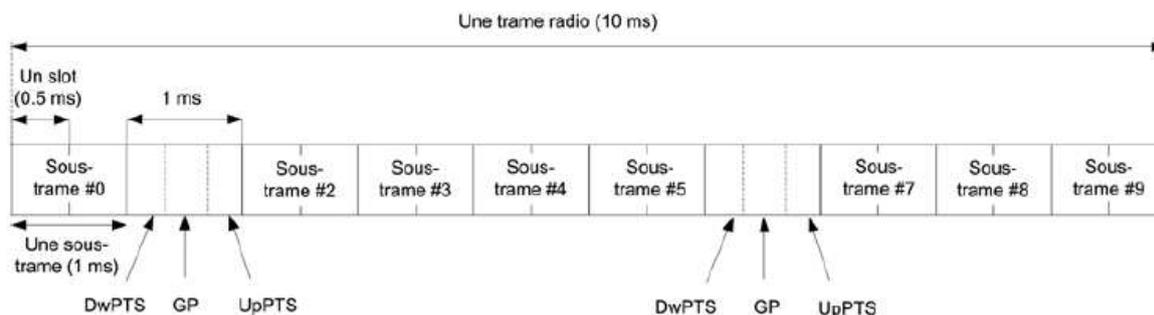


Figure 13 : structure de trame TDD

### Concept de bloc de ressources :

Les stations de base LTE permettent l'accès simultané de plusieurs centaines d'abonnés actifs à chaque cellule du réseau mobile, en utilisant à la fois les multiplexages en fréquence (FDMA) et temporel (TDMA), en émission et en réception pour partager la ressource radio entre les utilisateurs. L'unité de base attribuée à un abonné est le « Resource Block ».

Chaque bloc ressource est constitué de 12 sous-porteuses qui ont des fréquences consécutives, orthogonales, ce qui évite les bandes de garde entre sous-porteuses. Elles sont de 15 kHz de largeur et de 7 symboles temporels ayant une durée totale de 0,5 ms. Un nombre variable de bloc ressource peut être attribué chaque seconde à un même terminal mobile en fonction du débit qu'il requiert et des ressources radio disponibles.

Son fonctionnement sur la liaison descendante (vers le terminal mobile), consiste à attribuer dynamiquement les blocks de ressource à un équipement mobile peuvent avoir des fréquences différentes non adjacentes, réparties dans une bande maximale de 20 MHz, ce qui a pour avantage de diminuer le risque d'avoir une majorité de sous-porteuses subissant des interférences car elles sont réparties dans un spectre radio plus large. Par contre pour les liaisons montantes (sens terminal vers eNodeB), les blocs ressource utilisés par un terminal LTE en émission doivent avoir des fréquences adjacentes. Cette contrainte vient du codage SCFDMA utilisé sur les liaisons radio montantes dont le caractéristique single carrier (SC), impose d'utiliser, pour un terminal donné, un groupe de sous-porteuses adjacentes. L'allocation de la ressource radio, autrement dit attribution de ressource block à un terminal mobile ; est redéfinie chaque ms à la fin de chaque TTI, ce qui correspond à la durée de deux blocks de ressource.

Les blocs ressource sont utilisés dans la variante de normes LTE : le mode FDD (full duplex) et le mode TDD (half duplex), dans ce deuxième cas, chaque groupe de douze sous-porteuses est réaffecté toutes les 1 à 10 ms (deux à vingt blocs ressource) alternativement à la transmission en émission puis en réception. Une fois que les blocs ressource sont attribués à un abonné, les sous porteuses qui les composent sont modulées en utilisant un type de modulation : QPSK, 16QAM, 64QAM ou 256QAM adapté à la qualité du canal de transmission radio, notamment à son rapport signal sur bruit. En réception, les blocs ressource correspondants à tel ou tel abonné sont isolés, puis ils sont démodulés en utilisant le type de modulation choisi par l'émetteur.

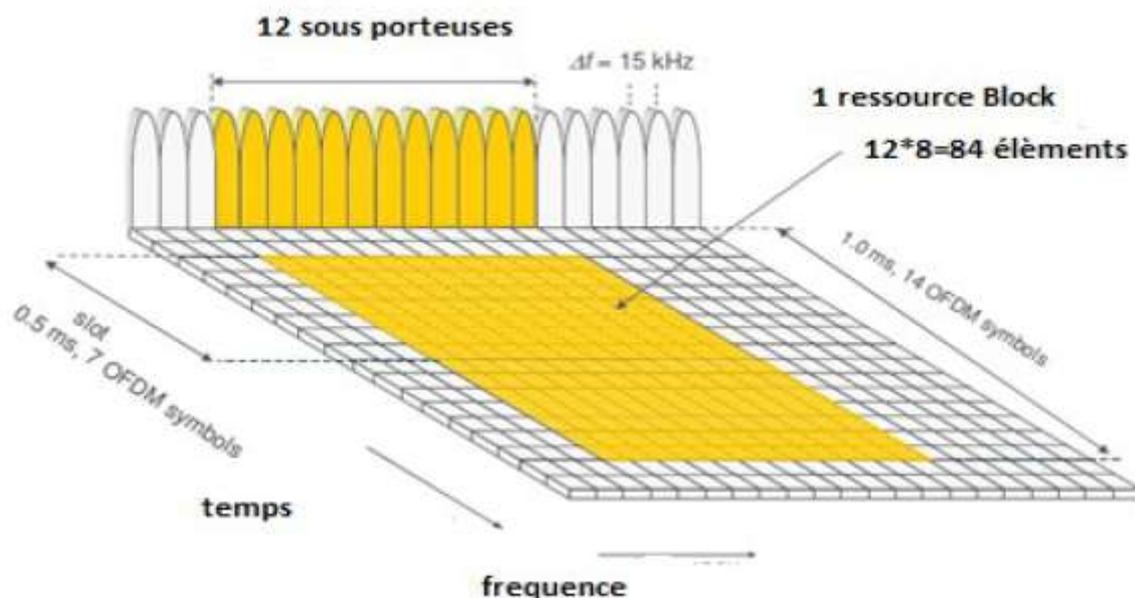


Figure 14 : bloc de ressources

## 2.8 La technologie dans le réseau 4G

Les réseaux mobiles 4G utilisent les technologies MIMO (Multiple Input Multiple Output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), AAS (Adaptive Antenna Systems), AMS (Adaptive Modulation Schemes), AES (Advanced Encryption Standard) et IP (Internet Protocol). Ces technologies leur permettent d'atteindre des débits de plusieurs dizaines de Mbps et introduisent les principales fonctionnalités nécessaires pour permettre la mobilité à de très grandes vitesses.

### 2.8.1 La technologie MIMO :

La technologie MIMO permet de transporter plusieurs flux en parallèles sur des antennes différentes en utilisant la même fréquence. Le principe de cette technologie est l'utilisation de plusieurs antennes, aussi bien en émission qu'en réception. Selon la configuration utilisée, elle permet d'améliorer la qualité ou le débit de la transmission. Lorsque la technologie MIMO est utilisée en émission, différents signaux sont transmis par chacune des antennes afin d'augmenter le débit de la transmission. Il faut noter que la technologie MIMO est plus efficace dans les environnements comportant des obstacles, ce qui lui permet de bénéficier des propriétés du multi-chemin.

En combinant MIMO avec la technologie OFDM, on peut tirer parti des deux aspects de la technologie MIMO. En effet, le principe de l'OFDM consiste à diviser le signal numérique que l'on veut transmettre sur un grand nombre de porteuses. Afin d'utiliser des fréquences très proches pour les porteuses et ainsi transmettre le maximum d'informations sur une portion de fréquences données, l'OFDM utilise des porteuses orthogonales entre elles, ce qui réduit les interférences. Un autre avantage de l'OFDM vient du fait que toutes les opérations sont faites dans le domaine fréquentiel. De ce fait, lorsqu'un signal OFDM est envoyé dans le canal, il est atténué et déphasé comme s'il passait dans un filtre. Au niveau du récepteur, le signal reçu est simplement le signal émis multiplié par un coefficient complexe.

De cette façon, il est aisé de retrouver le signal envoyé. La technologie MIMO peut ainsi utiliser plusieurs antennes pour transmettre, sur la même fréquence, différentes parties du

signal afin d'améliorer le débit. Dans le même temps, chaque antenne peut utiliser des porteuses différentes pour transmettre la même information dans le but d'améliorer la qualité.

Pour contrer l'inconvénient de l'OFDM qui présente un ratio très élevé entre la puissance maximale et la puissance moyenne du signal, les réseaux LTE utilisent en direction ascendante une version pre-codée de l'OFDM nommée Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA). Cela permet d'améliorer la couverture, de réduire la consommation d'énergie dans l'amplificateur de puissance et d'offrir de meilleures performances en bordure de cellule. En associant à l'OFDM un découpage temporel afin d'allouer la bande de fréquences utilisée à des stations différentes dans le temps, on obtient la technique d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access). (Adjarath 2014)

### **2.8.2 La modulation adaptative (AMS) :**

Consiste à faire varier dynamiquement certains paramètres du réseau dans le but d'atteindre un débit de transmission maximal tout en assurant une certaine performance de base. Divers paramètres sont ainsi sélectionnés selon les conditions du canal de transmission. Ces paramètres permettent une meilleure efficacité spectrale lorsque les conditions du canal sont bonnes mais, quand les conditions se détériorent, l'efficacité spectrale est aussi diminuée. (Adjarath 2014)

### **2.8.3 Les antennes adaptatives (AAS) :**

Utilisent un algorithme sophistiqué pour déterminer à chaque instant les signaux utiles ainsi que les interférences et calculer la direction d'où proviennent ces signaux. Cela leur permet non seulement de maximiser la qualité des signaux reçus, mais aussi de localiser l'émetteur et de retransmettre dans sa direction afin de minimiser le mieux possible les interférences. (Adjarath 2014)

### **2.8.4 L'Advanced Encryption Standard (AES) :**

Qui implémente l'algorithme de chiffrement Rijndael, est un algorithme de chiffrement par bloc qui a été élaboré à la suite d'un appel pour un système de chiffrement sécurisé qui a été lancé par l'Institut national américain des normes et de la technologie (United States National Institute of Standards and Technology) en 1997 afin de remplacer le DES (Data Encryption Standard) qui était devenu vulnérable aux attaques par force brute. Parmi plusieurs propositions, l'algorithme de chiffrement Rijndael a été choisi et a été rebaptisé AES en 2001. La proposition de Rijndael définit un algorithme de chiffrement dans lequel la longueur de bloc et de la longueur de la clé peut être spécifiée de manière indépendante à 128, 192 ou 256 bits. L'AES utilise les trois mêmes alternatives pour la taille de la clé, mais limite la longueur de bloc à 128 bits. L'algorithme consiste en un ensemble d'étapes répétées un certain nombre de fois (rondes). Le nombre de rondes dépend de la taille de la clé et de la taille des blocs de données. Le nombre de rondes dans Rijndael est 10 pour une clé de longueur 128 bits, 12 pour une clé de longueur 192 bits, et 14 pour une clé de longueur 256 bits. En considérant une séquence binaire  $X_1 ; X_2 ; \dots ; X_n$  de blocs en clair, chaque bloc  $X_i$  ( $i$  de 1 à  $n$ ) est chiffré avec la même clé secrète  $k$  afin de produire les blocs chiffrés  $Y_1 ; Y_2 ; \dots ; Y_n$ , avec  $Y_i = E_k(X_i)$ . L'AES a été choisi entre autres pour sa résistance

contre toutes les attaques connues, la vitesse et la compacité du code sur un large éventail de plates-formes et sa simplicité de conception. (Adjarath 2014)

## **2.9 Le réseau LTE «4G» fixe**

Le réseau 4G fixe est similaire au réseau 4G mobile du point de vue des caractéristiques et technologies, de l'architecture et interface radio. La 4G fixe est utilisée actuellement dans certains pays, notamment l'Algérie. L'opérateur Algérie Télécom a déployé le réseau 4G fixe en 2014, dont le principal but était d'alléger la charge du réseau ADSL et aussi de donner la possibilité aux utilisateurs n'ayant pas une connexion ADSL de pouvoir en bénéficier. Il permet aussi d'offrir un débit largement supérieur à celui de l'ADSL qui ne dispose pas encore de la fibre optique en sachant que la fibre optique possède une bande passante illimitée.

Du fait, que notre projet de fin d'études sera parrainé par Algérie Télécom. (Amine 2019)

## **2.10 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons traité de façon détaillée la quatrième génération ou nous avons abordé l'architecture, les technologies utilisées et l'interface radio. Ensuite nous avons terminé le chapitre par l'étude détaillée de la quatrième génération fixe, qui est l'objectif principal de notre projet sur lequel nous avons pu observer à travers notre démarche le concept et le principe. Toutes ces informations nous aiderons à mieux appréhender le prochain chapitre qui concernera le processus de dimensionnement et planification LTE dans son aspect théorique.

## 3 Chapitre 03

### Planification des réseaux 4G

#### 3.1 Introduction :

Le développement de façon exponentiel des réseaux cellulaires a fait que leurs déploiements sont devenus très fréquents. A cet effet, la préoccupation principale des opérateurs est de garantir une meilleure performance de ces réseaux à l'égard des utilisateurs en termes de débit et de couverture en optimisant les coûts. Pour ce faire, il est nécessaire et impératif d'élaborer une planification et une optimisation avant chaque changement au sein d'un réseau ou avant chaque déploiement d'un nouveau réseau. En conséquence les opérateurs ont créé des départements de planification et d'optimisation des réseaux. Compte tenu de l'importance de ce département stratégique, les opérateurs mobilisent beaucoup de ressources en moyens humains et matériel pour rentabiliser l'activité de planification.

Dans ce chapitre, nous allons définir les types de planification d'un réseau LTE et ensuite expliquer tout le processus de dimensionnement et planification LTE.

#### 3.2 3.1 Types de planification LTE :

La planification d'un réseau détermine le degré de la qualité de service que peut offrir un opérateur aux utilisateurs en optimisant les coûts engendrés par l'installation et par l'utilisation du système.

L'objectif de la planification d'un réseau est de réduire le temps de mise en marche, le coût des dépenses d'investissement ainsi que le coût des dépenses opérationnelles, il existe deux types de planification :

##### 3.2.1 Planification du réseau cœur LTE :

Il s'agit d'une planification complète lors d'un déploiement d'un nouveau réseau LTE. Elle est produite lorsque l'opérateur ne possède pas un réseau LTE.

##### 3.2.2 Planification du réseau d'accès radio RAN (Radio Access Network Planning) LTE :

Cette planification nécessite la disponibilité d'un réseau cœur LTE. La planification du réseau d'accès radio est effectuée pour assurer la couverture radio. Il peut s'agir d'une planification d'un nouveau déploiement d'un réseau LTE dans une région (exemple : wilaya), dans ce cas le processus de planification est effectuée du début jusqu'à la fin. Comme il peut s'agir d'une extension d'un déploiement existant dans une région dont le réseau LTE est déjà déployé, dans ce cas quelques étapes seulement du processus de planification sont effectuées, lorsque des problèmes de déploiement surviennent (exemple : congestion, faible qualité de service, problèmes de couverture etc ...). (Amine 2019)

Dans le cadre de notre projet, le type de planification que nous allons traiter est la planification du réseau d'accès radio RAN. Cette planification rentre dans le cadre d'une extension d'un déploiement existant, car l'opérateur Algérie Télécom possède déjà un

réseau cœur LTE dans la wilaya d'Oran ou nous allons élaborer une planification. De ce fait, il est utile d'expliquer le processus de planification du réseau d'accès radio RAN.

### 3.3 Processus de dimensionnement et planification RAN :

La planification RAN regroupe plusieurs objectifs :

- Obtenir une couverture suffisante sur la zone ciblée, en assurant une qualité de service satisfaisante.
- Fournir la capacité réseau requise avec un taux de blocage de service faible et des débits utilisateur satisfaisants.

Les objectifs de la planification du réseau radio RAN ne seront atteints que par une sélection appropriée des emplacements de sites, de la configuration des paramètres radio de l'eNodeB, du choix des modèles, des hauteurs d'antennes, du choix des angles d'azimut et d'inclinaison etc...

La planification du réseau d'accès radio RAN suit un processus qui regroupe des étapes bien définies, comme illustré dans la figure 15 :



Figure 15 : processus de planification (Amine 2019)

#### 3.2.1 Préparation (HAMZA 2018)

Nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. On cite par exemple :

- Les informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE.
- Les informations sur la zone de déploiement (superficie, information démographiques)
- Les données géographiques : cartographie, population, zone à couvrir et taux de pénétration des abonnés dans cette zone
- Les services à offrir : voix, données.
- La liste des sites : identifier les lieux pour placer les eNodeB.
- Le choix du modèle de propagation.

La figure 16 montre la zone d'Oran de notre projet que nous avons faire la planification.

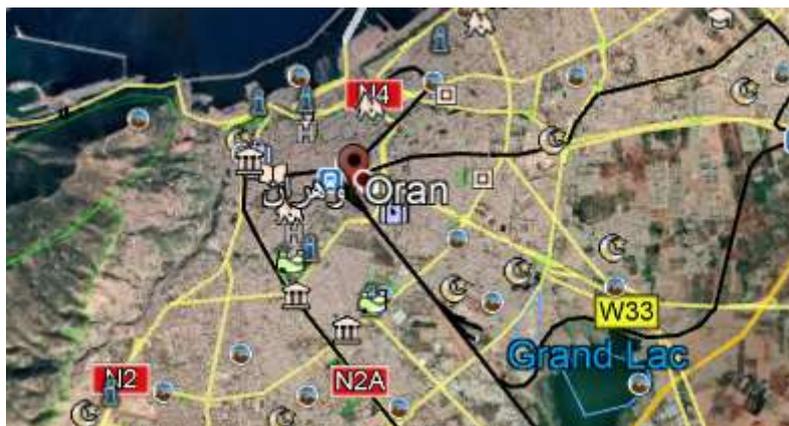


Figure 16 : la zone d'Oran

Tableau 3-1 présente les informations collecté de la région d'Oran

Information collecté	Oran
Superficie	31.42 km <sup>2</sup>
Population	609940
Morphologie de la zone	Dense urban
Type de multiplexage	FDD
Probabilité de couverture	95%
Charge DL	100
Débit moyen Mbps	1
Altitude	84m
Longitude	-0.649256
Latitude	35.7028
Nombre d'habitant potentiel	101657

- **La morphologie** : Elle est déterminée à travers la densité de la population et les agglomérations dans la région.
- **Le nombre d'abonnés potentiels** : Il nous a été communiqué par le département de planification et optimisation d'Algérie Telecom, il s'agit d'une estimation du nombre de personnes potentielles devant être abonnés ou future abonnés. Ce nombre est estimé comme suit : le nombre total de la population dans la région divisée par six qui représente la taille des ménages moyenne en Algérie.
- **Probabilité de couverture** : Elle est définie selon la morphologie de la zone ainsi que les objectifs de l'opérateur, elle a été calculée par le fournisseur HUawei pour la région d'Oran.
- **Le débit moyen garanti** : Il est fixé par Algérie Télécom.
- **La charge ciblée** : elle est fixée par l'opérateur Algérie Telecom selon les objectifs fixé.

### 3.3.1 Dimensionnement

Le dimensionnement est une étape d'analyse pour le réseau d'accès radio RAN dans le but de faire une approximation du nombre d'eNodeB nécessaire dans une région définie, le processus de dimensionnement nécessite une liaison conjointe entre la capacité et la couverture. Comme illustré dans la 17.

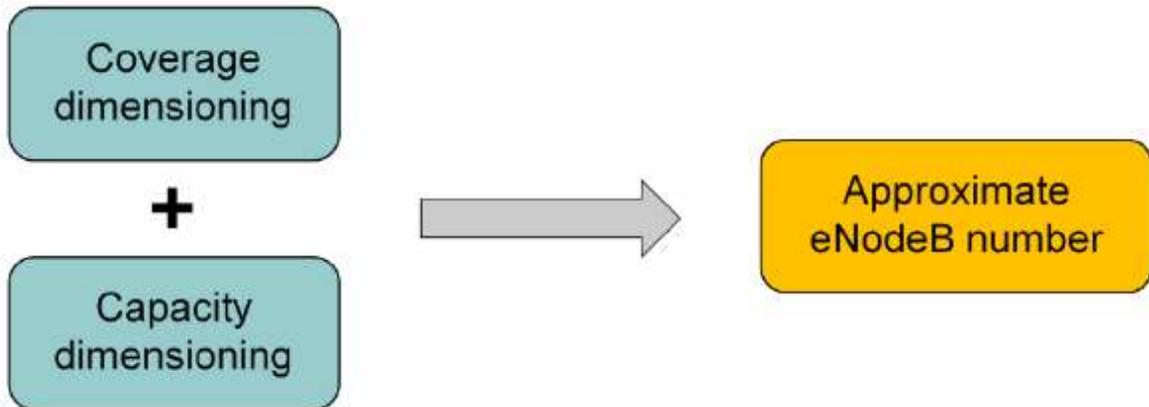


Figure 17 : type de combinaison de dimensionnement

#### 3.3.1.1 Dimensionnement de couverture

Analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception de réseau LTE. On va se baser sur le Bilan de liaisons (RLB), qui permet d'estimer le taux de perte du trajet.

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 des sites. Cette estimation basée sur les exigences de couverture et elle doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité.

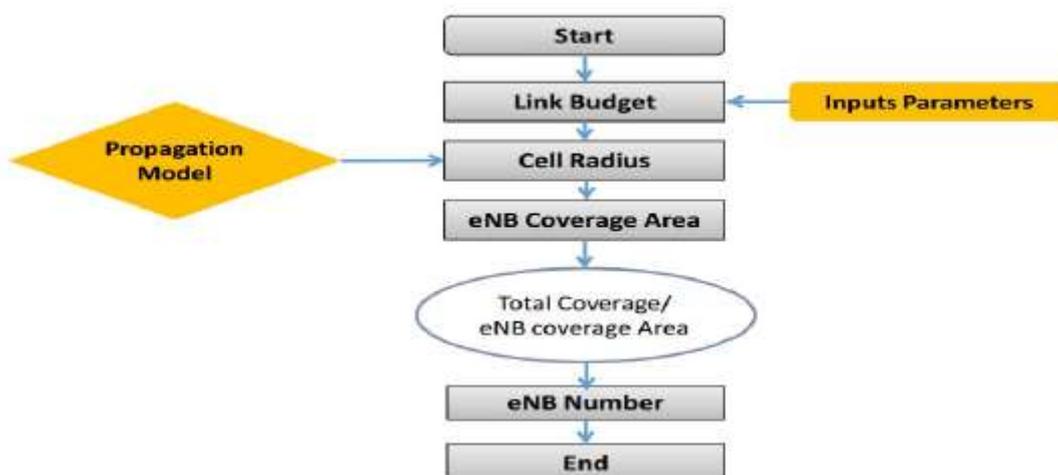


Figure 18 : les étapes de dimensionnement de couverture

### 3.3.1.1.1 Données d'entrées

Les données d'entrées regroupent les informations collectées de l'étape de préparation et d'autres paramètres doivent être définis par l'équipementier de l'opérateur. La figure 19 montre les informations et les paramètres de la voie descendante qui doivent être spécifiés pour pouvoir effectuer le dimensionnement de couverture.

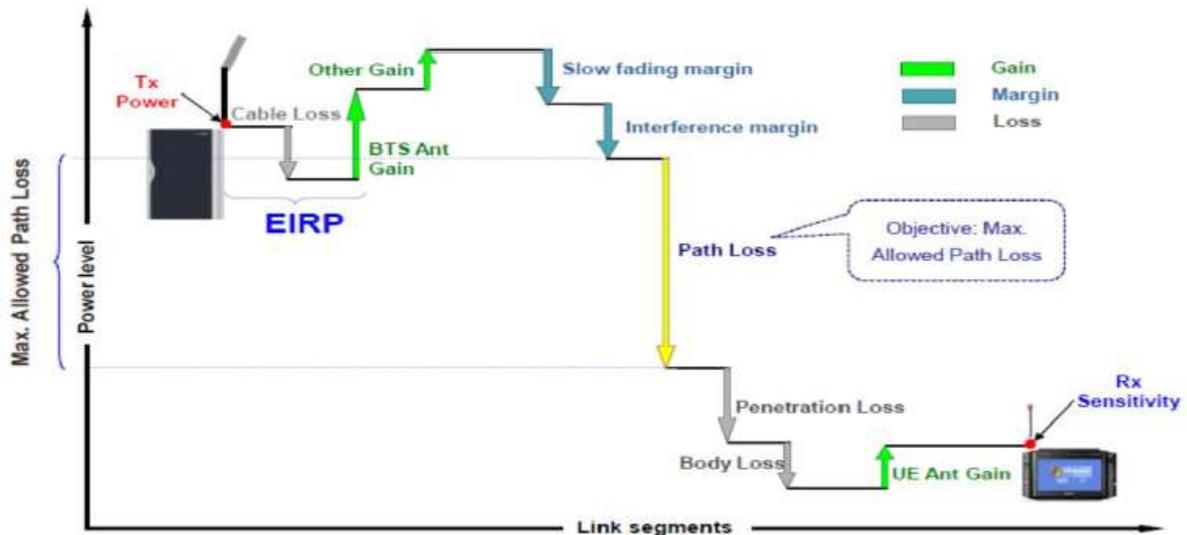


Figure 19 : informations pour les paramètres de la voie descendante

Les principaux paramètres sont :

- **Environnement UE (utilisateur)** : Il s'agit de spécifier le type d'environnement dans lequel est positionné l'utilisateur à savoir intérieur ou extérieur (indoor, outdoor).
- **Caractéristiques LTE** : Il s'agit de connaître les caractéristiques du réseau LTE a déployé, notamment : Le type du multiplexage (FDD ou TDD), la fréquence de travail, la bande passante, le schéma utilisé (MIMO, SIMO etc.....)
- **Modèle de propagation** : Le choix du modèle de propagation est généralement basé sur ces caractéristiques fréquentielles (Exemple de modèle : Cost-Hata, Okumura-Hata...)
- **Modèle du canal** : Le modèle du canal est défini selon la morphologie de la zone de travail. Il permet de déterminer le comportement des abonnés en termes de mobilité
- **SINR ciblé** : Le SINR ciblé (rapport signal sur bruit tenant compte des interférences) est estimé par des mesures découlant d'un logiciel de chaque opérateur ou fournisseur d'équipements.

Exemple : le fournisseur HUAWEI utilise le logiciel RND pour le déterminé (Ce logiciel sera utilisé dans notre projet, du fait que HUAWEI est l'un des fournisseurs potentiels d'Algérie Télécom). La figure 20 montre les paramètres nécessaires pour le calcul du SINR ciblé.

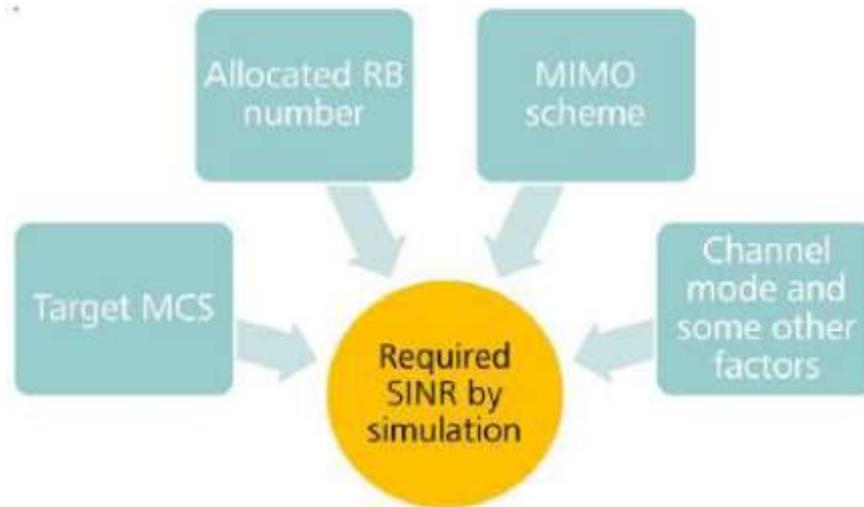


Figure 20 : montre les paramètres nécessaires pour le calcul du SINR ciblé.

- **PathLoss** : Le PathLoss représente l'atténuation déterministe de la puissance du signal reçu en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur.
- **Shadow fading margin** : Le shadowing est défini comme une atténuation aléatoire supplémentaire de la puissance qui se produit lorsque des objets de grande taille s'interposent entre l'émetteur et le récepteur. Ce phénomène provoque des fluctuations aux pathloss, pour les absorber une marge nommée shadow fading margin est définie. Cette marge permet de garantir au bord de la cellule un pathloss qui va atteindre le maximum requis, Le shadow fading margin est calculé en fonction de la probabilité de couverture au bord de la cellule ciblée et de la morphologie de la zone. Le tableau 3.2 nous donne les valeurs du shadow fading margin en fonction de la morphologie de la zone dans le cas du fournisseur HUAWEI :

Tableau 3-2 shadow fading margin en fonction de la morphologie de la zone

	Dense urban	Urban	Suburban	Rural
Standard deviation of shadow fading (indoor)	11.7 dB	9.4 dB	7.2 dB	6.2 dB

-**Interference margin** : Une atténuation supplémentaire est causée par les interférences des eNodeB voisines, au bord de la cellule. Notons par ailleurs, que cette atténuation nommée noise rise, est aléatoire. La distribution de cette atténuation, dépend de la somme des eNodeB qui s'interfèrent.

Afin de contrer cette atténuation, une marge supplémentaire nommée Interference margin est prise en considération. Le calcul de Cette marge d'interférence est en fonction de la charge de la cellule, du facteur d'interférence et du SINR ciblé.

- **Caractéristiques radio du hardware (Matériel)** : Les caractéristiques radios du matériel tel que, La hauteur, la puissance maximale émise, le facteur du bruit, les amplificateurs (TMA), sont sélectionnées selon la morphologie de la zone ciblée.

- **Cable loss** : Il est défini comme étant des pertes de raccordement entre le BBU et l'antenne (feeder + connectors) dont leurs valeurs communes sont estimées à 3.5 dB (3dB + 0.5dB).

- **Body loss** : Il est défini comme étant des pertes provoquées par le corps humain. Ces pertes dépendent du type de service utilisé, tel que la voie IP, Le tableau 3.3 montre un exemple du fournisseur HUAWEI.

Tableau 3-3 body loss en fonction du type de service

Service Type	VoIP	PS
Body Loss	3dB	0

- **Penetration loss** : Il est défini comme étant des pertes causées par l'environnement. Ces pertes dépendent de la fréquence porteuse et de la morphologie de l'environnement.

- **UE antenna gain** : Il est défini comme étant le Gain de l'antenne réceptrice. En général, il est considéré comme un gain nul (0 dBi) car les antennes utilisées par les abonnés sont des antennes omni directionnelles.

- **eNodeB antenna gain** : Il est défini comme étant le Gain de l'antenne d'émission.

La figure 21 montre les informations et les paramètres de la voie montante devant être spécifier, pour pouvoir effectuer le dimensionnement de couverture. Notons que ces paramètres sont identiques à celle de la voie descendante.

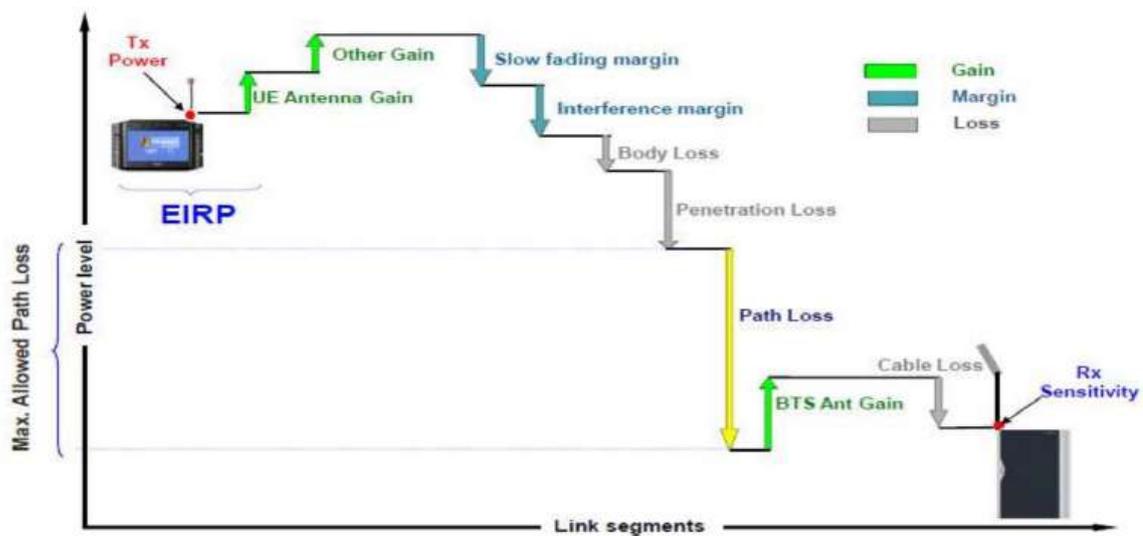


Figure 21 : Informations et paramètres pour la voie montante

### 3.3.1.1.2 Calcul du MAPL et du rayon de la cellule :

**MAPL (Maximum Allowed Path Loss)** : Il est défini comme étant l'atténuation maximale possible de la puissance moyenne, permettant d'atteindre un niveau d'SINR ciblé, avec une probabilité de couverture ciblée au bord de la cellule, la formule suivante permet de faire son calcul

$$MAPL = Pe_{NB, sc} + Ga_{eNB} - L_{câble} - LBL - LPL + Ga_{UE} - Nt_{sc} - SINR_{target} - FM - IM .$$

Les paramètres ainsi définis seront considérés comme données d'entrées pour le logiciel du fournisseur (RND), servant pour le calcul du MAPL (Maximum Allowed Path Loss). Ce dernier sera utilisé pour le calcul du rayon de la cellule aussi bien pour la voie montante que pour la voie descendante, selon le modèle de propagation choisi. Comme illustré sur la figure 22



Figure 22 : Relation entre le rayon de la cellule et le MAPL

Après avoir obtenu les deux rayons de cellules.

Il est conclu que le plus efficace est celui dont le rayon est minimal. Comme repris dans l'organigramme (figure 18).

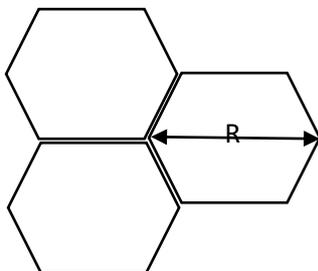
### 3.3.1.1.3 Calcul du nombre de site requis :

Cette étape consiste à estimer le nombre de sites nécessaires pour couvrir la zone ciblée pour un Statut idéal. Dans un environnement d'un terrain réel, l'ajout de certains sites est nécessaire.

L'estimation du nombre de site est définie selon les étapes suivantes :

- Calculer la surface de la zone
- Calculer la surface couverte par un seul site :

Les sites les plus utilisées dans un réseau LTE sont les sites tri-sectoriels comme dans le cas D'Algérie Télécom. Ce qui signifie qu'un site peut couvrir trois cellules. De ce fait, la surface couverte par un site est déterminée selon la formule suivante :



$$S = \frac{9}{8} \times \sqrt{3} \times R^2$$

- Estimer le nombre de sites requis :

Le nombre de sites requis est le rapport entre la surface de la zone ciblée et la surface couverte par un Site selon la formule suivante :

Nombre de Sites Requis = Surface de la zone ciblée / Surface couverte par un site (S).

### 3.3.1.2 Dimensionnement de capacité :

Cette étape permet d'estimer le nombre de sites nécessaires et suffisants dans une région donnée, afin que le réseau puisse satisfaire la demande de trafic des abonnés, tout en garantissant un débit ciblé (throughput). D'une façon générale, la demande de trafic des abonnés est analysée à l'heure chargée du jour (busyhour).

Un dimensionnement basé sur la demande de trafic des abonnés à l'heure chargée du jour (busyhour), garantie une prise en charge de tous les abonnés à tout heure et aussi une meilleure qualité de service. Cependant, survient un risque de surdimensionnement du réseau en raison d'un gaspillage des ressources en dehors du (busy hour), et d'un probable

surcrot sur la consommation du réseau. En conséquence de ce qui suit, un compromis entre le degré de surdimensionnement et les coûts associés doit être pris en compte. Le dimensionnement de capacité suit un organigramme bien défini, Il est représenté sur la figure 23

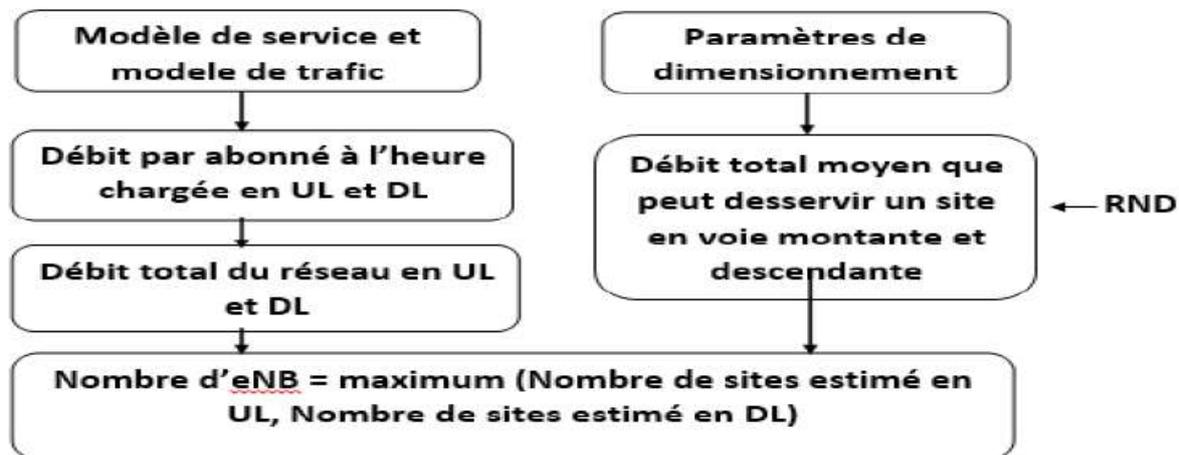


Figure 23 : Etape du dimensionnement de capacité

Cet organigramme est réalisé en trois parties :

- 1- Cette première partie permet d'estimer le débit total moyen que peut desservir un site (eNodeB en voie montante et en voie descendante, en fonction de plusieurs paramètres, à savoir :
  - Paramètres LTE et équipements radio.
  - Paramètres de propagation
  - Paramètres de la cellule.

Ce débit est déterminé par le fournisseur d'équipements à travers plusieurs simulations sur des logiciels internes. Puisque nous travaillons avec la procédure du fournisseur HUAWEI, alors dans la partie pratique de notre projet, nous allons utiliser le logiciel de HUAWEI (RND) pour la détermination du débit moyen par cellule, ce débit sera multiplié par le nombre de secteurs afin d'obtenir le débit total moyen que peut desservir un site.

- 2- La deuxième partie consiste à estimer le débit total du réseau à l'heure chargée (busy hour throughput per subscriber), ce débit est calculé sur la base du nombre d'abonnés et des modèles de Service et du trafic (service and traffic models), il est défini comme étant la quantité de données par Seconde que consomme moyennement un abonné pendant la période la plus chargée de la journée BH (busy hour) multiplié par le nombre total d'abonnés.

Un modèle de service (service model) définit les paramètres de trafic des différents services et permet d'estimer le volume de données moyen consommé par un abonné durant une session de service. Une session de service représente une connexion établie entre l'utilisateur et le réseau LTE

Pour le transfert des données d'un service, par exemple une session vidéo (streaming) ou VoIP.

La méthode de calcul de ce débit est propre à chaque fournisseur. Dans la mesure où nous allons utiliser les données du fournisseur HUAWEI, notre démarche sera celle de ce fournisseur. La Méthode de HUAWEI est scindée en deux parties à savoir :

A- Calcule du volume de données moyen consommé par un abonné durant une session de Service, à partir du service model selon la formule suivante :

$$ADVPS (Kbit) = \frac{\text{Bearer rate(kbps)} \times \text{PPP session time(s)} \times \text{PPP session duty ratio (\%)}}{1 - BLER}$$

Où :

**ADVPS (Average data volume per session)** est le volume de données moyen consommé par un Abonné durant une session de service

**Bearer rate** est le débit moyen nécessaire au bon fonctionnement de chaque service.

**PPP (Point-to-Point Protocol) session time** est la durée moyenne d'une session de transfert des Données d'un service.

**PPP session duty ratio** est le pourcentage de transfert de données pendant une session.

B- Calcul du débit par abonné à l'heure chargée (busy hour throughput per subscriber) à partir Du comportement de consommation des abonnés durant la période du BH, ce calcul est Obtenu selon la formule suivante :

$$BHTPS (kbps) = \sum_{i=1}^{\text{Nombre de services offerts}} \text{Average data volume per session}_i \times \text{BHSA}_i \times \text{SPR}_i \times \frac{(1 + \text{PAR})}{3600}$$

**BHTPS (Busy hour throughput per subscriber)** est le débit par abonné à l'heure chargée

**BHSA (Busy Hour Sevice Attempts)** est défini comme étant le nombre moyen d'accès au service par abonné durant le BH. Le calcul du BHSA peut se faire sur une longue période (1 mois par exemple) comprenant N jours.

**SPR (Service Penetration Rate)** est défini comme étant la valeur moyenne du pourcentage d'utilisation du service par les abonnés.

Le comportement de consommation des abonnés durant le BH est indiqué par le BHSA et le SPR.

Leurs valeurs dépendent de la morphologie de la zone.

**PAR (Peak to Average Ratio)** est défini comme étant le rapport entre le débit pic (maximum) et sa valeur moyenne.

Le calcul du débit moyen se fait sur une période donnée. Toutefois, il existe des périodes où le débit dépasse le débit moyen. Le PAR représente une marge en pourcentage de compensation pour ce dépassement. La valeur de cette marge est fonction de la morphologie du terrain, comme illustré sur le tableau 3.4

Tableau 3-4 PAR en fonction de la morphologie

Morphology	Dense urban	urban	Sub urban	Rural area
Peak to avrage ratio	40%	20%	10%	0%

3- Cette dernière partie consiste à estimer le nombre de sites requis pour satisfaire la capacité du réseau, ce calcul obéit à la formule suivante :

$$\text{Nombre de sites} \approx \frac{\text{Débit par abonné à l'heure chargée (MAC)} \times \text{nombre des abonnés}}{\text{Débit total moyen par site (MAC)}}$$

$$\text{Nombre de sites} \approx \frac{\text{Débit total du réseau (MAC)}}{\text{Débit total moyen par site (MAC)}}$$

Où :

$$\text{Débit total du réseau (MAC)} \approx \frac{\text{Débit total du réseau (IP)}}{98.04\%}$$

**Le débit du réseau (IP)** est défini comme étant le débit de la couche application

**Le débit du réseau (MAC)** est défini comme étant le débit de la couche physique

Deux nombres de sites seront estimés. Un pour la voie montante et un autre pour la voie descendante, Le nombre de sites retenus pour le dimensionnement de capacité est celui qui possède le plus de sites en vue de satisfaire les deux voies, comme indiqué dans la formule suivante :

$$\text{Nombre d'eNB} = \max\left\{\left(\frac{\text{Débit total du réseau en UL}}{\text{Débit total moyen par site en UL}}\right), \left(\frac{\text{Débit total du réseau en DL}}{\text{Débit total moyen par site en DL}}\right)\right\}$$

Le nombre d'eNodeB obtenu à l'issue du dimensionnement de couverture est généralement différent de celui obtenu à l'issue du dimensionnement de capacité. Le nombre d'eNodeB retenu qui assure à la fois la couverture et la capacité du réseau est le maximum entre les deux dimensionnements.

### 3.3.2 La planification nominale

Les informations collectées dans l'étape de dimensionnement tel que le nombre de sites requis sont utilisées dans la planification nominale, qui permet d'obtenir une meilleure disposition des sites dans une région ciblée. Lors de cette planification les paramètres radio seront fixés afin d'avoir une meilleure qualité de service en termes de couverture et de la capacité du réseau. Ces paramètres seront fixés en réalisant plusieurs prédictions et simulations de couverture et de capacité. (Amine 2019)

Les prédictions les plus importantes réalisées sont les suivantes :

#### 3.3.2.1 Prédictions de couverture

Le but de ces prédictions est de :

- Déterminer la meilleure disposition des sites.
- Déterminer le choix idéal des paramètres radio de chaque site, notamment la puissance émise, les azimuts, les tilts etc...

Les prédictions de couvertures sont les suivantes

- Couverture par émetteur : Cette prédiction indique le champ de couverture de chaque cellule (émetteur).
- Couverture par niveau de champ : Cette prédiction représente le RSRP (Reference signal Received Power), celle-ci indique l'intensité du signal dans toute la zone de couverture.

- Couverture par indicateur de qualité : Cette prédiction représente le RSRQ (Reference Signal Received Quality), celle-ci indique la qualité du signal dans toute la zone de couverture.
- Couverture par niveau de SINR : Cette prédiction mesure le rapport entre l'intensité du signal utile et le bruit en tenant compte des interférences. Plus la valeur du SINR est élevée, plus la qualité du signal utile est bonne. En règle générale, la valeur du SINR est proportionnelle à la valeur de la qualité signal utile.
- Zones de chevauchements : Cette prédiction indique les zones de chevauchements des signaux qui émanent de plusieurs sites dans une région ciblée. Une zone est appelée zone de chevauchement lorsque le nombre de signaux qui s'interfèrent sont supérieur ou égale à quatre signaux. Les signaux s'interfèrent lorsque leurs puissances sont proches les unes des autres. (Amine 2019)

### **3.3.2.2 Prédiction de capacité**

Dans cette prédiction, il est nécessaire de revoir le choix des paramètres radio établi lors des prédictions de couverture de façon à répondre aux exigences de débit, celles-ci se fera à travers des prédictions de couverture par débit.

- Prédictions de couverture par débit :

La prédiction de couverture par débit indique une estimation du débit dans toutes les zones de la région à couvrir, cette estimation est relative à la qualité et à la couverture du débit. Ce débit est estimé en supposant qu'un seul abonné est présent dans chaque cellule. (Amine 2019)

### **3.3.2.3 Simulation de Monte Carlo**

La simulation de Monte Carlo constitue la dernière étape de la planification nominale. Après avoir effectué les prédictions de couverture et de capacité, cette simulation permet d'analyser et d'évaluer la qualité intrinsèque du réseau, en simulant une distribution d'un certain nombre d'abonnés préalablement définis. L'analyse du réseau se fait en fonction de la répartition du trafic (Amine 2019) :

#### **- La répartition du trafic par statut d'activité.**

- Les abonnés actifs en voie montante et en voie descendante
- Les abonnés actifs en voie descendante
- Les abonnés actifs en voie montante
- Les abonnés inactifs

#### **- La répartition du trafic par statut de connexion**

- Les abonnés connectés en voie montante et en voie descendante
- Les abonnés connectés en voie descendante
- Les abonnés connectés en voie montante
- Les abonnés non couverts

#### **- La répartition du trafic par débit**

- Débit utilisateur RLC max en voie montante et en voie descendante
- Débit utilisateur RLC effectif en voie montante et en voie descendante

### 3.3.2.3.1 Mise en œuvre de la simulation :

Pour pouvoir réaliser cette simulation, il est nécessaire d'avoir une liste d'abonnés (subscriber List) ou une carte de Traffic (Traffic Map) ou alors dans les meilleurs des cas avoir les deux en même temps.

#### - Liste d'abonnés :

Il s'agit d'une liste contenant la position géographique de l'ensemble des abonnés ainsi que leurs profils (services, type de mobilité, terminal utilisé etc...)

#### - Carte de Traffic :

Trois types de cartes de trafic peuvent être utilisés par le logiciel Atoll pour effectuer la simulation de Monte Carlo

#### A- Carte de Traffic par environnements de profils utilisateurs :

Pour pouvoir créer et utiliser cette carte, il est nécessaire d'avoir les données marketing de trafic (densité d'abonnées et leurs profils)

Sa création se fait en deux façons, à savoir :

- Environnement de profils d'utilisateurs
- Densité de profil d'utilisateurs

#### B- Carte de trafic par secteur :

Pour pouvoir créer et utiliser cette carte, il est nécessaire d'avoir plusieurs paramètres d'entrées pour chaque cellule qui sont récupérées de l'OMC (Centre d'exploitation et de maintenance). Comme paramètres d'entrées, il y a lieu de récupérer soit :

- Le débit en Downlink et Uplink
- Le nombre totales d'utilisateurs toute activités confondues
- Le nombre d'utilisateurs par statuts d'activité

#### C- Cartes de Traffic par densité d'utilisateur (nb d'utilisateurs /km<sup>2</sup>) :

La création de cette carte peut se faire de deux façons :

La première est basée sur des statistiques de population, car à l'aide de la densité d'habitants, il est possible de calculer la densité d'utilisateurs. La deuxième est basée sur des statistiques de trafic 2G ou 3G.

### 3.3.3 Planification détaillée

La planification détaillée est la dernière étape du processus de dimensionnement et de planification d'un réseau LTE. Elle est scindée en trois parties représentées dans la figure 24.

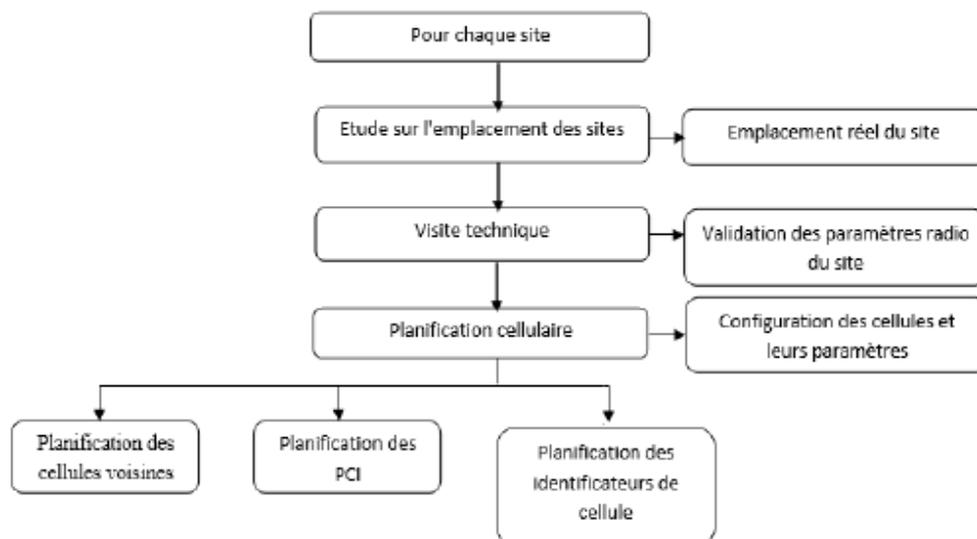


Figure 24 : Etape de la planification détaillé (Amine 2019)

### 3.3.3.1 Etude de l'emplacement des sites

A ce niveau l'emplacement réel du site est validé, l'opérateur est tenu de négocier l'acquisition de trois emplacements proches, jugés meilleurs candidats pour l'installation du site. Ces sites candidats seront soumis à des vérifications lors de la visite technique.

### 3.3.3.2 Visite technique

Lors de la visite technique, les sites candidats acquis seront contrôlés par un ingénieur radio, il sera chargé de vérifier en premier lieu, la disponibilité de la transmission des données, ensuite il introduit les paramètres obtenus dans la planification nominale à savoir : Le type et les paramètres radio des sites (eNodeB). A l'issue du contrôle, l'ingénieur choisi le site offrant les meilleurs résultats et envoie une demande d'installation de ce site. (Amine 2019)

### 3.3.3.3 Planification cellulaire (Cell palnning)

La planification cellulaire (Cell Planning) intervient dès que les sites sont sélectionnés et installés.

Ils feront l'objet de configuration et de paramétrage.

Etant données que les configurations et les paramètres à planifier sont nombreux, nous allons traiter uniquement ceux jugés par le fournisseur HUAWEL comme étant les plus important. Dans le cadre de notre projet, il est envisagé de réaliser la planification de ces paramètres dans la partie pratique, d'où la nécessité de traiter la planification de ces paramètres au lieu de traiter le paramètre lui-même. (Amine 2019)

#### 3.3.3.3.1 Cell ID Planning

Le Cell ID Planning est un schéma de nomination qui permet à l'opérateur de garantir l'unicité des noms des sites et des cellules. En effet, chaque site et chaque cellule doivent avoir un nom unique à travers tous les réseaux. L'opérateur attribue le nom des sites sous la forme d'eNodeB ID et aussi le nom des cellules sous la forme de Cell ID. Le choix des ID

(identificateurs) est à l'appréciation de l'opérateur. Le schéma de nomination (L'eNodeB ID et le Cell ID) est essentiel pour un bon fonctionnement du réseau, dans la mesure où le Cell ID est très utile lors des Handover. (Amine 2019)

### **3.3.3.3.2 Planification des cellules voisine (Neighbors Cell Planning)**

La planification des cellules voisines a pour rôle d'indiquer pour chaque cellule, les cellules qui lui sont proches. Ces cellules sont considérées comme étant des cellules voisines, elles peuvent être des cellules LTE, des cellules 3G ou bien des cellules 2G. Dans le réseau LTE, la planification des cellules joue un rôle primordial de par son implication dans les fonctionnalités de bases du réseau à savoir : les handover et la gestion des ressources radio. (Amine 2019)

### **3.3.3.3.3 PCI Planning**

Le PCI (Physical Cell Identity) permet à l'utilisateur d'identifier les différents signaux qui lui parviennent des cellules dans lesquelles il est connecté. Le PCI est un code unique pour chaque cellule dans une région donnée. L'utilisateur reconnaît le PCI à travers les signaux de synchronisation PSS (Primary Synchronisation Signal) et les signaux SSS (Secondary Synchronisation Signal) reçu sur chaque RB qui sont transmis par chaque cellule.

Les réseaux LTE supportent 504 codes PCI. Selon les exigences de l'organisme 3GPP, les 504 codes PCI doivent être divisés en trois groupes de 168 codes chacun, un ID (identifiant) unique est attribué à chaque groupe à savoir : 0 Pour Le premier groupe, 2 pour le deuxième groupe et 3 pour le troisième groupe.

Vu le nombre élevé de cellules dans un réseau LTE, une planification des PCI est nécessaire. Cette planification a pour objet de minimiser les risques de collision en prenant en considération une distance de réutilisation des PCI optimale.

Collision : Une collision a lieu lorsque le même PCI est attribué à deux cellules voisines, dans ce cas l'utilisateur détecte uniquement une des deux cellules, elle sera synchronisée au cours de la recherche initiale de cellule. En ce qui concerne la deuxième cellule, celle-ci est confondue avec la première et reçoit les signaux destinés à cette dernière. (Amine 2019)

## **3.4 Présentation du logiciel RND (radio network dimensionning) :**

Radio Network Dimensioning (RND) est un logiciel utilisé par les planificateurs de réseau pour planifier le réseau GSM, le réseau UMTS, le réseau LTE.

Le dimensionnement du réseau LTE dans RND inclut le dimensionnement de la couverture, et fait référence au budget de liaison (link budget) sur le canal de service et le canal de contrôle basé sur des informations telles que l'énergie et d'alimentation de transmission. Le RND fournit les fonctions suivantes : Dimensionnement des liaisons et dimensionnement des capacités pour LTE, et dimensionnement des numéros de site pour plusieurs villes. En tant qu'outil de pré-planification du réseau radioélectrique spécialisé.

Dans notre étude en utilise RND pour déterminer le rayon de la cellule et puis le nombre des sites.

Dans cette partie, nous allons présenter les étapes à suivre concernant le logiciel RND, à savoir :

- Création d'un nouveau projet.
- Configuration des paramètres de bases.
- Calcul du rayon de couverture.

### Création d'un nouveau projet

Pour la création d'un nouveau projet, la méthodologie est la suivante : Lancer le logiciel, sélectionner l'onglet File, cliquer sur New Project, définir le nom du projet et enfin choisir le type de réseau dans notre cas LTE, comme indiqué sur la figure 25

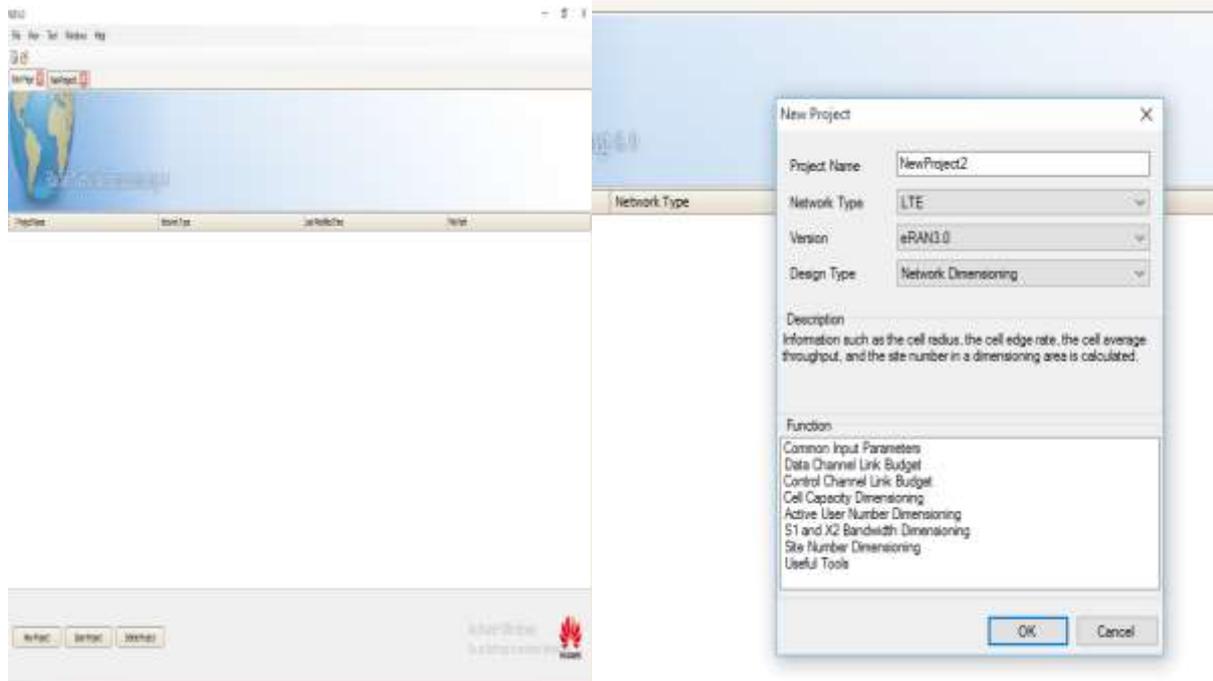


Figure 25 : interface logiciel Radio Network Dimensioning

### Configuration des paramètres de base

Pour la configuration des paramètres de base, le fournisseur HUAWEI nous a fourni un document contenant les données d'entrées pour ce logiciel. Le tableau 3-5 présente la configuration de ces paramètres dans le logiciel.

Tableau 3-5 présente la configuration de ces paramètres dans le logiciel

Morphology	Dense Urban		Urban		Suburb		Rural	
UL/DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
User Environment	Indoor		Indoor		Indoor		Indoor	
TMA Used	No		No		No		No	
Channel Model	ETU 3		ETU 60		ETU 120		EVA 120	
Frequency (MHz)	1800		1800		1800		1800	
System Bandwidth (MHz)	20.0		20.0		20.0		20.0	
PUCCH Overhead (RB)	10		10		10		10	
PDCCH Overhead (Symbol)	3		3		3		3	
MIMO Scheme	1x2		1x2		1x2		1x2	
Target Load	50.00 %		50.00 %		50.00 %		50.00 %	
Propagation Model	Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)	
Area Coverage Probability	95.00 %		95.00 %		90.00 %		90.00 %	
HFO Gain	4.68		2.69		1.80		1.78	
Service Type	PS		PS		PS		PS	

**Frequency (MHZ) :** Algérie télécom utilise la bande 1800MHZ.

**System Bandwith (MHZ) :** La bande passante allouée à Algérie télécom est de 20Mhz.

**MIMO Schème :** La configuration des antennes utilisées en voie descendante est 2x2 et en voie montante 1x2

**Propagation Model** : Le modèle de propagation choisit est le Cost 231-Hata de HUAWEI

**HHO (Hard Handover) Gain** : Il représente un gain a rajouté lorsque le Handover se produit.

**PUCCH (Physical Uplink Control Channel)** : Est un canal physique utilisé pour le contrôle dans la voie montante.

**PUCCH Overhead (RB)** : Indique le nombre de ressource bloc utilisés par les en-têtes de ce canal

**PDCCH (Physical Downlink Control Channel)** : Est un canal physique utilisé pour le contrôle dans la voie descendante.

**PDCCH symbole** : Indique le nombre de symboles OFDM utilisés par les en-têtes du canal PDCCH. Il varie de 1 à 3 symboles

### 3.4.1 Dimensionnement de couverture :

#### 3.4.1.1 Calcul du rayon de couverture

Suite à l'introduction des paramètres de base, deux paramètres essentiels doivent être défini notamment le MCS et le Cell Edge Rate. Ces paramètres sont choisis en fonction des objectifs fixés par l'opérateur Algérie Télécom.

**Cell Edge Rate (Kbps)** : Indique le débit désiré au bord de la cellule en Kbps

**MCS (Modulation Coding Scheme)** : Défini la modulation et le rendement de codage à utiliser.

Les deux paramètres ont été configurés suivant les données communiquées aussi par le fournisseur HUAWEI. Le tableau 3.6 montre la configuration de ces deux paramètres en fonction de la morphologie.

Tableau 3-6 montre la configuration de ces deux paramètres en fonction de la morphologie.

Morphology	Dense Urban		Urban		Suburb		Rural	
	PUSCH	POSCH	PUSCH	POSCH	PUSCH	POSCH	PUSCH	POSCH
Data Channel Type								
Duplex Mode	FDD		FDD		FDD		FDD	
User Environment	Indoor		Indoor		Indoor		Indoor	
System Bandwidth (MHz)	20.0		20.0		20.0		20.0	
Channel Model	ETU 3		ETU 60		ETU 120		EVA 120	
MIMO Scheme	1x2	2x2 SFBC	1x2	2x2 SFBC	1x2	2x2 SFBC	1x2	2x2 SFBC
Cell Edge Rate (kbps)	256.00	1024.00	256.00	1024.00	256.00	1024.00	256.00	1024.00
MCS	QPSK 0.31	QPSK 0.19	QPSK 0.31	QPSK 0.19	QPSK 0.31	QPSK 0.19	QPSK 0.31	QPSK 0.19

Après avoir introduit tous ces paramètres, nous allons procéder au calcul en cliquant sur calculate afin d'obtenir le rayon de couverture approprié pour la voie montante et pour la voie descendante. Le rayon le plus petit est celui qui va être pris en considération. Le tableau 3-7 montre le résultat obtenu (le rayon est exprimé en kilomètre).

Tableau 3-7 montre le résultat de rayon en fonction de la morphologie de la zone.

Morphology	Dense Urban		Urban		Suburb		Rural	
Data Channel Type	PUSCH	POSCH	PUSCH	POSCH	PUSCH	POSCH	PUSCH	POSCH
Duplex Mode	FDD		FDD		FDD		FDD	
User Environment	Indoor		Indoor		Indoor		Indoor	
System Bandwidth (MHz)	20.0		20.0		20.0		20.0	
Channel Model	ETU 3		ETU 60		ETU 120		EVA 120	
MIMO Scheme	1x2	2x2 SFBC						
Cell Edge Rate (kbps)	256.00	1024.00	256.00	1024.00	256.00	1024.00	256.00	1024.00
MCS	QPSK 0.31	QPSK 0.19						
Tx								
Rx								
Path Loss & Cell Radius								
Penetration Loss (dB)	19.00	19.00	15.00	15.00	11.00	11.00	8.00	8.00
Std. of Shadow Fading (dB)	11.70	11.70	9.40	9.40	7.20	7.20	6.20	6.20
Area Coverage Probability	95.00 %	95.00 %	95.00 %	95.00 %	90.00 %	90.00 %	90.00 %	90.00 %
Shadow Fading Margin (dB)	9.43	9.43	8.04	8.04	2.81	2.81	1.82	1.82
Path Loss (dB)	126.46	127.58	128.47	131.03	137.34	141.05	143.96	144.29
Propagation Model	Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)	
eNodeB/LTE Antenna Height (m)	25.00	1.50	30.00	1.50	35.00	1.50	40.00	1.50
Frequency (MHz)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Cell Radius (km)	0.41	0.44	0.60	0.71	1.95	2.49	4.88	5.26

Le rayon le plus petite c'est le rayon de la voix montante R=0.41km

### 3.4.1.2 Calcule le nombre de site

Nous avons utilisé les formules pour calculer le nombre de site

On a calculé la surface couverte par un site

$$S = (9/8) * \sqrt{3} * R^2$$

$$S = (9/8) * \sqrt{3} * 0.41^2 = 0.344 \text{ km}^2$$

On a la surface de la zone s = 31.42 km<sup>2</sup>

Calcule le nombre de site = la surface de la zone / la surface couverte par un site

$$N \text{ site} = 31.42 / 0.344 = 91.$$

Et quand nous avons utilisé le RND nous avons trouvée 97 sites.

Tableau 3-8 montre le nombre de site

City	Morphology	Cell Radius (km)	Sector Type	Coverage Area (km <sup>2</sup> )	Dimensioning Margin	Number of Sites
I oran	Dense U...	0.41	3 Sector	31.41	0.00 %	97

### 3.4.2 Dimensionnement de capacité :

Deux paramètres principaux doivent être introduits comme éléments d'entrée, il s'agit du type de morphologie et du nombre d'abonnés.

Le débit moyen que peut desservir une cellule (cell average throughput) est estimé à partir du logiciel RND.

Cette estimation a une relation directe avec le type de morphologie.

Pour chaque type de morphologie, correspond un rayon de couverture. Ce rayon a été calculé lors de l'étape de dimensionnement de couverture.

Après avoir introduit ces rayons, nous obtenons le débit total moyen que peut desservir une cellule comme illustré sur le tableau 3-9

**Tableau 3-9calcul du débit total moyen que peut desservir une cellule**

Morphology	Dense Urban		Urban		Suburb		Rural	
Data Channel Type	PUSCH	PD SCH						
Duplex Mode	FDD		FDD		FDD		FDD	
Sector Type	3 Sector		3 Sector		3 Sector		3 Sector	
System Bandwidth (MHz)	20.0		20.0		20.0		20.0	
Max Total Tx Power (dBm)	23.00	46.00	23.00	46.00	23.00	46.00	23.00	46.00
Target Load	50.00 %	100.00 %	50.00 %	100.00 %	50.00 %	100.00 %	50.00 %	100.00 %
Propagation Model	Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)		Cost231-Hata(Huawei)	
Frequency (MHz)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
PUCCH Overhead (RB)	10		10		10		10	
POCCH Overhead (Symbol)	3		3		3		3	
Penetration Loss (dB)	19.00	19.00	15.00	15.00	11.00	11.00	8.00	8.00
<b>Selective Features &amp; Input</b>								
Cell Radius (km)	0.41		0.60		1.95		4.88	
Adaptive ICIC	Disable		Disable		Disable		Disable	
4x4 V-MIMO	Disable	<input type="checkbox"/>						
Improved Frequency Selective Sche	Enable	<input type="checkbox"/>						
Intra-eNB CoMP	Enable	<input type="checkbox"/>						
Multi User Beamforming	Disable		Disable		Disable		Disable	
<b>Cell Throughput</b>								
Average Cell Throughput (Mbps)	15.57	29.68	10.74	26.15	7.08	21.41	5.89	20.59

### 3.5 Conclusion :

Nous avons abordé dans ce chapitre une approche théorique détaillée du processus de dimensionnement et planification du réseau d'accès radio LTE (RAN), en introduisant dans un premier temps les types et les différentes informations utiles pour ce processus. Ensuite, nous avons abordé le concept du dimensionnement de couverture et de capacité et aussi les prédictions et les simulations majeures ont été réalisées afin de valider les paramètres radio dans la planification nominale et enfin nous avons traité la planification des paramètres cellulaires dans la planification détaillée.

## 4 Chapitre 4 :

### Simulation avec le logiciel Atoll

#### 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une simulation d'une couverture radio dans le but de couvrir la wilaya d'ORAN avec une bonne qualité du signal radio tout en tenant compte de l'étude préliminaire d'estimation du nombre de cellules nécessaires à la couverture radio.

Dans cette étude nous allons choisir le modèle de COST-Hâta qui propose une formule générale avec des facteurs qui varient selon le type d'environnement.

Cette étude sera faite à l'aide d'un logiciel professionnel dit « Atoll » dédié à la planification radio des réseaux sans fils. Cet outil multi-technologies est destiné aux opérateurs de télécommunication, il est utilisable durant toute la vie des réseaux. Basé sur le système d'exploitation Windows.

#### 4.2 Présentation de logiciel Atoll :

Atoll est un logiciel professionnel développé par la société Forsk, dédié à la planification radio des réseaux sans fil. Cet outil multi-technologies est destiné pour les opérateurs de télécommunication, il est caractérisé par :

- a) Des options avancées de conception de réseau : performance de calcul, planification automatique de code/fréquences, support de différentes technologies d'accès et support de réseau multi-technologies (GSM/UMTS/LTE par exemple.)
- b) Adaptation à un nombre varié d'environnements (indoor, outdoor, zone rurale, dense urbaine, ct.).
- c) Intégration d'un grand nombre de modèles de propagation adaptés à de nombreux environnements et prenant en compte les phénomènes de réflexion, diffraction par le sol et les obstacles, de réfraction, de diffusion, d'atténuation par l'atmosphère, etc...

#### 4.3 L'environnement de travail :

Atoll utilise des éléments d'interface Windows familiers, avec la possibilité d'avoir plusieurs fenêtres de document ouvrir en même temps, prise en charge du glisser-déposer, des menus contextuels et prise en charge des raccourcis Windows standard, par exemple, pour couper et coller. Atoll vous permet non seulement de créer et de travailler sur votre projet de planification, mais vous offre également une large gamme d'options pour créer et exporter des résultats en fonction de votre projet. L'environnement de travail offre un large choix d'outils pour faciliter la planification radio, comme un outil de recherche pour localiser soit un site, un point sur la carte ou un vecteur.

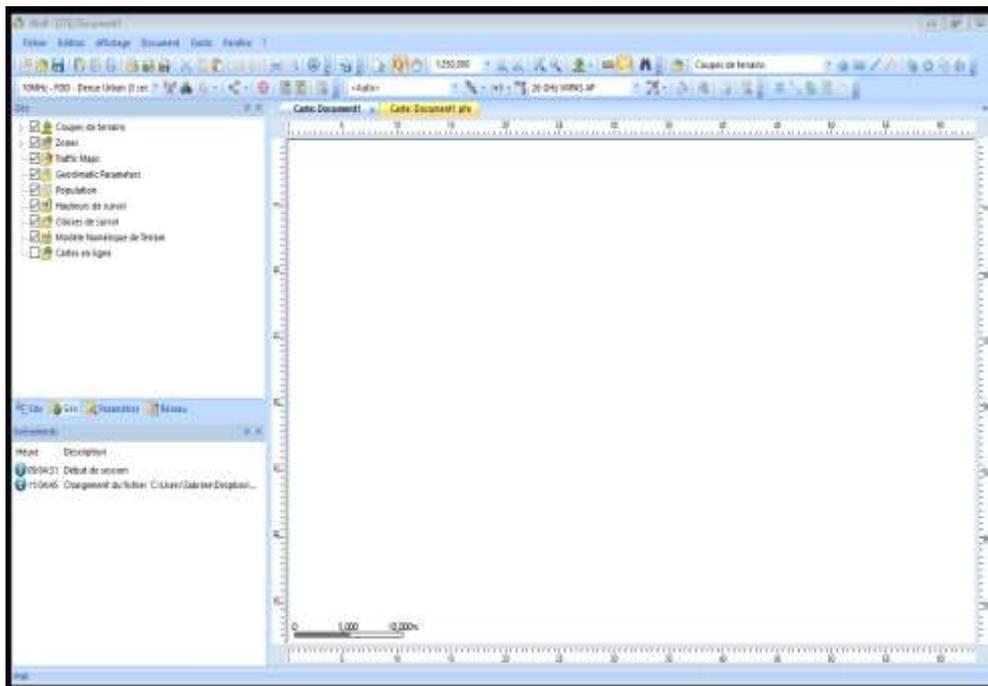
Les trois onglets de la fenêtre de l'explorateur (l'onglet Réseau, l'onglet Géo et l'onglet Paramètres) jouent un rôle central dans Atoll.

Les fenêtres de l'explorateur contiennent la plupart des objets d'un document organisés en dossiers.

À l'aide des fenêtres de l'explorateur, vous pouvez gérer tous les objets du document Atoll (sites, émetteurs, calculs, etc.) ainsi sous forme de données géographiques telles que le modèle numérique de terrain DTM (Digital Terrain Model), les cartes de trafic et les classes d'encombrement. Vous pouvez, par exemple, définir divers prédictions de couverture ou configurer les paramètres ou l'affichage des objets de données.

Le contenu des dossiers dans les fenêtres de l'explorateur peut être affiché dans des tableaux, vous permettant de gérer de grandes quantités de données.

Vous pouvez trier et filtrer les données dans une table ou modifier la façon dont les données sont affichées. Vous pouvez également utiliser la fonction de table pour saisir de grandes quantités d'informations en important des données ou en coupant et collant les informations de n'importe quelle feuille de calcul Windows dans la table.



**Figure 26 : l'utilisation d'interface atoll**

#### **4.4 Planification nominale**

La planification nominale se compose de trois parties : les prédictions de couverture, les prédictions de capacité et la Simulation de Monte Carlo. Pour ce faire, le logiciel Atoll sera utilisé afin de réaliser la simulation. La figure 26 montre l'interface du logiciel Atoll.

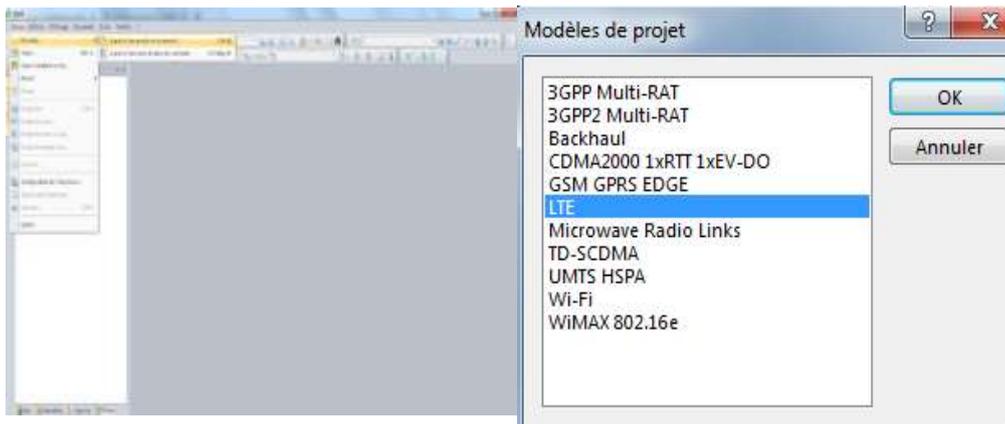


Figure 27 : Création d'un nouveau projet sur Atoll Prédiction de couverture

De nombreuses prédictions générales peuvent être effectuées, il est donc nécessaire de commencer par faire une configuration initiale et une mise en place des sites dans leurs emplacements réels. Ces prévisions de couverture ne prennent en compte ni la population ni le nombre d'abonnés.

#### 4.4.1.1 Configuration initiale

La configuration initiale est divisée en deux parties, il s'agit de l'importation des cartes topographiques et la configuration des paramètres.

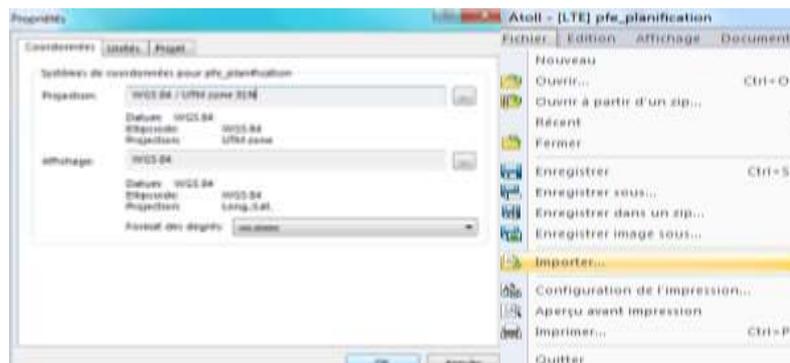


Figure 28 : L'importation des cartes topographique et la configuration des paramètres

##### 4.4.1.1.1 Importation des cartes topographiques

Dans le but de réaliser de réelles prévisions, il est indispensable de mettre des cartes qui fournissent des informations fiables sur les données du terrain où se fera l'étude, tel que la zone géographique, le type de sursol, la hauteur des bâtiments...etc.

Les types de cartes que seront importées et introduites sont les suivantes :

##### a) Carte vectorielle

Cette carte est une représentation graphique de l'Algérie avec ces wilayas, Leurs domaines, et surfaces. Après l'importation de cette carte, il sera possible de choisir l'emplacement de la wilaya proposée. Pour notre étude, Algérie Télécom nous a confié les travaux de planification de l'ensemble de la Wilaya d'Oran.

### b) Carte de la hauteur du sursol

Elle fournit à Atoll l'altitude et les différents obstacles dans la zone ciblée. La figure 30 montre cette carte avec son échelle. Selon l'échelle, il doit être noté que plus la hauteur est basse, plus la couleur est bleue. Et que plus la hauteur est élevée, plus la couleur tend vers le vert ou le rouge.

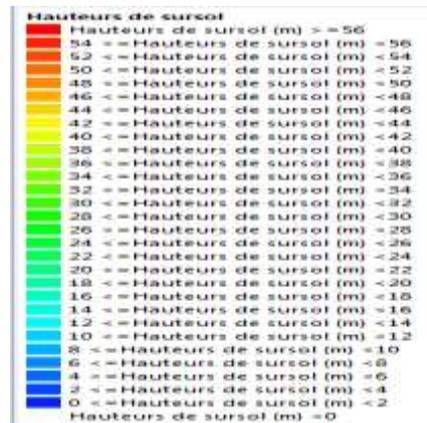


Figure 29 : hauteurs de sursol

### c) Carte du modèle numérique de terrain

Cette carte donne à Atoll la hauteur du sol par rapport au niveau de la mer dans Wilaya d'Oran. La figure 30 illustre la carte munie de son échelle. Selon l'échelle, la couleur grise représente les emplacements avec une altitude supérieure à zéro qui indiquent le sol. Quant à la couleur bleue, elle représente les emplacements dont l'altitude est inférieure ou égale à zéro indiquant la mer.

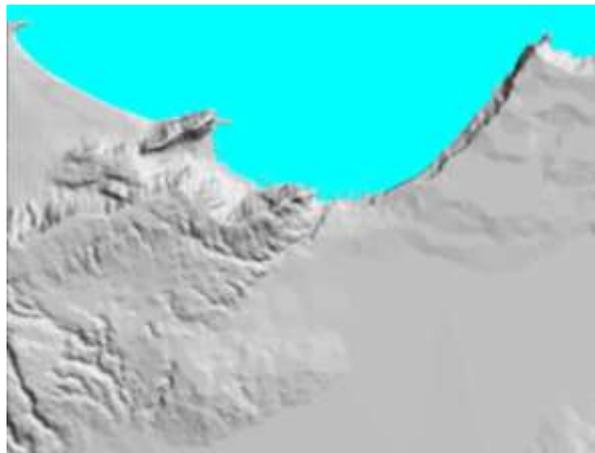


Figure 30 : Carte du modèle numérique de terrain

### d) Carte des classes de sursol

Elle fournit à Atoll la localisation et le type d'environnement présent dans la Wilaya d'Oran (forêt, espace ouvert, zone urbaine) comme illustré dans la figure 31.

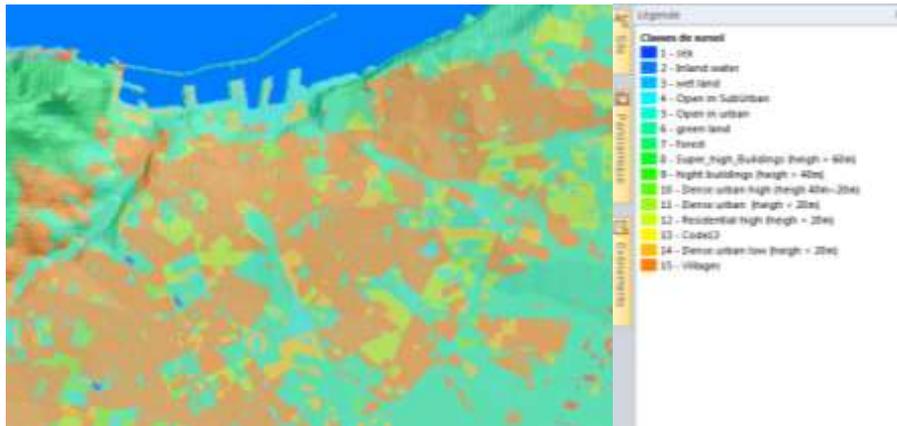


Figure 31 : Carte des classes de sursol

#### 4.4.1.1.2 Configuration des paramètres

En plus des informations recueillies lors du processus de planification, l'opérateur Algérie Télécom et le fournisseur HUAWEI nous ont fourni plusieurs paramètres que nous allons avoir à configurer, notamment :

##### a) Modèles de propagation

Le modèle de propagation choisi est le modèle Cost-Hata, cette configuration est illustrée dans la figure 32.

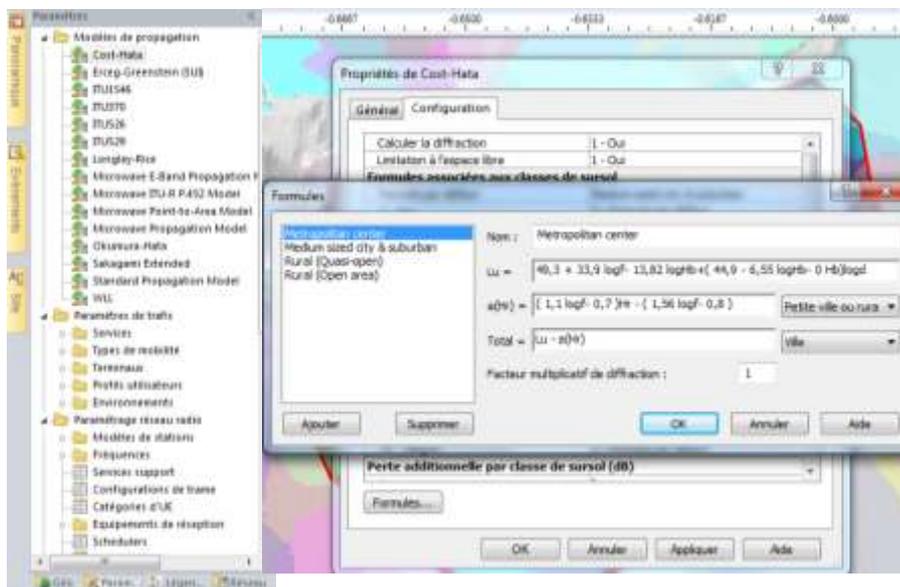


Figure 32 : Sélection du modèle de propagation

##### b) Importation des antennes

Nous procédons à l'importation des antennes. Ces antennes qui sont utilisées dans la wilaya d'Oran ont été fournies par le fournisseur HUAWEI comme montré dans la figure 33.

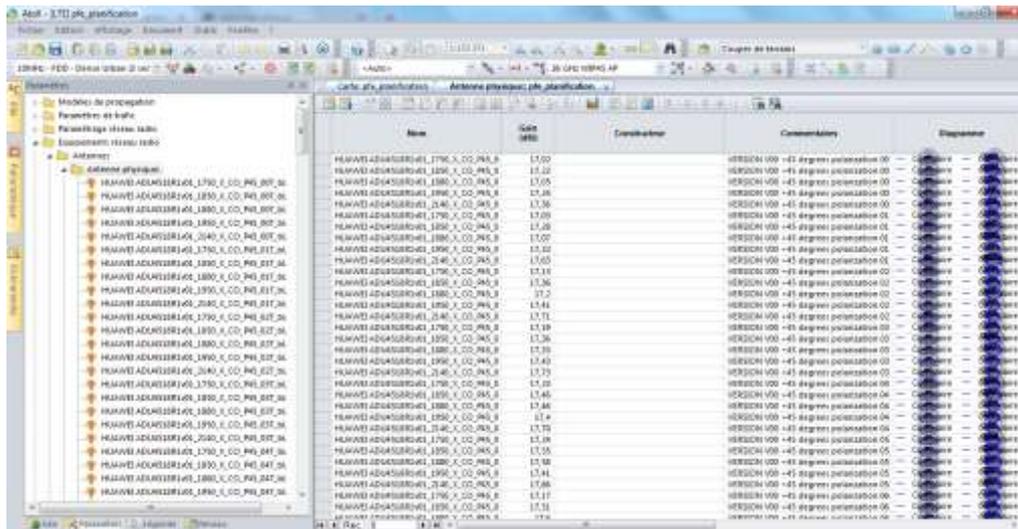


Figure 33 : Importation des antennes réellement utilisées

ADU4518R1v01 : Indique le nom du modèle de l’antenne.

1750 : Indique la bande de fréquence utilisée.

X\_co\_M45 : Spécifique à l’antenne d’Algérie Telecom.

00T : Indique la valeur du tilt électrique de l’antenne, sa valeur est de zéro.

### c) Paramétrage réseau radio

Dans cette étape, nous allons définir tous les paramètres importants du projet qu'Atoll utilise pour mesurer les prévisions afin d’obtenir les résultats de la planification. Tout d'abord, nous devons choisir le modèle du site basé sur la technique de duplexage et la morphologie du terrain. Dans notre cas, la technique utilisée est la FDD, la morphologie du terrain est dense urbain. Comme dans la figure 34.



Figure 34 : Sélection du modèle de site

Par la suite, le modèle sélectionné sera configuré selon des paramètres spécifiques aux réseaux déployés. La figure 35 représente ces paramètres.

La configuration de ces paramètres est réalisée en deux parties :

Dans l'onglet général, nous allons ajouter le rayon de l'hexagone récupéré dans la partie dimensionnement et le nombre de secteurs est fixé à 3 comme décrit ci-dessus, puis choisir l'inclinaison électrique et mécanique et de l'azimut récupéré à partir de chaque antenne déployée par Algérie Télécom. Ensuite, nous procéderons à la sélection du type de schéma d'antenne qui est dans notre cas (MIMO 2 x 2).

Dans l'onglet LTE, nous allons fixer la valeur de la puissance maximale d'émission de l'antenne qui est de 46 dBm, la bande de fréquence qui est de 10 Mhz et la charge du trafic qui est de 100 % en voie descendante est de 50 % en voie montante.

La majorité des paramètres doit adopter une configuration par défaut. Une fois que tous les paramètres ont été configurés, la mise en place des sites pourra être lancée.

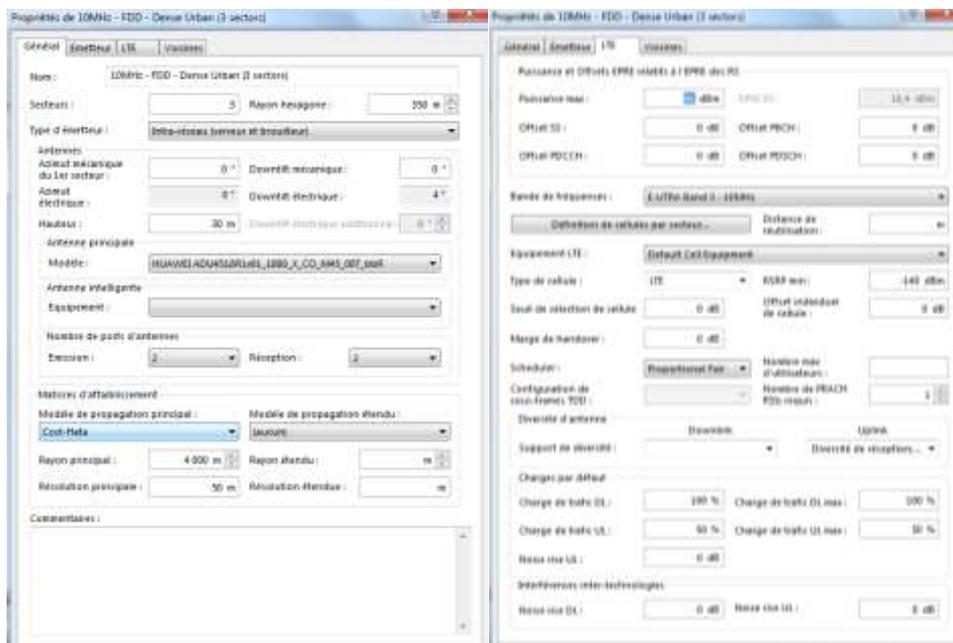


Figure 35 : Configuration des paramètres généraux et LTE du site

#### 4.4.1.2 Mise en place des sites

Les sites doivent être mis en place en fonction de la plage de couverture préalablement établie et des limites de la zone qui devra être couverte. Le logiciel Atoll distribue les sites de manière à couvrir l'ensemble des zones délimitées. La figure 36 illustre la mise en place des lieux après la délimitation de surface de la zone d'Oran et ses environs.



**Figure 36 : Mise en place des sites**

Selon la figure 36, le nombre de sites nécessaire pour couvrir cette région est (43) sites.

Algérie Télécom fait face à une importante restriction, en raison du fait que les positions des lieux à établir sont déterminées par le manque de terrains qui doivent recevoir les appareils. Elle ne peut pas positionner les sites dans l'emplacement idéal et corriger les positions, par exemple: sur les terrasses des maisons. Elle est contrainte d'utiliser les espaces des entités étatiques comme les services postaux, les mairies, les daïras.

Dans le but d'obtenir de vrais résultats et des solutions plus pratiques pour améliorer la couverture et accroître la circulation dans la wilaya d'Oran, Algérie Telecom nous a fourni tous les détails relatifs aux paramètres des sites déjà déployés, notamment : l'emplacement des lieux, leurs auteurs, leurs noms, leurs azimuts, leur inclinaison électrique, leur inclinaison mécanique et leur énergie d'émission. Toutes ces informations sont introduites dans Atoll, que nous avons modifié par des tests pour résoudre les problèmes survenus dans cette Wilaya. La performance, les changements et les nouvelles configurations des paramètres de la région d'Oran et de ses environs seront mis à jour ci-dessous, ainsi que les résultats de la wilaya d'Oran en général. La figure 37 décrit l'emplacement et le nombre total de sites dans cette zone.



de surveiller le rayonnement de l'antenne afin de le limiter à l'écart spécifié pour chaque antenne et pour empêcher d'éventuels chevauchements entre les signaux de différentes antennes déployées. L'inclinaison électrique est préférable à l'inclinaison mécanique car elle permet au signal de déborder sur les bords de la cellule.

**Tilt mécanique** : l'inclinaison mécanique varie de 0° à 360°, la figure 38 indique l'onglet permettant la modification de ce paramètre.



Figure 38 : L'onglet permettant de modifier le tilt mécanique, le tilt électrique et l'azimut

**Tilt électrique** : l'inclinaison électrique actionne une antenne réseau sur un marché unique, ces valeurs sont limitées par rapport au nombre d'antennes dans le réseau d'antennes. Ce dernier est spécifique à chaque fournisseur de matériel. Dans notre cas, il s'agit du fournisseur HUAWEI dont les valeurs de tilt électrique varient de 0° à 10°.

**Azimuth** : l'azimut est utilisé pour orienter le lobe principal de chaque secteur vers la zone à couvrir. L'objectif est d'orienter ce lobe vers les zones résidentielles et les endroits peuplés, par contre les endroits faiblement peuplés et isolés seront négligés. L'azimut est souvent utilisé pour réduire les interférences en évitant de couvrir un champ déjà couvert. Le module de carte en ligne d'Atoll, qui reflète une vue satellitaire de l'ensemble du pays, est utilisé pour classer les zones résidentielles et les lieux habités, nous permettant de sélectionner une orientation ciblée. L'azimut varie de 0° à 360°.

**Puissance** : l'énergie est utilisée pour augmenter ou diminuer le spectre de couverture. Généralement, la capacité d'émission normale d'une antenne est de 46 dBm. Cependant, cette valeur peut être modifiée pour augmenter ou réduire la zone de couverture.

Dans le but de réduire les problèmes du réseau et améliorer sa cohérence, nous avons choisi l'approche suivante :

En premier, nous avons changé les valeurs de l'azimut afin de guider les lobes principaux vers les zones denses. Ensuite, nous avons ajusté les valeurs du tilt électrique pour réduire les interférences. Comme ses valeurs sont limitées, nous avons été parfois contraints de changer les valeurs du tilt mécanique. Enfin, Comme dernier recours, nous avons choisi d'ajuster l'énergie, dans la prise de conscience que son augmentation représente un danger

à la santé de la population et que sa diminution provoque d'importantes baisses de l'intensité et la qualité du signal.

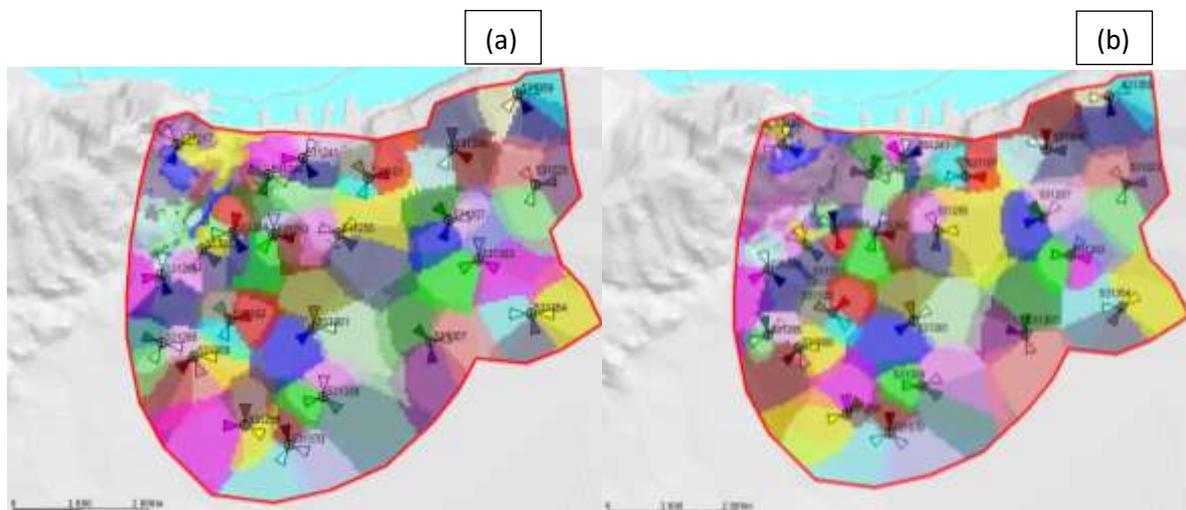
Après plusieurs expériences dans l'ajustement et la combinaison de ces paramètres après la méthode mentionnée ci - dessus, un meilleur résultat a été obtenu. Ce résultat est considéré comme acceptable par rapport à la contrainte de la limitation du nombre d'emplacements.

Nous allons présenter toutes les prédictions que nous avons décrit dans la section théorique. Toutes les prédictions sont liées, ce qui signifie que l'amélioration d'une prédiction conduit à l'amélioration d'une autre.

Nous allons présenter les essais effectués pour chaque prédiction avant et après les modifications ainsi que les paramètres radios de chaque site.

#### **4.4.1.3.1 Couverture par émetteur**

Dans cette prédiction le problème majeur est l'OverShooting causé par les émetteurs, l'OverShooting signifie que les émetteurs ne respectent pas le rayon de leur zone de travail et que la gamme de couverture va au - delà de cette zone, comme dans le cas de l'emplacement de (531307) qui a provoqué un grand dépassement. Cette condition crée des chevauchements entre les signaux générés par de nombreux endroits et donc des interférences surviennent ayant un effet néfaste sur l'efficacité du signal, comme indiqué dans la figure 39.



**Figure 39 : couverture par émetteur (a) avant la modification, (b) après les modifications**

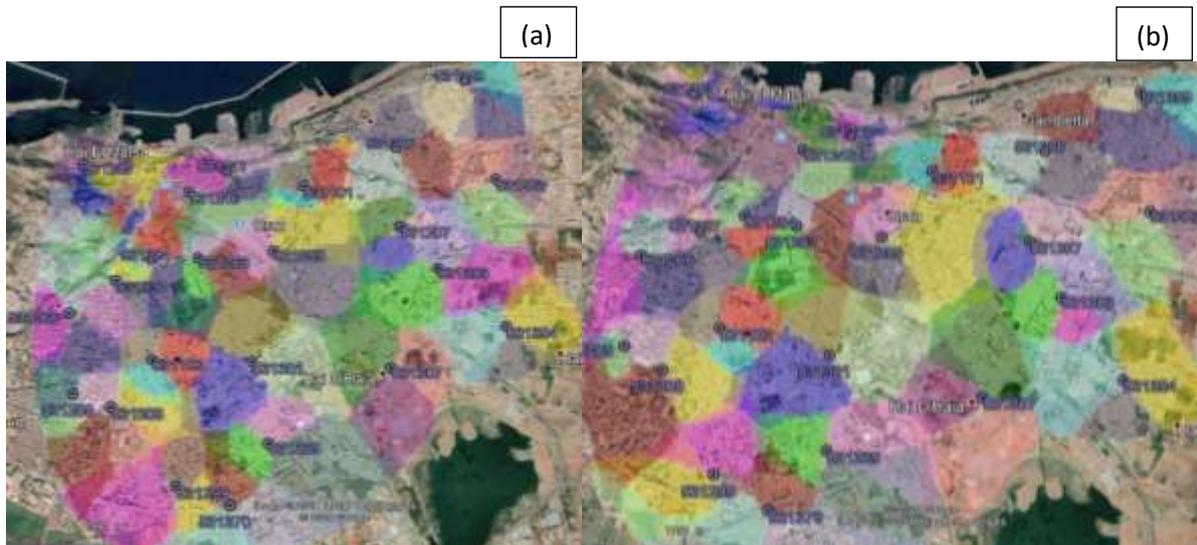


Figure 40 : Couverture par émetteur exporté en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications

On remarque que certaines parties de la région sont non couvertes, de plus l'existence d'un overshooting avant de faire les modifications. Figure 40 (a)

En raison de l'insuffisance du nombre de sites, nous avons profité de l'overshooting pour couvrir l'ensemble de la zone, comme dans le cas du site qui s'appelle (531307), tandis que pour d'autres sites nous avons diminué cet overshooting pour minimiser les interférences, comme pour le cas du site (531301). Une marge de contact a été volontairement faite entre les plages de couverture d'émetteur pour assurer les communications pendant le transfert. Comme illustré dans la figure 40 (b)

#### 4.4.1.3.2 Couverture par zone de recouvrement

Grâce à cette prédiction, nous pouvons déterminer la quantité de chevauchements de signaux (interférences, intrusions).

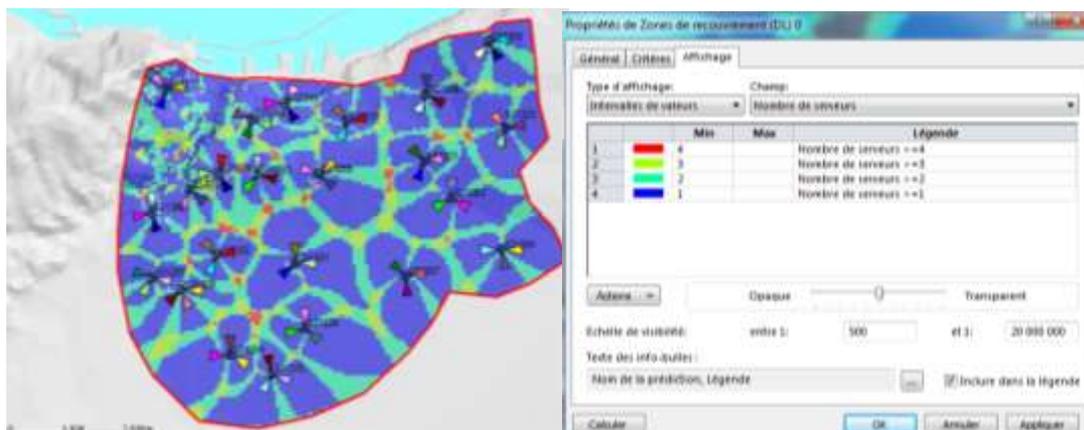


Figure 41 : Couverture par zone de recouvrement avant les modifications

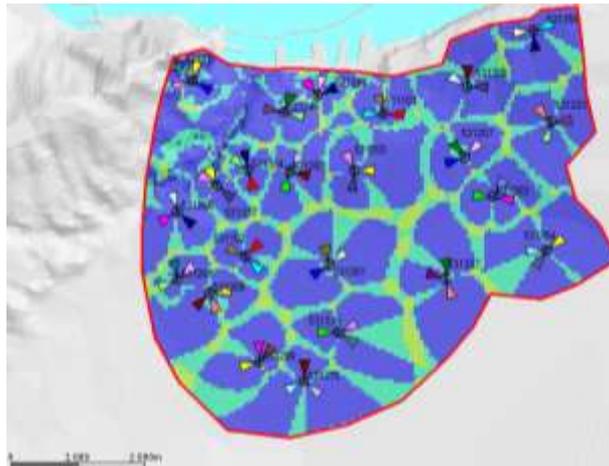


Figure 42 : Couverture par zone de recouvrement après les modifications

En fonction de la taille, le nombre de serveurs reflète le nombre de signaux parasites. Le nombre maximum de serveurs qui interfèrent et autorisés par les opérateurs est de trois.

Dans la figure 41 on note plusieurs zones rouges qui reflètent plus de quatre signaux parasites. La baisse de l'overshooting faite dans la prédiction de couverture par émetteur a entraîné une diminution d'interférences et une suppression des zones rouges, répondant ainsi à l'exigence de l'opérateur Algérie Télécom. Comme illustré dans la figure 42

Un changement important a été apporté dans ce domaine par la suppression des zones rouges, la réduction des zones jaunes, la préservation des zones bleues clair pour assurer le handover et enfin l'augmentation des zones bleues foncées pour fournir plus de zones d'interférences zéro. Comme le montre la figure 42.

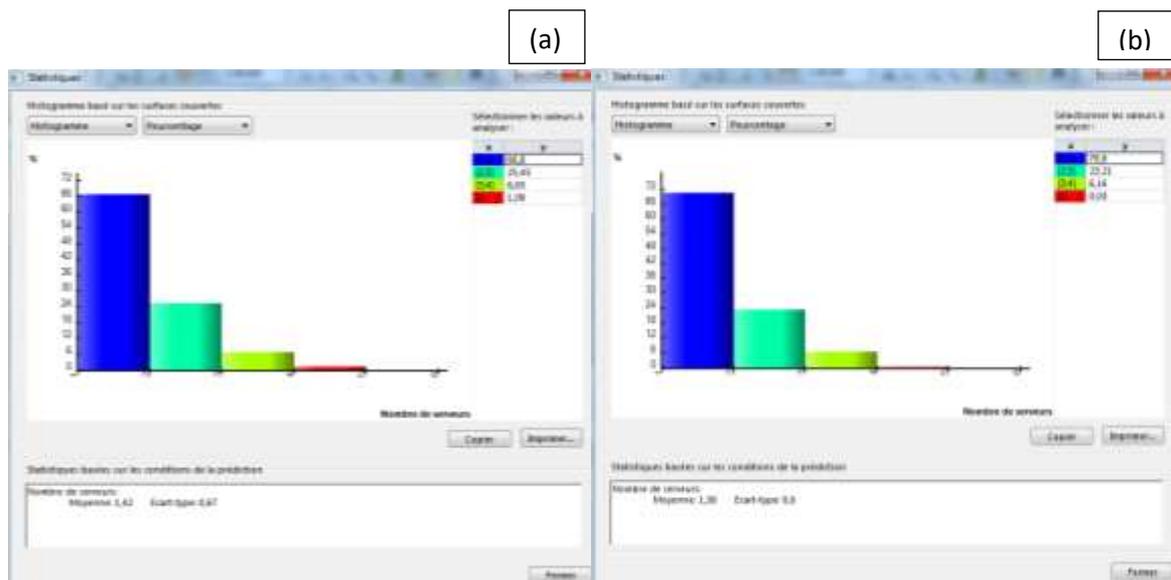


Figure 43 : Pourcentage de zones couvertes en fonction du nombre de serveurs (a) avant la modification, (b) après les modifications

Sur la base des résultats obtenus dans les deux histogrammes, nous pouvons conclure que nous avons réussi à élever les zones représentant 0 interférence de 3,8 %, ce qui diminue les zones représentant deux signaux interférant de 2,24 % et diminue également les zones représentant trois signaux L'interférence était de 0,49 %. En fin de compte, nous avons supprimé tous les zones qui contiennent plus de quatre signaux qui entrent en conflit avec le pourcentage d'aires protégées de 1,09 % à 0,03 %, ce qui est négligeable, voir une tendance vers zéro.

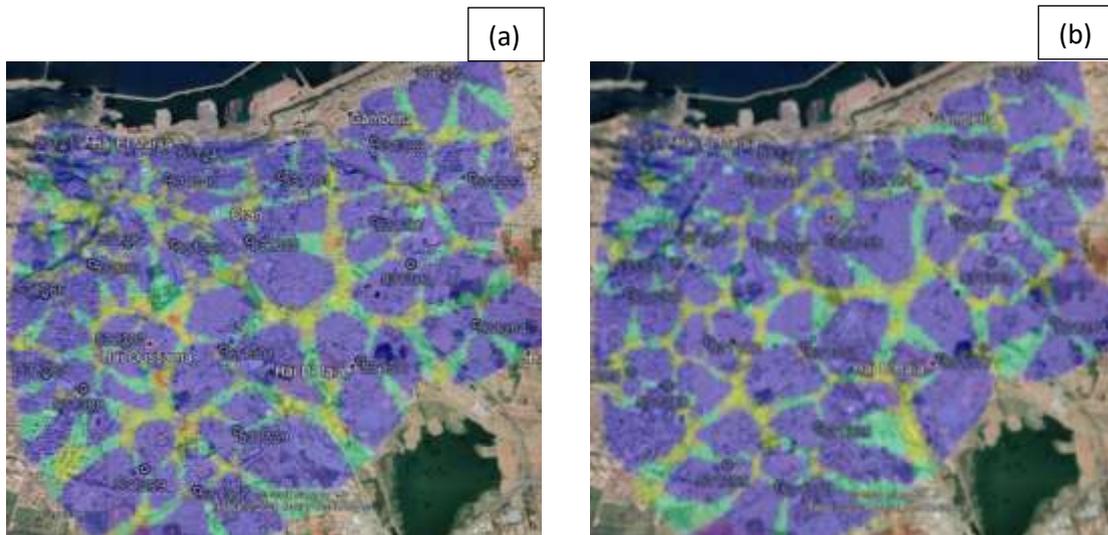


Figure 44 : Couverture par zone de recouvrement exportée en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications

#### 4.4.1.3.3 Couverture par niveau de champ (RSRP)

Avec cette prédiction, nous avons la possibilité d'observer les zones où le signal est absent et aussi observer la force des signaux obtenus dans le domaine. Après avoir fait des ajustements aux paramètres précédents, des prédictions peuvent entraîner des changements dans la force du signal. De ce fait, cette prédiction est importante puisqu' elle nous permet de juger l'efficacité de la planification.

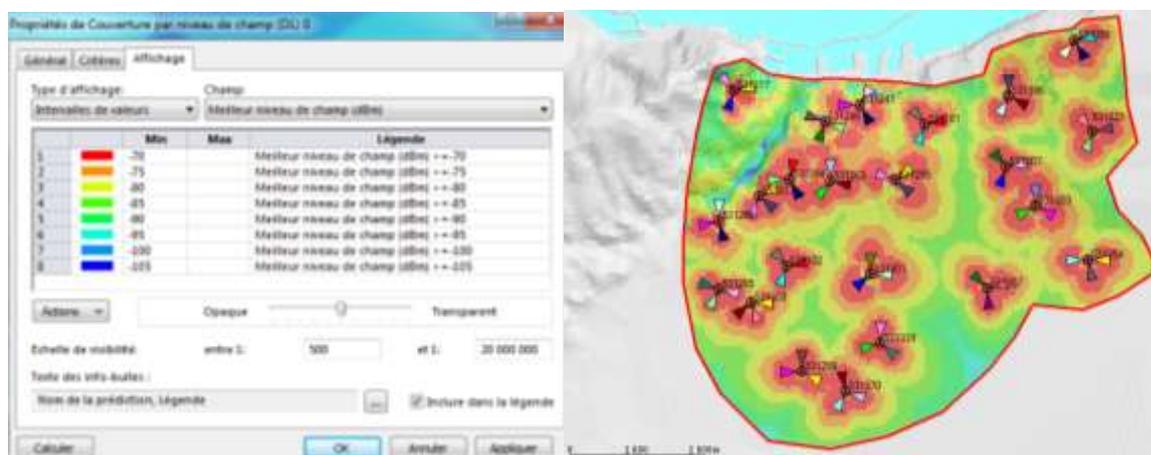


Figure 45 : Intensité du signal avant les modifications

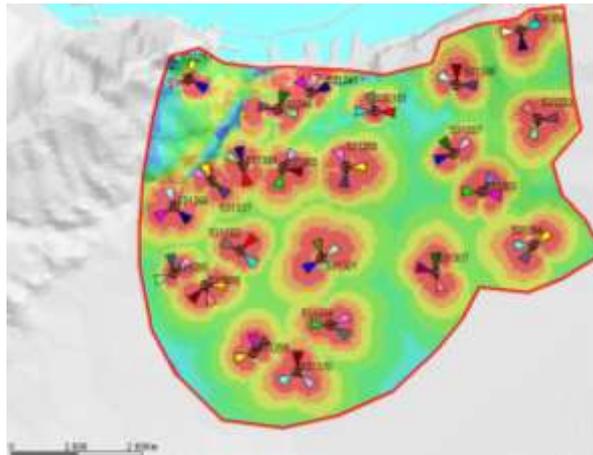


Figure 46 : Intensité du signal après les modifications

RSRP	Intensité du signal
[-105 ; -100]	Acceptable
[-100 ; -95]	
[-95 ; -90]	Bonne
[-90 ; -85]	
[-85 ; -80]	
[-80 ; -75]	Excellente
[-75 ; -70]	
[-70 ; -65]	

Figure 47 : Echelle de référence pour la qualité de l'intensité du signal

La figure 47 représente une échelle de référence qui nous aide pour déterminer la cohérence de l'intensité du signal.

Dans la figure 45, la première conclusion à faire sur la couverture par niveau de champ est le manque de couverture dans de nombreuses zones de la région, On note également que la couleur bleue foncée est dominante, ce qui nous aide à supposer que la qualité de la crédibilité du signal dominant est de qualité appropriée. Cependant, un réseau optimal est celui dont l'efficacité de la signature du signal qui domine est bonne ou exceptionnelle.

Dans la figure 46, Il doit être noté que nous avons réussi à obtenir un résultat satisfaisant grâce à de nombreuses tentatives ou manque de couverture dans la zone, ainsi qu'une claire augmentation de la force de transmission.

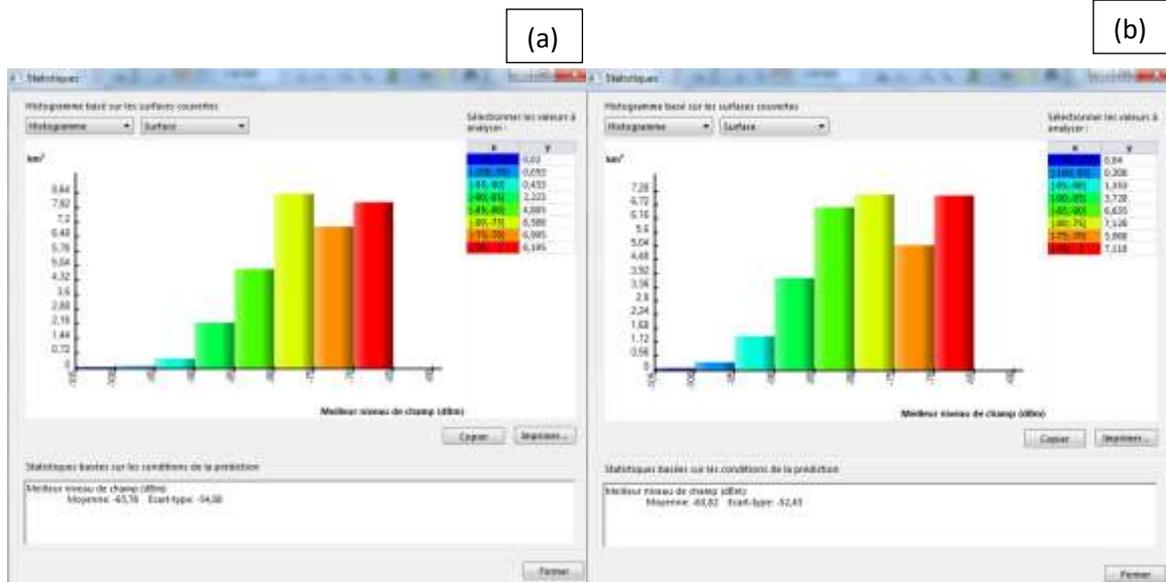


Figure 48 : Surface en fonction du meilleur niveau champ (a) avant la modification, (b) après les modifications

Selon ces deux histogrammes, la surface de la zone avec un signal "acceptable" de l'intensité est passée de 0,073 km<sup>2</sup> à 0,348 km<sup>2</sup>, la zone avec un signal "bon" d'intensité changée de 7,541 km<sup>2</sup> à 11,716 km<sup>2</sup> tandis que la région avec un "excellent" signal d'intensité passée de 23,778 km<sup>2</sup> à 19,314 km<sup>2</sup>.

Ces résultats reflètent le changement observé précédemment. Néanmoins, la surface des zones avec une intensité de signal "approprié" a augmenté car la zone est maintenant complètement couverte par rapport à son état initial. La surface des zones avec une force de signal "bonne" a diminué, une partie de cette surface s'est transformée en une surface avec un "excellent" signal et l'autre partie s'est transformées en un signal acceptable d'intensité de surface dans le but de couvrir l'ensemble de l'emplacement. La surface des zones avec une puissance optimale du signal a considérablement augmenté

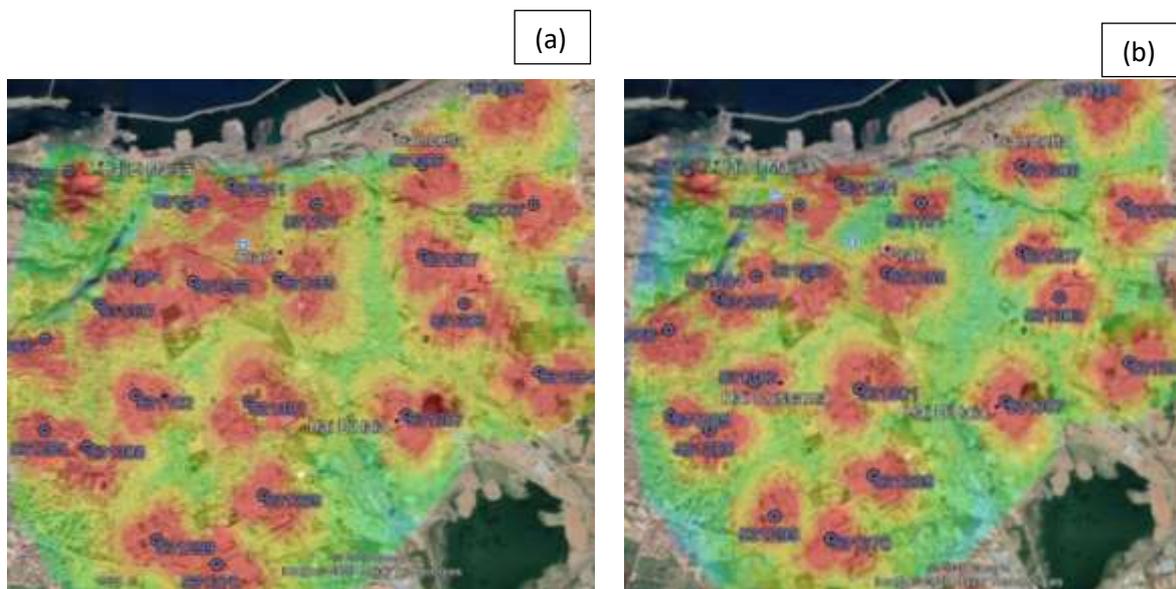


Figure 49 : intensité du signal exportée en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications

#### 4.4.1.3.4 Couverture par indicateur de qualité (RSRQ)

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

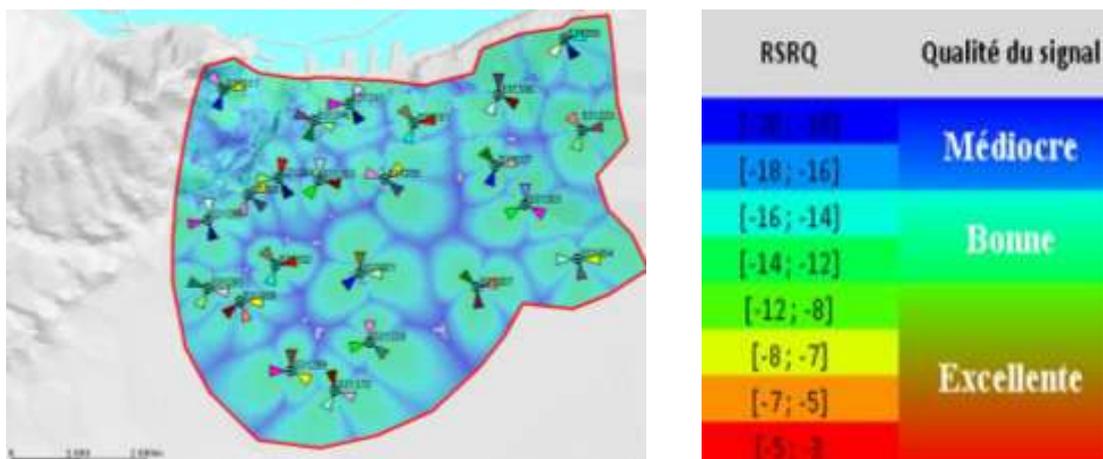


Figure 50 : Couverture par indicateur de qualité avant les modifications

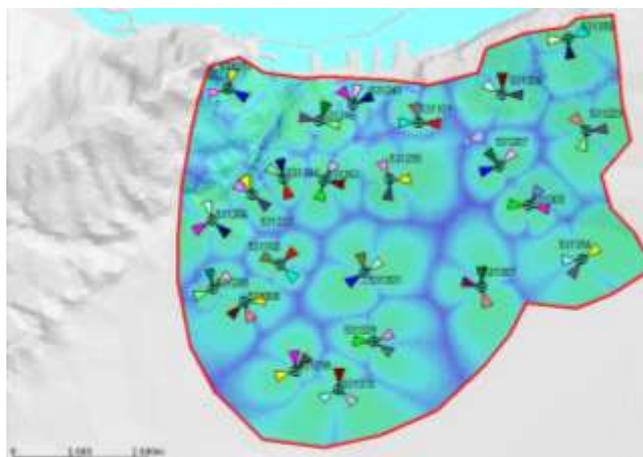


Figure 51 : Couverture par indicateur de qualité après les modifications

Dans la figure 50, Il est indiqué que la qualité du champ est typiquement médiocre, tandis qu'une petite partie et de bonne qualité dans une zone qui n'est pas suffisamment couverte.

Pour la figure 51 Après plusieurs vérifications, on remarque une augmentation significative de la couverture en matière de qualité du signal. Évidemment, dans la plupart des zones près des sites une bonne qualité du signal est offerte. Il est vrai que l'excellence de la qualité n'est pas assurée dans toute la zone, mais étant donné le nombre de sites potentiels estimés et le nombre de sites actuellement déployés, c'est possible que ce résultat soit atteint.

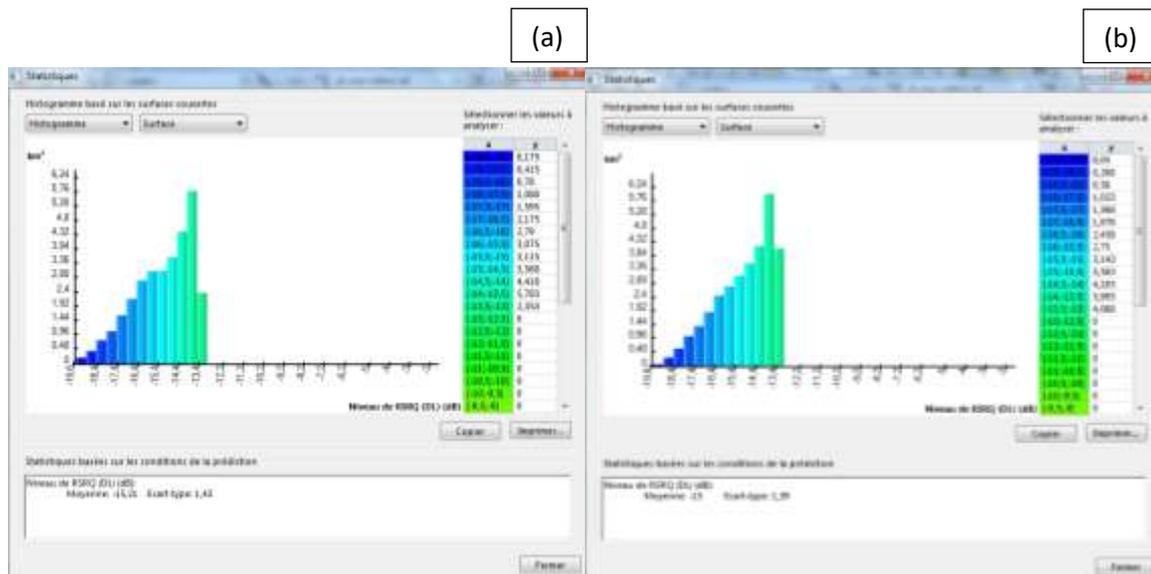


Figure 52 : Surface en fonction de la couverture par niveau de qualité (a) avant la modification, (b) après les modifications

Les deux histogrammes indiquent que la surface des zones ayant une qualité du signal médiocre est passée de 12,093 km<sup>2</sup> à 10,375 km<sup>2</sup>, celle ayant une qualité du signal bonne est passée de 19,237 km<sup>2</sup> à 20,994 km<sup>2</sup>, alors que celle ayant une qualité du signal excellente est absente dans les deux cas. Ce qui confirme l'amélioration constatée précédemment, la surface des zones ayant un signal de qualité médiocre a augmenté car la région est à présent mieux couverte contrairement à son état initial, il est préférable d'avoir une qualité médiocre, qu'une zone non couverte.

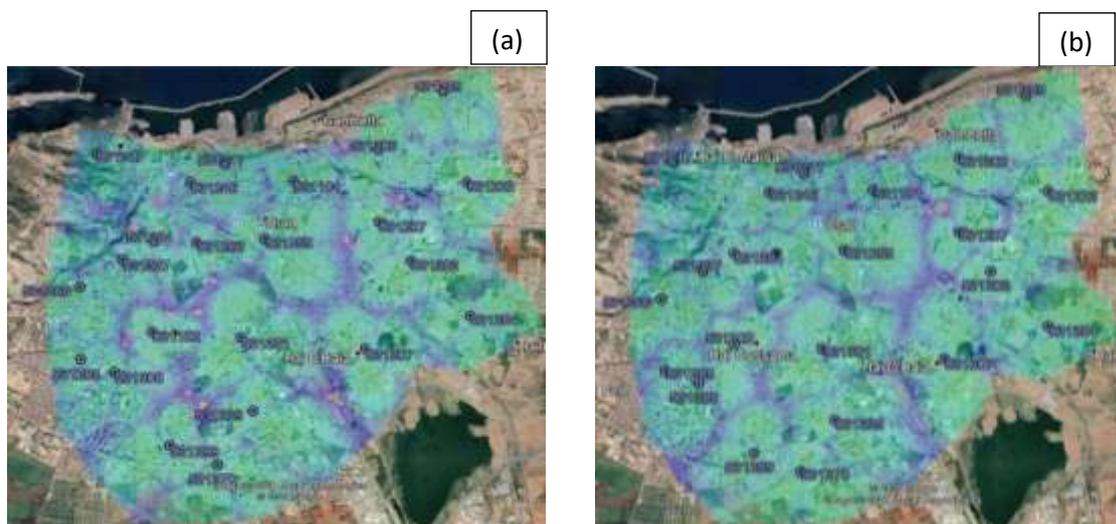


Figure 53 : Couverture par indicateur de qualité exportée en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications

#### 4.4.1.3.5 Couverture par niveau de SINR

Le SINR est le rapport signal sur bruit en tenant compte des interférences, il est donc lié aux interférences et à l'intensité du signal. Si le signal est faible alors la couverture par SINR est mauvaise et inversement.

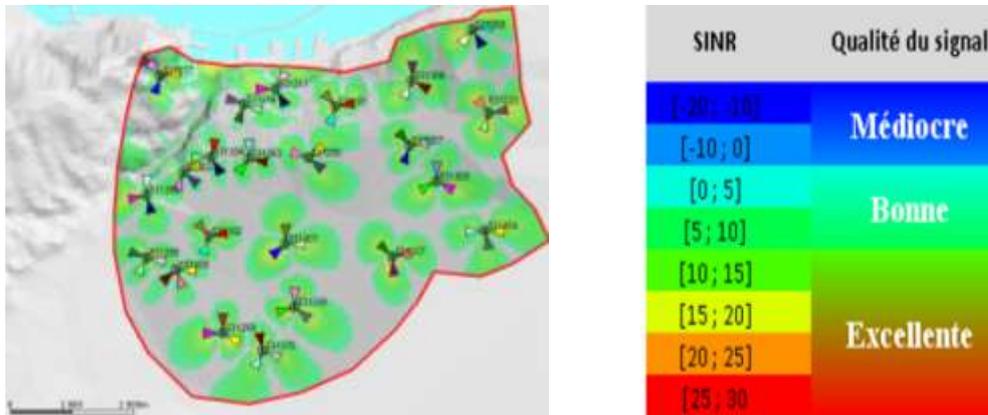


Figure 54 : Couverture par niveau de SINR avant les modifications

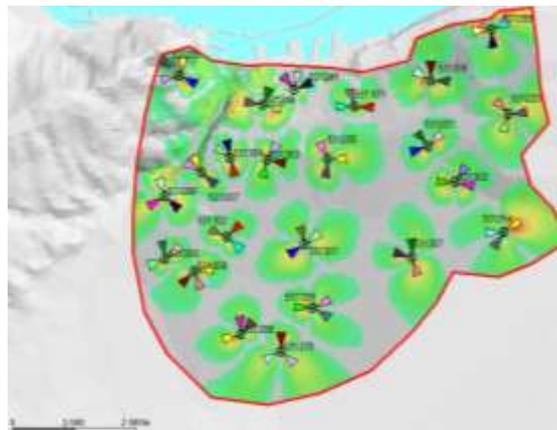


Figure 55 : Couverture par niveau de SINR après les modifications

Depuis la figure 54 on remarque que le SINR est faible dans la majorité des zones de la région, alors le signal sera de faible qualité. Comme cette prédiction est reliée aux prédictions précédentes, alors l'amélioration de l'intensité et de la qualité du signal ainsi que la réduction des interférences permettra d'améliorer le SINR. Comme illustré dans la figure 55

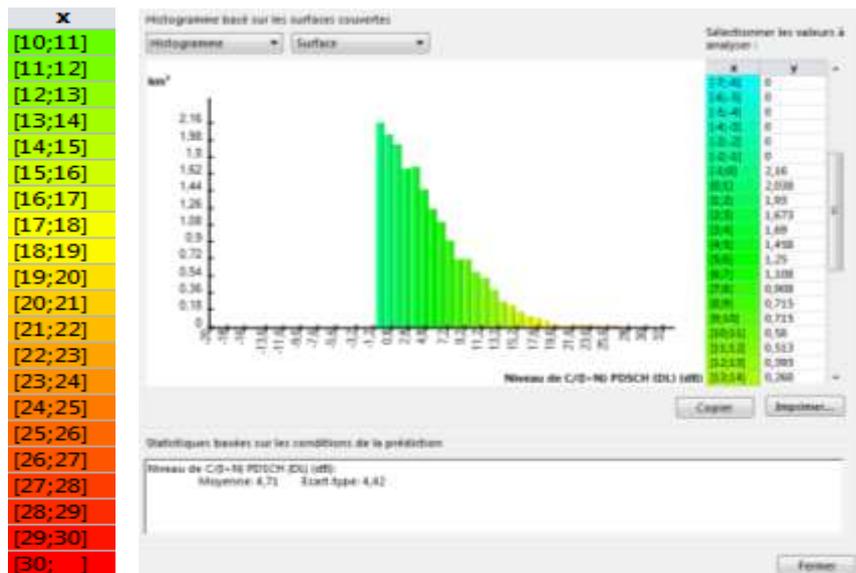


Figure 56 : couverture modifications

Surface en fonction de la par niveau de SINR avant les

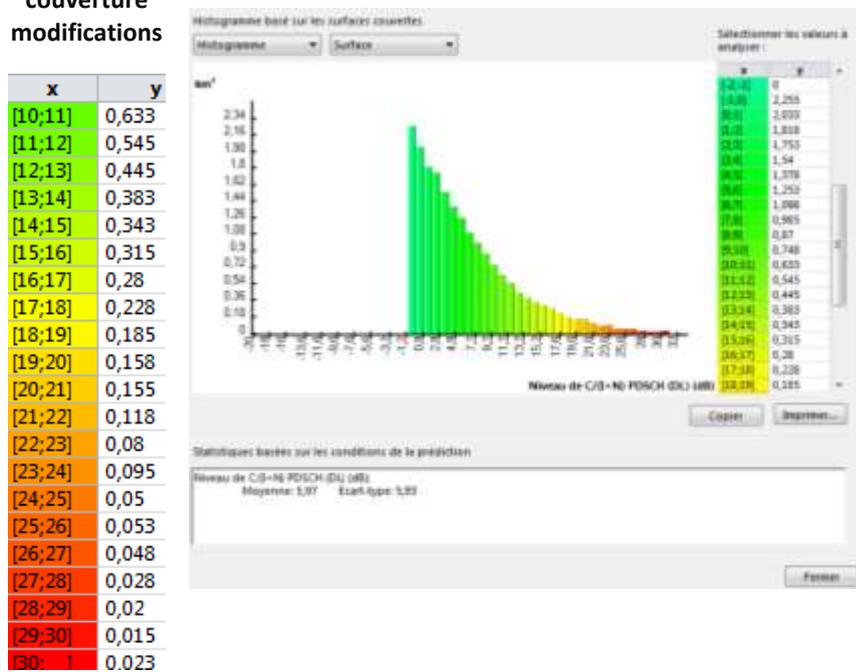


Figure 57 : Surface en fonction de la couverture par niveau de SINR après les modifications

Ces deux histogrammes montrent que la surface des zones ayant un niveau de SINR de qualité médiocre est passée de 2,16 km<sup>2</sup> à 2,26 km<sup>2</sup>, celle ayant un niveau de SINR de qualité bonne est passée de 11,15 km<sup>2</sup> à 10,87 km<sup>2</sup>, alors que celle ayant un niveau de SINR de qualité excellente est passée de 4,81 km<sup>2</sup> à 6,80 km<sup>2</sup> après les modifications. Quant à la valeur moyenne du niveau de SINR, elle est passée de 4,71 dB à 5,97 dB.

Encore une fois, ces résultats confirment l'amélioration remarquée précédemment, la surface des zones ayant un niveau de SINR de qualité médiocre a augmenté car la région est mieux couverte, alors que la surface des zones ayant un niveau de SINR de qualité bonne a diminué de 0,28 km<sup>2</sup> et enfin l'apparition de la surface des zones ayant un niveau de SINR de qualité excellente a augmenté de 1,99 km<sup>2</sup>.

Nous avons donc pu atteindre une nette amélioration des résultats sur toutes les prédictions traitées, les différentes modifications effectuées des paramètres ont permis un résultat meilleur et satisfaisant.

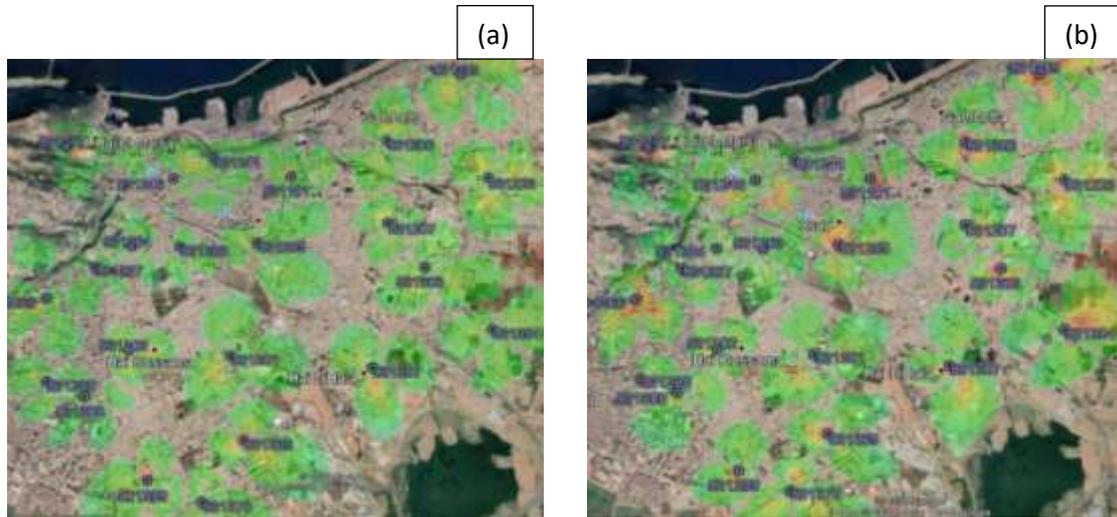


Figure 58 : Couverture par niveau de SINR exportée en google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications

#### 4.5 Prédiction de capacité

La prédiction de capacité est utilisée pour effectuer une analyse du réseau afin de garantir un meilleur débit. Pour ce faire, il faut utiliser la prédiction de couverture par débit. Le logiciel Atoll permet de mesurer le débit de la couche physique RLC ou alors le débit de la couche applicative, l'un de ces deux débits suffit pour faire l'analyse du réseau vu que la distribution du débit dans une zone est identique dans les deux cas de figure. Dans notre cas, on utilisera le débit de la couche physique pour effectuer l'analyse de notre réseau.

	Min	Max	Légende		Min	Max	Légende
1	50 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=50,000	26	25 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=25,000
2	49 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=49,000	27	24 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=24,000
3	48 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=48,000	28	23 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=23,000
4	47 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=47,000	29	22 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=22,000
5	46 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=46,000	30	21 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=21,000
6	45 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=45,000	31	20 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=20,000
7	44 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=44,000	32	19 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=19,000
8	43 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=43,000	33	18 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=18,000
9	42 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=42,000	34	17 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=17,000
10	41 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=41,000	35	16 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=16,000
11	40 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=40,000	36	15 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=15,000
12	39 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=39,000	37	14 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=14,000
13	38 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=38,000	38	13 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=13,000
14	37 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=37,000	39	12 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=12,000
15	36 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=36,000	40	11 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=11,000
16	35 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=35,000	41	10 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=10,000
17	34 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=34,000	42	9 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=9,000
18	33 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=33,000	43	8 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=8,000
19	32 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=32,000	44	7 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=7,000
20	31 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=31,000	45	6 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=6,000
21	30 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=30,000	46	5 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=5,000
22	29 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=29,000	47	4 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=4,000
23	28 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=28,000	48	3 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=3,000
24	27 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=27,000	49	2 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=2,000
25	26 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=26,000	50	1 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=1,000
26	25 000		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=25,000	51	0		Débit canal RLC max (DL) (kbits) >=0



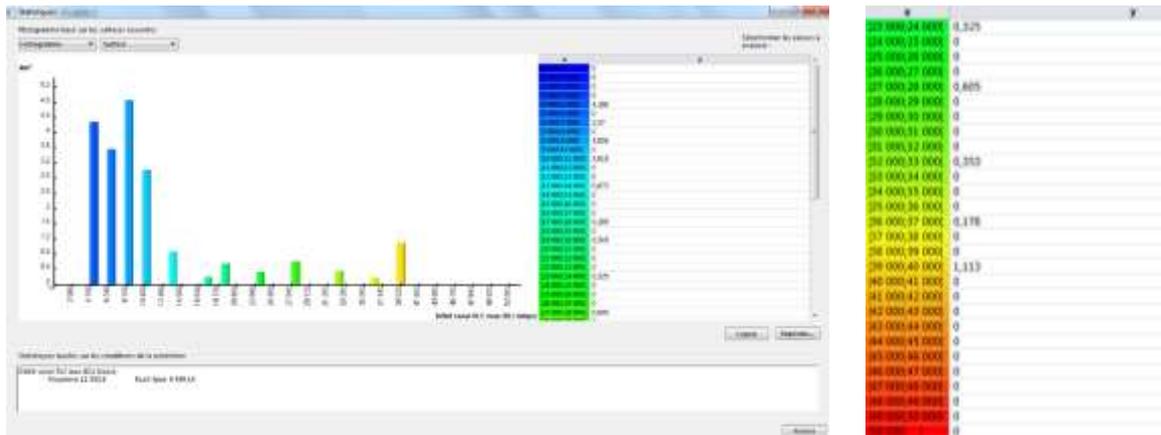


Figure 61 : Surface en fonction de la couverture par débit de la couche RLC après les modifications

Des deux figures de statiques il résulte que le débit maximum est stable et vaut 39 Mbps, pendant que le débit moyen est passé de 9 Mbps à 11 Mbps et l'écart type de 6 Mbps à 9 Mbps à peu près. L'écart type étant une mesure de la dispersion des valeurs d'un échantillon statistique ou d'une distribution de probabilité. De plus l'augmentation de la surface de couverture est passée de 18,113 km<sup>2</sup> à 19,97 km<sup>2</sup>.

Ces résultats confirment l'amélioration significative remarquée précédemment et montrent qu'en optimisant la couverture à travers les prédictions de couverture, le débit s'optimise.

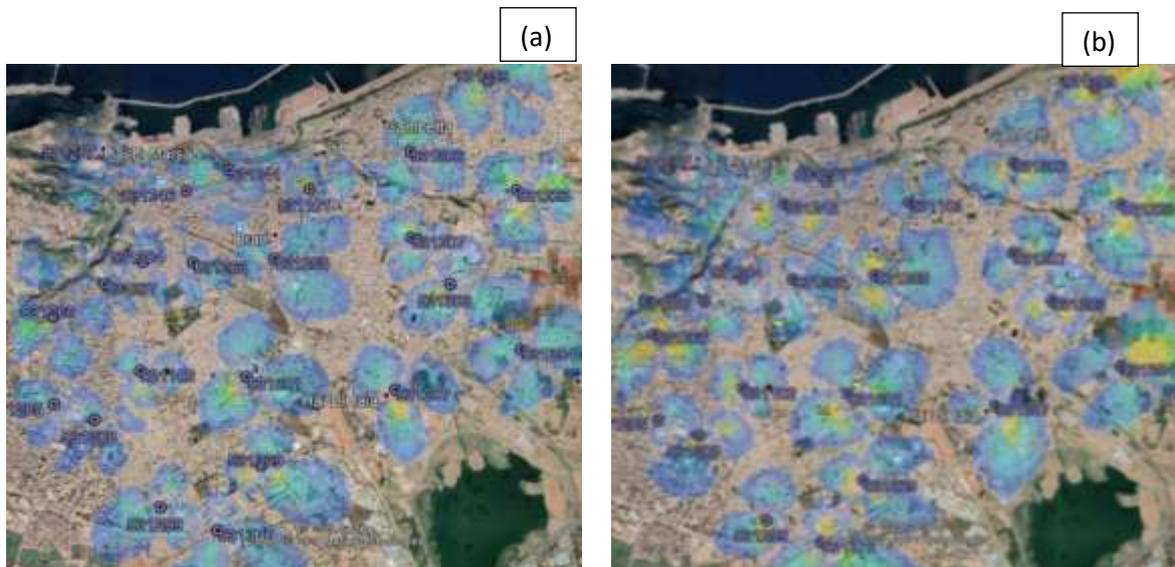


Figure 62 : Couverture par débit de la couche RLC exportée en Google earth (a) avant la modification, (b) après les modifications

## **4.6 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons élaboré les étapes critiques de la phase de planification LTE réaliste et professionnel, grâce aux informations données par Algérie Télécom. Les résultats obtenus ont été évalués et corrigés en effectuant des changements de divers paramètres sur les sites déployés. Ces modifications nous ont permis d'obtenir de très bons résultats en termes de couverture et de débit. Afin d'obtenir un meilleur niveau de services dans la Wilaya d'Oran, nous avons identifié comment y parvenir, et cela en se concentrant essentiellement sur les schémas et les organigrammes tout en conservant le déploiement actuel dans la région ciblée et en intégrant les paramètres collectés. En se basant sur les emplacements qui nous ont été précisés par Algérie Télécom, on a pu faire plus de planifications. Ces différentes étapes de prédictions de couverture et de simulation ont permis d'augmenter considérablement la couverture et le débit.

## **Conclusion générale**

L'objectif de ce projet de fin d'études est la réalisation et la mise en œuvre d'une planification du réseau LTE dans diverses zones de la wilaya d'Oran et ceci grâce à l'aide de l'opérateur Algérie Télécom.

Avant d'entamer cette planification, il est primordial d'avoir des connaissances sur les différentes caractéristiques du réseau LTE, ainsi que sur les étapes à suivre pour cette phase de planification. Ces informations, en plus de la documentation fournie par Algérie Télécom nous ont permis de nous approfondir sur le sujet, ce qui nous a aidé à réaliser un prototype de dimensionnement et de planification décrit dans le chapitre II, en conformité avec la méthodologie du fournisseur Huawei, qui fut la base pour notre travail de recherche et pour la partie pratique de ce dernier.

La partie pratique avait pour but de réaliser un dimensionnement et une Planification d'un réseau d'accès LTE, dans notre projet, on s'est basé sur la région d'Oran et ses environs. Initialement, on s'est intéressé sur les positions et les paramètres de configurations des sites déployés, puis nous avons repris la planification pour améliorer la couverture et augmenter la qualité débit.

Grâce à cette thèse nos connaissances se sont enrichies, que ce soit dans le domaine professionnel ou dans celui des télécommunications. Ceci nous a ouvert les yeux sur les difficultés qu'on pouvait rencontrer dans ce secteur, en l'occurrence le manque de données et de documentation ou encore le choix de l'emplacement des sites qui est régie par plusieurs paramètres.

En s'aidant du logiciel RND pour effectuer le dimensionnement de couverture et le dimensionnement de capacité, les résultats obtenus à partir de la planification de cette région et l'ensemble de la wilaya d'Oran, vont contribuer à une nette amélioration en termes de couverture et de débit. Afin d'améliorer l'efficacité et la qualité de service du réseau, il est important et utile d'effectuer ce travail par une optimisation et d'équiper les futurs modems de GPS afin de pouvoir localiser les abonnés. Ces interventions devraient avoir un effet positif sur le niveau de service global du déploiement.

## Bibliographie

Adjarath, LEMAMOU Eunice. *PLANIFICATION GLOBALE DES RESEAUX MOBILES DE LA QUATRIEME*. Montréal, 2014.

Amine, Rouizi Ahmed et Mohellebi. *dimensionnement et planification d'un réseau LTE fixe*. Alger, 2019.

FAIZA, DJEDDI FATMA et OUTALEB. *planification et optimisation d'un réseau LTE 4G*. TIZI-OUZOU, 2017.

Greg HARMAN, Avan BARKER, Tim IREDALE, . *LTE Network Performance Improvement*. Ericsson Internal Guideline, 08-02-2013., 2013.

HAMZA, BERLKHIRI. *planification d'un réseau téléphoné mobile 4G*. skikda, 2018.

Skold, Erik Dahlman Stefan Parkvall et Johan. *4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G*. Elsevier Ltd, s.d.

Sonia., CHIHAOUI Dihia et MOUDIR. *Dimensionnement d'un réseau 4G*. tizi-ouzou, 2018.

yannick bouguen, éric hardouin et francois\_xavier wolff. *LTE et les réseaux 4G*. Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8, s.d.

---

<sup>i</sup> <http://www.marche-public.fr/Terminologie/Entrees/1G.htm>

<sup>ii</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/5G>