

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département électronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par

- **LAFI WIDAD**
- **SELOUANI FEDOUA**

Intitulé

Planification et dimensionnement d'un réseau LTE avec ATOLL

Soutenu le :

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Mme. LAKHLEF Nora</i>	<i>MAA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. BENDIB Sara</i>	<i>MAB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. ASBAI Nasim</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné de la force et de la patience d'accomplir ce modeste travail puis nos parents pour tous leurs efforts depuis nos naissances à ces moments.

Vous êtes tous ce que nous avons.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadrant Dr BENDIB Sara de ses précieux conseils pour l'orientation, la confiance, la patience, qui sont derrière un mémoire considérable sans laquelle ce travail n'aurait pas pu être mené au bon part, qu'elle trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité, nous tenons à la remercier profondément.

En troisième lieu, nous tenons à remercier tous les enseignants durant le cycle de formation universitaire de l'université de « Mohamed el Bachir el Ibrahim » département d'électronique spécialité « télécommunication » ainsi que le personnel administratif, Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERCI.....



Dédicace

Avant tout, je tiens à remercier Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de Réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel.

Maman, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel, quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles, et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti toi et mon cher père pour mon instruction et mon bien-être que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous acquitte jamais assez. Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

Fedoua, la prunelle de mes yeux, je te remercie pour votre présence dans les moments difficiles et que tu me pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles.

Je dédie ce travail à toute ma promotion 2022 et tous les amis et à toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail à tous ceux que j'ai omis de citer.

MERCI.....

Widad



Dédicace

Mes chers parents Djamel et Zakia je vous remerciés pour tous vos sacrifices, vos amour, vos tendresse, vos soutien et vos prières tout au long de mes études, Dieu vous gardé et prend soin de vous.

A mes chères sœur Hadjer et Amel, pour leurs encouragements permanents, et leurs soutiens moral.

A mes chers frères Ilyes et Zakaria, pour leurs appuis et leurs encouragements

A mes cousines Wiam et Chaima, Je vous remercie de me soutenir et d'être avec moi en ces temps difficiles.

A toute ma famille pour leurs soutiens tout au long de mon parcours universitaire

A mon binôme widad, pour sa patience et sa Persévérance, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible, Merci d'être toujours là pour moi.

A tous ceux qui m'aiment, a tous ceux que j'aime, je dédiais ce travail.

MERCI.....

Fedoua

Sommaire :

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : le réseau LTE.....	2
1. Introduction	2
2. Historique	2
3. Généralité sur LTE	5
4. Caractéristiques de LTE	6
4. 1. Débits et fréquences du réseau LTE	6
4. 2. Latence.....	7
4. 2. 1. Latence du plan de contrôle	7
4. 2. 2. Latence du plan usager.....	7
4. 3. La mobilité.....	7
5. L'objectif de LTE.....	8
6. L'architecture de réseau LTE	8
7. L'architecture d'eNœud B.....	12
8. Conclusion.....	15
Chapitre 2 : dimensionnement d'un réseau LTE.....	16
1. Introduction	16
2. Processus de dimensionnement	16
2. 1. Pré-dimensionnement.....	17
2. 2. Dimensionnement de couverture	17
2. 2. 1. Bilan de liaison.....	17
2. 2. 2. Modèle de propagation.....	19
2. 3. Le choix de model de propagation.....	21
2. 4. Dimensionnement de capacité	21
2. 4. 1. Calcul dimensionnement de capacité pour les uplink.....	21
2. 4. 2. Calcul dimensionnement de capacité pour les downlink	22
2. 4. 3. Calcul le rayon de cellule pour la liaison montante	23
2. 4. 4. Calcul le rayon de cellule pour la liaison descendante	24
2. 4. 5. Calcul de nombre de sites	24
3. Optimisation	25
4. Conclusion.....	25
Chapitre 3 : simulation sur atoll	26
1. Introduction	26
2. Présentation de logiciel atoll	26
3. Démarrage d'un projet Atoll	27

3. 1. Ouverture d'un nouveau projet.....	27
3.2. Réglage des paramètres de la zone	28
3. 3. L'ajout des maps.....	29
3.4. Etude du cas de la ville Bordj Bou Arreridj	32
3. 4. 1. Création de site.....	33
4. Notre étude	35
4. 1. Prédiction de couverture par niveau de signal.....	35
Remarque	39
4. 2. Prédiction de Couverture par émetteur	39
4. 3. Prédiction de zone de recouvrement DL	42
5. Analyse ponctuelle	44
6. Conclusion.....	44
Conclusion générale	45
Références bibliographiques	46

Résumé

Le réseau de la 4 ème génération LTE, a apporté une augmentation significative du débit et Permet l'interopérabilité avec les autres réseaux. Dans le but de couvrir la région de la ville De Bordj Bou Arreridj par ce réseau dont le dimensionnement et la planification sont effectués à l'aide du simulateur Atoll, un stage chez Algérie télécom, assure non seulement notre base de données mais aussi la participation dans la mise en place d'un réseau LTE/4G et L'installation de l'équipement de BTS.

Mots clés : planification, dimensionnement, simulateur, LTE, BTS, 4G, Atoll, Algérie télécom Bordj Bou Arreridj

ملخص

جلبت شبكة LTE من الجيل الرابع زيادة كبيرة في الإنتاجية و أتاحت إمكانية التشغيل البيني مع الشبكات الأخرى. من أجل تغطية منطقة برج بوعريريج بهذه الشبكة التي يتم دراسة حجمها و تخطيطها باستخدام برنامج Atoll، تربصنا في Algérie télécom لا يضمن قاعدة بياناتنا فحسب، بل يضمن أيضا المشاركة في إنشاء شبكة LTE/4G و تركيب معدات BTS

الكلمات المفتاحية : التخطيط , التحجيم , المحاكى , LTE , BTS , الجيل الرابع , Atoll , اتصالات الجزائر, برج بوعريريج

Abstract

The 4th generation LTE network has brought a significant increase in throughput and allows interoperability with other networks. In order to cover the region of the city of Bordj Bou Arreridj by this network whose dimensioning and planning are carried out using the Atoll simulator, a stage at Algérie Télécom not only ensures our database but also the participation in setting up an LTE/4G network and installing BTS equipment.

Keywords: planning, dimensioning, simulator, LTE, BTS, 4G, Atoll, Algérie Télécom, Bordj Bou Arreridj

Liste des abréviations :

Chapitre 1 : le réseau LTE

Figure. 1. Un aperçu de haut niveau de la 1G à 5G	4
Figure. 2. L'architecture de réseau 4G.....	8
Figure. 3. Schéma détaillé de fonctionnement de chaque block de l'architecture de réseau LTE	9
Figure. 4. L'architecture d'eNœudB à B.B.A	10
Figure. 5. La partie de l'armoire de l'équipement.....	11
Figure. 6. La partie d'antennes	11
Figure. 7. Le module power.....	12
Figure. 8. Le module BBU	12
Figure. 9. La partie batteries	13
Figure. 10. La partie outdoor (les secteurs)	13
Figure. 11. Les RRU (radio remote unite)	14
Figure. 12. La mise en terre	14

Chapitre 2 : Dimensionnement d'un réseau LTE

Figure. 13. Processus de dimensionnement de réseau LTE	16
Figure. 14. Configuration des secteurs cellulaires	24

Chapitre 3 : Simulation sur ATOLL

Figure. 15. La fenêtre de logiciel atoll	27
Figure. 16. Nouveau document Atoll avec le modèle LTE	28
Figure. 17. Réglage des paramètres de projection et de formats	28
Figure. 18. Le choix de clutter	29
Figure. 19. Le choix de height	29
Figure. 20. Le choix de vectors.....	29
Figure. 21. L'affichage de la map d'Algérie.....	30
Figure. 22. L'ajout d'un map au niveau document	30
Figure. 23. La superposition de la map d'Algérie sure la carte en ligne	31
Figure. 24. Vue aérienne de la ville de Bordj Bou Arreridj	31
Figure. 25. La prédiction de positionnement des sites par le bouton schéma hexagonal	32
Figure. 26. La prédiction d'une couverture par niveau de signal	32
Figure. 27. La prédiction de la couverture par émetteur	33
Figure. 28. Le choix de modèle de propagation.....	33
Figure. 29. Le réglage des paramètres de site	34
Figure. 30. Le réglage des paramètres de cellule	34
Figure. 31. Le positionnement des sites dans la ville de Bordj Bou Arreridj	35
Figure. 32. Le choix de la prédiction	36
Figure. 33. La pré prédiction d'une couverture par niveau de signal	36
Figure. 34. Histogramme de la couverture par niveau de signal	37
Figure. 35. Légende de la prédiction de la couverture par niveau de signal	37
Figure. 36. La prédiction d'une couverture par niveau de signal	38
Figure. 37. Histogramme de la couverture par niveau de signal	39
Figure. 38. Le choix de la prédiction	40
Figure. 39. Résultat de la prédiction de la couverture par émetteur	40
Figure. 40. Résultat de nouvelle prédiction de la couverture par émetteur	41
Figure. 41. Le tableau des sites restant dans la nouvelle prédiction de la couverture par émetteur	41
Figure. 42. Le choix de la prédiction	42
Figure. 43. Carte de recouvrement.....	42
Figure. 44. Histogramme de la Carte de recouvrement.....	43
Figure. 45. Légende de la Carte de recouvrement.....	43
Figure. 46. Analyse ponctuelle de site 14-2.....	44

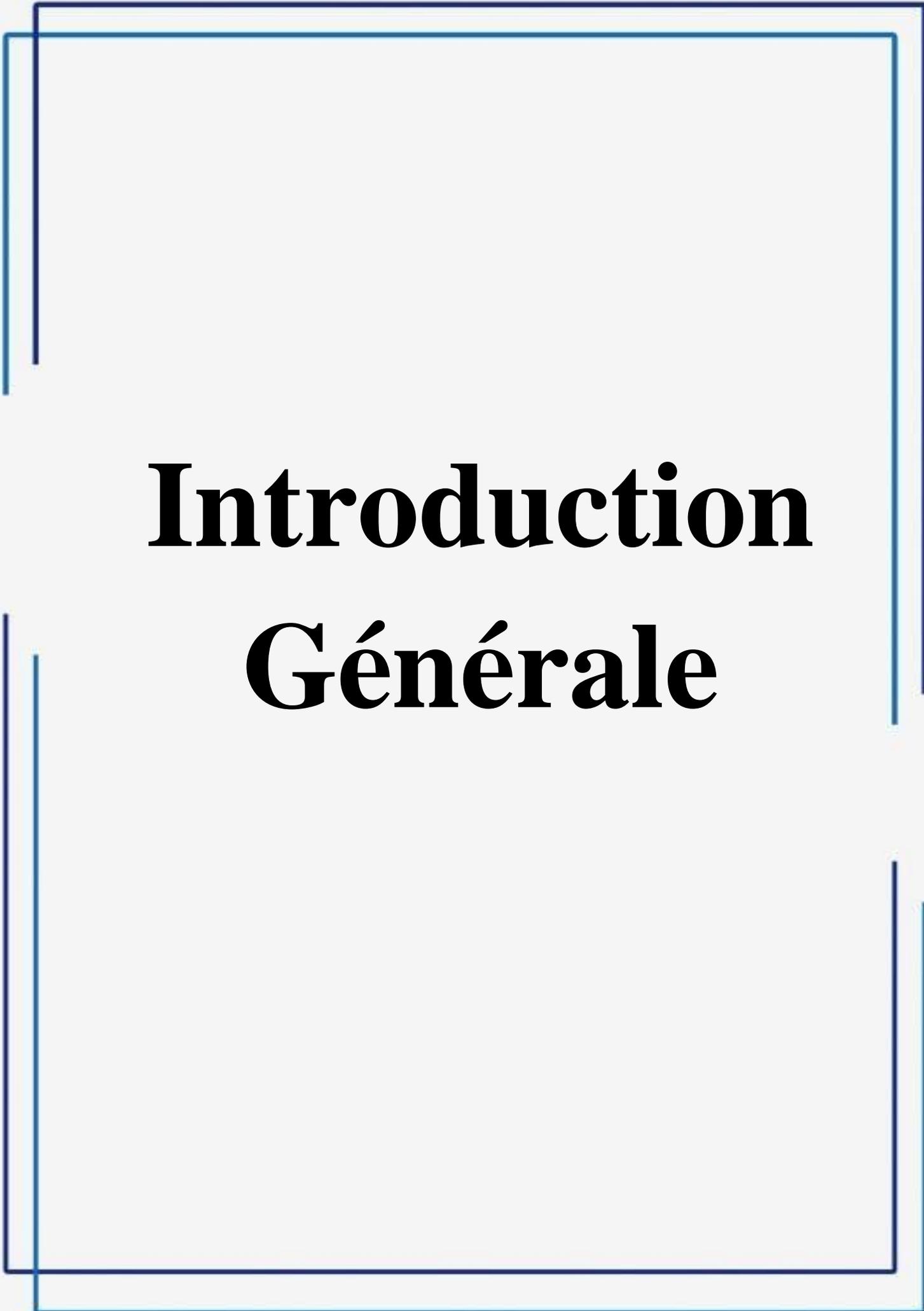
Liste des abréviations :

Tableau. 1. comparaison entre les cinq générations de communication mobile.....	5
Tableau. 2. Résumé du calcul MAPL de liaison montante	18
Tableau. 3. Résumé du calcul MAPL de liaison descendante.....	19
Tableau. 4. Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs	25

Liste des abréviations :

	1G	première génération
	2G	deuxième génération
	3G	troisième génération
	3GPP	Third Generation Partnership Project
	4G	quatrième génération
	5G	cinquième génération
A	AMPS	Advanced Mobile Phone System
B	BBA	Bordj bou arreridj
	BBU	Base band unit
	BDMA	Beam division multiple access
	BPN	Carte de gestion des secteurs
	BTS	base station transceiver system
C	CA	Centre d'amplification
	CC	Communication and control
	CDMA	code division multiple access
	CRF	fonction Règles de facturation
D	DL	Down link
	DVB	diffusion vidéo numérique
E	EDGE	enhanced data rates for gsm evolution
	EIRP	effective isotropic radiated power
	EnodeB	Evolved NodeB
	EU	EU
	E-UTRAN	evolved UMTS Terrestrial radio access network
F	FDD	frequency division-duplexing
	FDMA	Frequency-Division Multiple Access
G	GPRS	general packet radio service
	GSM	global system for mobile communications
H	HDTV	High Definition Television
	HSPA	High Speed Packet access
	HSS	home subscriber server
I	IP	internet protocol
K	Km/h	Kilo mètre par heure
	KPI	key performance indicator
L	LTE	Long terme évolution
M	MAPL	Maximum allowable path loss
	Mbps	Méga bit par second
	MHz	Méga hertz
	MIMO	multiple input multiple output
	MME	mobility manager entity
	MMS	multimedia messaging service

N	NAS	Non-Access Stratum	
	NMT	Nordic mobile telephone	
	NTT	Nippon telephone and telegraph	
O	OFDMA	orthogonal frequency division multiple access	
P	PCEF	policy and charge enforcement function	
	PCRF	Policy charging rules function	
	PDF	Political Decision Function	
	PDN	Packet data network	
	P-GW	Packet Data Network Gateway	
	PM	Power module	
	PSTN	Public Switched Telephone Network	
	PUCCH	physical uplink control channel	
	Q	QoS	quality of service
	R	RB	resource bloc
RET		Remote electrical tilt	
RLB		Radio Link Budge	
RRU		radio remote unite	
S	SA	Carte de gestion des alarmes	
	SC-FDM	répartition en fréquence mono porteuse multiplexage	
	S-GW	Serving Gateway	
	SINR	signal-to-interface-plus-noise ratio	
	SSS	Secondary synchronization signal	
T	TDD	time division-duplexing	
	TDMA	time-division multiple-access	
U	UE	user equipment	
	UL	Up link	
	UMTS	universal mobile telecommunication system	
	UTRAN	universal terrestrial radio access network	
W	WCDMA	Wide Coding Division Multiple Access	
	WIFI	wireless fidelity	
	WGS-84	World geodestic system 1984	
	WIMAX	wideband interoperability for microwave access	
X	X2	interfaces entre les eNodeBs	



Introduction Générale

Les réseaux mobiles sont en train d'éclater. Au cours des deux dernières décennies, cette évolution a permis le déploiement de nouvelles offres de services supérieures aux offres traditionnelles, satisfaisant ainsi le nombre croissant d'utilisateurs et la demande croissante. Ceci, ainsi que plusieurs générations (1G, 2G, 3G, 4G, et bientôt 5G) ont vu le jour et ont connu une évolution remarquable en accordant un débit exceptionnel. [1]

Long Term Evolution (LTE) a attiré l'attention des opérateurs sans fil, des investisseurs et observateurs de l'industrie dans le monde entier dans les dernières années.

LTE a été lancé par 3GPP, pour maintenir son avantage concurrentiel dans le monde des réseaux mobiles à l'avenir, il représente le premier réseau cellulaire basé sur une architecture IP plate. L'essentiel de tout système à déployer est l'opération de planification, puisque toute tentative d'optimisation se base sur une bonne planification dont les procédures et démarches soit à la fois simples, robuste et peu coûteuses. [2]

LTE apportera de nombreux avantages techniques pour les réseaux cellulaires. La bande passante sera extensible de 1,25 MHz à 20 MHz. Cela répondra aux besoins des différents opérateurs de réseau qui ont une bande passante différente et permet aux opérateurs de fournir des services différents en fonction du spectre. LTE est également prévu d'améliorer l'efficacité spectrale dans les réseaux 3G, permettant aux plus de services de données et de voix sur une bande passante donnée. [3]

Dans le but de couvrir la région de la ville de Bordj Bou Arreridj par le réseau LTE, une étude Qui s'intitule :

- Le dimensionnement c-à-d la détermination du nombre minimal de sites requis pour Assurer la couverture d'une zone bien déterminée.
- La planification avec un logiciel Atoll.
- Un stage dans Algérie Telecom pour assurer la base donnée.

Ce travail est présenté comme suit :

Dans le premier chapitre, on parle brièvement des générations de télécommunications mobile ainsi on présente la technologie LTE, son architecture, ses caractéristiques et le fonctionnement de la partie essentielle qui représente l'eNodB.

Dans le deuxième chapitre, nous touchons la planification et le processus de dimensionnement de la 4G jusqu'à ce que nous arrivions aux nombres de sites optimisés.

Dans le dernier chapitre, on présente la simulation de la planification du réseau LTE pour le cas d'Algérie télécom dans la ville de Bordj Bou Arreridj en utilisant Atoll qui est un logiciel de planification.

Chapitre I :

Le réseau

LTE

1. Introduction

Le domaine des télécommunications a connu ces dernières années une croissance importante, spécialement le réseau mobile, qui a subi une progression étalée sur cinq générations, à savoir (1G ,2G ,3G ,4G 5G). Dans le but de satisfaire le besoin des clients d'une part, et d'offrir un ensemble de services pertinents. D'autre part L'évolution à long terme (LTE) est la technologie la plus récente pour les télécommunications mobiles, elle présente certains avantages qui sont des débits de données élevés, une faible latence et l'utilisation de toutes les architectures de réseau de protocoles Internet (IP). [4]

Dans ce chapitre, nous avons touché brièvement les cinq générations de communication mobile (1G 2G 3G 4G 5G), néanmoins, le réseau 4G sera détaillé puisqu'il est le sujet principal de notre étude ainsi que toutes les informations qu'on a obtenues sur l'installation et le fonctionnement des sites durant la période de stage chez Algérie télécom.

2. Historique

L'évolution des technologies de téléphonie sans fil peut être discrètement regroupée en différentes générations en fonction du niveau de maturité de la technologie sous-jacente.

La classification en générations n'est pas normalisée sur des mesures ou des paramètres donnés et, en tant que telle, ne représente pas une démarcation stricte. Cependant, il représente une perspective communément admise, tant par l'industrie que par le monde universitaire, et donc conçue comme une norme non écrite. [5]

1G (première génération), Le système de réseau cellulaire est apparu pour la première fois dans les années 1980, où la zone locale est divisée en cellules autour d'une distance limitée, chacune servant de station de base. Il s'agit de petits systèmes analogiques dans lesquels les informations sont envoyées sous forme de signaux analogiques. Le concept de réutilisation des fréquences peut être utilisé dans une cellule voisine mais pas dans une cellule adjacente, ce qui a considérablement augmenté le nombre d'utilisateurs pris en charge dans une zone. Le nom donné pour 1G à l'époque est la technologie de téléphonie cellulaire fonctionnant dans la bande de fréquence de 150KHZ. Le premier réseau cellulaire a été lancé au Japon par NTT (Nippon Telegraph and Téléphone) en 1979 dans la région métropolitaine de Tokyo en peu de temps, le

réseau s'est étendu et a couvert la population totale du Japon et est devenu le premier pays de la planète à mettre en œuvre le réseau 1G. Plus tard en 1981, NMT (Nordic Mobile Téléphone) a étendu cette technologie dans les pays d'Europe (Danemark, Finlande, Norvège et Suède). Aux États-Unis, il a été mis en œuvre pour la première fois en 1983, puis s'est répandu au Royaume-Uni, au Mexique et au Canada. La technologie utilisée dans la 1ère génération est la technologie cellulaire AMPS (Advanced Mobile Phone System) qui utilise des fréquences distinctes à conserver. Il existe un besoin pour une largeur de bande appropriée dans cette technique pour un grand nombre d'utilisateurs. Le principal inconvénient de 1G est la qualité de la voix, il n'y avait pas de clarté du bruit et une perturbation constante du bruit de fond. [6]

Il est basé sur le GSM ou, en d'autres termes, sur le système mondial de communication mobile. Il a été lancé en Finlande en 1991. Il s'agissait des premiers réseaux cellulaires numériques, qui présentaient un certain nombre d'avantages évidents par rapport aux réseaux analogiques qu'ils supplantaient : meilleure qualité sonore, meilleure sécurité, etc. Technologie 2G ont remplacé la technologie analogique par la communication numérique en fournissant des services tels que la messagerie texte, message photo et MMS. Tous les messages texte sont cryptés numériquement dans la technologie 2G. Ce numérique le cryptage permet le transfert de données de manière à ce que seul le destinataire prévu puisse recevoir et lire. Il existe 3 types différents (FDMA, TDMA/GSM et CDMA) de technologies mobiles 2G sont conçues avec différentes méthodes de travail, propriétés et spécifications. [7]

La 3G est basée sur le GSM et a été lancée en 2000. L'objectif de cette technologie était d'offrir le haut débit des données. La technologie d'origine a été améliorée pour permettre des données jusqu'à 14 Mbps et plus en utilisant le paquet commutation. Il utilise le réseau sans fil à large bande avec lequel la clarté est accrue. Il propose également des données services, accès à la télévision/vidéo, nouveaux services comme Global Roaming. Il fonctionne à une gamme de 2100MHz et a une bande passante de 15-20MHz utilisée pour le service Internet haut débit, le chat vidéo. [8]

La 4G fait référence à la quatrième génération de normes sans fil cellulaires. Il succède aux familles de normes 3G et 2G, La 4G offre une vitesse de téléchargement de 100 Mbps. La 4G offre la même fonctionnalité que la 3G et des services supplémentaires comme les journaux multimédias, pour regarder les programmes de télévision avec plus de clarté et envoyer des

données beaucoup plus rapidement que les générations précédentes. LTE (Long Terme Evolution) est considéré comme la technologie 4G. La 4G est en cours de développement pour répondre aux exigences de qualité de service et de débit définies par les applications à venir telles que l'accès haut débit sans fil, le service de messagerie multimédia (MMS), le chat vidéo, la télévision mobile, le contenu HDTV, la diffusion vidéo numérique (DVB), des services minimaux comme la voix et les données, et d'autres services qui utilisent la bande passante. [9]

La 5G est une génération en cours de développement, destinée à améliorer la 4G. La 5G promet des débits de données nettement plus rapides, une densité de connexion plus élevée, une latence beaucoup plus faible, entre autres améliorations. Certains des plans pour la 5G incluent la communication d'appareil à appareil, une meilleure consommation de la batterie et une meilleure couverture sans fil globale. La vitesse maximale de la 5G vise à être aussi rapide que 35,46 Gbps, soit plus de 35 fois plus rapide que la 4G.

Technologies clés à surveiller : MIMO massif, communications mobiles à ondes millimétriques, etc. MIMO massif, ondes millimétriques, petites cellules, Li-Fi toutes les nouvelles technologies de la décennie précédente pourraient être utilisées pour donner 10 Gb/s à un utilisateur, avec une faible latence invisible et permettre des connexions pour au moins 100 milliards d'appareils. Différentes estimations ont été faites pour la date d'introduction commerciale des réseaux 5G. La génération suivante Mobile Networks Alliance estime que la 5G devrait être déployée d'ici 2020 pour répondre aux demandes des entreprises et des consommateurs. [10]

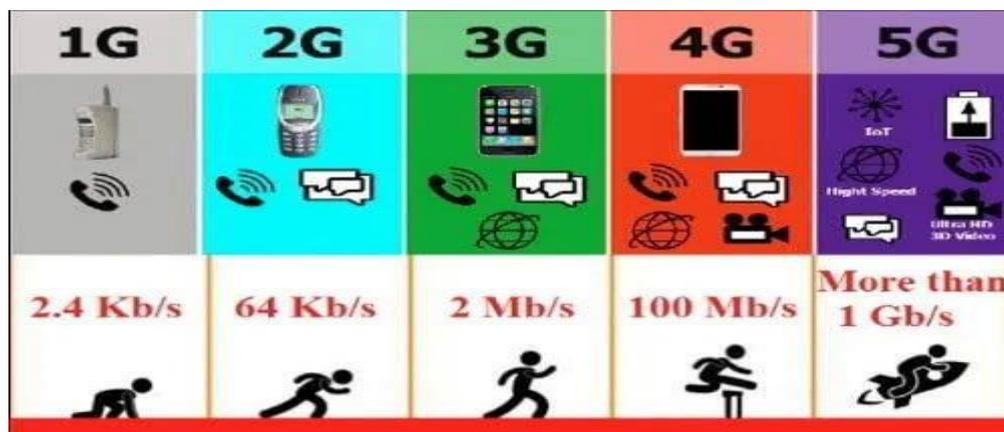


Figure. 1. Un aperçu de haut niveau de la 1G à 5G [11]

Fonctionnalités	1G	2G	3G	4G	5G
commencer le développement	1970/1984	1980/1999	1990/2002	2000/2010	2010/2015
technologie	AMPS, NMT , TACS	GSM	WCDMA	LTE,WIMAX	MIMO, mm WAVE
fréquence	30 KHz	1.8 GHz	1.6-2 GHz	2-8 GHz	3-30 GHz
bande passante	2 Kbps	14.4-64 Kbps	2 Mbps	2000 MbPS-1 Gbps	1 Gbps ET PLUS HAUT
Système d'accès	FDMA	TDMA/CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA/BDMA
réseau central	PSTN	PSTN	PACKET NETWORK	INTERNET	INTERNET

Tableau. 1. comparaison entre les cinq générations de communication mobile [10]

Après avoir présenté quelques détails évolutifs et une feuille de route historique, notre objectif principal dans cette étude est d'étudier plus en détail la technologie 4G.

3. Généralités sur LTE

LONG Terme Evolution (LTE) est un réseau mobile technologie développée et déployée par le groupe 3GPP. Son développement a été motivé par la nécessité de répondre à la demande toujours croissante de services sans fil. Il a été conçu pour prendre en charge uniquement les services à commutation de paquets afin de garantir un minimum d'interférences, de réduire le nombre d'éléments de réseau grâce à une architecture simplifiée, de prendre en charge les applications en temps réel en raison d'une latence réduite, de fournir une utilisation et un accès simples avec une sécurité et une confidentialité accrues ainsi que d'améliorer l'efficacité spectrale. [12]

LTE est un système avec des bandes passantes plus larges (jusqu'à 20 MHz), radio à faible latence et à paquets optimisés technologie d'accès ayant des débits de données de pointe de 100 Mbps en liaison descendante et 50 Mbps en liaison montante. La technologie d'accès

radio pour LTE est orthogonale multiplexage par répartition en fréquence (OFDM) dans liaison descendante et répartition en fréquence mono porteuse multiplexage (SC-FDM) en liaison montante qui fournit plus grande efficacité spectrale et plus de robustesse contre les trajets multiples et l'évanouissement.

L'industrie des télécommunications connaît l'émergence d'un certain nombre de concurrents et d'améliorations technologiques, y compris la division de code à large bande accès multiple (WCDMA), dans le monde entier l'interopérabilité pour l'accès hertzien (WiMax), et LTE. Avec les exigences des utilisateurs de plus en plus les réseaux cellulaires latéraux croissants sont confrontés à une plus grande que jamais la concurrence des dernières technologies. Dans afin de rester compétitif à long terme, troisième Génération Partnership Project (3GPP) a initié activité sur LTE. [13]

4. Caractéristiques de LTE

Sa principale caractéristique est de fournir une efficacité du spectre moins chère pour l'opérateur, ainsi que des services mobiles à large bande de haute qualité pour les utilisateurs. La technologie LTE elle-même a été développée à partir du Global System for Mobile (GSM) et du Universal Mobile Télécommunications System (UMTS), parmi les caractéristiques les plus importantes sont : [14]

4. 1. Débits et fréquences du réseau LTE

Le flux fourni à un client dépend de ses conditions radio, en particulier de sa situation dans la cellule, des méthodes de transmission utilisées et de l'atout épouvantable accessible. Les principes d'affichage habituels pour les organisations 4G sont définis : 100 Mbit/s sur la liaison descendante (transfert de réception filaire vers mobile) et 50 Mbit/s maximum sur la liaison montante.

L'innovation LTE fonctionne dans un assortiment de fréquences en fonction de la zone géographique couverte : 700 MHz aux États-Unis pour l'organisation Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour l'organisation japonaise NTT

Les objectifs de débit les plus élevés pour LTE sont les suivants :

- 100 Mbit/s down-track pour une capacité de transmission distribuée de 20 MHz, pour une productivité hors du commun de 5 cycle/s/Hz.
- 50 Mbit/s ascendant pour une capacité de transmission distribuée de 20 MHz, pour une productivité hors du commun de 2,5 pièces/s/Hz.

Ces chiffres prévoient une UE de référence contenant :

- deux réceptions et un envoi. [14]

4. 2. Latence

L'inertie du cadre interprète de manière solide sa capacité à répondre rapidement aux demandes des clients ou des administrations. Il est communiqué en inactivité du plan de contrôle et en dormance du plan client. [14]

4. 2. 1. Latence du plan de contrôle

L'objectif du LTE est de réduire la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS en permettant la formation du plan utilisateur avec un temps de transition inférieur à 100 millisecondes entre un état de veille EU et un état actif. [14]

4. 2. 2. Latence du plan usager

L'inactivité du plan client est caractérisée comme la saison de transmission d'un faisceau entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un concentrateur de réseau d'entrée ou l'inverse. Ainsi, L'inactivité du plan client se compare à la saison de transmission d'un colis IP à l'intérieur de l'organisation d'entrée. LTE vise une inactivité du forfait client inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge organisationnelle et pour les petits colis IP. [14]

4. 3. La mobilité

La polyvalence est une capacité vitale pour une organisation portable. LTE a l'intention de rester utile pour les pays de l'UE qui se déplacent à différentes vitesses.

- E-UTRAN devrait être amélioré pour une faible vitesse de déplacement de 0 à 15 km/h.

- Un débit polyvalent plus élevé, quelque part entre 15 et 120 km/h, devrait être maintenu avec une exécution d'élite.
- La portabilité sur le réseau cellulaire doit être maintenue à des vitesses allant de 120 à 350 km/h (ou même jusqu'à 500 km/h selon la bande de récurrence). [14]

5. L'objectif de LTE

LTE est une technologie cellulaire relativement nouvelle destinée à augmenter considérablement la vitesse et la capacité des réseaux de téléphonie mobile, LTE est une amélioration par rapport à la 3G, L'objectif de LTE est de fournir une technologie d'accès radio à haut débit de données, à faible latence et optimisée pour les paquets prenant en charge des déploiements de bande passante flexibles avec une capacité de vitesse de liaison descendante de 100 Mbps et de vitesse de liaison montante de 50 Mbps. LTE utilise à la fois FDD et TDD comme techniques de duplexage pour prendre en charge tous les types de ressources spectrales. [15]

6. L'architecture de réseau LTE

Cette partie couvre l'architecture de haut niveau de LTE. Nous commençons par décrire les difficultés composants logiciels dans un réseau LTE et en examinant les protocoles logiciels que ces composants utilisés pour communiquer. L'architecture du protocole LTE est composée de deux plans : le plan utilisateur, qui fournit des fonctions telles que le formatage du trafic utilisateur entre l'équipement utilisateur (UE) et l'accès radio terrestre universel évolué. [16]

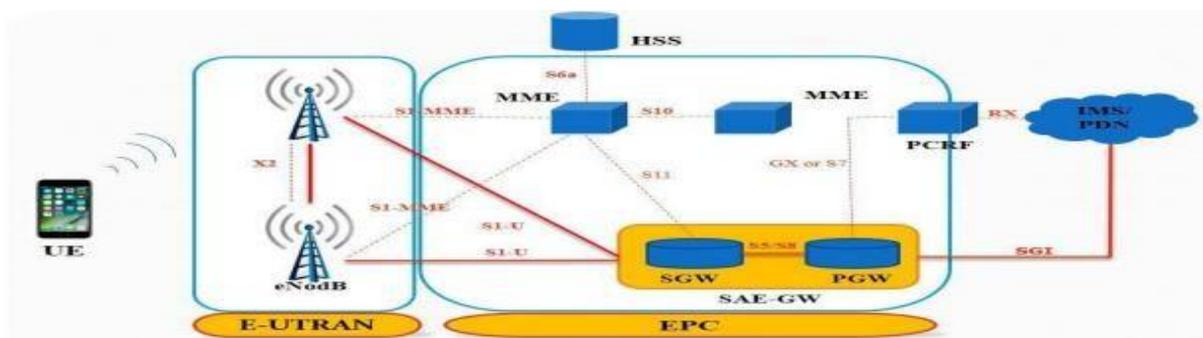


Figure. 2. L'architecture de réseau 4G [17]

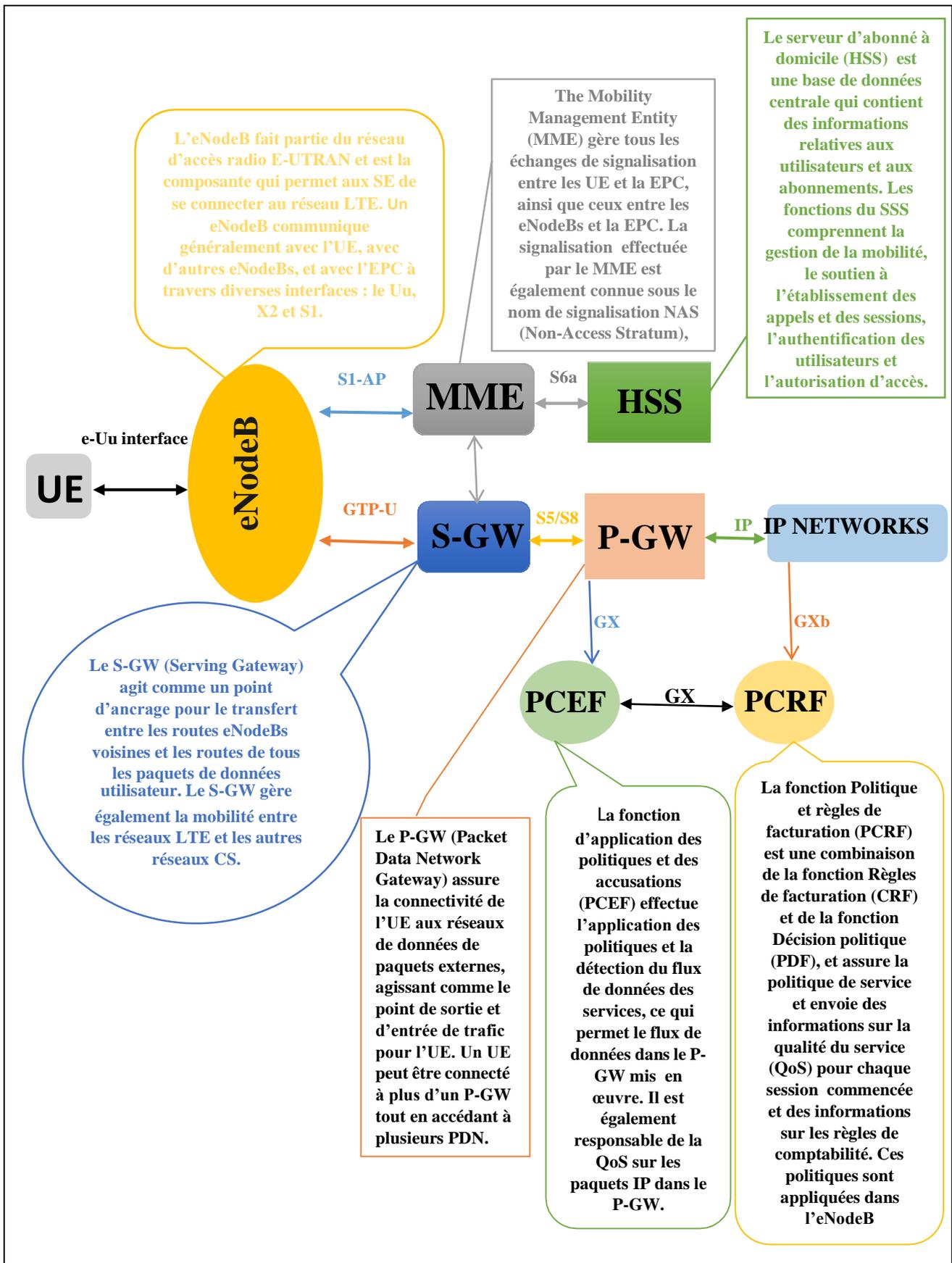


Figure. 3. Schéma détaillé de fonctionnement de chaque block de l'architecture de réseau LTE [18]

On a effectué un stage de durée de 20 jours de 9 mai à 29 mai, au cours de ce stage on a passé de plusieurs départements, au-delà d'enrichirai nos connaissances sur le principe de la 4G d'Algérie télécom, en premier lieu on a passé au centre technique, dans ce centre on arrive à toutes les informations essentielles pour notre étude, on a fait une sortie avec l'équipe technique et on a vu l'installation d'un nouveau site et surtout le fonctionnement de l'équipement et le principe de site.

Le but de ce stage est d'atteindre une base de données pour notre étude, plus largement ce stage a été l'opportunité pour nous d'appréhender le principe des stations de bases eNode B (les BTS), qui sont une partie très importante dans le réseau 4G.

En premier on présente l'architecture de l'équipement :

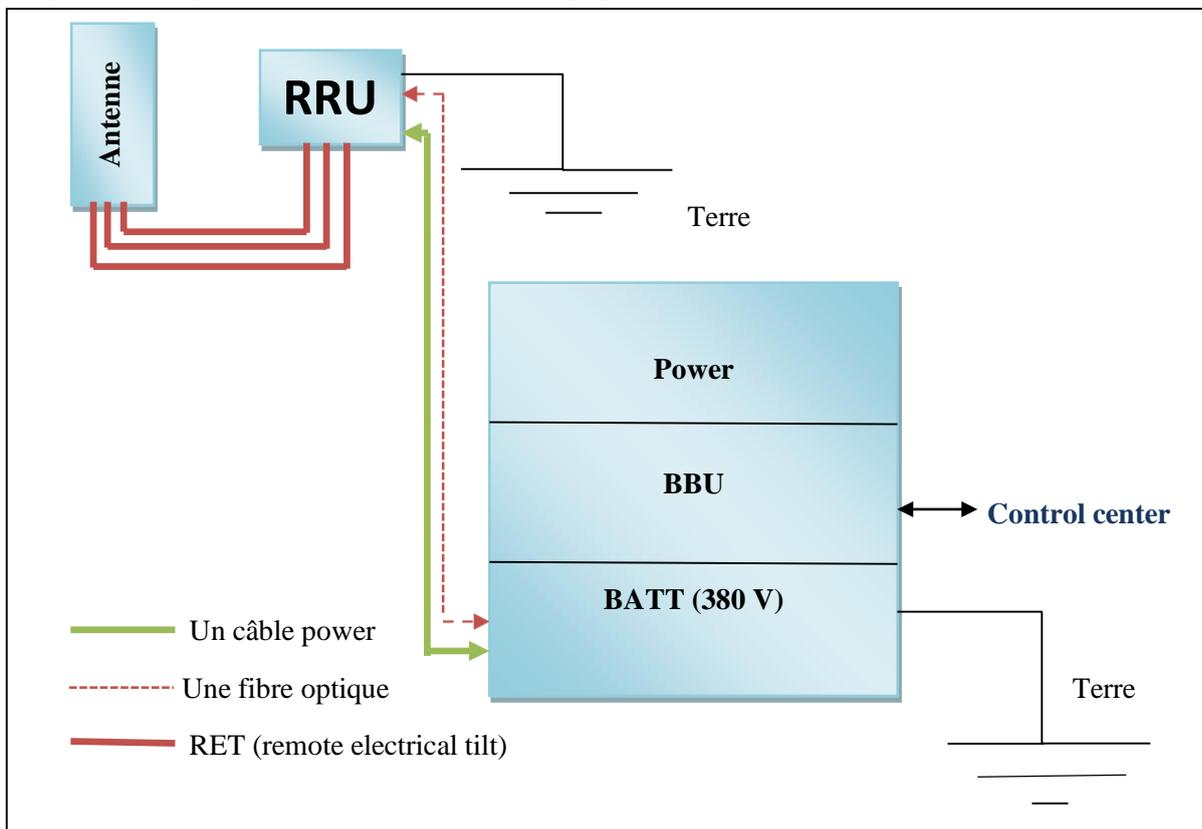


Figure. 4. L'architecture d'eNodeB à B.B.A

- Avant de placer un site on a besoin de faire une étude bien détaillé concernons les exigences dans la zone cible.
- Une antenne + un RRU = un secteur.

- Les opérateurs téléphoniques (Mobilise, Djezzy, Ooredoo), utilise les sites de deux ou trois secteur, par contre les sites d'Algérie télécom sont toujours des sites de trois secteurs.



Figure. 5. La partie de l'armoire de l'équipement



Figure. 6. La partie d'antennes

- Les sites des opérateurs téléphoniques sont interconnectés entre eux.
 - Les sites d'Algérie télécom n'ont pas interconnecté entre eux mais ils ont connecté avec le trafic.
-

- Le débit maximal de réseau 4G d'Algérie télécom est entre 50 Mbps et 100 Mbps, il arrive à 100 Mbps quand le modem de 4G est professionnel.

7. L'architecture d'eNodeB

- Chaque site est supervisé par un centre de contrôle, dans notre cas tous les sites d'Algérie télécom dans notre wilaya BBA sont supervisé avec CA (centre d'amplification), le centre gère les alarmes et le trafic ...etc.).



Figure. 7. Le module power

- Le module power diminue la tension de 380 V à -48 V, il contient des redresseurs qui convertissent le courant alternatif au courant continu, car l'alimentation des redresseurs est en courant continu.
- La capacité des blocs 9000 W c'est la puissance de consommation.



Figure. 8. Le module BBU

- Le module BBU est constitué de quatre cartes, la carte **PM** qui alimente BBU, la carte **SA** est responsable de la gestion des alarmes et la carte **CC** contrôle et assure la communication entre les différents blocs de BBU, et la dernière carte **BPN** qui gère les secteurs, cette dernière a 6 entrées.
- Le module eNode B est responsable de l'émission et la réception des données.



Figure. 9. La partie batteries

- La partie batteries elle est responsable d'alimenté tous le site en sait jamais de coupure d'électricité, elle prêt en charge l'alimentation de tous les modules de site.



Figure. 10. La partie outdoor (les secteurs)

- La partie outdoor constitué d'un RRU plus un antenne cet ensemble est appeler un secteur, l'antenne c'est un élément passif (qui recevoir des signaux et les diffuser directement), le RRU est responsable de tous qui il est modulation.



Figure. 11. Les RRU (radio remote unite)

- Le RET génère l'inclinaison d'antenne (par exemple il dirige l'antenne vers une direction qui a besoin de couverture de réseau), pour répondre aux exigences.
- L'interconnexion entre l'armoire d'équipement et les secteurs se fait par un câble power (pour alimenter les secteurs) et un câble fibre optique (pour la transmission des données).



Figure. 12. La mise en terre

- La mise en terre c'est très important pour la protection d'équipements.
- La puissance d'émission des antennes de BTS d'Algérie télécom n'est pas élevée car elle assure la transmission des données seulement, c'est pour ça l'installation des secteurs sont loin l'un des autres, par contre pour les operateurs la puissance elle est

élevé pour assurer la transmission de la voix et ainsi que les données pour cela l'installation des secteurs de BTS sont proche l'un des autres.

8. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné le réseau LTE de quatrième génération pour comprendre son fonctionnement et les différents éléments qui le composent. Pour cela, nous avons abordé d'abord les caractéristiques générales de cette génération de réseaux cellulaires. Puis l'architecture générale des réseaux LTE, les spécifications et les capacités de chaque module.

Ainsi, un résumé de toutes les informations que nous avons apprises pendant la durée du stage, qui est une opportunité pour nous afin d'enrichir notre étude.

Chapitre II :

Dimensionnement

d'un réseau LTE

1. Introduction

Le dimensionnement est la phase initiale de la planification du réseau. Il fournit la première estimation du nombre d'éléments de réseau ainsi que la capacité de ces éléments. Le but du dimensionnement est d'estimer le nombre requis de stations de base radio nécessaires pour prendre en charge un trafic spécifié charge dans une zone. [19]

Durant ce chapitre, on a détaillé le processus de dimensionnement du réseau LTE ainsi l'étude du nombre de sites qui est le plus important.

2. Processus de dimensionnement

L'objectif du dimensionnement du réseau d'accès LTE est d'estimer la densité et les configurations de site requises pour la zone d'intérêt. Les activités initiales de planification du réseau d'accès LTE comprennent l'analyse du budget et de la couverture des liaisons radio, Le dimensionnement du réseau LTE est directement lié à la qualité et à l'efficacité du réseau, et peut profondément affecter son développement.

Les entrées de dimension LTE peuvent être largement divisées en trois catégories, apports liés à la qualité, à la couverture et à la capacité. [20]

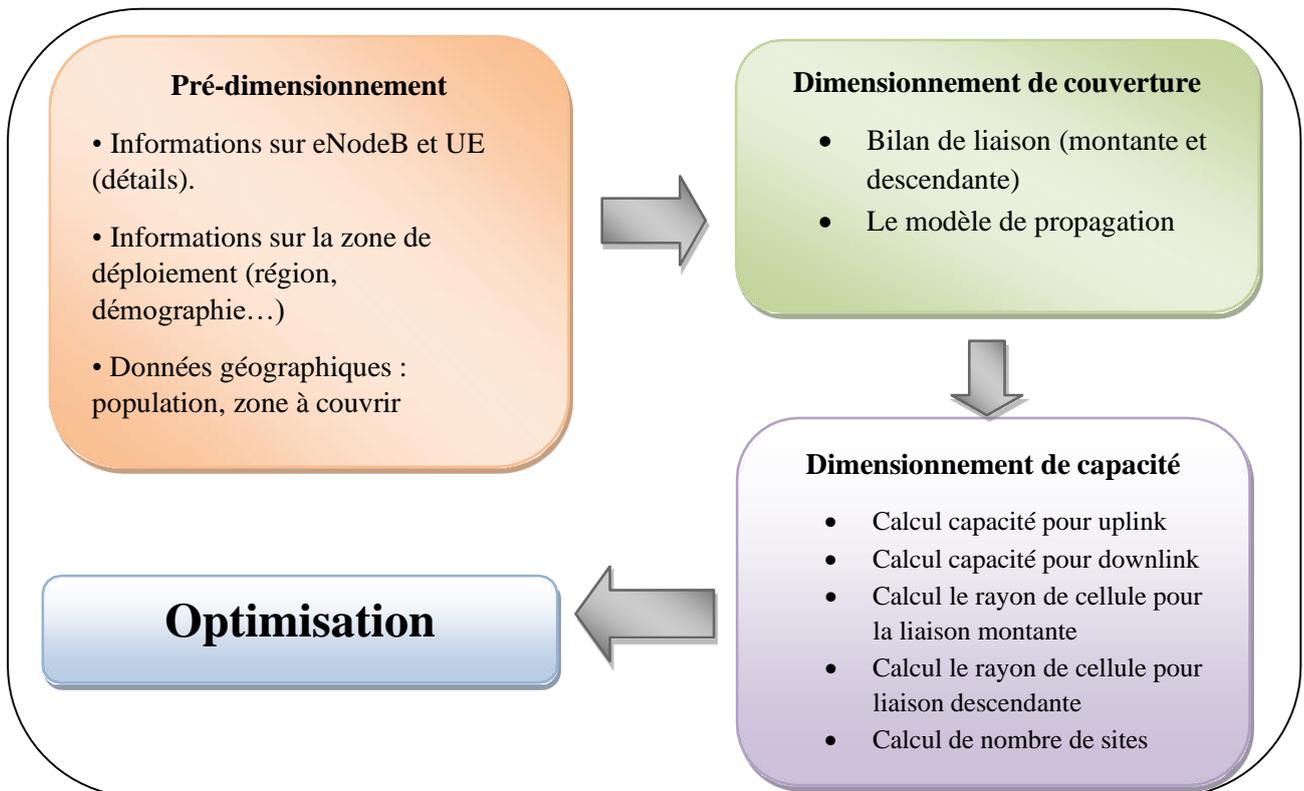


Figure. 13. Processus de dimensionnement de réseau LTE

3. 1. Pré-dimensionnement

Les informations relatives à la zone de déploiement doivent être collectées, telles que :

- Informations sur eNodeB et UE (détails).
- Informations sur la zone de déploiement (zone, informations sur la population, données météorologiques, etc).
- Données géographiques : Cartographie, population, zone de couverture et taux d'utilisation de cette zone (trafic fourni, service demandé, etc).
- le service : voix et données.
- Liste des sites. [14]

3. 2. Dimensionnement de couverture

La détermination de la couverture du réseau consiste à déterminer le nombre de sites La zone donnée doit être couverte. Nous baserons sur le bilan de liaison (RLB : Radio Link Budget), qui permet d'estimer le taux de perte de chemin. Pour cela, un modèle de propagation appropriée doit être sélectionné. Le résultat final est La cellule à couvrir, qui donne une estimation du nombre total de sites nécessaires couvrir la zone. Les estimations basées sur les exigences de couverture doivent être validées et Complété par les besoins en capacité. [21]

2. 2. 1. Bilan de liaison

2. 2. 1. 1. Bilan de liaison montante

Tx		Formule
	Puissance d'émission totale maximale (dBm)	$A=23$
	RB pour distribuer la puissance	$C= 4$
	Sous-porteuses pour distribuer la puissance	$D=12*C=48$
	Puissance de sous-porteuse (dBm)	$E =A-10*\text{Log}_{10}(D)=6.19$
	Perte corporelle Tx (dB)	$J_e=0$
	EIRP par sous-porteuse dBm	$J = EI = 6.19$
Rx		Formule
	SINR (dB)	$K = 0,47$
	Facteur de bruit Rx (dB)	$L=2.5$

	Sensibilité du récepteur_(dBm)	$M=K+L-$ $174+10\times\text{Log}_{10}(15000)=-$ 129.27
	Gain d'antenne Rx (dBi)	$N=18$
	Perte de câble Rx (dB)	$O=-0.5$
	Marge d'interférence (dB)	$Q=-1,97$
	Force de réception du signal min. (dBm)	$R= M-N+O+Q= -149.74$
	Perte de chemin et fondu d'ombre Marge	Formule
	Perte de pénétration (dB)	$S=15$
	Marge d'évanouissement de l'ombre (dB)	$T=8$
	Perte de trajet (dB)	$U =J -R -S -T= 132.93$

Tableau. 2. Résumé du calcul MAPL de liaison montante [22]

2. 2. 1. 2. Bilan de liaison descendante

Tx		Formule
	Puissance d'émission totale maximale (dBm)	$A=46$
	RB pour distribuer la puissance	$C= 100$
	Sous-porteuses pour distribuer la puissance	$D=12\times C=1200$
	Puissance de sous-porteuse (dBm)	$E =A-10\times\text{Log}_{10}(D)=15.21$
	Gain d'antenne Tx (dBi)	$G=18$
	Perte de câble Tx (dB)	$H=0.5$
	EIRP par sous-porteuse dBm	$J = E + GH = 32,71$

Rx		Formule
	SINR (dB)	$K = -1,84$
	Facteur de bruit Rx (dB)	$L=7$
	Sensibilité du récepteur_(dBm)	$M=K+L174+10\times\text{Log}_{10}(15000)=-127.08$
	Perte de corps Rx (dB)	$P=-0,5$
	Marge d'interférence (dB)	$Q=-5,99$
	Puissance minimale de réception du signal (dBm)	$R= M+P+Q=-133,57$
	Perte de chemin et fondu d'ombre Marge	Formule
	Perte de pénétration (dB)	$S=15$
	Marge d'évanouissement de l'ombre (dB)	$T=8$
	Perte de trajet (dB)	$U = J -R -S -T=32,71+133,57-15-8=143,28$

Tableau. 3. Résumé du calcul MAPL de liaison descendante [22]

2. 2. 2. Modèle de propagation

Les modèles de propagation radio sont très importants lors de la planification de tout système de communication sans fil. Le modèle de propagation radio décrit le comportement du signal lorsqu'il est transmis de l'émetteur vers le récepteur, et la perte de trajet. Il donne une relation entre les distances de l'émetteur. [4]

Le modèle de propagation des ondes radio ou modèle de perte de trajet joue un rôle très important dans la planification de tout système de communication sans fil.

-Les différents types de modèles de propagation de perte de chemin :

2. 2. 2. 1. Modèle OKUMURA-HATA

Le modèle Okumura, est l'un des modèles les plus couramment utilisés. Presque toute les modèles de propagation sont une forme améliorée du modèle Okumura. Il peut être utilisé pour

des fréquences allant jusqu'à 3000 MHz. La distance entre l'émetteur et le récepteur peut être d'environ 100 km alors que la hauteur du récepteur peut être de 3 m à 10 m. [23]

Ce modèle fournit trois formules distinctes pour chaque type d'environnement, à nommer : Zone urbaine, zones suburbaines et espace ouvert, Pour la zone urbaine, Okumura-Hata a formulé la perte de trajet comme suit :

$$L_{\text{urbain}} = 69.55 + 22.16 \log_{10}(fc) - 13.82 \log_{10}(htx) - \alpha(htx) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(ht)) \log_{10}(d) \quad (1)$$

Où :

d : la distance entre la station de base et l'antenne mobile.

Htx : la longueur de l'antenne mobile.

$\alpha(htx)$: Facteur de correction pour la longueur de l'antenne mobile. [24]

2. 2. 2. 1. Modèle HATA COST-231

Le modèle COST-231 Hata est une extension du modèle Hata-Okumura développé par Hata (1981) à partir du modèle original d'affaiblissement sur le trajet d'Okumura [Okumura, 1968] et est utilisé pour la prédiction de l'affaiblissement sur le trajet pour les mobiles. Systèmes sans fil en milieu urbain. [25]

La perte de trajet pour le modèle Hata COST-231 est donnée mathématiquement comme :

$$PL(\text{dB}) = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - \alpha(hr) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log(d) + C \quad (2)$$

Où f est la fréquence en MHz, d est la distance entre la station de base et l'antenne Mobile en km, h_b est la hauteur de l'antenne de la station de base au-dessus du sol en mètres. h_r est la hauteur de l'antenne mobile en mètres, C est définie comme 0dB pour les zones suburbaines ou ouvertes environnements et 3 dB pour les environnements urbains, $1500 \text{ MHz} < F < 2000 \text{ MHz}$, $28 \text{ m} < h_{tx} < 30 \text{ m}$, $200 \text{ m} < d < 1000 \text{ m}$.

Le modèle COST-231 Hata contient des corrections pour l'environnement urbain, suburbain et rural (plat). Le terme est défini pour les zones urbaines et suburbaines environnement respectivement comme :

$$\alpha(hrx) = 3.2(\log 11.75 h\alpha)^2 - 4.97 \quad (3)$$

$$\alpha(hrx) = 1.1(\log f)hr - (1.56 \log f - 0.8) \quad (4)$$

$F \geq 400$ MHz

Où :

$h\alpha$: hauteur de l'antenne de réception au-dessus du niveau du sol.

- ✚ Ce modèle est limité aux cas où l'antenne de la station de base est placée plus haut que le bâtiment environnant. [26]

2.3. Le choix de model de propagation

D'après une simulation qui a été effectuée dans Matlab [4] pour comparer la perte de trajet entre les modèles Okumura-Hata et COST-231 Hata pour trois fréquences différentes (1000 MHz, 1500 MHz et 2000 MHz) et pour différentes hauteurs d'antenne de station de base, distances de liaison de 30m, 100m & 200m. Et les résultats suivants ont été obtenus, Pour Okumura-Hata et COST-231.

La simulation montre que pour une bonne propagation radio, où la perte de trajet sera minimisée, le modèle COST-231 Hata devrait être utilisé en LTE puisque la gamme de fréquences s'étend jusqu'à 2000 MHz. Le résultat montre que plus la hauteur de l'antenne de la station de base est élevée, plus l'affaiblissement sur le trajet attendu est faible, en particulier dans les zones suburbaines.

Le modèle de perte de chemin pour COST-231 Hata donne une meilleure valeur de perte de chemin pour l'environnement urbain, qui est le plus réaliste des trois terrains puisque l'environnement de propagation pratique est l'urbain. [27]

Puisque notre étude sera sur la ville el Bordj, on a assuré que La ville de Bordj Bou Arreridj est une zone urbaine. [28]

Donc d'après cette simulation on a choisi pour notre étude le modèle de propagation COST-231 HATA.

2. 4. Dimensionnement de capacité

Ajustement de la capacité pour trouver la capacité maximale pouvant être atteinte soutenu par une cellule. Son objectif est de déterminer le nombre de sites nécessaires Satisfaire le trafic des utilisateurs pour une zone donnée. La capacité théorique du réseau est Limitée par le nombre d'eNodeB installés sur le réseau. Ça dépend de plusieurs facteurs type de zone, service, nombre d'utilisateurs, interférence. [29]

2. 4. 1. Calcul dimensionnement de capacité pour les uplink

Les étapes pour déterminer les besoins de capacité sont les suivantes :

- Le débit de la cellule.

- Réaliser une analyse approfondie de la demande de trafic (répartition géographique des abonnés et consommation).
- Le SINR du système de distribution est la mesure la plus essentielle de la couverture basée sur la capacité : à mesure que le nombre d'utilisateurs augmente, la quantité d'interférences et de bruit diminue la couverture cellulaire et oblige les rayons de la cellule à diminuer. [14]

2. 4. 1. 1. Débit de la cellule

Nous essayons de déterminer combien d'eNodeB sont nécessaires pour répondre à la capacité, qui est déterminée par les exploitants de réseau en fonction de la quantité de trafic. La déficience de la cellule, nécessaire au calcul du nombre de sites, est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$T_{\text{cell}} = Q_{\text{UL}} \times R_{\text{avg, UL}} \quad (5)$$

Et

$$R_{\text{avg, UL}} = R_{\text{RB}} \times (n_{\text{RB}} - n_{\text{pucch}}) \quad (6)$$

n_{RB} : nombre total de blocs de ressources de la bande passante.

n_{pucch} : C'est le nombre de blocs de ressources attribués aux canaux de contrôle PUCCH.

Quatre paramètres sont utilisés pour l'estimation de la perte de propagation par le modèle bien connu de Hata : fréquence f , distance d , hauteur de l'antenne de la station de base et hauteur de l'antenne mobile. [14]

2. 4. 2. Calcul dimensionnement de capacité pour les down Link

2. 4. 2. 1. SINR

La capacité de former un lien descendant est fondée sur le SINR à un emplacement moyen dans une cellule, désigné par DL, qui agit comme une relation linéaire. Le SINR moyen est mesuré comme une augmentation du niveau de bruit moyen, ce qui est comparable à la marge d'interception, mais le SINR est plus précis.

$\gamma_{\text{DL, moy}}$ est représenté dans l'équation suivante lorsqu'il est évalué à un emplacement moyen au lieu du bord de la cellule :

$$\gamma_{\text{DL, moy}} = \frac{P_{\text{T,Rb}}}{(B_{\text{DL, NRB, DL, HLa, max}})} \quad (7)$$

H est le facteur d'atténuation moyen de l'équation. Il s'agit de la relation entre l'atténuation moyenne du signal (linéaire) dans la cellule et l'atténuation du signal (linéaire) à la portée de la cellule de l'antenne. H est déterminé par la géométrie du site, le modèle d'antenne, l'exposant

de propagation d'onde, et la hauteur de l'antenne de la station de base. Le dimensionnement doit être fait avec une valeur de 0,36. [14]

2. 4. 2. 2. Débit Cellulaire

Le débit de l'utilisateur par cellule est donné par l'équation suivante :

$$R_{avg, DL} = nRB \times R_{RB, DL} \quad (8)$$

Le débit de la cellule se calcule comme suit : [14]

$$T_{cell, DL} = QDL \times R_{avg, DL} = QDL \times nRB \times R_{RB, DL} \quad (9)$$

2. 4. 3. Calcul le rayon de cellule pour la liaison montante

La gamme d'applications est la suivante :

- Bande de fréquence : 1500 MHz à 2000 MHz.
- Hauteur de la station de base : 28 mètres à 30 mètres.
- Hauteur de l'antenne de la station de base : 1 mètre à 10 mètres.
- Distance entre l'émetteur et le récepteur : 1 km à 20 km.

La prédiction de perte de chemin pour le modèle COST231 – Hata est donnée par la formule suivante :

$$PL (dB) = 46.3 + 33.9 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(h_b) - \alpha(h_r) - [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log d + c \quad (10)$$

Ici, f représente la fréquence en MHz ; d désigne la distance entre l'émetteur et Récepteur, h_b et h_r la hauteur de la station de base et la hauteur du récepteur respectivement.

Le paramètre C est nul pour les environnements suburbains et ruraux alors qu'il a une valeur de 3 pour les environnements urbains. [29]

La fonction $\alpha(h_r)$ pour la zone urbaine est définie comme suit :

$$\alpha(h_r) = 3.2 (\log(11.75h_r))^2 h_r - 4.97 \quad (11)$$

On commence les calculs :

$$PL (dB) = 46.3 + 33.9 \cdot \log(f) - 13.82 \cdot \log(h_b) - \alpha(h_r) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log d + c$$

- $33.9 \cdot \log(f) = 33.9 \cdot \log(1800) = 33.9 \cdot 3.255 = 110.35$
- $13.82 \cdot \log(h_b) = 13.82 \cdot \log(30) = 13.82 \cdot 1.48 = 20.45$
- $\alpha(h_r) = 3.2 \cdot (\log(11.75h_r))^2 h_r - 4.97 = 3.2 \cdot (\log(11.75 \cdot 1.5))^2 \cdot 1.5 - 4.97 = 3.2 \cdot 1.55^2 \cdot 1.5 - 4.97 = 2.47$
- $[44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log d = [44.9 - 6.55 \log(1.5)] \log d = 35.21 \log d$

➤ $PL(\text{dB}) = 46.3 + 110.35 - 20.45 - 2.47 - 35.21 \log d + 3 = 136.73 + 35.21 \log d$

✚ Calculer les rayons des cellules DL et UL à l'aide de l'équation du modèle de propagation :

Le rayon de la cellule est :

$$R_{UL} = 10^{\frac{MAPL - 46.3 - 33.9 \log_{10} F + 13.82 \log_{10} hb + \alpha \text{ (hr)}}{[44.9 - 6.55 \log_{10} hb]}} \quad (12)$$

$$= 10^{\frac{132.93 - 46.3 - 33.9 \log_{10}(1800) + 13.82 \log_{10}(30) + 2.48}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(30)]}}$$

$$= \mathbf{0.948 \text{ Km [30]}}$$

2. 4. 4. Calcul le rayon de cellule pour la liaison descendante

$$R_{DL} = 10^{\frac{MAPL - 46.3 - 33.9 \log_{10} F + 13.82 \log_{10} hb + \alpha \text{ (hr)}}{[44.9 - 6.55 \log_{10} hb]}} \quad (13)$$

$$= 10^{\frac{143.28 - 46.3 - 33.9 \log_{10}(1800) + 13.82 \log_{10}(30) + 2.48}{[44.9 - 6.55 \log_{10}(30)]}}$$

$$= \mathbf{1.863 \text{ Km}}$$

Déterminez le rayon de cellule approprié en équilibrant les rayons DL et UL. En temps normal, le minimum des pertes de trajet maximales dans les directions UL et DL est converti en rayon de cellule, c'est-à-dire que le minimum des rayons est utilisé comme rayon de cellule. Étant donné que la cellule avec un rayon minimum est choisie, le rayon de la cellule sera de **0.948 Km.** [30]

2. 4. 5. Calcul de nombre de sites

Une fois le rayon de la cellule R_{cell} est calculé, nous pouvons calculer la zone du site, que nous notons S_{cell} . Cette dernière dépend du nombre de secteurs par site, que nous notons $N_{secteur}$. La figure ci-dessous exprime la configuration des secteurs. [30]

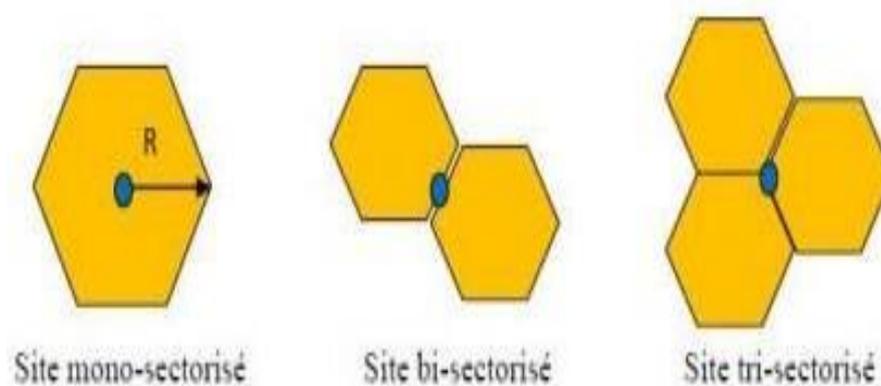


Figure. 14. Configuration des secteurs cellulaires [30]

1. Calculez la zone de couverture du site et le nombre de sites requis.

Nombre de secteur par site zone du site

Mono-sectorisé	Scell=2.6×R ²
Bi-sectorisé	Scell=1.3×2.6×R ²
Tri-sectorisé	Scell=1.95×2.6×R ²

Tableau. 4. Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs [30]

$$\text{Scell}=1.95 \times 2.6 \times R^2 = 1.95 \times 2.6 \times (0.948)^2 \quad (14)$$

$$\text{Scell}= 4.556$$

Enfin, le nombre de sites basé sur la couverture est calculé comme suit :

$$\text{Nombre total de sites} = \frac{\text{Zone de déploiement}}{\text{La zone du site}} \quad (15)$$

Considérant la couverture de la zone densément peuplée autour du centre de la ville de Bordj Bou Arreridj est **81 Km²**

$$\text{Nombre total de sites} = \frac{81}{4.556} = \mathbf{17 \text{ sites sont requis.}} \quad [30]$$

Remarque

Dans notre stage, on a constaté que dans la ville de Bordj Bou Arreridj, Algérie télécom n'a que 8 sites qui sont pleinement saturés. Pour avoir une couverture maximale de réseau 4G, il faut atteindre un nombre de 15 à 18 sites, c-à-d le nombre des sites proposé par notre étude est logique et satisfaisant.

3. Optimisation

La phase d'optimisation du réseau est la dernière étape du processus, et elle nous permet d'assurer que les clients sont satisfaits et que les exigences QoS sont respectées. Il s'agit de comparer les résultats de dimensionnement (couverture et capacité) et de ne retenir que ceux avec le plus grand nombre de sites. [31]

4. Conclusion

Nous avons discuté dans ce chapitre le principe de dimensionnement de réseau LTE, ainsi le bilan de liaison et le choix de modèle de propagation. Ces derniers sont avérés et cruciaux dans la procédure de planification des zones radio.

Ce qui est important dans notre étude est le calcul du nombre de sites qui est la base de la partie de simulation.

Chapitre III :

Simulation sur

ATOLL

1. Introduction

La simulation de réseau mobile est une technique dans laquelle un simulateur (logiciel) modélise le comportement du réseau. La mise en réseau nécessite l'utilisation d'outils informatiques, plus précisément de logiciels de planification ou d'ordonnanceurs.

Il existe de nombreux planificateurs de réseau, notamment Atoll, Nokia Planer, Siemens Planer, Ericsson Planer, etc. [31]

Dans ce chapitre on va effectuer une simulation de réseau 4G LTE d'Algérie télécom, sur le logiciel Atoll afin d'assurer une bonne couverture dans la ville de Bordj Bou Arreridj.

2. Présentation de logiciel atoll

Atoll est un multi-technologie sans fil conception et optimisation du réseau plateforme qui prend en charge le sans-fil opérateurs sur l'ensemble du réseau cycle de vie, de la conception initiale à densification et optimisation. [32]

Planification et optimisation fondées sur les prévisions et les mesures, Les capacités uniques d'Atoll comprennent l'utilisation de prédictions et de données réseau en direct (2G, 3G, 4G et futur 5G) tout au long du processus de planification et d'optimisation du réseau.

Atoll intègre des données de réseau en direct multi-technologies (KPI et UE/traces de cellules) pour ajouter des informations du monde réel afin de permettre une meilleure modélisation de l'évolution du trafic, l'identification des points chauds de la circulation (cartes thermiques) et l'accord des données de propagation. Les données en direct peuvent également être utilisées pour piloter le processus de planification (sélection de petites cellules) et pour piloter les algorithmes d'optimisation de l'AFP et de l'ACP. [33]

Le logiciel utilise diverses données d'entrée et vous permet de sélectionner le type de données que vous souhaitez utiliser. Réseau de dimensionnement (GSM, UMTS ou LTE) qui a des paramètres différents selon l'application. La technologie choisie permet de définir le modèle de propagation, le type d'antenne et d'autres paramètres.

Les caractéristiques des sites Web...

Enfin, une fois le réseau planifié, l'outil ATOLL peut être utilisé pour créer des multiples prédictions, par exemple :

- Les couvertures sont faites en fonction du niveau du champ.
- Protection de l'émetteur.
- La capacité de la cellule est prévue. [34]

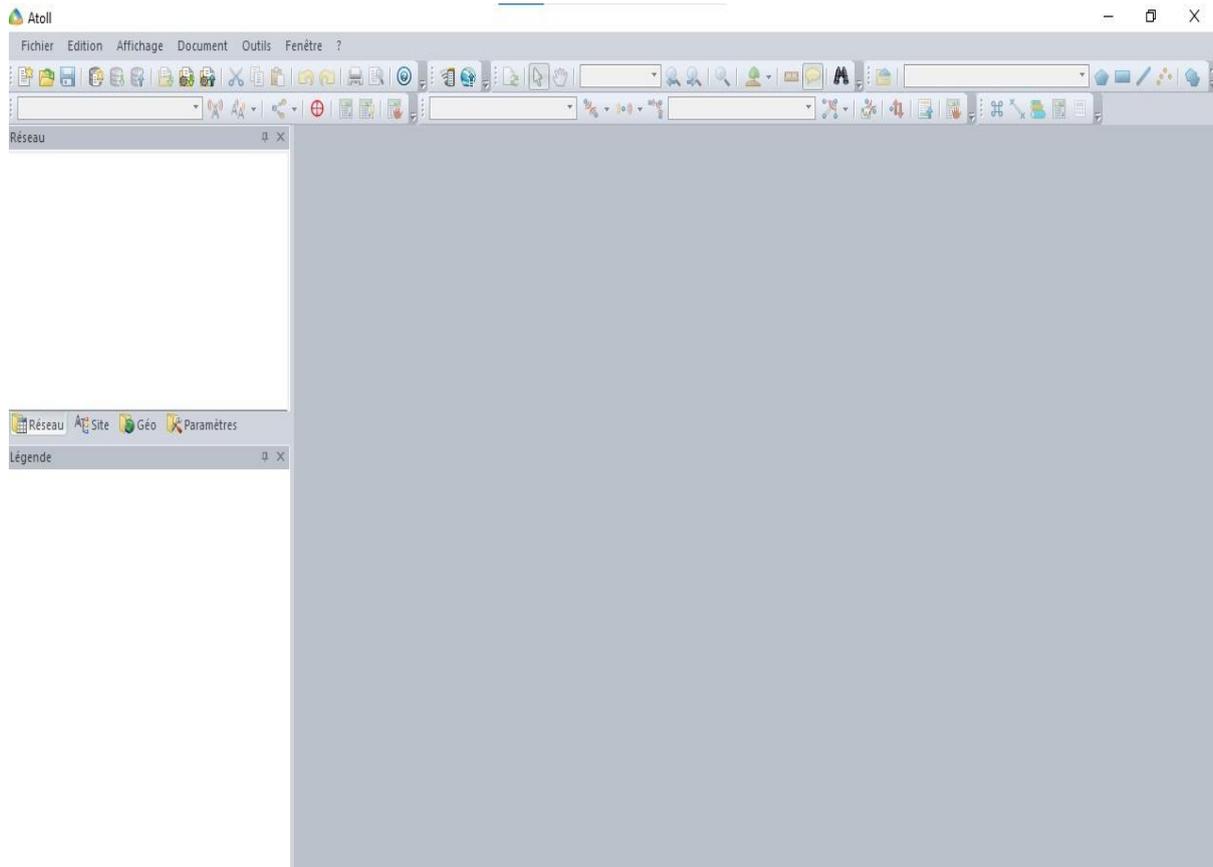


Figure. 15. La fenêtre de logiciel atoll

3. Démarrage d'un projet Atoll

3. 1. Ouverture d'un nouveau projet

Lorsqu'on ouvre un nouveau projet sur Atoll en utilisant la commande "fichier", on doit d'abord créer un modèle.

Nous travaillons sur un modèle qui a les données et la structure de fichiers nécessaires pour la technologie que nous voulons utiliser, parce qu'une fois que nous ouvrirons le nouveau projet Atoll, nous en aurons plusieurs. CDMA200 1xRTT, UMTS HSPA et GSM sont parmi les modèles proposés par cette société. Wi-Fi, WiMAX, LTE, GPRS EDGE, Microwave Radio Link, GPRS EDGE...

Comme les paramètres radio diffèrent selon le type de projet, chaque modèle fournit des données pour la technologie appropriée. Nous utiliserons le modèle LTE pour notre projet parce que c'est ce qui est utilisé pour modéliser la quatrième génération (4G).

Parce que le logiciel Atoll a un modèle pour chaque technologie, nous pouvons créer un document Atoll pour chaque modèle.

Pour créer un nouveau document à partir d'un modèle, suivez les étapes ci-dessous :

Sélectionnez Fichier — Nouveau — A partir d'un modèle de document — LTE. [31]

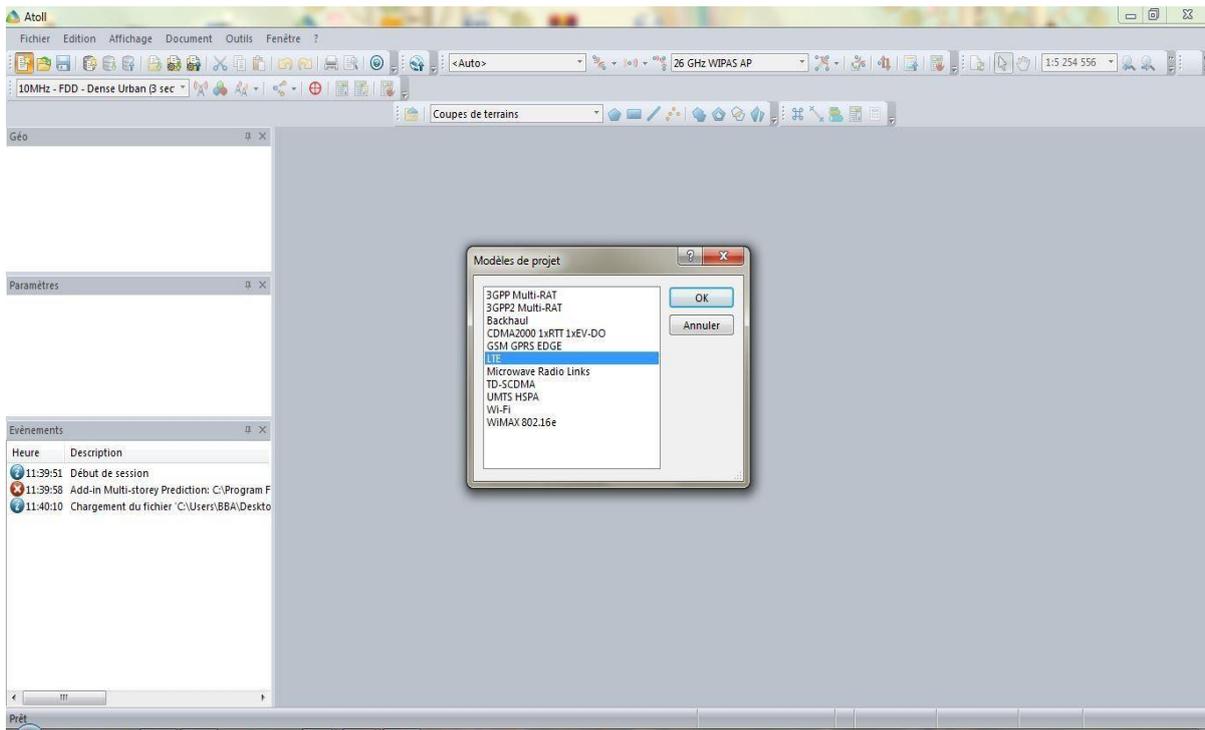


Figure. 16. Nouveau document Atoll avec le modèle LTE

Réglage des paramètres de la zone

Pour régler les paramètres de la zone il faut suivre les étapes suivantes :

Sélectionnez — Document — Propriétés

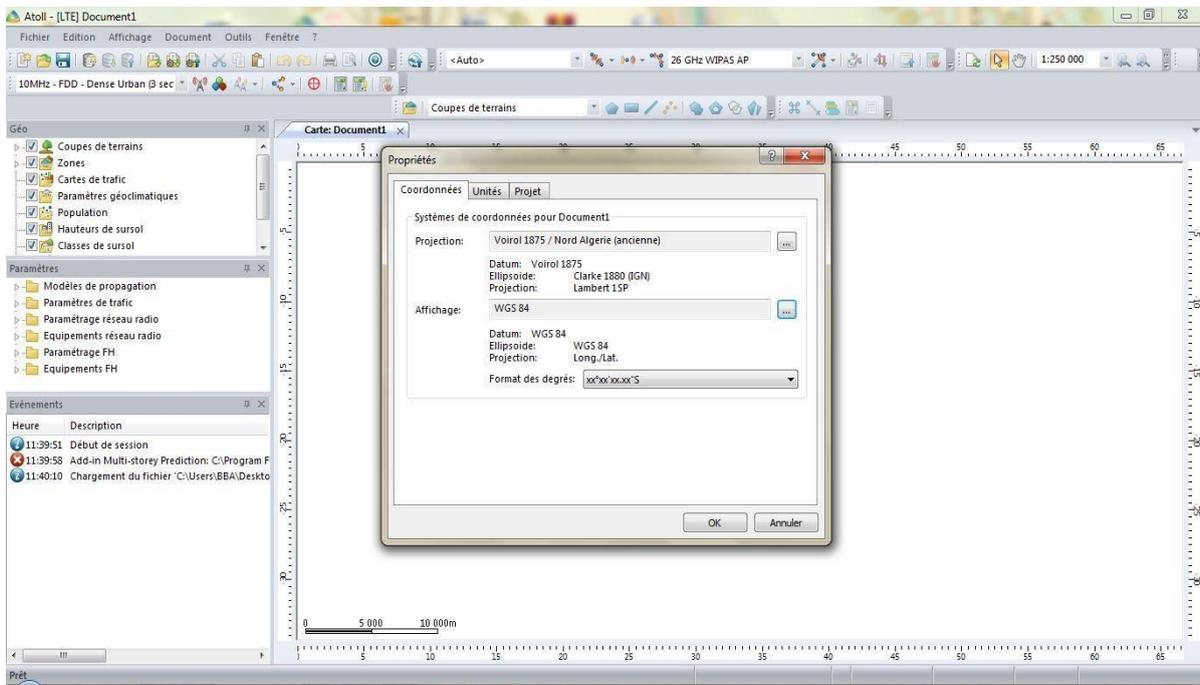


Figure. 17. Réglage des paramètres de projection et de formats

- Projection : Voirol 1875 / Nord Algérie (ancienne)
- Affichage : WGS 84 (c'est la projection UTM sur le système géodésique WGS 84)
- Format des degrés : xx°xx'xx.xx"S (indique le format de latitude et de longitude des sites)

3. 3. L'ajout des mappes :

Pour ajouter la carte d'Algérie on suit les étapes suivantes :

Sélectionner Géo — importer — sélectionner le fichier de la carte — clutter — classe de sursol



Figure. 18. Le choix de clutter

Sélectionner Géo — importer — sélectionner le fichier de la carte — height — altitude



Figure. 19. Le choix de height

Sélectionner Géo — importer — sélectionner le fichier de la carte — vectors — vecteurs — importer

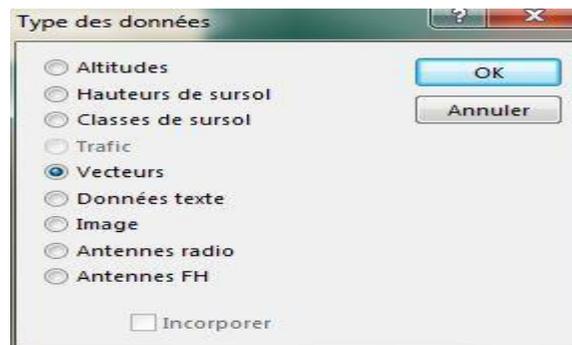


Figure. 20. Le choix de vectors

Après la mappe d'Algérie sera afficher comme le montre la figure suivante :

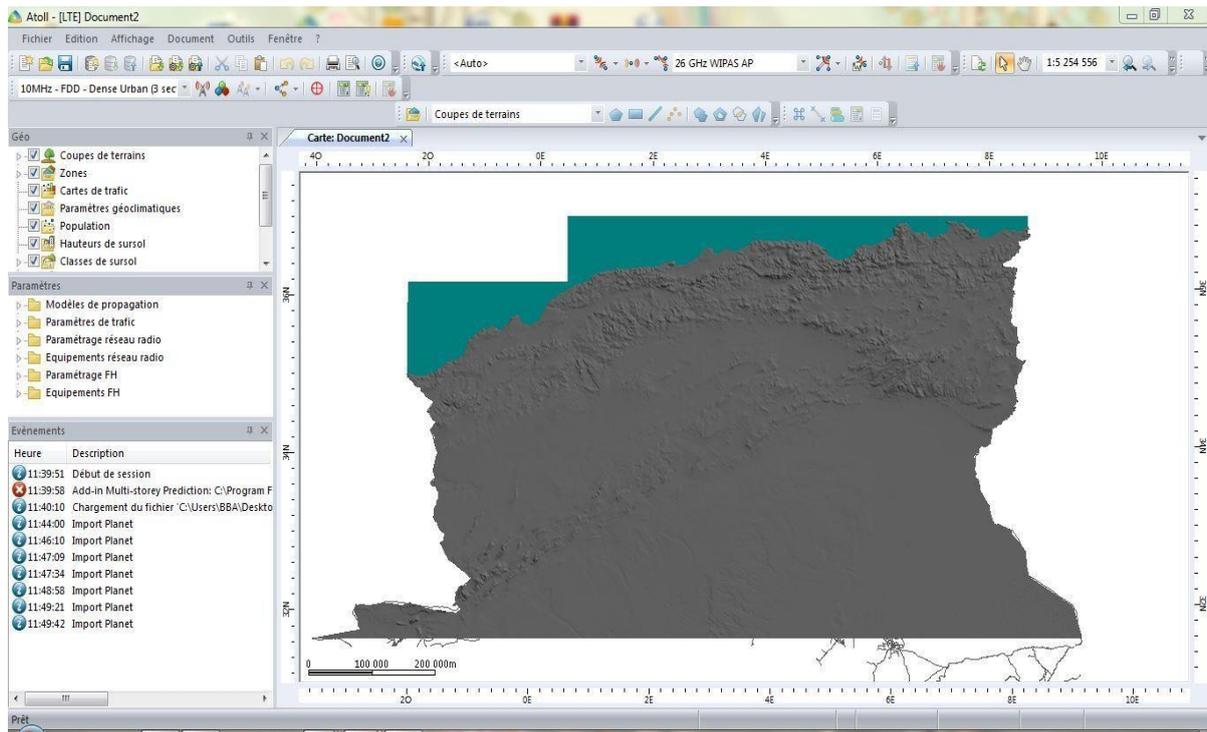


Figure. 21. L'affichage de la mappe d'Algérie

Ainsi pour importer une carte en ligne il faut suivre les étapes suivantes :

Sélectionnez Géo — cochez carte en ligne — insérez une nouvelle carte

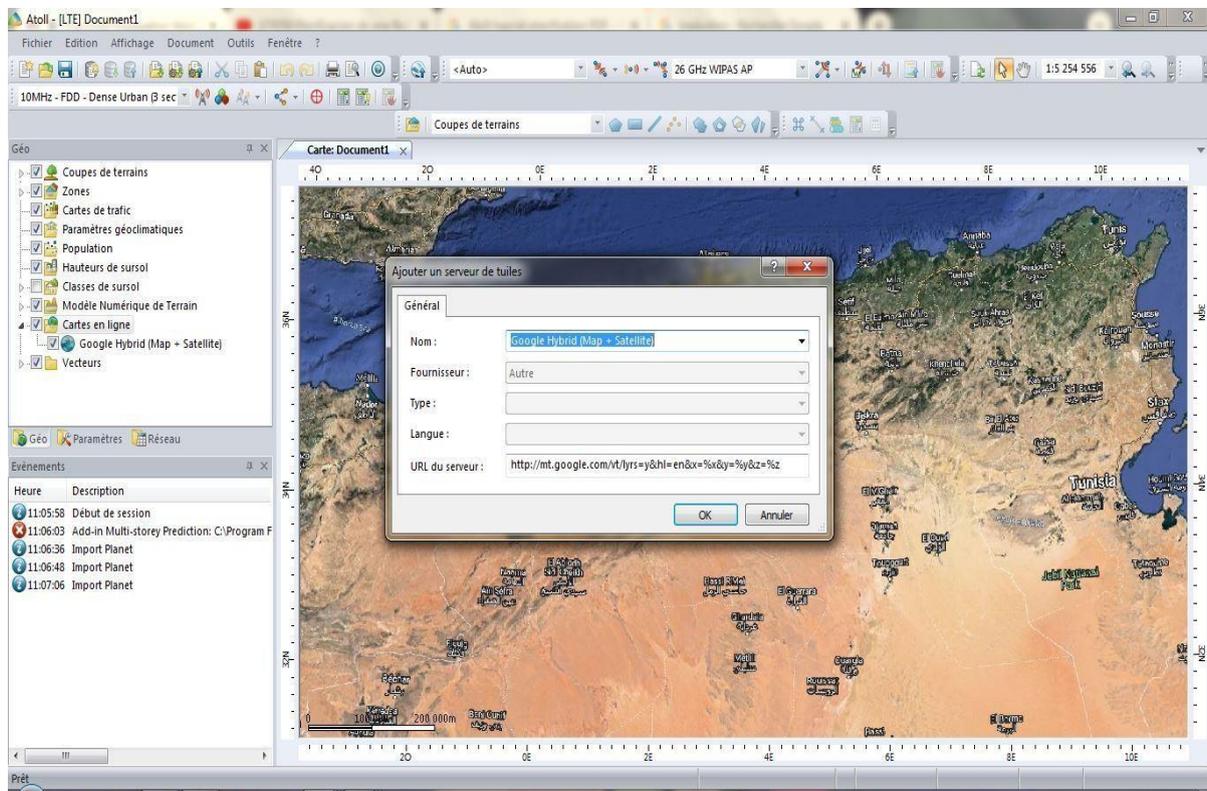


Figure. 22. L'ajout d'une mappe au niveau document

Dans notre projet, nous allons importer une mappe d'Algérie et là superposer sur la mappe en ligne, comme le montre la figure :

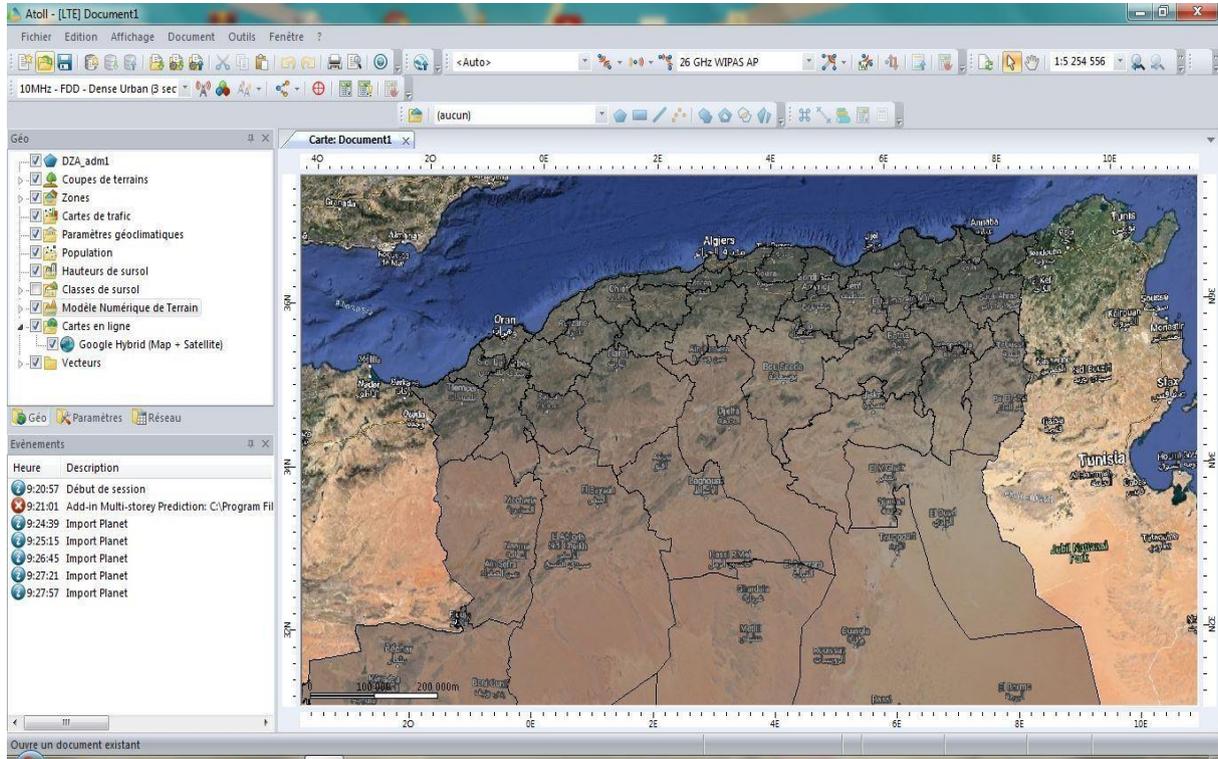


Figure. 23. La superposition de la mappe d'Algérie sure la carte en ligne

La zone qui doit être couverte est défini sur la figure suivante :

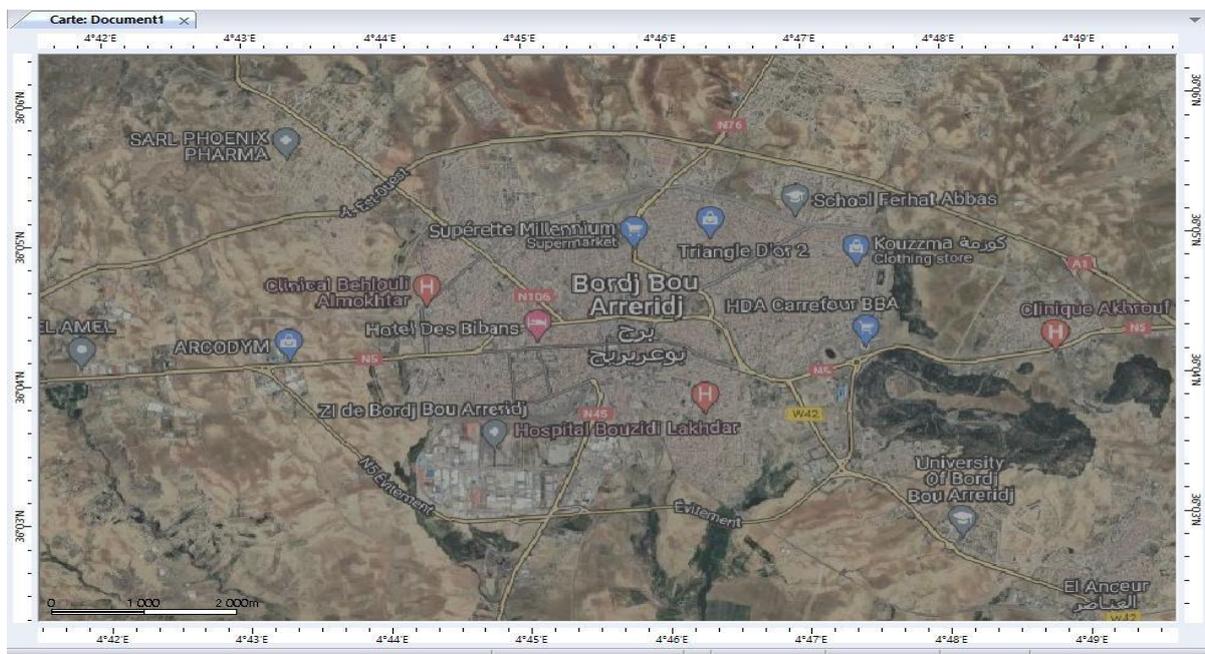


Figure. 24. Vue aérienne de la ville de Bordj Bou Arreridj

3.4. Etude du cas de la ville Bordj Bou Arreridj

Dans ce cas, nous allons créer une simulation de couverture radio dans la ville de Bordj Bou Arreridj. Le but de cette simulation est d'obtenir une bonne représentation de la ville de Bordj Bou Arreridj pour assurer un haut niveau de qualité de service

- En premier on a sélectionné la ville de Bordj Bou Arreridj après on a fait la prédiction par le bouton hexagonal pour prédire l'emplacement des sites dans notre zone cible.

On obtient cette prédiction comme le montre la figure ci-dessus :

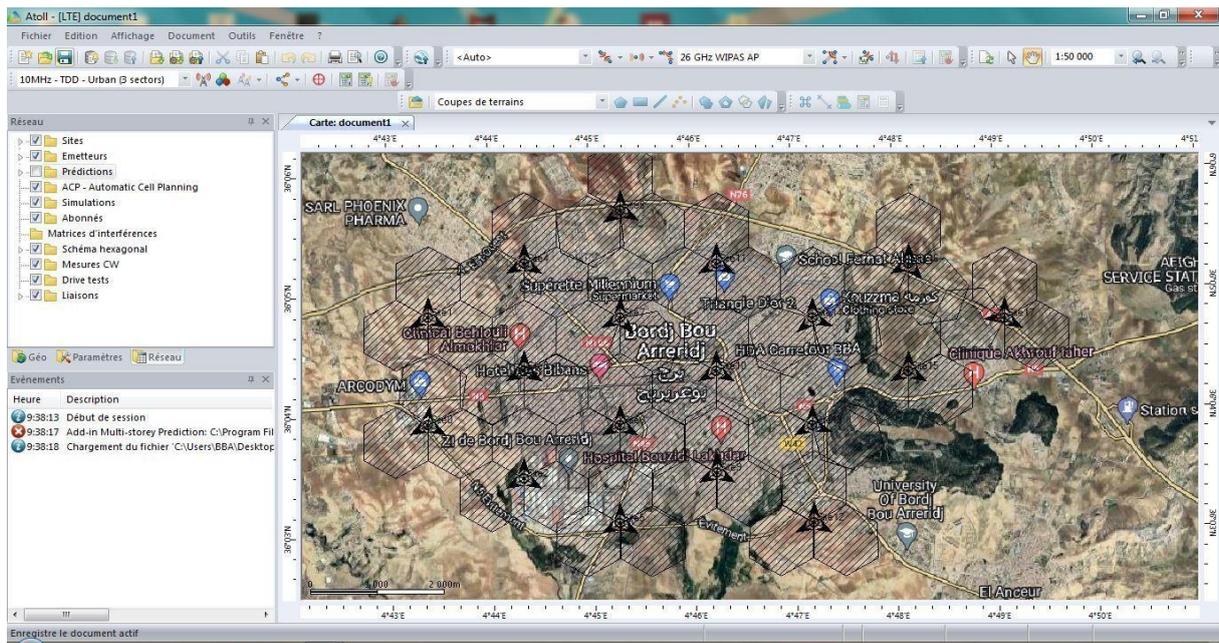


Figure. 25. La prédiction de positionnement des sites par le bouton schéma hexagonal

- Deuxièmement à faire la prédiction de couverture par niveau de signal on obtient cette figure :

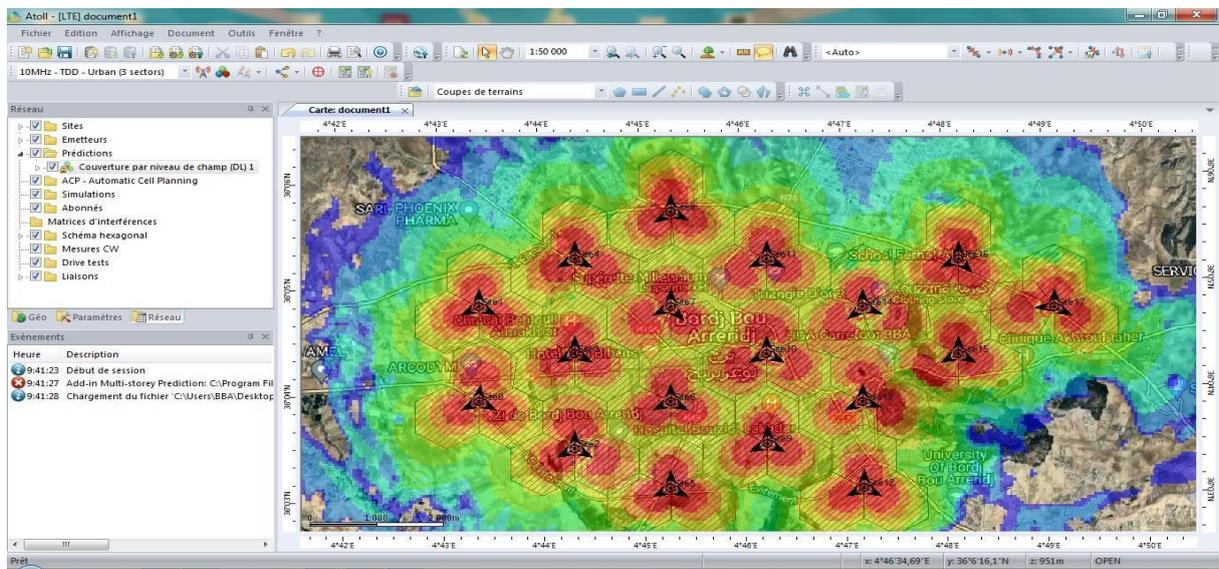


Figure. 26. La prédiction d'une couverture par niveau de signal

- Troisièmement la prédiction de couverture par émetteur :

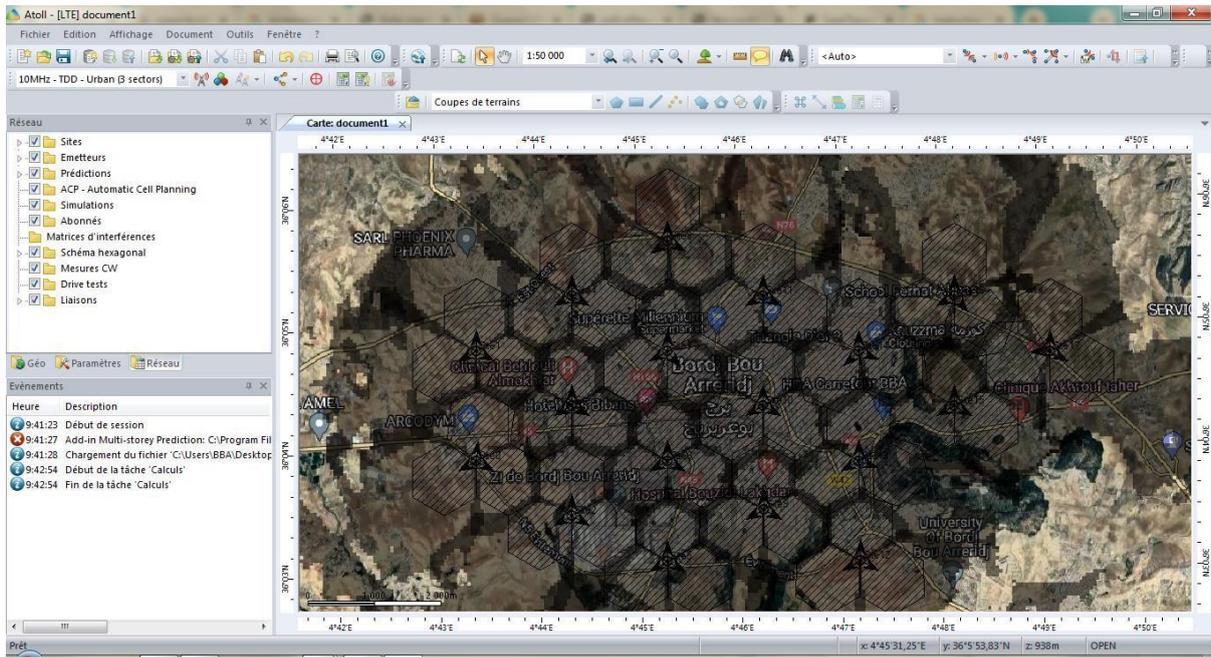


Figure. 27. La prédiction de la couverture par émetteur

3. 4. 1. Création de site

Le site eNodeB est défini dans Atoll comme l'emplacement géographique d'un ensemble de capteurs chacun avec son propre ensemble de paramètres.

- On premier on choisir le modèle de propagation dans notre étude c'est le modèle cost hata :

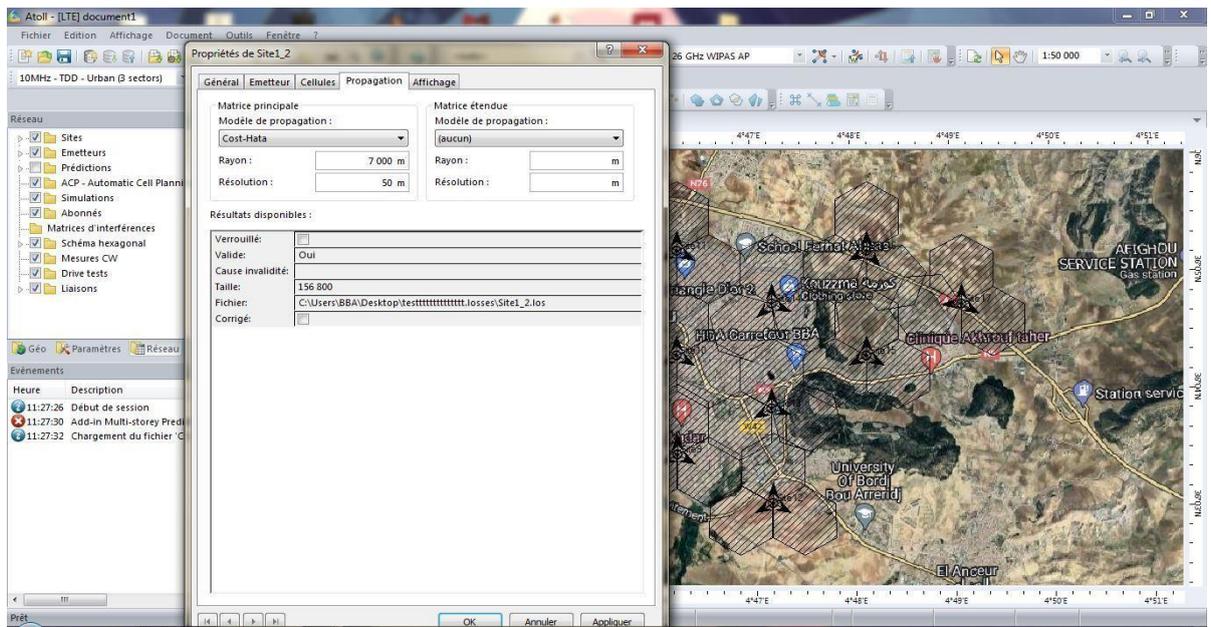


Figure. 28. Le choix de modèle de propagation

- Le réglage des caractéristiques d'émetteur de chaque site :

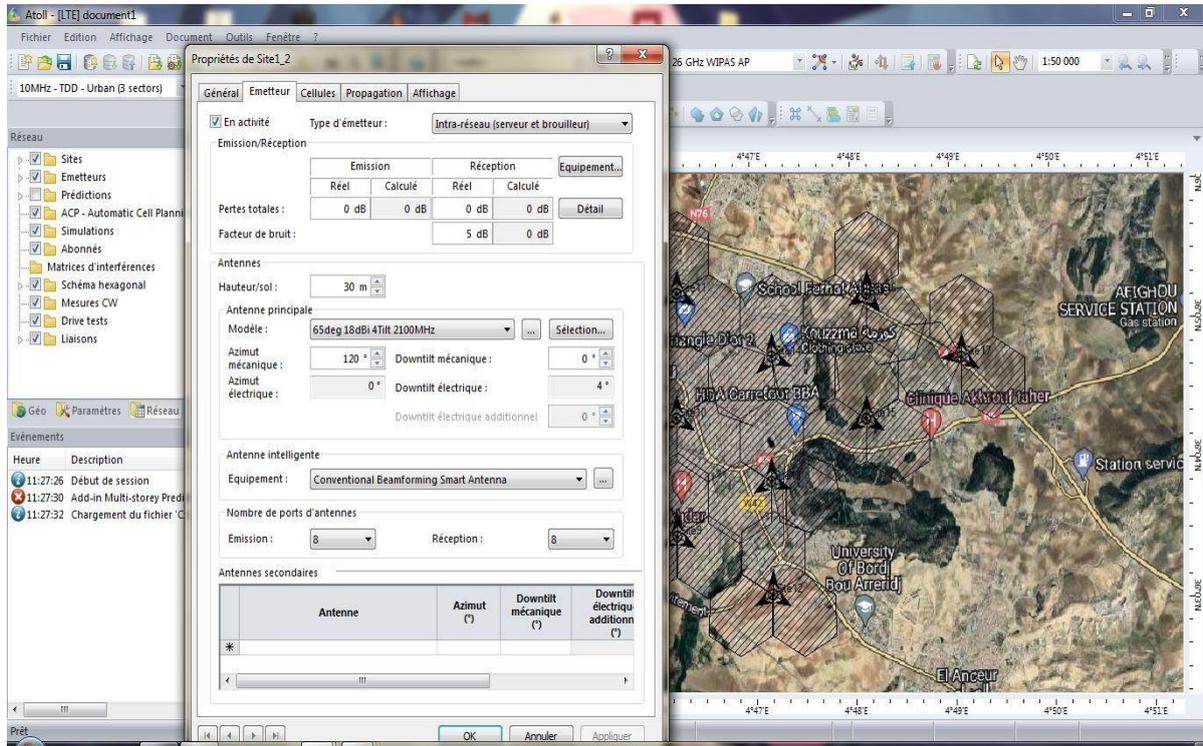


Figure. 29. Le réglage des paramètres de site

- La Création d'une cellule :

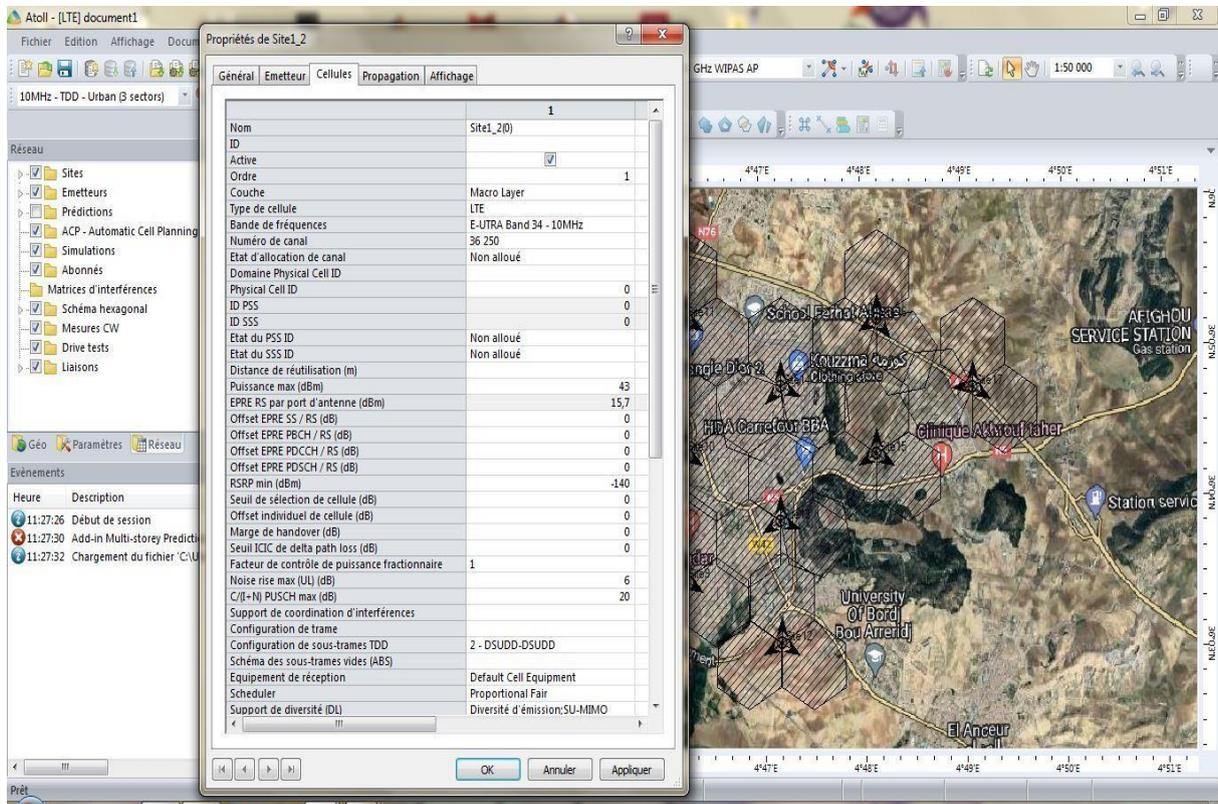


Figure. 30. Le réglage des paramètres de cellule

4. Notre étude

L'objectif primaire de cette simulation est de positionner les sites dans un bon emplacement pour avoir une meilleure couverture du réseau 4G d'Algérie télécom dans la ville de Bordj Bou Arreridj.

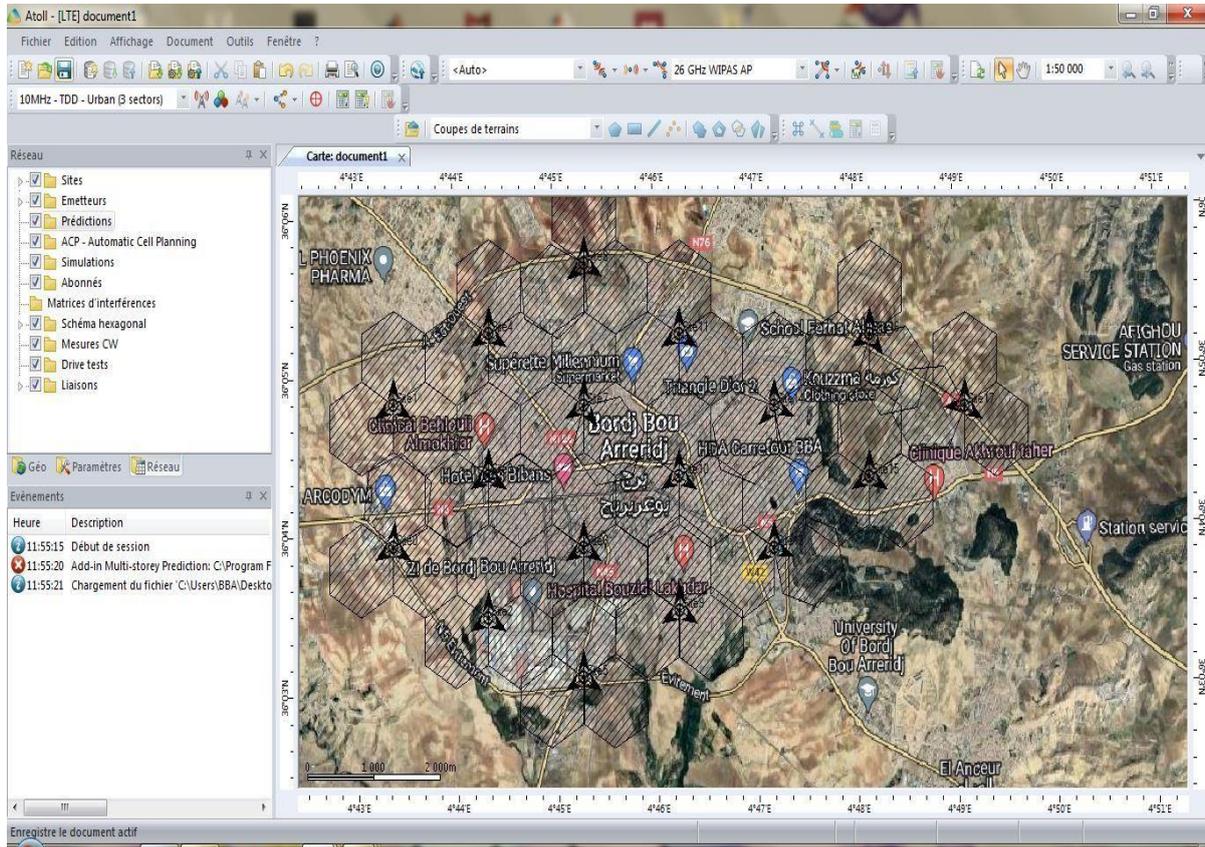


Figure. 31. Le positionnement des sites dans la ville de Bordj Bou Arreridj

4. 1. Prédiction de couverture par niveau de signal

Pour faire la pré prédiction de couverture par niveau de signal il faut suivre les étapes suivantes :

- Réseau— prédiction— click droite— nouvelle prédiction —couverture par niveau du champ— calculer.

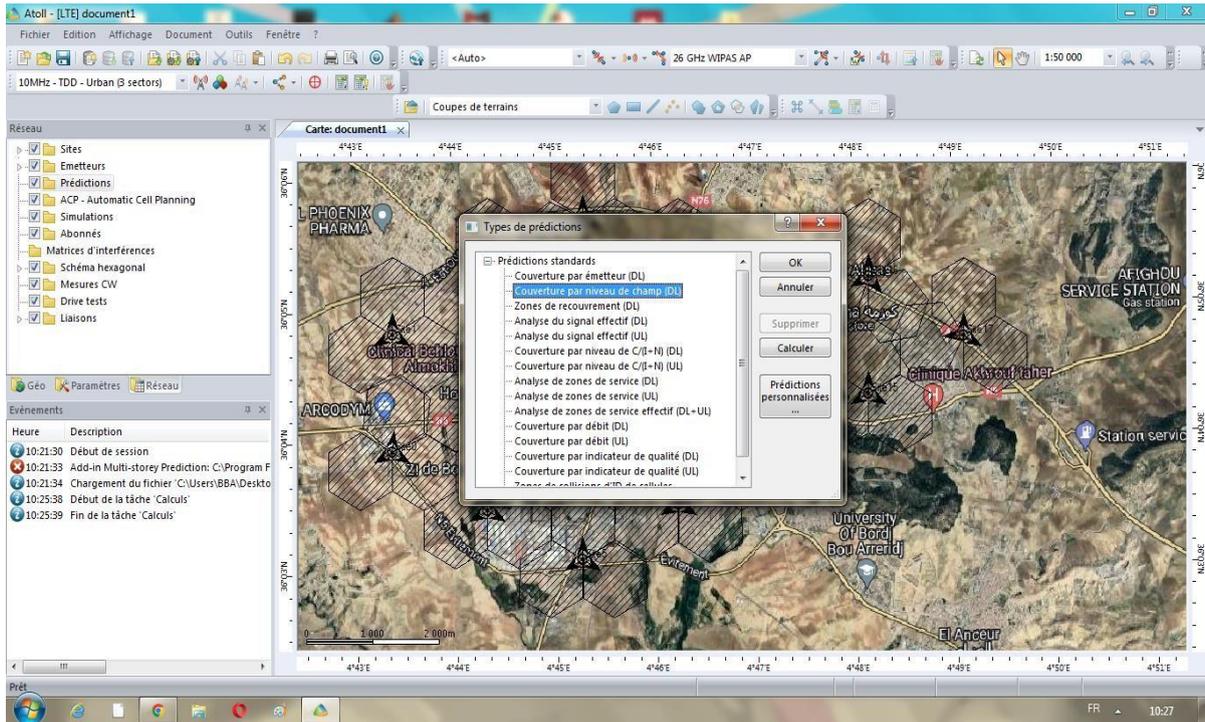


Figure. 32. Le choix de la prédiction

On obtient cette prédiction d'après la figure suivante :

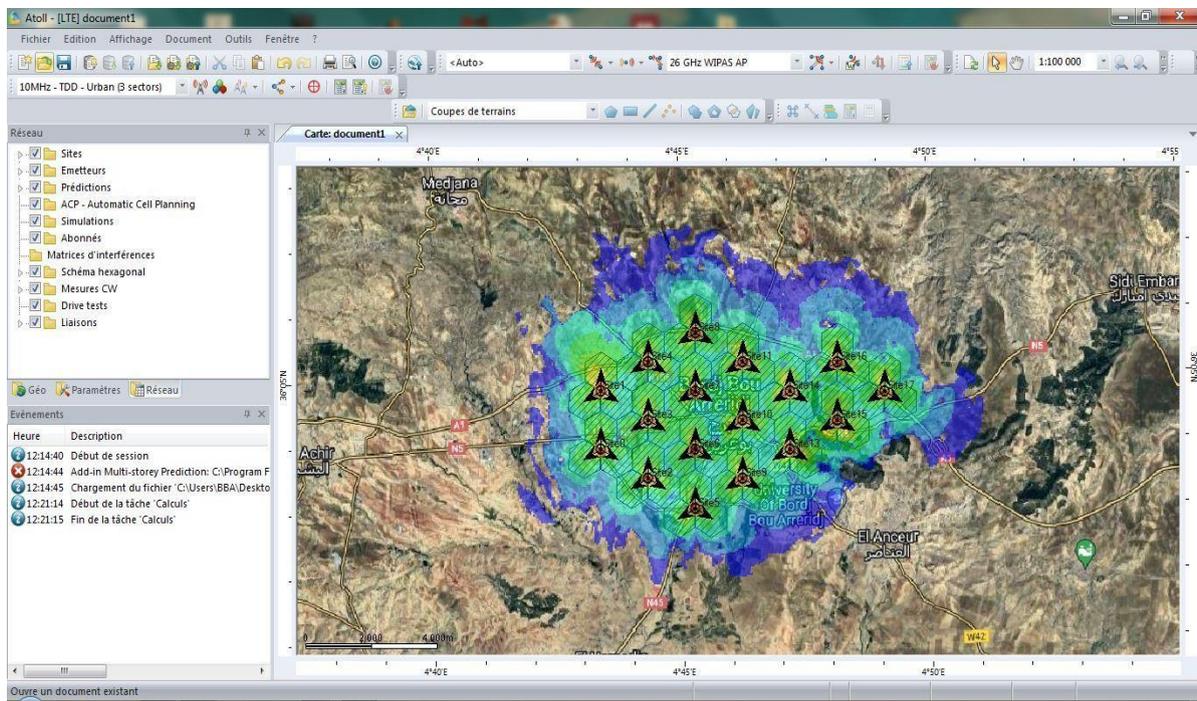


Figure. 33. La pré prédiction d'une couverture par niveau de signal

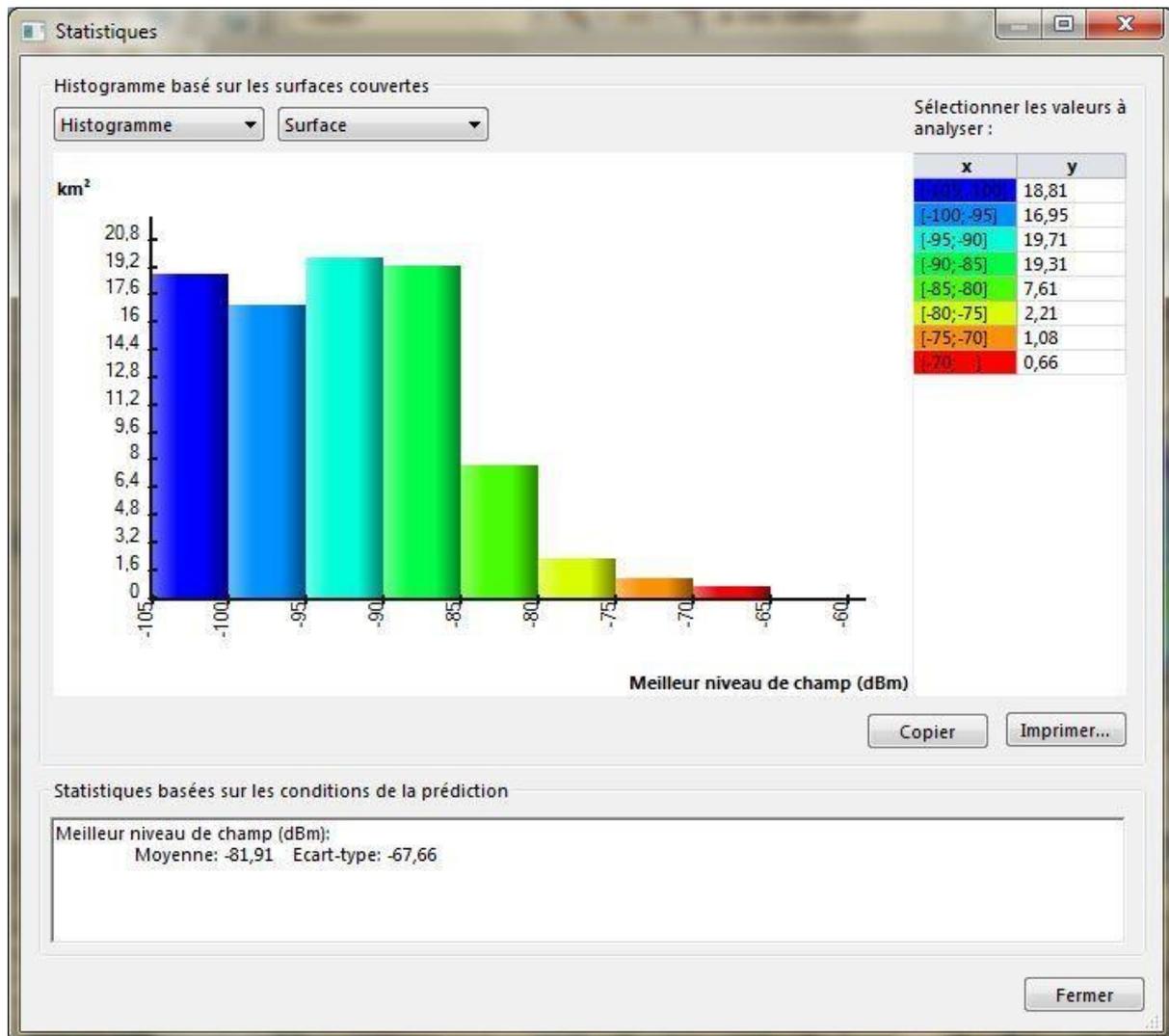


Figure. 34. Histogramme de la couverture par niveau de signal



Figure. 35. Légende de la prédiction de la couverture par niveau de signal

D'après la légende de prédiction et le résultat de la pré prédiction ont vu que la couverture de réseau est presque nulle, Le principal défi auquel il nous faut faire face est d'assurer une couverture suffisante dans les zones densément peuplées. Plusieurs paramètres liés aux émetteurs nous permettront d'atteindre nos objectifs, tels que :

- Changer la hauteur des émetteurs permet à l'onde de se propager au-delà des bâtiments, en évitant les effets d'un écran, c'est-à-dire les reflets causés par l'onde.
- L'azimut : nous permet de modifier l'orientation de l'antenne sur un plan horizontal pour mieux cibler la zone à couvrir.
- L'inclinaison (le tilt) peut être électrique ou mécanique. Son travail consiste à ajuster l'angle du lobe principal de l'émetteur par rapport à la verticale. [31]

Après faire les ajustements sur les paramètres des sites nous arrivons à cette prédiction :

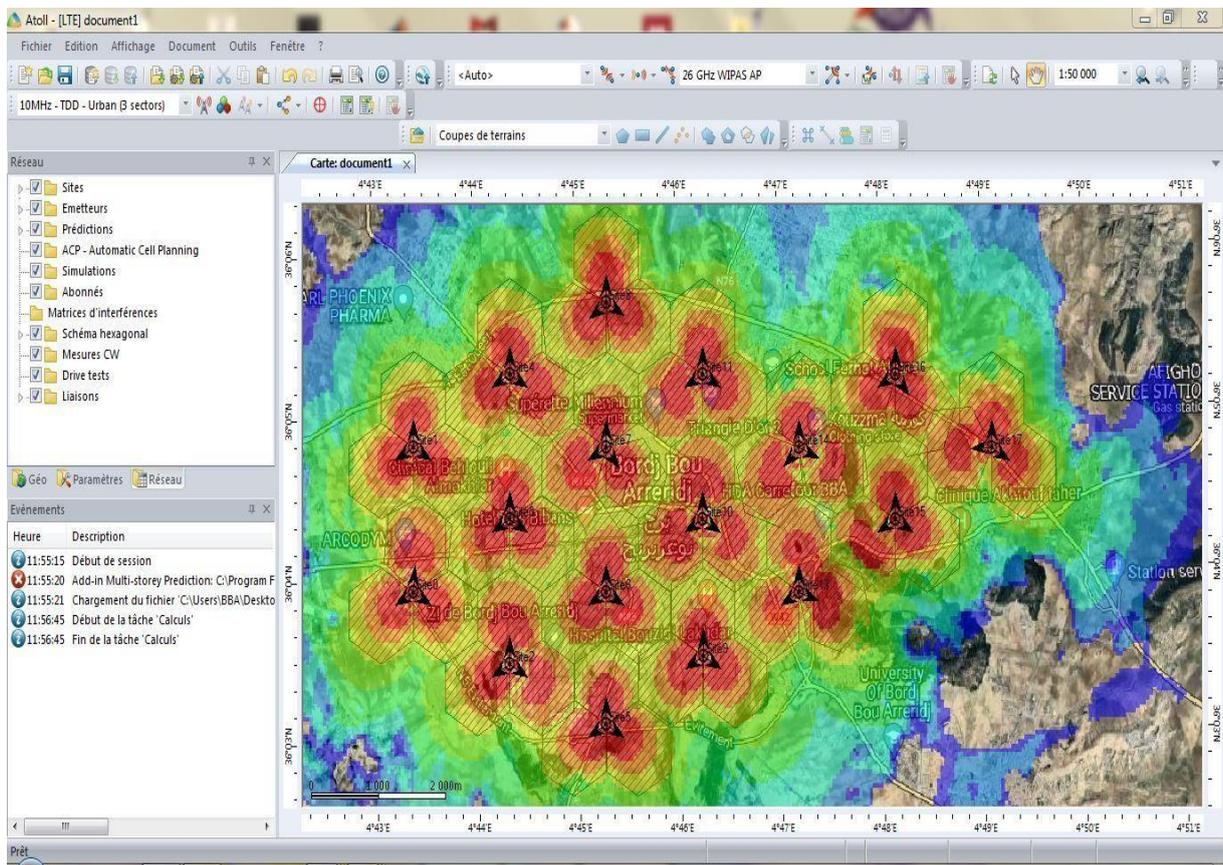


Figure. 36. La prédiction d'une couverture par niveau de signal

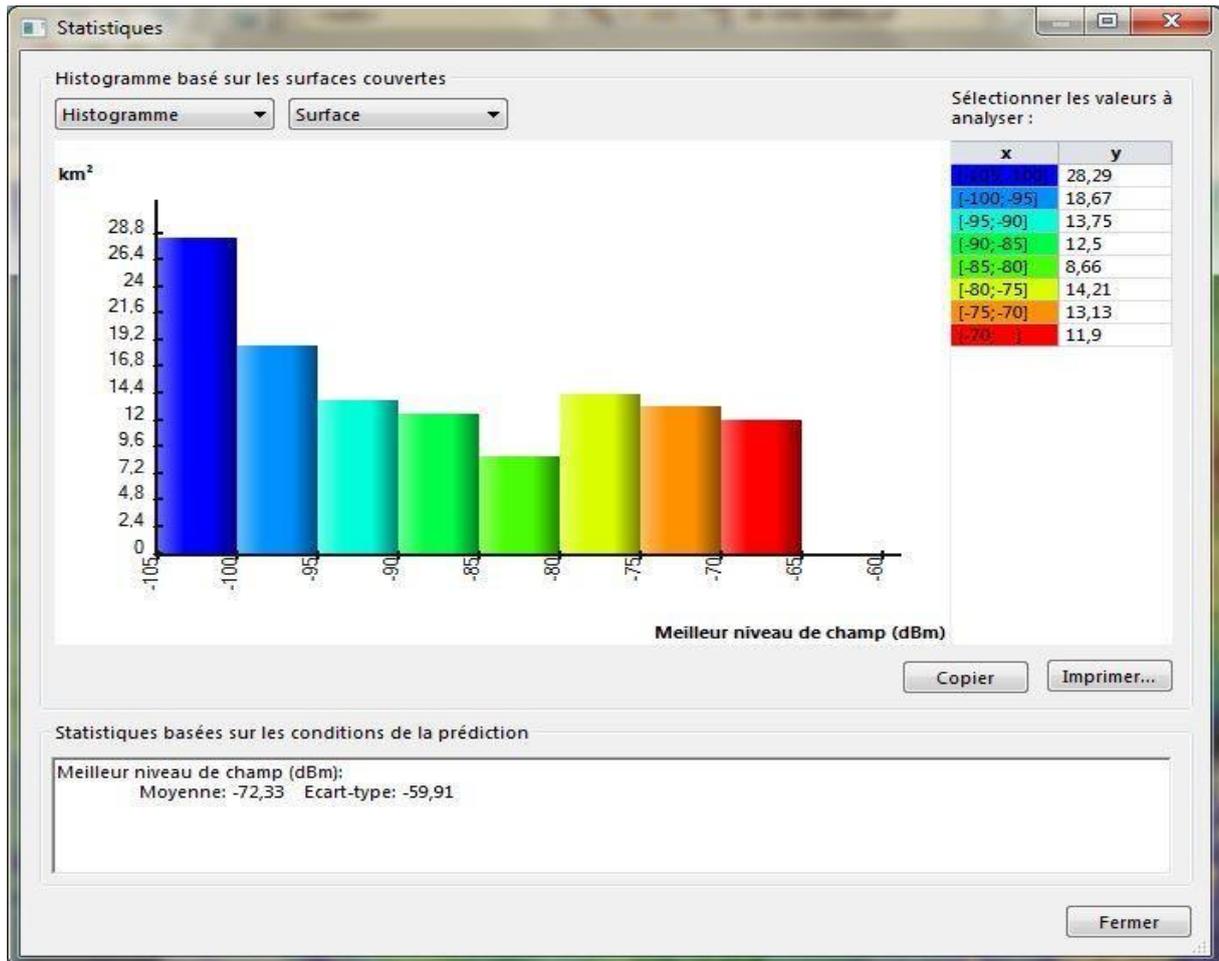


Figure. 37. Histogramme de la couverture par niveau de signal

Nous pouvons voir que les valeurs de puissance de signal les plus élevées sont concentrées autour des sites (les zones rouges), et que ces valeurs diminuent à mesure que nous éloignons des sites en raison de l'atténuation, comme le montrent les couleurs (jaune, vert, turquoise, bleu).

4. 2. Prédiction de Couverture par émetteur

Pour faire prédiction de couverture par émetteur il faut suivre les étapes suivantes :

- Réseau— prédiction— click droite— nouvelle prédiction —couverture par émetteur DL — calculer.

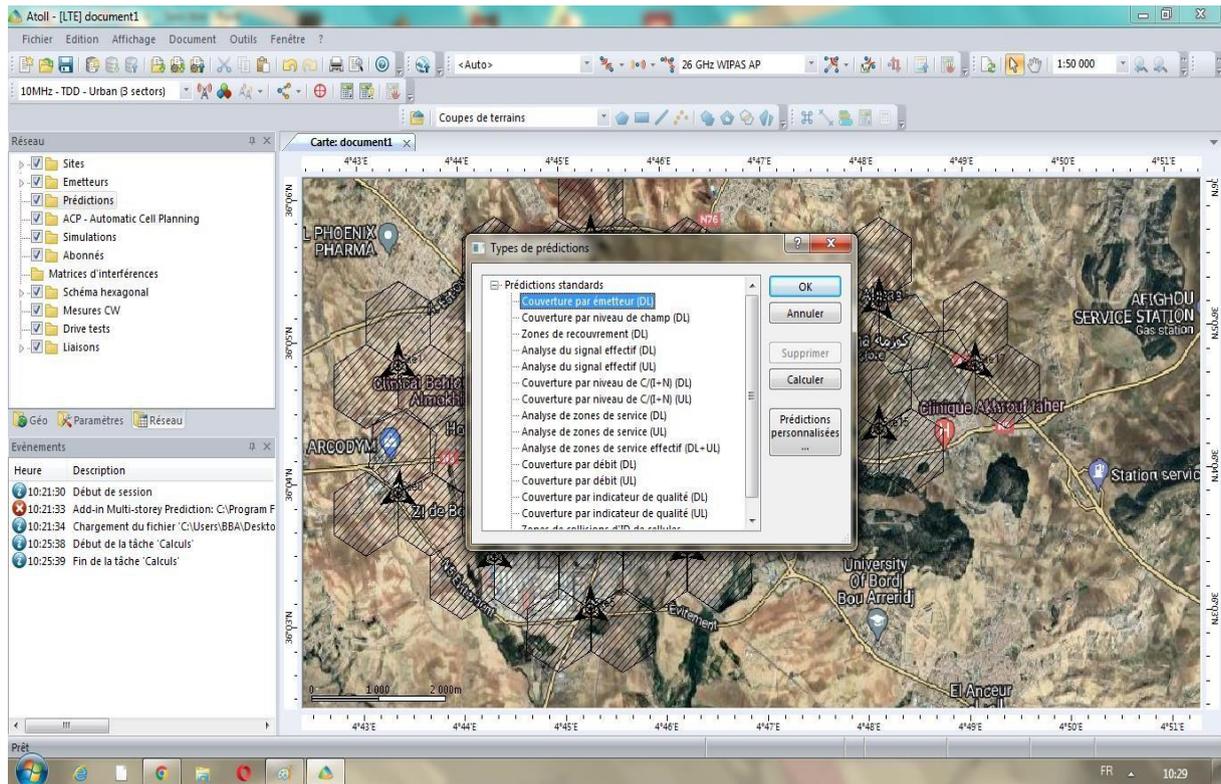


Figure. 38. Le choix de la prédiction

On obtient cette prédiction d'après la figure suivante :

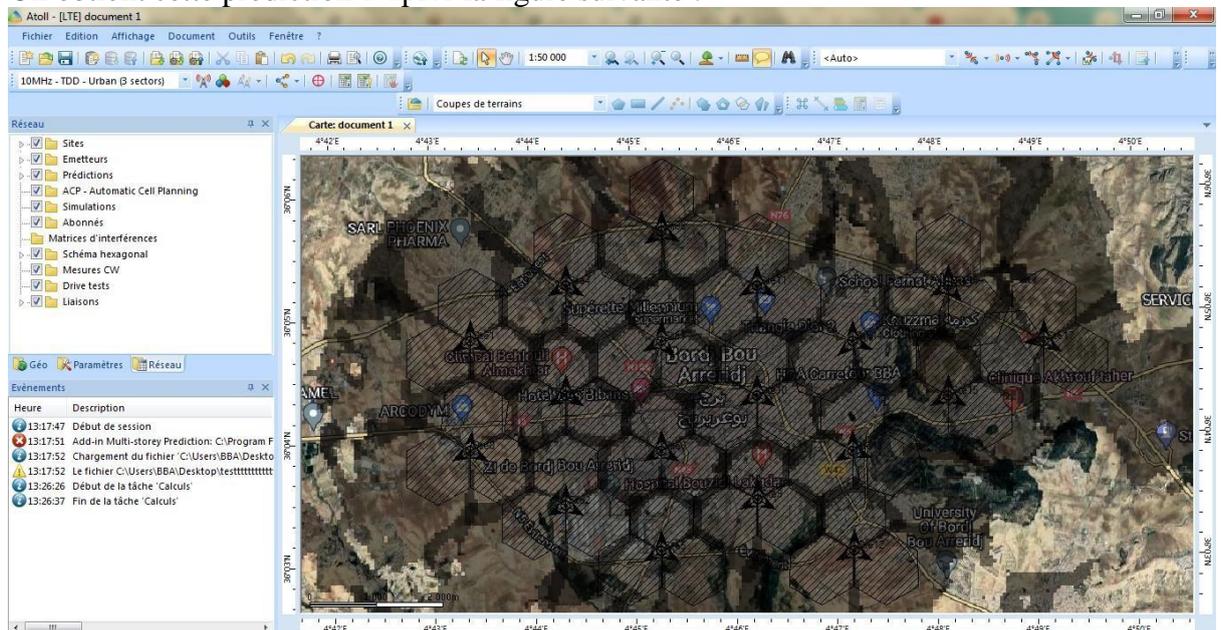


Figure. 39. Résultat de la prédiction de la couverture par émetteur

La Prédiction de la couverture par émetteur nous permet d'avoir une vue globale de tous les émetteurs du réseau qui est très utiles pour supprimer les émetteurs inutiles, ou supprimer des secteurs. Donc, pour diminuer le chevauchement, il faut supprimer des secteurs et parfois le site complètement.

D'après les changements qu'on a faits voilà la nouvelle prédiction :

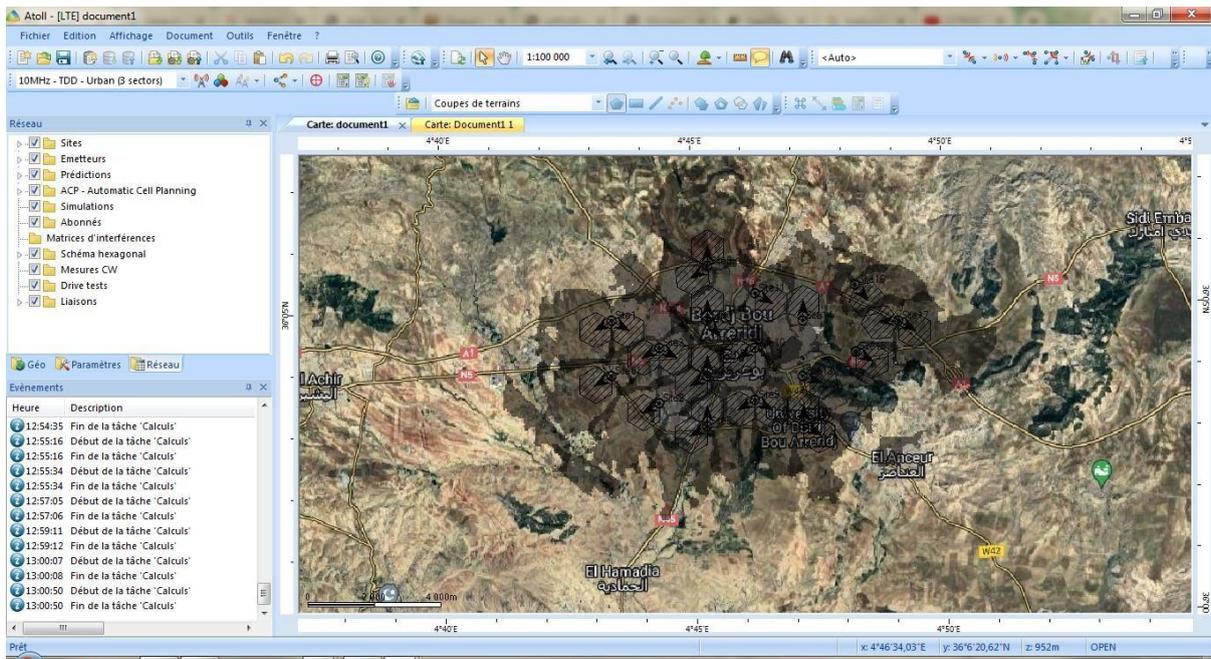


Figure. 40. Résultat de nouvelle prédiction de la couverture par émetteur

Le tableau des sites qui restent est présenté dans la figure suivante :

Nom	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Site0	4°43'22,28"E	36°3'56,15"	[905]
Site1	4°43'23,45"E	36°4'49,68"	[930]
Site10	4°46'14,18"E	36°4'20,42"	[903]
Site11	4°46'15,38"E	36°5'13,95"	[932]
Site12	4°47'10,34"E	36°3'4,27"N	[884]
Site13	4°47'10,68"E	36°3'52,81"	[900]
Site14	4°47'11,89"E	36°4'46,34"	[921]
Site15	4°48'15,11"E	36°4'15,66"	[914]
Site16	4°48'14,99"E	36°5'20,5"N	[941]
Site17	4°49'6,1"E	36°4'44,62"	[951]
Site2	4°44'18,79"E	36°3'28,56"	[887]
Site3	4°44'19,97"E	36°4'22,09"	[907]
Site5	4°45'15,63"E	36°3'5,54"N	[875]
Site6	4°45'16,48"E	36°3'54,5"N	[900]
Site7	4°45'17,67"E	36°4'48,02"	[921]
Site8	4°45'18,86"E	36°5'41,55"	[939]
Site9	4°46'13,29"E	36°3'30"N	[878]
*			

Figure. 41. Le tableau des sites restant dans la nouvelle prédiction de la couverture par émetteur

4. 3. Prédiction de zone de recouvrement DL

Pour faire prédiction de zone de recouvrement DL suivez les étapes suivantes

- Réseau— prédiction— click droite— nouvelle prédiction —zone de recouvrement DL— calculer.

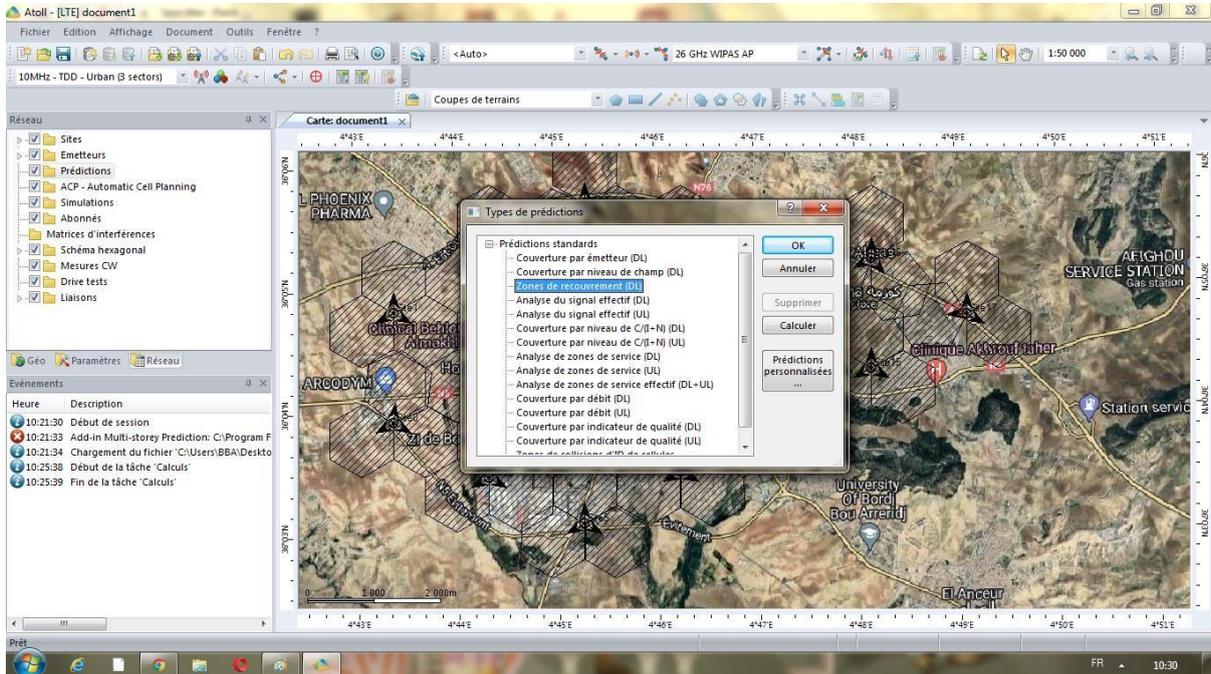


Figure. 42. Le choix de la prédiction

On obtient cette prédiction d'après la figure suivante :

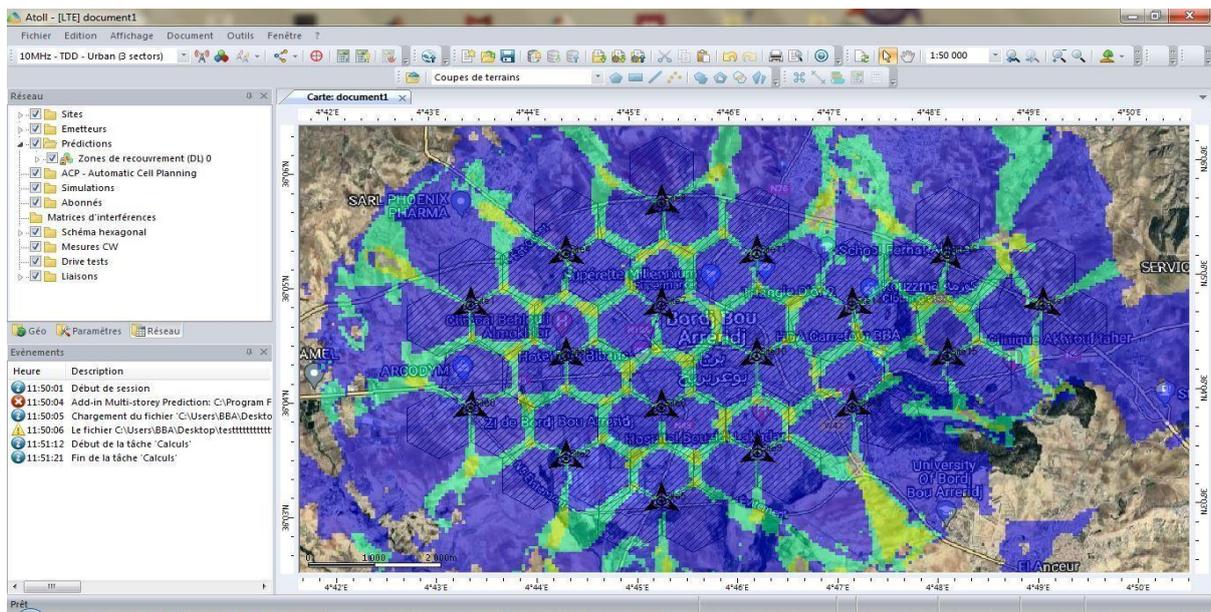


Figure. 43. Carte de recouvrement

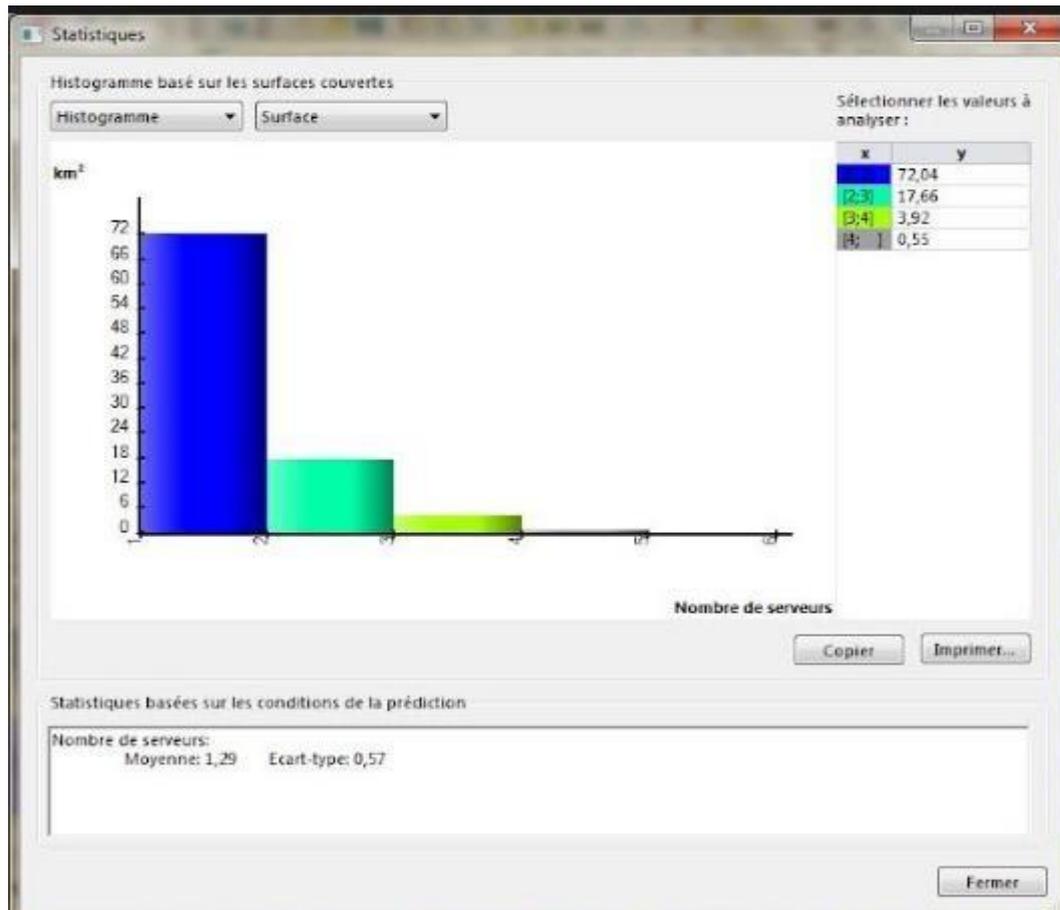


Figure. 44. Histogramme de la Carte de recouvrement

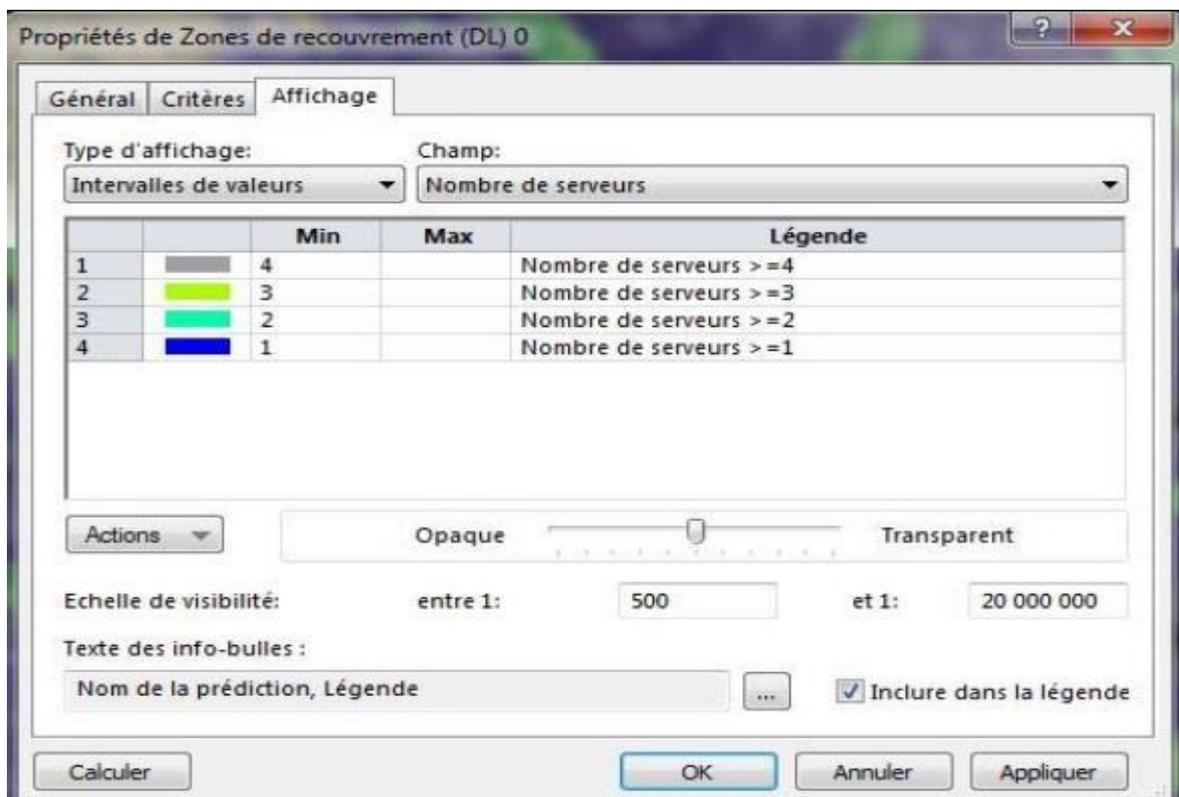


Figure. 45. Légende de la Carte de recouvrement

Les zones de chevauchement sont des zones couvertes par le signal d'au moins deux émetteurs, c'est pourquoi la simulation aboutit à une carte de couverture qui nous permet d'identifier les zones où le mobile sera couvert par un ou plusieurs émetteurs.

5. Analyse ponctuelle

L'utilisation de l'outil d'analyse ponctuelle est pour analyser le scénario de débit en bordure de cellule et tous les autres paramètres de liaison ascendante et descendante. [2]

Un exemple d'analyse ponctuelle de site 14-2 :

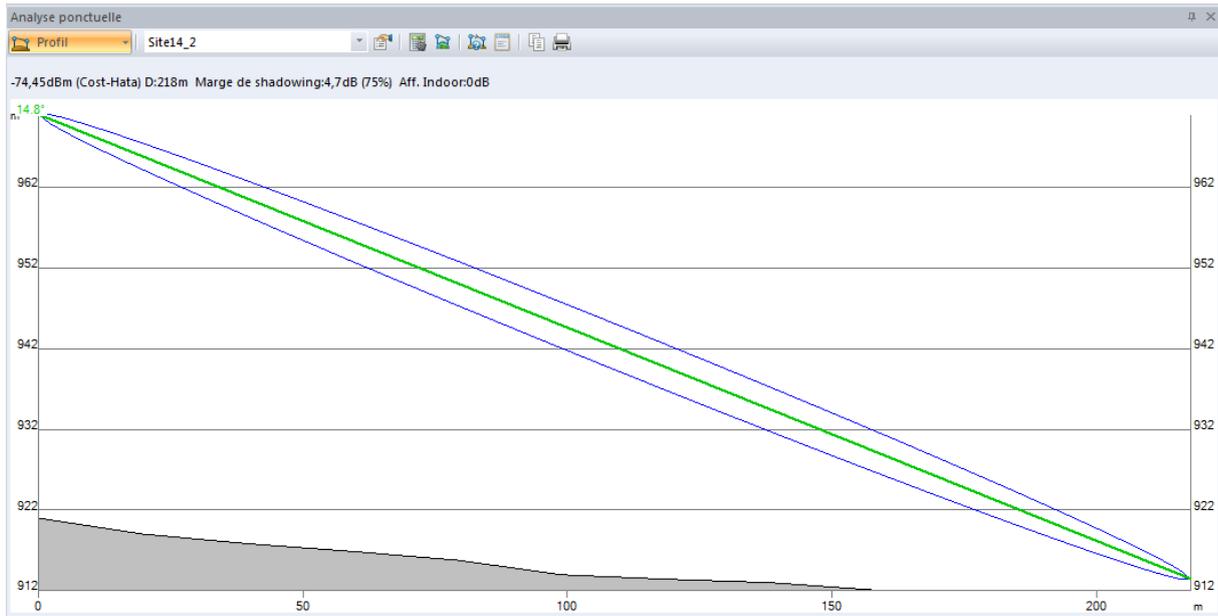


Figure. 46. Analyse ponctuelle de site 14-2

6. Conclusion

Dans ce chapitre de simulation, nous avons couvert la ville de Bordj Bou Arreridj avec l'outil Atoll, qui est une solution pour la planification du réseau qui prend en compte les emplacements, un modèle de terrain numérique, le paramétrage du site et l'élaboration du site accompagné d'un ensemble de cartes de prévision pour la couverture et la qualité du signal dans la zone géographique déployement. On peut voir que la ville est couverte dans la simulation.

Grâce à notre stage pratique et les informations que nous avons pu obtenir, nous arrivons à une meilleure simulation.

Conclusion Générale

La perspective de la planification de réseau de radio LTE est une tâche bien choisie et représente un sujet chaud dans la recherche actuelle.

Dans notre étude nous avons proposé l'étude du dimensionnement de la couverture de la région de la ville De Bordj Bou Arreridj par le réseau LTE dont la planification est effectuée à l'aide du simulateur Atoll.

On a commencé par donner des informations sur la 4^{ème} génération et la comparer avec les générations précédentes, aussi son architecture et surtout la représentation des informations obtenus dans le stage concernant les BTS ou eNodeB et ses fonctionnements, et puis la partie importante qui est le processus de dimensionnement qui est caractérisé par sa complexité, nous avons terminé ce processus par les calculs de nombre des sites optimisés.

À l'avenir, il faudra effectuer des recherches pour améliorer la planification de la technologie LTE à l'aide de logiciels et comparer certains emplacements.

Références bibliographiques

- [1] Nouradine Saïd Ali, “Etude de Transmission pour les réseaux LTE/4G, “ 2015-2016.
- [2] Marwa Elbagir Mohammed, Khalid Hamid Bilal, “LTE Radio Planning Using Atoll Radio Planning and Optimization Software, “Faculty of Engineering, EL-Neelain University, Khartoum, Sudan, Volume 3 Issue 10, October 2014.
- [3] Jim Zyren, “Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer,” 07/2007.
- [4] N.S Nkordeh, A.A.A Atayero, F.E Idachaba, O.O Oni, Members, IAENG, “LTE Network Planning using the Hata-Okumura and the COST-231 Hata Pathloss Models, “Proceedings of the World Congress on Engineering” 2014 Vol I, WCE 2014, London, U.K.
- [5] Ajay R. Mishra“ “Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimization 2G 2.5G3G... Evolution to 4G” 2007.
- [6] Okumura, Y. a kol, “Field Strength and its Variability in VHF and UHF L and Mobile Radio Service”, Rev. Elec. Comm. Lab, No.9-10, pp. 825 - 873, 1968.
- [7] DR. Hridaya Nand Sah, “A brief history of mobile generations and satellite wireless communication system,” Raja Singh College, Siwan, Bihar, India, Pin-841226, 2017.
- [8] Ms. Lopa J. Vora,” Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology,” Government Polytechnic, Ahmedabad,2015.
- [9] MD. Hasan Mahmud,” Cellular Mobile Technologies (1G to 5G) and Massive MIMO,” Pabna University of Science and Technology,2018.
- [10] <http://net-informations.com/q/diff/generations.html> 20.05.2022
- [11] <https://mobiletrans.wondershare.com/fr/5g/5g-meaning.html> 22.05.2022
- [12] Martin Sauter, “3G,4G and beyond: bringing networks”, devices and web together -2nd edition p.cm, 2013.
- [13] A. Hoikkanen, “Economics of 3G long-term evolution: the business case for the mobile operator”, IEEE Conference on Wireless and Optical Communications Networks, 2007.
- [14] Boushaki Oussama et Mosbah AbdElmouniem, “Dimensionnement et planification d’un réseau LTE, “ université Saad Dahleb Blida, 2019-2020.

Références bibliographiques

- [15]: Motorola Manual, “Long Term Evolution (LTE) A Technical Overview”, Texas 2010.
- [16] Aderemi A. Atayero, Matthew K. Luka, Martha K. Orya et Juliet O. Iruemi, “3GPP Long Term Evolution: Architecture, Protocols and Interfaces, “Covenant University, Nigeria, November 2011.
- [17] khelifi Salim Et haddad Aissa, “Planification et dimensionnement d’un réseau Mobile 4G/LTE, “ Département génie électrique, université Akli Mohand Oulhadj Bouira, 2018.
- [18] <https://yatebts.com/documentation/concepts/lte-concepts 4.06.2022>
- [19] Abdul Basit, Syed,” Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio, “, 2009.
- [20] Harri Holma and Antti Toskala, “HSDPA/HSUPA for UMTS,” 2006.
- [14] Boushaki Oussama et Mosbah AbdElmouniem, “Dimensionnement et planification d’un réseau LTE, “ université Saad Dahleb Blida, 2019-2020.
- [21] Ouari Yanis, “Modèle de propagation et de couverture de la 4G, “ Université A/Mira de Bejaïa, 2020.
- [22] Girma Abebe, “4G LTE Radio Network Dimensioning in Case of Adama City, “Adama science and technology university, March, 2019.
- [23] Garsha Sai Nitesh et AshnaKakkar, “Generations of Mobile Communication, “Amity University, India, Volume 6, Issue 3, March 2016.
- [24] Noman Shabbir, Muhammad T. Sadiq, Hasnain Kashif et Rizwan Ullah, “comparison of radio propagation models for long term evolution (LTE) network,” 2011.
- [25] Mardeni.R and T. Siva Priya (Corresponding author),” Optimized COST-231 Hata Models for WiMAX Path Loss Prediction in Suburban and Open Urban Environments, “.
- [26] James D. Gadze, Kwame A. Agyekum, Stephen J. Nuagah et E.A. Affum,” improved propagation models for LTE path loss préduction in urban and suburban Ghana,” 2019.
- [27] S. Rahmatia, A. A. Tanjung, O. N. Samijayani et W. N. Tanjung, “Network Planning Optimization of Long Term Evolution Radio Transmitter Using Taguchi’s Method, “University of Al Azhar Indonesia, 2018.

Références bibliographiques

- [28] K. Rouibah, M. Belabbas, “Applying Multi-Index Approach from Sentinel-2 Imagery to Extract Urban Areas in Dry Season (Semi-Arid Land in North East Algeria) “, USTHB (Houari Boumediene Sciences and Technology University).
- [29] Subharthi Paul, “Long Term Evolution (LTE) & Ultra-Mobile Broadband (UMB) Technologies for Broadband Wireless Access, “2008.
- [30] Tarek Touhami, “La mise en place d’un outil d’optimisation d’un réseau Advanced LTE Pour Tunisie Telecom, “2015.
- [31] Diarra Maïmouna, “Planification et Dimensionnement d’un réseau LTE, “ Faculté des Sciences et de la Technologie, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2020.
- [32] atoll, “ Wireless Network Engineering Software, ” version 3.4, forsk, 2019.
- [33] <https://www.teleres.com.au/products/network-planning-design/atoll> 7.06.2022
- [34] Abdelhak djouahra, “ Etude et simulation d’un réseau 4G sous logiciel Atoll, ” département d’électronique, université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2017.