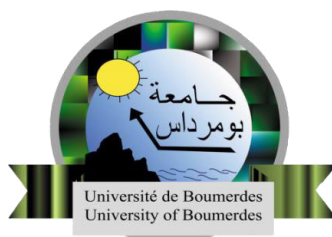


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Ingénierie des Systèmes Electriques

Mémoire de Master

Présenté par :

M^{lle} ABDELLAOUI Kahina

M^{lle} CHERFI Amira

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en Génie Electrique

Option : Génie Electrique

Spécialité : Electronique des Systèmes Embarqués

Thème

Solution de Design et d'Optimisation Radio dans le Réseau 4G/LTE

Président :	SMAANI Billel	M.C.B	UMBB
Promoteur :	NAFA Fares	M.C.B	UMBB
Examineur1 :	BOURKACHE Nourddine	M.C.B	UMBB
Examineur2 :	MOUATSI Abdelmalek	M.C.B	UMBB

Promotion Juin 2018



Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier notre **DIEU** notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur consultant **Dr. Nafa Fares**.

Nos plus grands remerciements et notre profonde gratitude à nos encadreur **M. M'hmed GRIBI, Mme Nada BOUCENNA et M. Ikbal MERIDJA** pour nous avoir diligentés tout au long de ce travail, pour leur compréhension, leur patience et leurs remarques qui nous ont été précieuses.

Comme nous tenons à remercier tout le personnel de **Radio. Access Network**.

Nous tenons à remercier également les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger et **évaluer notre** travail.

Amira & Kahina



DEDICACES

*Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis
Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri
Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys,
Nous prions dieu que cette soutenance
Fera signe de persévérance
Et que nous serions enchantés
Par notre travail honoré*

Je dédie ce travail à ...

Mes parents

*Affable, honorable, aimable : vous représentez pour moi le symbole de
la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du
dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.
Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que
vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me
donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge
adulte.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse
Dieu, le tout puissant, vos préserver et vos accorder santé, longue vie
et bonheur.*

A mes très chers frères et ma très chère sœur

*Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et
l'affection que je porte pour*

Vous.

Hiba, Moussa, Haroun, Yakoub

*Ainsi qu'à mes adorables neveux Hadil et Fatima. Que DIEU leurs
offre le bonheur.*

*A tous les membres de ma famille Cherfi, Ben Maza et Sayeh, petits
et grands*

A mon très chère Aymen ...

A mes chères amies

*Rachda, loubna, Zina, Asma 'a, Sara, wissem, Amel, Samiha, Sonia,
Amina, Meriem.*

A mes chers cousins et cousines

*Mouhsen, Samir, Hamza, Alla'a, Hichem, zakaria, Amine,
Housseem...*

*Kenza, Samia, wafa, Meriem, Sara, Ahlem, Imen, Ikram, Asma,
Yasmine, Hanane.*

A mes chers collègues de mon groupe MESE 16

A mon binôme Kahina

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon
affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères et des amis sur
qui je peux compter.*

Amira



DEDICACE

Je dédie ce mémoire à...

*Mes chers **parents** qui m'ont beaucoup aidés et qui se sont sacrifiés pour mon bien et qui m'ont encouragé et soutenu le long de ma vie et durant mon cursus;*

*A mes deux chers frères, **Mohammed et Djaffar** ;*

*A mes deux chères sœurs, **Wiza et Amina** ;*

A toute ma famille ;

A tous mes amis sans exception ;

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur ;

A toute la communauté universitaire, et le siège sociale de djezzy (Orascom Telecom Algérie)

à Dar el Beida (Alger) ;

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

ABDELLAOUI Kahina...



SOMMAIRE

Introduction	01
Chapitre I : Généralité sur les réseaux LTE	
I .1. Introduction	03
I .2. L'évolution des différents réseaux mobiles	03
I .2.1. La première génération des téléphones mobiles (1G)	03
I .2.2. La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....	03
I .2.2.1. L'évolution vers le GSM	04
I .2.2.2. L'évolution vers le GPRS	04
I .2.2.3. L'évolution vers le EDGE	05
I .2.3. La troisième génération des téléphones mobiles (3G)	05
I .2.3.1. L'évolution vers le HSPA	05
I .2.3.2. L'évolution vers le HSPA+	05
I .2.3.3. L'architecture UMTS	06
I .2.3.3.1. Le domaine à commutation de circuits (CS)	06
I .2.3.3.1. Le domaine à commutation de paquet (PS)	06
I .2.4. Le LTE (Long Term Evolution)	07
I .2.4.1. Les exigences pour le LTE	07
I .2.4.1.1. La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés	07
I .2.4.1.2. L'efficacité spectrale cellulaire	08
I .2.4.1.3. Les débits	08
I .2.4.1.4. La latence	08
I .2.4.1.5. L'agilité en fréquence	08
I .2.4.1.4. La mobilité	08
I .2.4.2. Architecture LTE	09
I .2.4.2.1. La partie radio E-UTRAN	10
I .2.4.2.2. EPC (Evolved Packet Core)	10
I .2.4.3. Modulation et codage adaptatifs	12
I .2.4.4. Les techniques d'accès multiples	12
I .2.4.4.1. Le mode d'accès OFDMA	12
I .2.4.4.2. Le mode d'accès SC-FDMA	13
I .2.4.5. Concept de bloc de ressources et éléments de ressources	14
I .2.4.6. Structure de la trame LTE	14

I .2.4.6.1. Structure de la trame LTE en mode FDD.....	14
I .2.4.6.2. Structure de la trame en mode TDD.....	15
I .2.4.7. Présentation générale du système MIMO	15
I .2.4.7.1. Principe de diversité	17
I .2.4.7.2. Les modes de transmission en Downlink	18
I .3. Conclusion	18

Chapitre II : Principe du design radio

II .1. Introduction	19
II .2. Processus de planification radio	19
II .2.1. Pré-dimensionnement	20
II .2.2. Dimensionnement	20
II .2.3. Planification des sites	20
II .2.4. Optimisation	20
II .3. Dimensionnement de l'eNodeB	21
II .3.1. Dimensionnement orienté couverture	21
II .3.1.1. Bilan de liaison (Link budget).....	23
II .3.1.2. Les marges de planifications	24
II .3.1.2.1. Marges d'interférence	25
II .3.1.2.2. Marge d'évanouissement SFM	25
II .3.1.2.3. Marge de pénétration	25
II .3.1.2.4. Les marges de planifications	25
II .3.1.3. Le modèle de propagation RF	25
II .3.1.3.1. Modèle COST-231 Hata	26
II .3.1.4. Calcul de bilan de liaison en DownLink	26
II .3.1.5. Calcul de bilan de liaison en Uplink	29
II .3.1.6. Calcul du nombre d'eNodeB pour le dimensionnement de couverture ..	31
II .3.1.6.1. Rayon de la cellule	31
II .3.2. Dimensionnement orienté capacité	33
II .3.2.1. La procédure de calcul du débit réseau total	33
II .3.2.1.1. Calcul de modèle de service	33
II .3.2.1.2. Calcul de modèle de trafic	35
II .3.2.1.3. Calcul de débit réseau total	36
II .3.2.2. Le nombre d'eNodeB par capacité	37
II .3.3. Equilibrer le dimensionnement entre couverture et capacité	37

II.3.4. Câblage d'un eNodeB	38
II.4. Conclusion	39

Chapitre III: Planification des ressources Radio

III.1. Introduction	40
III.2. Définition du design radio	40
III.3. Processus de planification LTE	41
III.3.1. Planification	41
III.3.2. Vérification	41
III.3.3. Optimisation	41
III.4. Description de la zone géométrique choisi	41
III.5. Phase de planification sur ATOLL	42
III.5.1. Description d'ATOLL	42
III.5.1.1. Les étapes de configuration à suivre	42
III.5.1.2. Classification du clutter sur ATOLL	43
III.5.1.3. Insertion des sites	43
III.6. La Phase de prédiction	45
III.6.1. Prédiction avant déploiement	45
III.6.1.1. Prédiction avant déploiement de niveau de signal RSRP	45
III.6.1.2. Prédiction avant déploiement de la qualité du signal RSRQ	46
III.6.1.3. Prédiction avant déploiement par niveau de SINR	47
III.6.1.4. Prédiction avant déploiement de débit DL (DownLink)	48
III.6.1.5. Prédiction avant déploiement de débit UL(Uplink)	49
III.6.1.6. Prédiction sur les zones de chevauchements (overlapping zone)	50
III.7. Automatic cell planning « ACP ».....	51
III.7.1. Création d'une nouvelle ACP	51
III.7.2. Réglage des paramètres d'optimisation	52
III.7.3. Résultats de la première ACP sur les sites 4G LTE	54
III.8. La solution proposée pour l'amélioration des performances	56
III.9. Résultats de prédiction après déploiement	57
III.9.1. Résultat de prédiction après déploiement par niveau de signal RSRP	57
III.9.2. Résultat de prédiction après déploiement par qualité de signal RSRQ	58
III.9.3. Résultat de prédiction après déploiement par niveau de SINR	59
III.9.4. Résultat de prédiction après déploiement de débit en DL	60
III.9.5. Résultat de prédiction après déploiement de débit en UL	61

III.10. Simulation Monte-Carlo	62
III.10.1. Simulation du Trafic	62
III.10.1.1. La carte de trafic	62
III.10.1.2. Liste d'abonnés	62
III.11. Conclusion	63
Chapitre IV : Optimisation des ressources radio	
IV.1. Introduction	64
IV.2. Optimisation finale	64
IV.2.1. Résultats d'optimisation des sites 4G réel de DJEZZY	65
IV.2.2. Résultats d'optimisation des sites déployés	70
IV.2.3. Résultats d'optimisation finale des sites déployés et les sites 4G réel de Djezzy.....	75
IV.3. Conclusion	80
Conclusion générale	81

ملخص

تصميم وتحسين شبكة الجيل الرابع 4G LTE

أصبحت لشبكات الاتصالات السلكية واللاسلكية أهمية متزايدة في مجتمعنا. لتلبية احتياجات واهتمامات المشتركين، يجب أن يكون العملاء قادرين على تقديم خدمات عالية الجودة. لذلك، يركز عملنا على إيجاد حل لتحسين الموارد الراديوية في منطقة الجزائر العاصمة، حيث تساعد الدراسة الأساسية لنظرية إنشاء روابط الموازنة في تحديد عدد eNodeB المطلوب لتغطية منطقة التغطية ومفاهيم خطة القدرات. الحل الأفضل هو ضبط إعدادات الراديو لمواقع Djezzy 4G LTE لتحقيق أهداف الجودة والتغطية. تحاكي أداة Atoll الراديو، وسيتم توضيح تنبؤات مختلفة بالإضافة إلى تفسيرات محسنة للأداء.

مفاتيح الكتابة : 4G, LTE, eNodeB, ATOLL

Résumé

Solution de Design et d'Optimisation Radio dans le Réseau 4G/LTE

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, des services d'excellente qualité. Donc Notre travail est axé sur la recherche d'une solution d'optimisation des ressources Radio d'une région d'Alger, une étude théorique des concepts de base pour l'établissement du bilan de liaison permet de déterminer le nombre d'eNodeB nécessaire pour couvrir la zone d'étude sur le plan de couverture et de capacité. La solution optimale proposée ajuste les paramètres radio des sites Djezzy 4G LTE de manière à atteindre les objectifs de qualité et de couverture. Les simulations radio sont réalisées par l'outil Atoll, les différentes prédictions seront illustrées ainsi que les interprétations des améliorations de performances.

Mots clés : 4G, LTE, eNodeB, ATOLL.

Abstract

Radio Design and Optimization Solution in the 4G / LTE Network

Telecommunications networks have become increasingly important in our society. To best meet the needs and interests of customers, operators must be able to offer high quality services. So Our work is focused on finding a solution for optimizing radio resources in a region of Algiers, a theoretical study of the basic concepts for the establishment of the link budget makes it possible to determine the number of eNodeB necessary to cover the study area on the coverage plan and capacity. The proposed optimal solution adjusts the radio settings of Djezzy 4G LTE sites to achieve the quality and coverage objectives. The radio simulations are performed by the Atoll tool, the different predictions will be illustrated as well as the interpretations of the performance improvements.

Key words : 4G, LTE, eNodeB, ATOLL.

Liste des Figures

Figure 1.1. Architecture du réseau GSM.....	04
Figure 1.2. Architecture générale 2G et 3G.....	06
Figure 1.3. Architecture générale de réseau LTE.....	08
Figure 1.4. La technique de modulation utilisée dans la LTE.....	12
Figure 1.5. Transmission parallèle et séquentielle des systèmes OFDMA et SC-FDMA...13	
Figure 1.6. Bloc de ressources et éléments de ressources.....	14
Figure 1.7. Structure de la trame LTE en mode FDD.....	15
Figure 1.8. Structure de la trame LTE en mode TDD.....	15
Figure 1.9. Schéma représentatif de système MIMO.....	16
Figure 1.10. Principe de diversité.....	17
Figure 2.1 : Processus de planification radio.....	19
Figure 2.2. Organigramme de dimensionnement de couverture.....	22
Figure 2.3. Les inputs de calcul du MAPL.....	23
Figure 2.4. Bilan de liaison en Downlink.....	29
Figure 2.5. Bilan de liaison en Uplink.....	30
Figure 2.6. Différents types de cellules.....	31
Figure 2.7. Organigramme de planification orientée capacité.....	33
Figure 2.8. Valeurs typiques pour Peak To Average Ratio	35
Figure 2.9. Le transfert de l'adresse IP vers l'adresse MAC.....	37
Figure 2.10. Calcul d'eNodeB par capacité.....	37
Figure 2.11. Balancement entre dimensionnement par couverture et capacité.....	38
Figure 2.12. Les différents équipements de l'eNodeB.....	39
Figure 3.1 Carte de la zone géométrique à dimensionner via Google Earth.....	41
Figure 3.2. Classes de sursol.....	42
Figure 3.3. Les différents paramètres des sites.....	44
Figure 3.4. Emplacement des sites dans le polygone.....	44
Figure 3.5. L'emplacement des « sites, émetteurs et cellule » dans le polygone...45	
Figure 3.6. Prédiction par niveau de signal RSRP.....	46
Figure 3.7. Prédiction par l'indicateur de qualité RSRQ.....	47
Figure 3.8. Prédiction par niveau de SINR.....	48
Figure 3.9. Prédiction sur le débit fourni en DL.....	48

Figure 3.10. Prédiction sur le débit fourni en UL.....	49
Figure 3.11. Prédiction de la zone de recouvrement.....	50
Figure 3.12. Etapes de création de l'ACP.....	51
Figure 3.13. Sélection de la couche Radio 1800 FDD-10MHz.....	52
Figure 3.14. Sélection de la zone de computation et les zones cibles.....	52
Figure 3.15. Modification des paramètres de reconfiguration.....	53
Figure 3.16. Les seuils pour chaque prédiction.....	53
Figure 3.17. Configuration des objectives d'optimisation.....	53
Figure 3.18. Statiques des modifications effectuées par l'ACP.....	54
Figure 3.19. Les corrections automatiques de la première optimisation des sites 4G...	54
Figure 3.20. Le rapport de prédiction généré sur Atoll.....	55
Figure 3.21. Installation des nouveaux sites.....	56
Figure 3.22. Création des cartes de trafic.....	62
Figure 3.23. Résultats de simulations.....	63
Figure 4.1. Changement des paramètres après l'application de l'ACP.....	64
Figure 4.2. Les modifications de l'ACP sur les sites déployés.....	64

Liste des Tableaux

Tableau 2.1. Modèle COST-231 Hata.....	26
Tableau 2.2. Paramètres de bilan de liaison en DownLink.....	27
Tableau 2.3. Paramètres de bilan de liaison.....	28
Tableau 2.4. Paramètre de bilan de liaison en Uplink.....	29
Tableau 2.5. La superficie de la zone et la surface des cellules.....	32
Tableau 2.6. Le nombre de sites obtenus de chaque zone.....	32
Tableau 2.7. Les modèles de service.....	34
Tableau 2.8. Les modèles de trafic.....	35
Tableau 2.9. Résultats de débit de chaque utilisateur.....	36
Tableau 2.10. Le débit total du réseau.....	36
Tableau 3.1. Classification et surface des différents clutter.....	43
Tableau 3.2. Description des niveaux de RSRP reçu.....	46
Tableau 3.3. Les seuils et la description du RSRQ.....	47
Tableau 3.4. Les seuils et la description du SINR.....	48
Tableau 3.5. Les seuils et la description du débit en Downlink.....	49
Tableau 3.6. Les seuils et la description du débit en Uplink.....	49
Tableau 3.7. Le nombre de cellules chevauchées et la description.....	50
Tableau 3.8. Comparaison de pourcentage de couverture pour chaque prédiction.....	54
Tableau 3.9. Surface de chaque classe de sursol.....	55
Tableau 3.10. Le nombre de site pour chaque action.....	56
Tableau 3.11. Résultat de prédiction par RSRP.....	57
Tableau 3.12. Résultat de prédiction par RSRQ.....	58
Tableau 3.13. Résultat de prédiction par SINR.....	59
Tableau 3.14. Résultat de prédiction de débit DL.....	60
Tableau 3.15. Résultat de prédiction de débit UL.....	61
Tableau 4.1. RSRP avant et après l'ACP.....	65
Tableau 4.2. RSRQ avant et après l'ACP.....	66
Tableau 4.3. SINR avant et après l'ACP.....	67
Tableau 4.4. Débit DownLink avant et après l'ACP.....	68
Tableau 4.5. Débit UL avant et après ACP.....	69
Tableau 4.6. RSRP avant et après L'ACP.....	70

Tableau 4.7. RSRQ avant et après L'ACP.....	71
Tableau 4.8. SINR avant et après L'ACP.....	72
Tableau 4.9. Débit DL avant et après L'ACP.....	73
Tableau 4.10. Débit UL avant et après L'ACP.....	74
Tableau 4.11. RSRP avant et après L'ACP.....	75
Tableau 4.12. RSRQ avant et après L'ACP.....	76
Tableau 4.13. SINR avant et après L'ACP.....	77
Tableau 4.14. Débit DL avant et après L'ACP.....	78
Tableau 4.15. Débit UL avant et après L'ACP.....	79

LISTE DES ACRONYMES

1G: First Generation

2G: Second Generations

3G: Third Generation

3GPP: Third Generation Partnership Project

4G: Fourth Generation

AMC: Adaptive Modulation Coding.

ACP: Automatic Cell Planning.

BPSK: Binary Phase-Shift Keying.

BPL: Building Penetration Loss.

BSS: Base Station Sub-system.

CQI : Channel Quality Indicator.

CS : Circuit Switched.

CP : Cyclique Préfixe.

Clutter : les différentes surfaces d'une région.

DL : DownLink.

DU : Dense Urban.

EDGE: Enhanced Data Rate for GSM Evolution.

EPS: Evolved Packet System.

EPC: Evolved Packet Core.

E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.

EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power.

ETU : Enhanced Typical Urbain.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FDD : Frequency Division Duplex.

GSM: Global System for Mobile communications.

GPRS: Global Packet Radio Service.

GP : Guard Period.

HSPA: High Speed Packet Access.

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.

HSUPA: High Speed Uplink Packet.

HSS: Home Subscriber Server.

HLR: Home Location Register.

ICI : Interférence Intra-Cellulaire.

IFFT : Inverse Fast Fourier Transform.

IM : Marge d'Interférence.

IP : Internet Protocol.

LTE : Long Term Evolution.

LOS : Line Of Sight.

MIMO: Multiple Input Multiple Output.

MME: Mobility Management Entity.

MAC: Medium Access Control.

MAPL: Maximum Accepted Path Loss.

NMT: Nordic Mobile Telephone.

NSS: Network Sub-System.

NF : Noise Figure.

NA : Not applicable.

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiple.

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.

PDNs: Packet Data Networks.

PDN-GW: Packet Data Network Gateway.

PCRF: Policy and Charging Rules Function.

PAPR: Peak to Average Power Ratio.

PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente.

PS: Packet Session.

PRB: Physical Resource Block.

PSTN: Public Switched Telephone Network.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation.

QPSK: Quadrature phase-shift keying.

QoS: Quality of Service.

RNC: Radio Network Controller.

RS: Reference Signal.

RSRP: Reference signal Receive Power.

RSRQ: Reference Signal Receive Quality.

RF: Radio Fréquence.

RSSI: Received Signal Strength Indicator.

RE: Resource Element.

RLB: Radio Link Budget.

RB : Ressource Bloc.

RU : Rural.

SGW: Serving Gateway.

SINR: Signal to Interference Noise Ratio.

SC-FDMA: Single Carrier – Frequency Division Multiple Access.

SISO: Single Input Single Output.

SFM : Shadowing Fading Margin.

SU : Sub Urban.

TDD : Time Division Duplex.

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System.

UE : User Equipement.

UL: Uplink.

U: Urban

VLR: Visitor Location Register.



Introduction

Le secteur des télécommunications connaît une évolution exponentielle avec l'avènement des systèmes numériques. Cette évolution se traduit par le développement de différents systèmes offrant de plus en plus de services à l'utilisateur et une meilleure qualité de fonctionnement et de gestion. Les systèmes radio mobiles connaissent le plus grand essor dans le domaine des télécommunications. Plusieurs normes ont vu le jour, à travers le monde, pour répondre aux besoins de plus en plus croissants en mobilité et en vitesse de transmission.

Le réseau 4G-LTE (Long Term Evolution) est issu de l'IS-95 (Interim Standard 95) pour les systèmes mobiles. Il est conçu pour fournir des services multimédias avec une qualité et une couverture meilleure ou du moins comparables à celles ouvertes par les réseaux de 3eme génération. Pour les opérateurs, la question qui se pose aujourd'hui est de déployer un réseau mobile adapté à la fois au transport de trafic Internet et à celui du trafic vocal. Il doit assurer également un très haut débit et peut être le siège de nouvelles applications multimédias. C'est dans ce cadre que les réseaux mobiles de quatrième génération constituent une réponse à cette question.

Dans ce projet nous allons définir quelques notions sur les réseaux mobiles sans fils et plus précisément, les réseaux de quatrième génération Long Term Evolution (**LTE/4G**). On commencera par exposer les différentes étapes d'évolution des technologies mobiles précisément l'évolution de la 4eme génération toute en expliquant les objectifs visés, les caractéristiques, les performances et les exigences. On passera aux méthodes et technologies intégrées dans le réseau et nous aborderons le principe du design radio, en commençant par la phase de dimensionnement de l'eNodeB qui est un processus complexe et qui fait intervenir deux composantes : couverture et capacité. Ces dernières s'avèrent complémentaires et essentielles pour la robustesse du processus de planification qui représente la 2ème étape de ce Projet où nous proposerons une solution de design et d'optimisation radio par une simulation de l'allocation des ressources. En effet, L'allocation désigne la répartition des sous-porteuses et de puissances disponibles entre utilisateurs.

Pour atteindre les objectifs ainsi demandés, nous avons structuré notre mémoire comme suit :

Le chapitre 1 : détaillera les diverses évolution des différents réseaux mobiles et une présentation générale sur les réseaux de la 4eme génération–LTE, leurs architectures et leurs technologies d'accès.

Le chapitre 2 : sera consacré pour l'étude théorique du dimensionnement orientée capacité et couverture, nous allons introduire les concepts de base et les calculs mathématiques nécessaires pour le dimensionnement sur les deux plans, pour cela il est nécessaire d'étudier l'ensemble des atténuations que peut subir la propagation de l'onde, une mauvaise couverture provoque une

augmentation du taux d'échec d'accès, taux de coupure de communication, Pour couvrir une surface donnée, nous devons donc déterminer le nombre de station de base requis pour éviter ces phénomènes indésirables.

Au dernier chapitre nous validons notre solution par une planification avec ATOLL qui regroupe phase de prédiction, et la phase d'optimisation qui consiste à ajuster les paramètres d'antennes à fin d'assurer une meilleure couverture et qualité.



C ***HAPITRE 1:***

Généralités sur les réseaux LTE

I. 1. Introduction

En cours de recherche et de standardisation, le réseau 4G est proposé comme future génération des réseaux de mobiles après la 3G. Ce réseau a également pour objectif d'abolir les frontières de la mobilité. Avec le réseau 4G, un utilisateur pourra se connecter où qu'il se trouve : à l'intérieur des bâtiments avec les technologies Bluetooth, UWB ou Wifi..., à l'extérieur (dans la rue et les lieux publics) avec l'UMTS ou le WiMax... En général, le passage d'un réseau à l'autre deviendra transparent pour l'utilisateur.

Le développement de la technologie LTE est mené par l'organisme de standardisation 3GPP visé à rédiger les normes techniques de la quatrième génération en téléphonie mobile. Cette technologie a comme but de permettre le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur et un temps de latence plus faible. Par définition, la 4G assure la convergence de la 3G avec les réseaux de communication radio fondés sur le protocole IP. On va voir plus des détails sur les généralités de la 4G dans ce chapitre. [1]

I. 2. L'évolution des différents réseaux mobiles

I. 2.1. La première génération des téléphones mobiles (1G)

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très coûteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur). [2]

I. 2.2. La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)

Le GSM est apparu dans les années 90. Il s'agit de la norme 2G. Son principe, est de passer des appels téléphoniques, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage), il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des minimessages (SMS, limités à 80 caractères). Ainsi qu'il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM.

Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, dans ce concept, ils ont pensé à développer de nouvelles techniques de modulations et de codages qui ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération, Les principaux standards de téléphonie mobile 2G sont : GSM, GPRS et EDGE. [2]

➤ L'évolution vers le GSM

La seconde génération de réseaux mobiles entièrement numérique a marqué une rupture avec la première génération analogique. Le principal standard de téléphonie mobile 2G est le GSM. Baptisé "Groupe Spécial Mobile" à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée "Global System for Mobile communications" en 1991. [3]

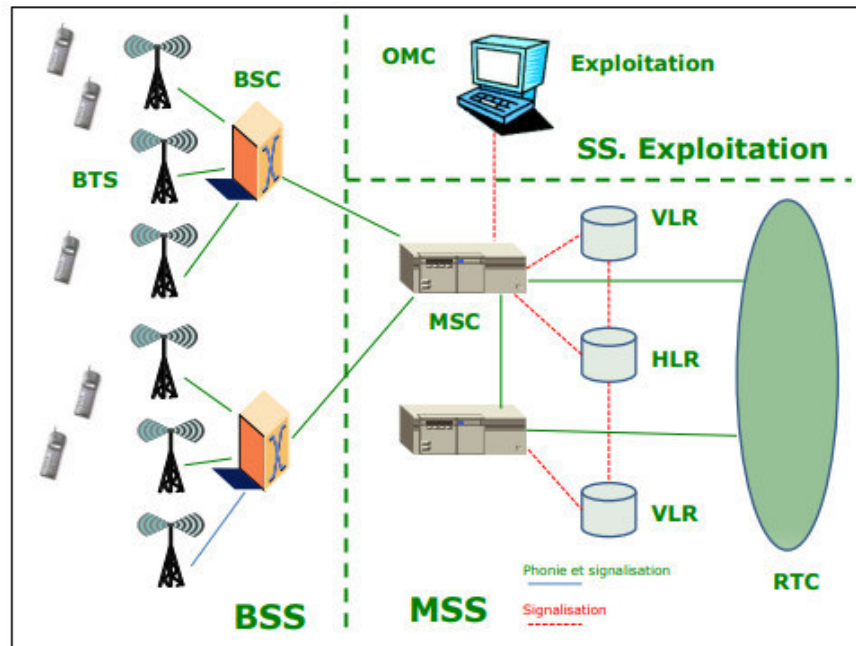


Figure 1.1. Architecture du réseau GSM.

L'architecture d'un système GSM se décompose en trois sous-systèmes :

➤ Le sous-système radio (BSS)

Il gère la partie radio des communications et se compose d'émetteurs-récepteurs radio (BTS) contrôlés par une BSC.

➤ Le sous-système réseau (NSS)

Il gère le traitement des appels, la mobilité et l'acheminement de/vers les réseaux filaires. Il se compose de commutateurs radio (MCS) et d'un certain nombre de bases de données HLR et VLR.

➤ Le sous-système exploitation

Il contrôle les droits d'accès au réseau, les droits des usagers et assure l'interface homme-machine d'exploitation. Il gère aussi le maintien en conditions opérationnelles du réseau et la remontée des alarmes.

➤ L'évolution vers le GPRS

Le standard GPRS (General Packet Radio Service) est une évolution de la norme GSM, ce qui lui vaut parfois l'appellation GSM++ (ou GSM 2+). Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de

seconde génération permettant une transition vers la troisième génération (3G), on parle généralement de 2,5G. [3]

➤ **L'évolution vers le EDGE**

Le standard EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une évolution de la norme GSM par modification du type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2,75G pour désigner le standard EDGE. La norme EDGE quadruple les améliorations du débit de la norme GPRS en annonçant un débit théorique de 384 kbit/s, ouvrant ainsi la porte aux applications multimédias. En réalité, la norme EDGE permet d'atteindre des débits maximum théoriques de 473 kbit/s, mais elle a été limitée afin de se conformer aux spécifications IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) de l'ITU (International Telecommunications Union). EDGE utilise une modulation (8-PSK) ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles. [3]

I. 2.3. La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS)

Les systèmes sans fil de troisième génération qui sont juste introduites dans les marchés mondiaux offrent des débits de données beaucoup plus élevés, et permet des améliorations significatives par rapport aux systèmes 2G. Les systèmes sans fil 3G ont été proposées pour fournir des services vocaux, de radiomessagerie et fournir des interactifs multimédias, y compris l'accès à l'internet, la téléconférence et d'autres services. [2]

➤ **L'évolution vers HSPA**

High Speed Packet Access (HSPA), aussi appelé 3G+, est la combinaison de deux protocoles utilisés en téléphonie mobile pour améliorer les performances obtenues avec la 3G UMTS : le High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) et le High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA).[4]

➤ **L'évolution vers HSPA+**

L'HSPA+ (High Speed Packet Access+), parfois nommée H+, 3G++, HSPAP ou 3G Dual Carrier, est une norme de téléphonie mobile 3G de la famille UMTS ; c'est une évolution de la norme HSPA permettant d'atteindre des débits théoriques crêtes de 21 Mbit/s par cellule radio.[4]

➤ L'architecture de l'UMTS

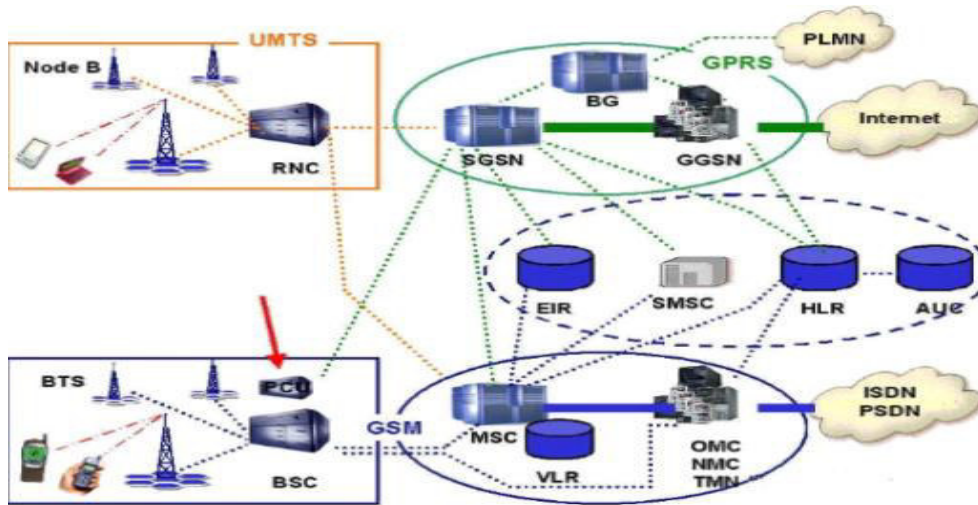


Figure 1.2. Architecture générale 2G et 3G.

Un réseau UMTS partage une architecture commune avec le GSM/GPRS/EDGE: le cœur du réseau, le réseau d'accès et le téléphone mobile, le réseau cœur d'un réseau UMTS contient deux domaines : [5]

- **Le domaine à commutation de circuits (CS) :**

Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques, Il communique avec le réseau PSTN « Public Switched Telephone Network ».

Le domaine CS est composé des éléments suivant :

- ✓ **Le MSC (Mobile-services Switching Center) :** est un commutateur qui assure l'interface avec le réseau cœur pour un mobile accédant aux services à commutation de circuit.
- ✓ **Le GMSC (Gateway MSC) :** est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté PSTN (Public Switched Telephone Network).
- ✓ **Le VLR (Visitor Location Register) :** est une base de données, assez similaire à celle du HLR, attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR garde en mémoire des informations sur la position de l'abonné et son déplacement dans la zone de localisation reliée à un ou plusieurs MSC.

- **Le domaine à commutation de paquet PS :**

Permet de gérer les services temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur l'internet, de la gestion de jeux en réseaux et de l'utilisation des emails entre les utilisateurs et un réseau PDNs « Packet Data Networks ».

Le domaine PS est composé des éléments suivants :

✓ **Le SGSN (Serving GPRS Support Node) :**

S'occupe des services des transmissions de données entre les mobiles et le réseau mobile. Ses tâches incluent la gestion de la mobilité (attache/détache/mise à jour RA), la gestion de session (établissement/libération PDP), le routage et transfert des paquets.

✓ **Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) :** est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet. Le GGSN décapsule des paquets IP arrivant sur un contexte PDP en provenance du SGSN et les envoie au réseau IP externe correspondant (internet, ATM, RTC..). Le GGSN permet aussi d'acheminer les paquets IP provenant des réseaux IP externes vers le SGSN du destinataire sur un tunnel.

I. 2.4. Le LTE (Long Term Evolution)

Le LTE a été développé par le groupe 3GPP (Third Generation Partnership Project) et constitue une extension du HSPA. La 4G sous la norme LTE (Long Term Evolution), constitue aujourd'hui une véritable révolution car elle propose une multiplication des débits grâce à deux phénomènes. Le premier consiste à faire circuler les appels vocaux directement sur internet (voix sur IP). Ensuite, le réseau 4G recourt au multiplexage (plusieurs types d'informations passant par le même canal), ce qui permet d'augmenter la quantité d'information transmise et aussi caractérisé par une mobilité accrue. Des services diversifiés et des débits plus élevées. La 4G projette des débits théoriques de 150 Mbps pour une mobilité forte et jusqu'à 1Gbps pour une faible mobilité.

➤ **Les exigences pour le LTE**

L'objectif majeur du LTE est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction de la latence. [6]

✓ **La capacité en nombre d'utilisateurs simultanés**

La contrainte appliquée sur la capacité en nombre d'utilisateurs simultanés devient forte, le système doit supporter simultanément un large nombre d'utilisateurs par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures. Un nombre largement supérieur d'utilisateurs devra être possible à l'état de veille.

✓ **L'efficacité spectrale cellulaire**

Le système compte parmi ses objectifs l'accroissement de l'efficacité spectrale cellulaire et l'augmentation de la capacité du système.

✓ **Les débits**

L'attente des opérateurs de fournir des débits élevés s'est confirmée au cours du temps. Et c'est aujourd'hui un des motifs de déploiement du LTE.les objectifs des débits maximal définis pour le LTE sont :

- 150 Mbps en voie descendante (Downlink) pour une largeur de bande allouée de 20MHz.
- 50 Mbps en voie montante (Uplink) pour une largeur de bande allouée de 20MHz.

✓ **La latence**

La latence se traduit par la capacité du système à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. Elle se traduit en latence du plan de contrôle et latence du plan usager.

- **Latence du plan de contrôle** : représente le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service.
- **Latence du plan usager** : représente le délai de transmission d'un paquet au sien du réseau une fois la connexion établie.

✓ **L'agilité en fréquence**

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées .les largeurs de bande initialement requises sont : 1.4 Mhz, 3 MHz, 5MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz dans le sens montant et descendant.

✓ **La mobilité**

Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350Km/h et même 500Km/h en fonction de la bande de fréquence), tout en étant optimisé pour des vitesses faibles (entre 0et 15Km/h).

➤ Architecture LTE

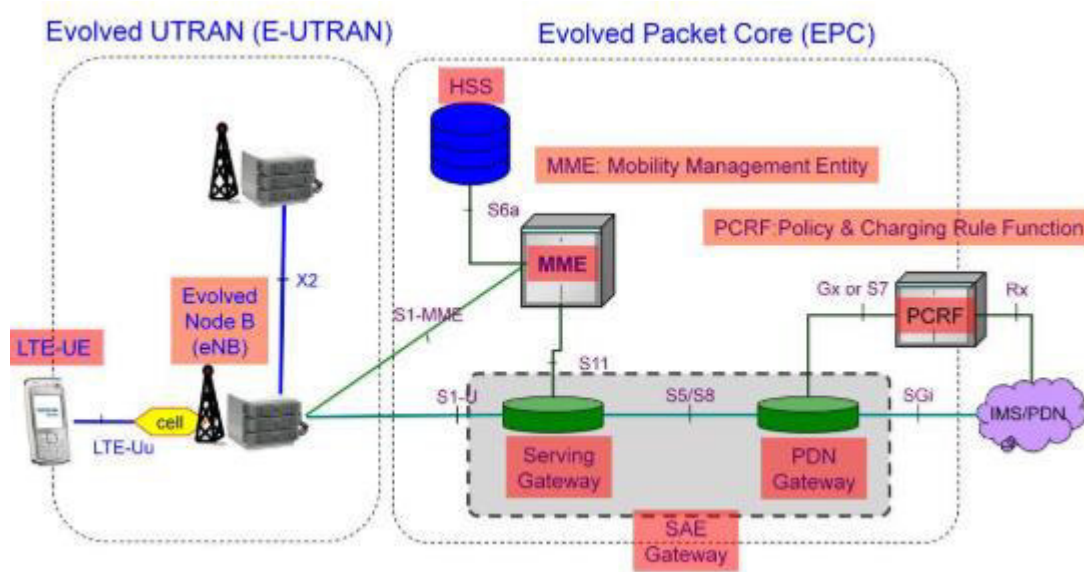


Figure 1.3. Architecture générale de réseau LTE.

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core), l'E-UTRAN (Evolved UTRAN) et UE (User Equipement).

La LTE est basée sur la commutation par paquet, donc son architecture est toute IP, elle est introduite par les entités SGW « Serving Gateway », PDN-GW « Packet Data Networks-Gateway » et le MME « Mobility Management Entity » et elle est reliée avec le réseau UMTS par différentes interfaces radio. [7]

Les interfaces servent à relier les différentes entités du réseau EPS entre elles, il existe plusieurs interfaces :

- **S1-MME:** Point de référence pour le protocole du plan de contrôle entre E-UTRAN et MME.
- **S1-U:** Point de référence entre E-UTRAN et S-GW pour le plan utilisateur.
- **S3:** Il permet l'échange d'informations entre l'utilisateur et le support pour la mobilité du réseau d'accès.
- **S6a:** Il permet le transfert des données d'abonnement et d'authentification pour authentifier / autoriser l'accès des utilisateurs au système évolué entre MME et HSS.
- **Gx:** Il fournit le transfert de la (QoS) et des règles de facturation de PCRF dans le PDN GW.
- **S8et S5:** connexion de S-GW à P-GW et utilise GPRS.
- **S9:** Il fournit un transfert de (QoS) et des informations de contrôle de charge entre le PCRF Home et le PCRF Visité.

- **S10:** Point de référence entre les MME pour le transfert de MME et le transfert d'informations MME vers MME.
- **S11:** Point de référence entre MME et S- GW.
- **SGi:** C'est le point de référence entre le PDN GW et le réseau de données par paquets.
- **Rx:** Le point de référence entre PCRF et les réseaux externes.

➤ **La partie radio E-UTRAN**

La partie radio du réseau, appelée « E-UTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2).

Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

✓ **L'eNodeB**

Les stations de base (eNodeB) sont le principal constituant d'un E-UTRAN, elles sont le responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE (user Equipment).

➤ **EPC (Evolved Packet Core)**

Le cœur de réseau appelé « EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.

EPC est l'élément principal de l'architecture SAE. Il a un rôle équivalent du NSS dans le réseau GPRS.

• **Les entités :**

✓ **MME : Mobility Management Entity (3GPP Release 8)**

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-Gateway) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

✓ **HSS : Home Subscriber Service**

Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé HSS. Le HSS est donc un HLR évolué qui contient l'information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE et IMS. Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE et IMS appartenant au même opérateur.

✓ **PDN-GW: Packet Data Network Gateway (3GPP Release8)**

Les fonctions de l'entité PDN (PGW) incluent :

- L'attribution des adresses IP aux utilisateurs.
- La gestion de la QoS.
- La facturation par flux de donnée conformément aux règles définies par le PCRF, en utilisant le PCEF (fonction intégrée au P-GW).
- L'interfonctionnement avec d'autres technologies d'accès non 3GPP telles que CDMA2000 et WiMax.

✓ **Policy and Charging Rules Function (PCRF)**

Le PCRF est un nœud optionnel au sein de l'architecture EPC. Toutefois, il inclut les points suivants :

- La gestion du trafic et de la facturation.
- L'indication des caractéristiques de la QoS à appliquer par le PCEF sur les flux de données.
- S'assure que le traitement appliqué est en accord avec le profil de souscription de l'utilisateur.

✓ **Serving Gateway (SGW)**

La passerelle SGW est indispensable pour assurer

- La mobilité de l'utilisateur inter-eNodeB, Le trafic qui s'échangeait entre l'ancien eNodeB et le S-GW doit désormais être acheminé au nouveau eNodeB et au S-GW.
- Assure le routage et le transfert des paquets de données de l'utilisateur entre l'eNodeB et le UE.
- Le handover LTE et les réseaux 2G/3G pour la continuité du service de données sans coupure.
- Comptabilise le nombre d'Octet envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter-opérateurs.

➤ Modulation et codage adaptatifs

La modulation et le codage adaptatifs (AMC Adaptive Modulation and Coding), est une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal. Pour les transmissions DL en LTE, l'UE envoie le feedback de CQI (Quantification du SINR) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation and Coding Scheme), un schéma de modulation et de codage qui maximise l'efficacité spectrale tout en gardant le BLER (taux d'erreurs par bloc) inférieur à un certain seuil.

L'ensemble de modulation systèmes pris en charge pour le DownLink Lorsque les conditions radio sont dégradées (mauvais SINR) la modulation bascule vers QPSK, en cas d'un SINR élevé (automatiquement une bonne condition radio) la modulation utilisée est d'ordre supérieur qui est 64 QAM.

Le LTE emploie les modulations BPSK pour des informations de contrôle uniquement. [8]

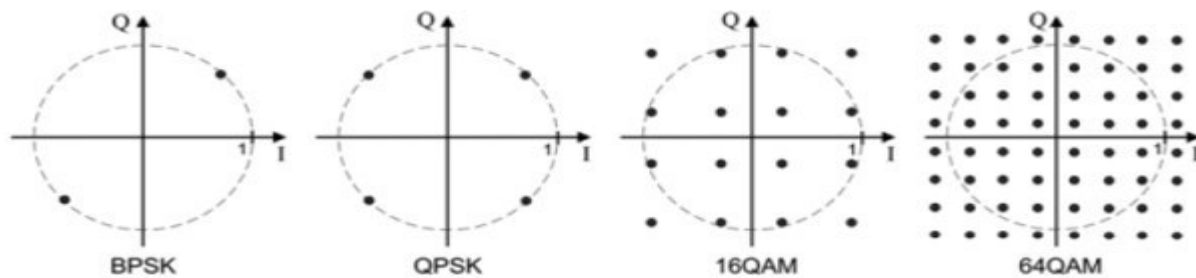


Figure 1.4. La technique de modulation utilisée dans la LTE.

➤ Les techniques d'accès multiples :

La transmission en LTE est basée sur une modulation de plusieurs porteuses appelée OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). L'OFDM est utilisée en voie descendante, ainsi que le mode d'accès multiple L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). En voie montante, on utilise le SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access).

L'adaptation de l'OFDM aux terminaux mobiles pour supporter les hauts débits en LTE a été possible. OFDM est un procédé de codage de signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales sous forme de multiples.

➤ Le mode d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

OFDMA est une extension de la technique de modulation OFDM pour permettre à plusieurs utilisateurs de transmettre simultanément sur un seul symbole OFDM. L'espace entre sous-

porteuses en LTE est fixé à 15 KHz, et le symbole OFDM est celui constitué de la totalité des informations transmis via les sous porteuses. [6]

✓ **Avantages de fonctionnement :**

- **Multipath** : Un Temps Symbole important rend le signal plus résistant au Multipath. Les intervalles de garde limitent les interférences inter-symboles dues au Multipath.
- **Efficacité spectrale** : Efficacité spectrale élevée due à l'orthogonalité quasi-totale des sous porteuses, autorisant une fine séparation fréquentielle entre-elles.
- **Réception** : Grande simplicité de la réception : simple implémentation de FFT au niveau de l'UE. Aucun système d'annulation des interférences intracellulaires n'est nécessaire (pas d'égaliseur).

✓ **Inconvénients de l'utilisation :**

- **Le PAPR (Peak to Average Power Ratio)** : est élevé, ce qui limite l'efficacité des Amplificateurs de puissance
- **Sensibilité au décalage fréquentiel (Effet Doppler)** : Le décalage fréquentiel rompt l'orthogonalité des sous porteuses et cause des interférences inter-porteuses (ICI), ce qui dégrade fortement les performances du réseau.

➤ **Le mode d'accès SC-FDMA**

SC-FDMA est bien adapté aux exigences de LTE en Uplink (dans le sens : terminal vers station de base). Il offre des performances et une complexité globale similaire à l'OFDMA mais utilise en revanche une technique de multiplexage fréquentiel à une seule porteuse. Elle est aussi caractérisée par son facteur de critère PAPR plus faible que celle de l'OFDMA. [6]

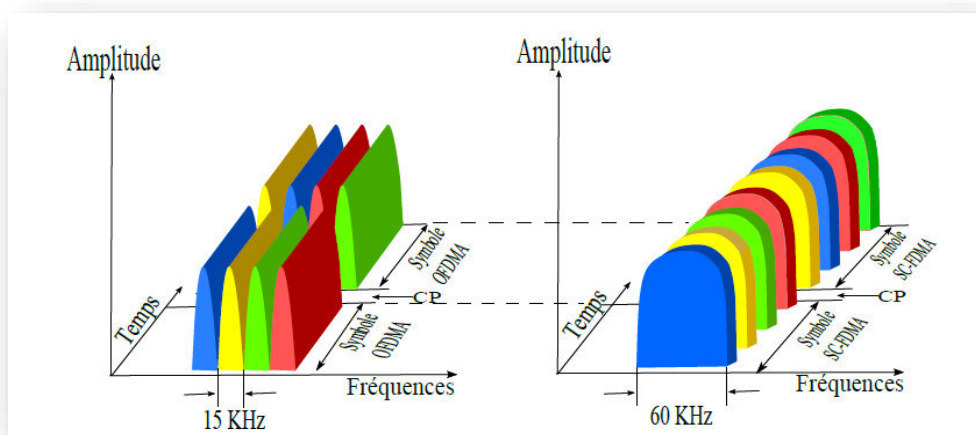


Figure 1.5. Transmission parallèle et séquentielle des systèmes OFDMA et SC-FDMA.

➤ Concept de bloc de ressources et éléments de ressources

Bloc de ressources physiques (Physical Resource Block : PRB), est le plus petit élément qui constitue les ressources physiques en LTE. Un PRB est une grille de petits éléments appelés éléments de ressources (Resource Element RE). Comme c'est indiqué dans la figure ci-dessous, un PRB est constitué en domaine fréquentiel de 12 sous-porteuses, chacune de largeur 15 KHz, en tout 180 KHz, et d'un Time Slot dans le domaine temporel, autrement dit 6 ou 7 symboles selon la taille de CP. Un élément ressource (RE) est formé par une seule sous-porteuse et un seul symbole dans le domaine temporel, d'où il ne peut contenir qu'un seul symbole de modulation (QPSK, 16QAM, 64QAM). Ainsi, un PRB est constitué de $12 \times 7 = 84$ REs dans le cas d'un CP Normal, et $12 \times 6 = 72$ RE pour le cas Extended CP.

- Chaque Resource Block est composé de plusieurs sous-porteuses (12 sub carrier).
- Deux largeurs sous-porteuses possibles: 15 kHz, 7,5 kHz.
- 1 RB = 12 Sous porteuse de 15 kHz ou 24 Sous porteuse de 7,5 kHz. [9]

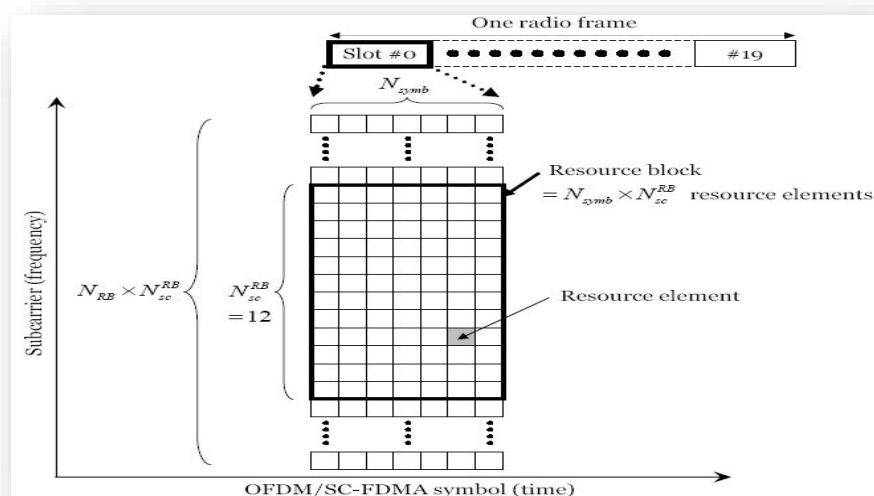


Figure 1.6. Bloc de ressources et éléments de ressources.

➤ Structure de la trame LTE

✓ Structure de la trame LTE en mode FDD

Le terme ressources de fréquences pour chaque port d'antennes est divisé selon la structure suivante : [10]

L'unité temporelle la plus large est la trame radio de 10 ms, qui est divisée en dix sous trames de 1ms chacune, qui à son tour est divisée en deux slots de 0.5ms chacun. Chaque slot comprend sept

symboles OFDM dans le cas du CP normal (normal CP), ou six si le CP étendu (extended CP) qui est configuré dans la cellule.

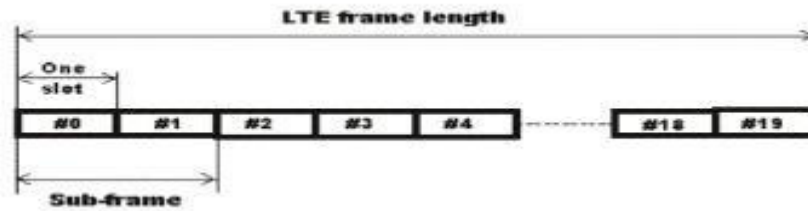


Figure 1.7. Structure de la trame LTE en mode FDD.

✓ **Structure de la trame en mode TDD**

La structure de la trame radio en mode TDD est illustré dans la **Figure1.8** Les sous trames avec ‘D’ et ‘U’ sont réservées pour les transmissions dans les liaisons descendante (Downlink) et ascendante (Uplink). Les sous trames avec ‘S’ sont spéciales et caractérisées par trois champs : [10]

- Le slot pilote de la liaison descendante (DwPTS).
- Période de garde (GP ou gard period).
- Le slot pilote de la liaison ascendante (UpPTS).

Le DwPTS peut être considéré comme une sous porteuse descendante normale à longueur réduite, alors le volume des données qui peuvent être transmises dans le DwPTS est moins important. Le champ GP est utilisé pour prémunir contre le basculement de la liaison descendante à celle ascendante. L’UpPTS a une durée très courte et n’est pas utilisé pour la transmission ascendante. Il peut être utilisé pour sondage du canal, accès aléatoire ou une période de garde supplémentaire entre les transmissions descendante et ascendante.

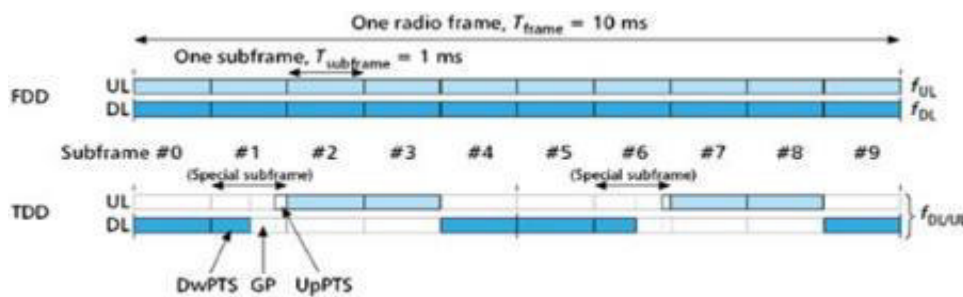


Figure 1.8. Structure de la trame LTE en mode TDD.

➤ **Présentation générale du système MIMO**

Grâce au succès des téléphones intelligents (smartphones) et les portables prêt-mobiles (mobile-ready) comme les Laptops ou les tablettes mobiles, le trafic des données a connu un développement

exponentiel. La demande pour les données mobiles a augmentée par une moyenne de 160%, particulièrement quelques canaux mobiles qui ont même connus un développement fulgurant.

Ces demandes en large capacité ne peuvent être satisfaites que par une haute efficacité et une très bonne optimisation des infrastructures des réseaux mobiles, tout en tenant comptes des contraintes qui sont la puissance, bande passante (mesurée en Hz) et une complexité limitée. Néanmoins un autre domaine peut être exploité pour augmenter significativement la capacité du canal et qui consiste en l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission et à la réception, communément appelée Entrées multiples-Sorties multiples ou MIMO (Multiples inputs –Multiples outputs).

Les systèmes MIMO introduisent une nouvelle forme de diversité connue sous le nom de diversité spatiale. Cette technique cherche à exploiter les phénomènes d'évanouissement et de multi-trajets, longtemps considérés comme des handicaps. En effet, le récepteur reçoit et combine plusieurs copies d'un même signal envoyées à Partir de plusieurs antennes et subissant des évanouissements indépendants. Par conséquent, le récepteur prend la bonne décision permettant de reconstituer le message d'origine sans erreur. En résumé, l'utilisation de plusieurs antennes au niveau des systèmes MIMO peut servir à améliorer la fiabilité de transmission en réduisant la probabilité d'erreur (gain en diversité) et à augmenter le débit de transmission (gain de multiplexage).

L'idée de base des systèmes MIMO est relativement simple : dans une bande de fréquence donnée, on transmet l'information en utilisant simultanément plusieurs antennes à l'émission et à la réception. En première approximation, le débit transmis dans cette bande de fréquence se trouve multiplié par le nombre d'antennes émettrices. La mise en œuvre concrète soulève par contre des problèmes Complexes : en effet, tous les signaux transmis se mélangent, et il faut être capable de séparer les éléments du mélange. On doit alors faire appel, du côté du récepteur, à des méthodes sophistiquées de traitement du signal. L'utilisation de réseaux d'antennes en émission et en réception permet ainsi d'améliorer l'efficacité spectrale et/ou la fiabilité des transmissions numériques dans un environnement riche en diffuseurs. [11]

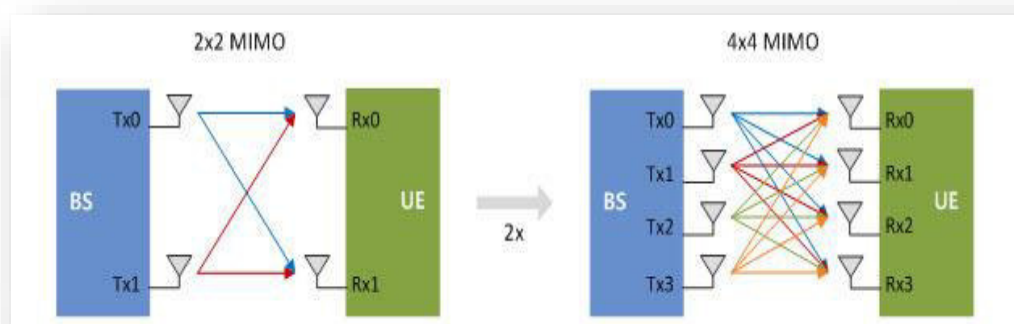


Figure 1.9. Schéma représentatif de système MIMO.

➤ Principe de diversité

Principe de la diversité Le principe de base de la diversité est que le récepteur doit disposer de plusieurs versions du signal transmis, reçues sur des canaux indépendants. La Figure 1.10 illustre deux signaux à évanouissements indépendants et le signal combiné en sortie du combineur. Si les deux signaux sont indépendants, il y a alors peu de chance qu'ils s'évanouissent au même moment. Nous voyons bien que le signal combiné possède un rapport signal sur bruit (SNR) moyen supérieur comparé à celui reçu par chaque antenne : en d'autres termes les évanouissements sont moins importants. Pour réaliser une bonne diversité, il faudra une bonne combinaison d'antennes pour avoir des signaux à évanouissement indépendants, mais aussi une bonne technique de combinaison de signaux permettant de maximiser le SNR moyen à la sortie. [12]

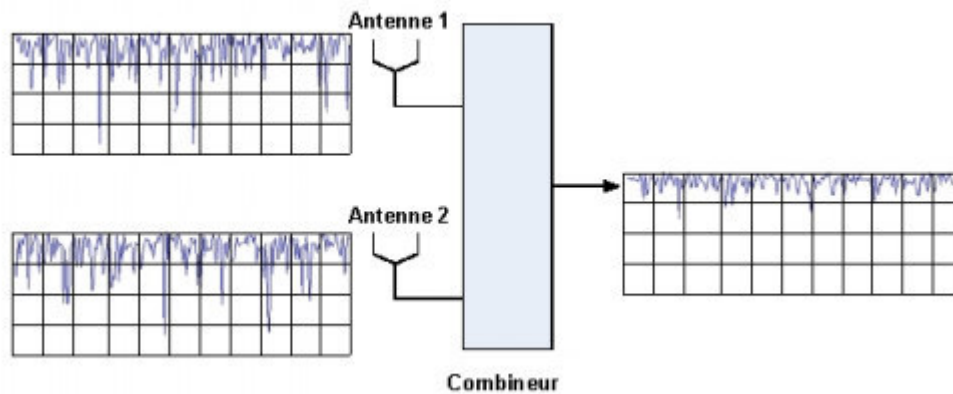


Figure 1.10. Principe de diversité.

- Il existe plusieurs techniques de diversité des antennes :

- ✓ **Diversité spatiale**

Le mécanisme le plus connu et probablement le plus simple pour réaliser de la diversité est la diversité spatiale. En utilisant deux antennes ayant des diagrammes de rayonnement identiques mais suffisamment espacées, la différence de phase fait que les signaux arrivant sur les antennes réceptrices ont peu de chance de s'évanouir en même temps. L'inconvénient majeur de la diversité spatiale est l'encombrement car en théorie les antennes doivent être espacées d'au moins $0,5\lambda$ pour que les signaux puissent être indépendants l'un de l'autre.

- ✓ **Diversité de polarisation**

Avec cette technique de diversité, la transmission d'un signal avec une certaine polarisation peut s'effectuer avec une dépolarisation par le moyen de propagation en deux polarisations

orthogonales avec des variations d'évanouissements indépendants. Ce type de diversité est très pratique dans le cas d'antennes de petites tailles et est très faible.

✓ **Diversité fréquentielle**

La diversité en fréquence consiste à transmettre le même signal à deux fréquences porteuses différentes pour obtenir deux versions à évanouissements indépendants du même signal. C'est un mécanisme délicat à mettre en œuvre à cause de la difficulté de générer plusieurs signaux à émettre mais aussi de combiner les signaux reçus à différentes fréquences simultanément.

➤ **Les modes de transmission en Downlink:**

Pour la technique MIMO il existe plusieurs modes qui s'appellent TM, nous allons définir les quatre premiers modes qui sont utilisés par l'opérateur Djezzy en voie Downlink. :[13]

✓ **TM1 (Antenne d'émission unique)**

Une seule antenne utilisé en émission ce mode est supporté en LTE ou une flux de données est transmis et reçu sur une seule antenne(SISO) ou bien plusieurs antennes (MIMO).

✓ **TM 2 (Diversité de transmission)**

Permet la transmission du même flux d'information via divers antennes chaque flux d'antenne utilise des ressources de codage et de fréquence différentes, cela améliore le SINR.

✓ **TM 3 (Multiplexage Spatial en boucle ouverte)**

Ce mode supporte le multiplexage spatiale de deux à quatre couches spatiales qui sont multiplexées à deux jusqu'à quatre antennes, cela fourni un haut débit.

✓ **TM 4 (Multiplexage Spatial en boucle fermé)**

Ce mode prend en charge le multiplexage spatiale avec quatre couches qui sont multiplexées jusqu'à quatre antennes, respectivement, afin d'obtenir des débits de données plus élevés.

I. 3. Conclusion :

Dans ce chapitre introductif, nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphonie mobiles et leurs évolution et nous avons présenté un aperçu des différents composants et caractéristiques de la technologie LTE (quatrième génération) ainsi que son évolution.



CHAPITRE 2: *Principe du Design Radio*

II. 1. Introduction

La planification réalise une étude détaillée du réseau LTE en utilisant des outils de prédiction, et de propagation et des statistiques de données géographiques. Elle permet de maximiser la couverture radio et de promouvoir la capacité désirée.

Le dimensionnement d'un réseau radio est la première étape du processus global de la planification inclut le dimensionnement de la couverture et la capacité, permettant une première évaluation rapide de la densité et de la configuration des sites requis.

Dans ce chapitre, nous allons introduire les processus de planification d'un réseau radio et les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement sur ses deux plans : couverture et capacité et comprendre le bilan de liaison et ses paramètres.

II. 2. Processus de planification radio

La planification en LTE, comme tout autre réseau cellulaire, est une tâche complexe, contenant un certain nombre d'étapes consécutives. [14]

La planification de couverture et de capacité en LTE se font de façon conjointe, en une seule tâche, appelée dimensionnement, Le processus entier se résume en 4 phases comme montre la figure suivante :

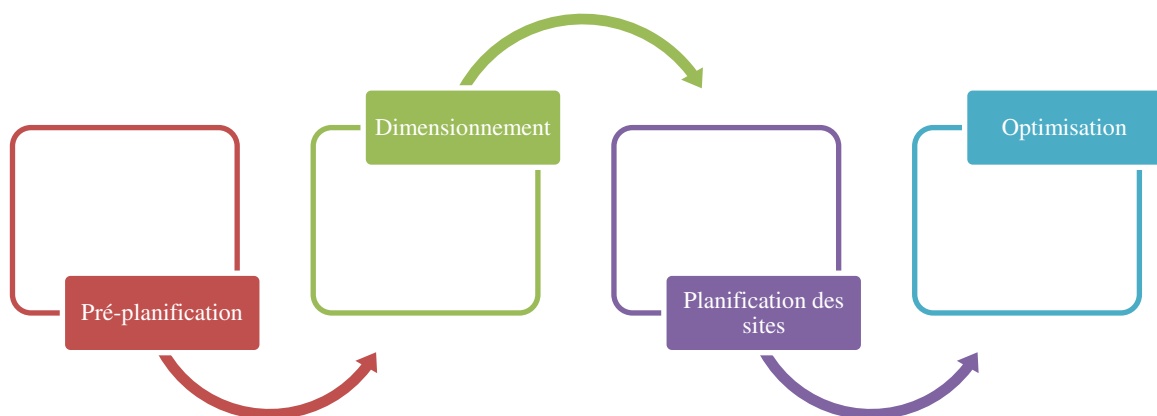


Figure 2.1 : Processus de planification radio.

➤ **Pré-dimensionnement**

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 abonnées dans cette zone (services demandés, trafic offert ...etc.).
- Les services à offrir : voix, données.
- La liste des sites et émetteurs : identifier les lieux pour placer les eNodeB.
- Type d'antenne à utiliser.

➤ **Dimensionnement**

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 liaison (RLB).

Le dimensionnement estime le nombre de station de base requis sur les deux plans couverture et capacité.

➤ **Planification des sites**

Cette phase consiste à trouver les meilleures positions géographiques pour la planification des eNodeB ainsi que les configurations adéquates des antennes afin de fournir des performances en qualité, capacité et couverture selon les exigences.

➤ **Optimisation**

L'optimisation du réseau est la phase finale qui permet de vérifier la satisfaction des abonnées et résoudre leurs plaintes.

Dans ce qui suit nous allons intéresser à la phase de dimensionnement et détailler les aspects théoriques et pratiques pour le calcul du bilan de liaison, l'étape de planification des sites sera exposé dans le **chapitre III**.

II. 3. Dimensionnement de l'eNodeB :

Le processus de dimensionnement nécessite une liaison commune entre la capacité et la couverture. Donc, deux méthodologies doivent être mises en place : un dimensionnement orienté couverture et capacité.

II. 3.1 Dimensionnement orienté couverture

Le calcul du bilan de liaison « Radio Link Budget » permet d'estimer les pertes maximales de trajet toléré MAPL « Maximum Accepted Path Loss » en Downlink et en Uplink.

Les étapes de dimensionnement de couverture sont :

- Etablir le bilan de liaison radio pour aboutir à l'affaiblissement maximal de parcours (y compris le calcul de la sensibilité du récepteur).
- Le modèle de propagation adéquat pour déterminer le rayon de la cellule.
- les paramètres de l'émetteur et le récepteur.
- Déduire le nombre nécessaire de sites pour couvrir la surface de déploiement considérée.

Le schéma suivant englobe les paramètres nécessaires au dimensionnement de couverture :

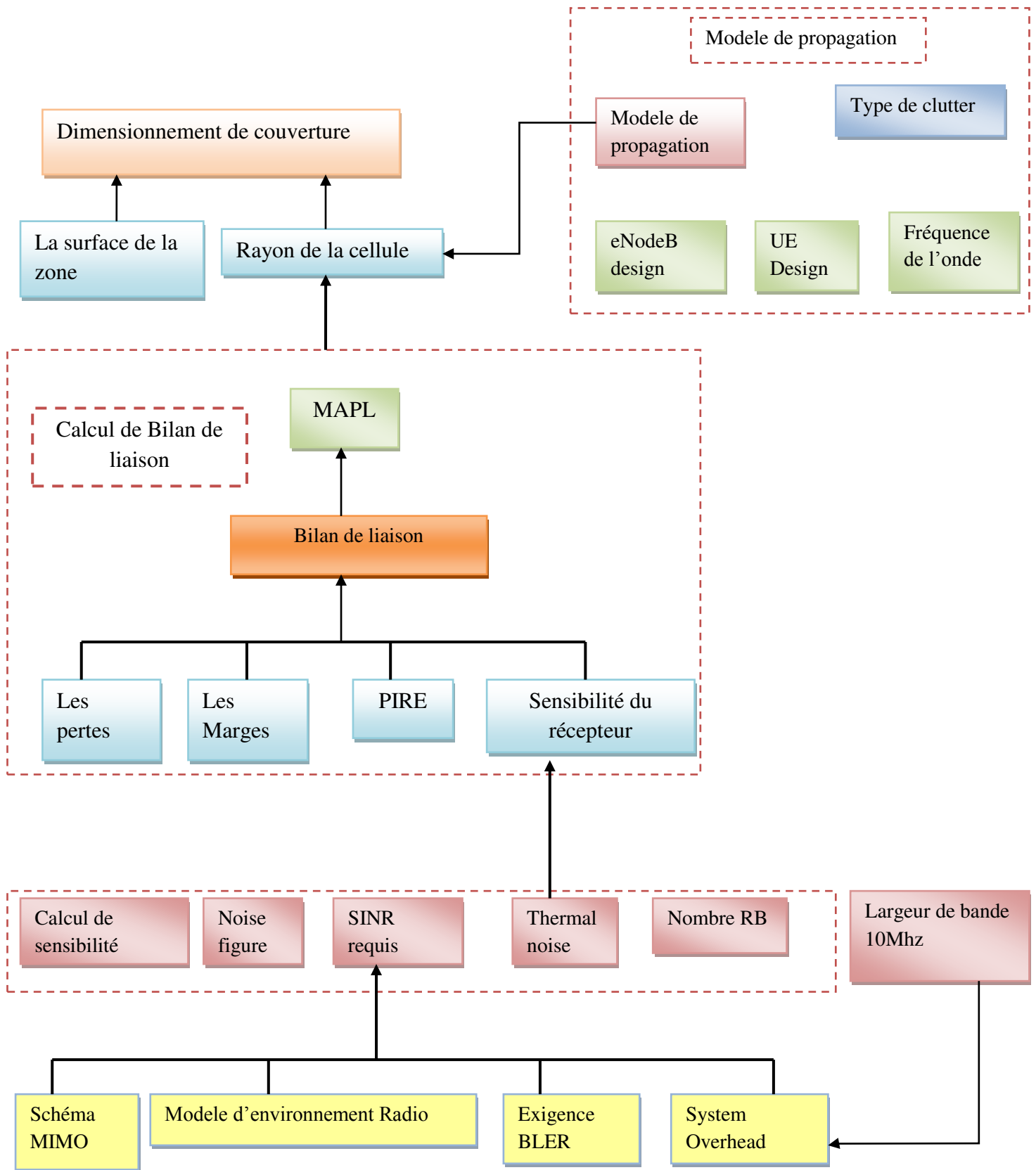


Figure 2.2. Organigramme de dimensionnement de couverture. [15]

➤ **Bilan de liaison (Link budget)**

Souvent, lorsqu'on veut planifier une liaison radio, pour toute application sans fil, la première question qui peut se poser est : **Quelle est la distance maximale que peut séparer l'émetteur et le récepteur ?** Le premier pas à faire pour répondre à cette question est de déterminer l'affaiblissement de parcours maximal en passant par établir un bilan de liaison radio (RLB), ce dernier est utilisé conjointement avec le modèle de propagation afin de déterminer le rayon de la cellule , Pour un réseau cellulaire, la liaison sur l'interface radio est bidirectionnelle UL Uplink et DL Downlink

L'équation du bilan de liaison de base est constituée d'addition des gains et soustraction des pertes exprimées en Décibel (dB, dBm, dBi, dBd).

* Commençons par l'expression de la puissance reçue en fonction de la puissance émise :

$$R_x \text{ puissance} = T_x \text{ puissance} + T_x \text{ Gains} - T_x \text{ pertes} + R_x \text{ Gains} - R_x \text{ pertes} - \text{Marges} \quad (2.1) [16]$$

R_x puissance : Puissance reçue.

T_x puissance : Puissance émise.

T_x et R_x Gains : Ensemble des gains introduits au niveau du récepteur et l'émetteur.

T_x et R_x Pertes : Ensemble de pertes introduites au niveau du récepteur et l'émetteur.

Marges : des marges de planification.

Dans le cas d'un affaiblissement de parcours maximal, La différence entre la puissance d'émission et la sensibilité de réception donne l'affaiblissement maximum toléré, L'équation (2.1) peut ainsi être reformulée :

$$\text{MAPL}(dB) = \text{PIRE} - R_x \text{ sensibilité} - R_x \text{ pertes} + \text{Marges} \quad (2.2) [16]$$

R_x Pertes : Ensemble des pertes introduites au niveau du récepteur.

R_x sensibilité : Sensibilité du récepteur.

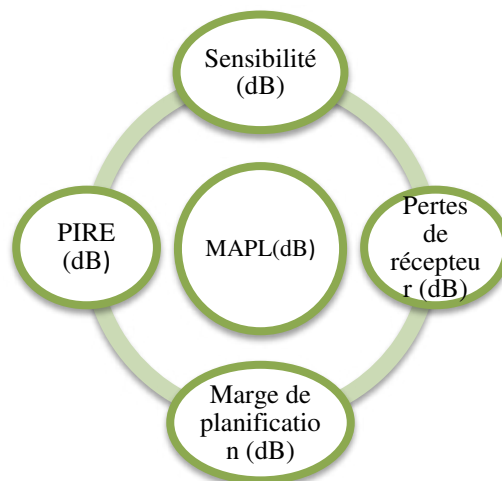


Figure 2.3. Organigramme de calcul du MAPL.

Sensibilité de récepteur : Elle représente le niveau de signal requis au port d'antenne du récepteur pour pouvoir atteindre un niveau de qualité acceptable à la réception et éviter la rupture du lien radio. Elle est définie par l'expression suivante :

$$R_{x \text{ sensibilité}} = NF + \text{Bruit thermique} + SINR_{Req} + IM - G_{Rx} \quad (2.3) [16]$$

NF « Noise figure » ou « Facteur de bruit » : il représente le bruit additif généré par divers composants d'un équipement. Il vaut typiquement 7dB pour l'UE.

Bruit thermique « thermal noise » : le bruit thermique est le résultat de l'agitation des électrons des conducteurs sous l'action de la température.

$SINR_{Req}$ « Signal to Interference plus Noise Ratio » ou le rapport signal sur interférence plus bruit traduit la performance du système, en d'autres termes, plus le système est performant, plus cette valeur de $SINR$ requis est faible.

$$SINR = S/I_{O_{wn}} + I_{O_{th}} + N \quad (2.4) [16]$$

- **S:** le signal utile (La puissance reçue en dBm).
- **$I_{O_{wn}}$:** Les interférences à l'intérieur de la cellule (on considère que ces interférences sont nulles en OFDMA à cause de l'orthogonalité des sous-porteuses, exprimé en dB).
- **$I_{O_{th}}$:** Des interférences intercellulaires (dB).
- **N:** La puissance du bruit (dBm).

IM : marge d'implémentation.

G_{Rx} : Gain du récepteur (dBi) dépend de type et du nombre d'antennes.

- **PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) ou EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power) :**

Représente la puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope de l'antenne d'émission exprimée en dB. Elle est calculée par l'expression suivante :

$$PIRE = T_x \text{ puissance} + T_x \text{ Gains} - T_x \text{ Pertes} \quad (2.5) [16]$$

➤ **Les marges de planification :**

Pour le calcul des affaiblissements de parcours maximum et pour éviter d'avoir des trous de couverture et pour pouvoir atteindre les objectifs de couverture, il est indispensable de comptabiliser un ensemble de marges de sécurité, qui correspondent à l'environnement radio. [16]

➤ **Marges d'interférence :**

En LTE, un utilisateur n'interfère pas avec d'autres utilisateurs dans la même cellule car ils sont séparés dans le domaine fréquence/temps mais on parle de l'interférence avec des cellules voisines. Une marge d'interférence sera introduite dans le bilan de liaison pour compenser l'augmentation du bruit et maintenir l'équilibre. [16]

➤ **Marge d'évanouissement SFM « Slow Fading Shadowing »:**

La marge d'évanouissement lent est causée par le Shadowing, ou l'effet de masque, ce phénomène est dû aux obstacles qui existent dans le milieu de propagation radio, tel que les bâtiments et la morphologie du terrain (vallées, collines, etc.).[16]

➤ **Marge de pénétration :**

Le milieu dans lequel l'utilisateur évolue a un impact sur le bilan de liaison. En effet, l'UE peut être en visibilité directe avec la station de base (LOS : Line Of Sight) ou peut ne pas être en visibilité directe (NLOS : Non Line Of Sight).

Dans le deuxième cas, on parle d'un utilisateur situé à l'intérieur d'un bâtiment, ou dans une zone à haute densité de bâtiment, ou à l'intérieur d'un véhicule. Par conséquent, on distingue 4 types de couverture : Outdoor, indoor, deep et incar. Chacune de ces dernières est caractérisée par une marge de pénétration qui comptabilise les pertes additionnelles introduites. Cette marge dépend essentiellement de trois facteurs : [16]

- * **La fréquence du signal RF :** Les pertes varient selon la fréquence du signal.
- * **Le type des bâtiments :** essentiellement le matériel de construction (brique, bois, pierre, verre, etc.)
- * **La structure des bâtiments :** densité et épaisseur des murs, nombre et dimensions des fenêtres, etc.

➤ **Le modèle de propagation RF**

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

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

✓ **Modèle COST-231 Hata**

Le modèle **COST 231-Hata** il est développé pour étendre l'utilisation pour les bandes de 1500 à 2200MHz. [17]

L'affaiblissement selon ce modèle est donné par les équations suivantes :

Tableau 2.1. Modèle COST-231 Hata.

Morphologies	Modèle
Urban	$Lu = 46.3 + 33.9\log_{10}(F) - 13.82\log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55\log_{10}(h_b)] \cdot \log_{10}(d)$ <p style="text-align: center;">Avec :</p> $a(h_m) = [1.1\log_{10}(F) - 0.7] \cdot h_m - [1.56\log_{10}(F) - 0.8]$
Dense Urban	$Ldu = 46.3 + 33.9\log_{10}(F) - 13.82\log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55\log_{10}(h_b)] \cdot \log_{10}(d)$ <p style="text-align: center;">Avec :</p> $a(h_m) = [1.1\log_{10}(F) - 0.7] \cdot h_m - [1.56\log_{10}(F) - 0.8]$
Sub Urban	$Lsu = Lu - 2[\log_{10}(F|28)]^2 - 5.4$
Rural	$Lr = Lu - 4.78[\log_{10}(F)]^2 + 18.33\log_{10}(F) - \alpha$ <p style="text-align: center;">$\alpha = 35.94$ si la zone est rural quasi-ouvert</p>

Ce modèle existe mais n'est pas applicable en Algérie car ce sont des paramètres adaptés aux morphologies de Tokyo, pour cela on doit élaborer un modèle de propagation Cost-231HATA et le calibrer selon notre zone d'étude qui constitue les trois quartiers à forte densité de population : Bordj El Bahri, Bordj El Kifan, El Marsa.

- F: désigne la fréquence en MHz [1500,2000].

❖ **Calcul de bilan de liaison en DownLink :**

Le Tableau 2.2 présente les paramètres d'entrées utilisés pour le calcul des pertes maximum de trajets, Nous définissons les étapes de calculs pour aboutir au final à la valeur MAPL tolérée :

- La puissance isotrope rayonnée équivalente calculée au niveau de l'équipement mobile.
- La sensibilité du récepteur calculé au niveau de l'eNodeB.
- La puissance isotopique requise.

Tableau 2.2. Paramètres de bilan de liaison en DownLink.

Morphology	DU	U	SU	RU	Unit	Responsibility
Duplexe Mode	FDD	FDD	FDD	FDD		
System Bandwidth	10	10	10	10	Mhz	
Channel Mode	ETU 3	ETU 3	ETU 3	EVA 120		
Cell Edge Rate	4096	4096	4096	4096	Kbps	Customer
MCS	QPSK0.44	QPSK0.44	QPSK0.44	QPSK0.44		Vendor

	DU	U	SU	RU	Unit	Responsibility
Tx : eNodeB						
Tx power per Antenna	46.01	46.01	46.01	46.01	dBm	
Tx antenna Gain	18.23	18.23	18.23	18.23	dB <i>i</i>	calculated
Cable Loss	3.5	3.5	3.5	3.5	dB	Vendor+customer
MHA Insertion Loss	0.5	0.5	0.5	0.5	dB	customer
PIRE	32.73	32.73	32.73	32.73	dBm	calculated
RX : Mobile Equipement						
Thermal Noise	-132.24	-132.24	-132.24	-132.24	dBm	calculated
NodeB Noise Figure	7	7	7	7	dB	vendor
SINR requirement	0.58	0.58	0.58	1.48	dB	vendor
Receiver Sensibility	-124.66	-124.66	-124.66	-123.76	dBm	calculated
Path Loss						
RX Antenna Gain	0	0	0	0	dB <i>i</i>	Vendor+costumer
Interference Margin	3.72	3.72	3.72	5.34	dB	Calculated
Body Loss	0	0	0	0	dB	
Building Penetration Loss	19	15	11	8	dB	costumer
Shadowing Margin	8.75	7.97	2.57	1.97	dB	vendor
Gain against shadowing	2	2	2	2	dB	vendor
Isotropic Power	-98.19	-95.97	-105.19	106.45	dB	calculated
Allowed propagation Loss	130.92	128.7	137.92	139.18	dB	calculated

Le signal sur son trajet radio de l'antenne d'émission à l'antenne de réception (l'eNodeB vers l'UE) subi un ensemble de gains et de pertes qui sont schématisés sur le **Tableau 2.3**.

Tableau 2.3. Paramètres de bilan de liaison.

paramètres	Description
Gain Against Shadowing	Lorsque plusieurs cellules couvrent une zone, la probabilité d'avoir un niveau de champ suffisant augmente.
Isotropic Power Required	La puissance du signal requise est calculée pour tenir compte de la perte de pénétration du bâtiment et de l'écart type intérieur ainsi que de la sensibilité du récepteur et des marges supplémentaires
MHA "Mast head Amplifier" Insertion Loss	MHA : un amplificateur monté derrière toutes les antennes. Cet amplificateur résulte en une perte de puissance appelée la perte d'insertion
Modèle de canaux	ETU (Extended Typical Urban model) : modèle urbain typique étendu pour des vitesses de [3Km/h, 60Km/h].
	EVA (Extended Vehicular A model) : Modèle véhicule étendu A pour des vitesses plus que 120 Km/h

$$PIRE = P_{eNodeB} + Gain_{eNodeB} - \text{perte de cable} - MHA_{\text{perte d'insertion}} \quad (2.6) [16]$$

$$PIRE_{req} = \text{sensibilité}_{Rx} - Gain_{Rx} + IM - BL + Gain_{shadowing} + BPL + SFM \quad (2.7) [16]$$

$$MAPL = PIRE - PIRE_{req} \quad (2.8) [16]$$

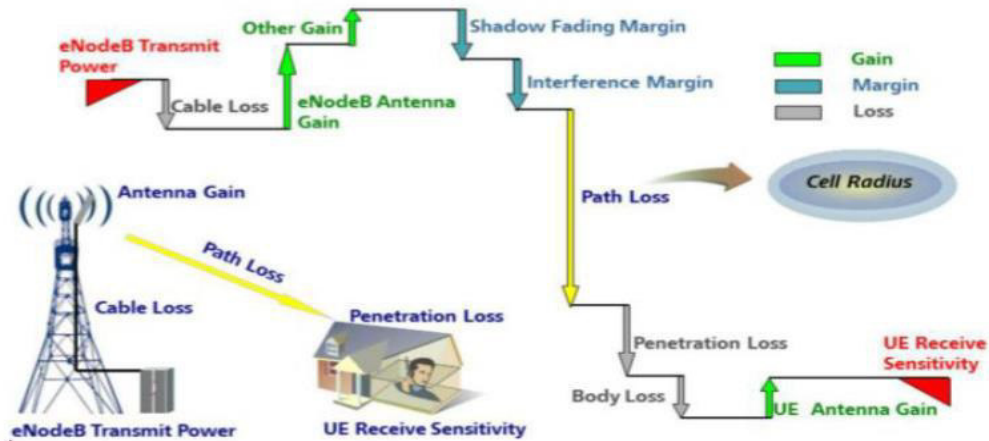


Figure 2.4. Bilan de liaison en Downlink. [16]

❖ Calcul de bilan de liaison en Uplink:

Tableau 2.4. Paramètre de bilan de liaison en Uplink.

Morphology	DU	U	SU	RU	Unit	Responsibility
Duplexe Mode	FDD	FDD	FDD	FDD		
System Bandwidth	10	10	10	10	Mhz	
Channel Mode	ETU 3	ETU 3	ETU 3	EVA 120		
Cell Edge Rate	512	512	512	512	Kbps	
MCS	QPSK0.31	QPSK0.31	QPSK0.31	QPSK0.31		vendor

	DU	U	SU	RU	Unit	Responsibility
Tx : Mobile Equipement						
Tx power per Antenna	23	23	23	23	dBm	
Tx power per subcarrier	3.18	3.18	3.18	3.18	dBm	calculated
Tx antenna Gain	0	0	0	0	dBi	customer
Body Loss	0	0	0	0	dB	
PIRE	3.18	3.18	3.18	3.18	dBm	calculated
RX : eNodeB						
Thermal Noise	-132.24	-132.24	-132.24	-132.24	dBm	calculated
NodeB Noise Figure	2.80	2.80	2.80	2.80	dB	vendor
SINR requirement	-2.39	-2.39	-2.39	0.29	dB	vendor
Receiver Sensibility	-131.83	-131.83	-131.83	-129.15	dBm	calculated

Path Loss						
RX Antenna Gain	18	18	18	18	dBi	Vendor+cust
Interference Margin	2	0.90	0.90	0.90	dB	Calculated
Cable Loss	0	0	0	0	dB	
Building Penetration Loss	19	15	11	8	dB	customer
Shadowing Margin	8.57	7.97	2.57	1.97	dB	vendor
Gain against shadowing	2	2	2	2	dB	vendor
MHA Insertion Loss	3	3	3	3		customer
Isotropic Power	-122.26	-125.96	-135.36	-136.28	dB	calculated
Allowed propagation Loss	125.44	129.14	138.54	139.46	dB	calculated

$$PIRE = P_{UE} + Gain_{UE} - Perte\ de\ corp \quad (2.9) [16]$$

$$PIRE_{req} = sensibilit _{Rx} - Gain_{Rx} + IM - BL + Gain_{shadowing} + BPL + SFM \quad (2.7) [16]$$

$$MAPL = PIRE - PIRE_{req} \quad (2.11) [16]$$

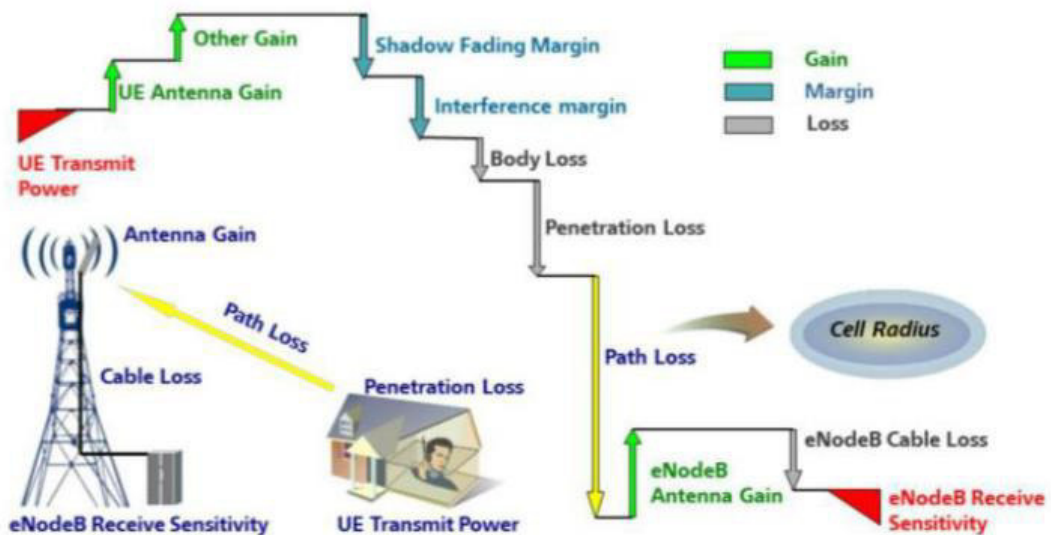


Figure 2.5. Bilan de liaison en Uplink. [16]

❖ **Calcul du nombre d'eNodeB pour le dimensionnement de couverture :**

➤ **Rayon de la cellule**

Après avoir calculé l'affaiblissement de parcours maximum (MAPL) par l'établissement d'un bilan de liaison en Downlink et Uplink, on peut déterminer le rayon de la cellule en utilisant le modèle de propagation adéquat. En effet, lorsque l'affaiblissement de parcours est égal à sa valeur maximale, la distance parcourue est égale au rayon de la cellule. [14]

Dans notre travail, nous avons utilisé le modèle COST-231 HATA calibré

On cherche à estimer le rayon des cellules pour chaque environnement et aussi pour la voie montante (Uplink) et la voix descendante (DownLink).

L'équation pour calculer la distance en Kilomètres $R_{cell(dense\ urban)}$ est la suivante :

$$R_{cell(dense\ urban)} = 10^\alpha \quad (2.12)$$

Avec :

$$\alpha = L_{p\ max} - A + 13.8 \times 2 \log(Hb) + a(Hm) / 44.9 - 6.55 \log(Hb)$$

A : La fréquence dépendant de la valeur d'atténuation.

Hb : La hauteur de l'eNodeB(m).

Hm : La hauteur de la station mobile (m).

Le calcul des rayons permet d'estimer la surface couverte par chaque site. Cette surface est donnée dans la **Figure (2.6)**

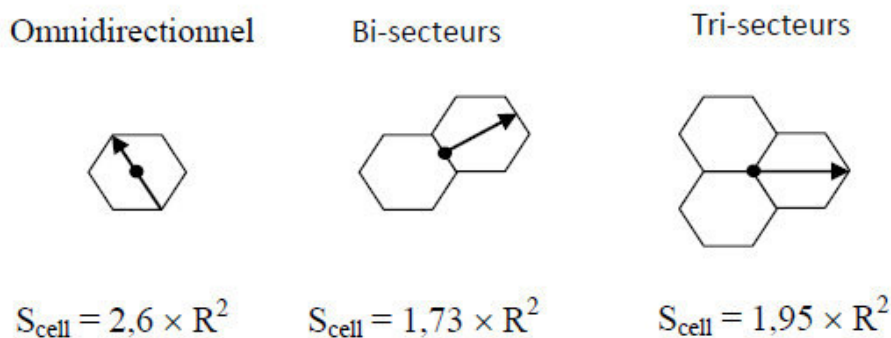


Figure 2.6. Différents types de cellules.

Après la détermination de l'empreinte du site, tout en disposant de la superficie totale de la zone de déploiement (notée $S_{déploiement}$) et de la surface d'une cellule (notée $S_{cellule}$), on peut enfin aboutir au nombre de sites demandées pour la couverture, $N_{couverture}$ à l'aide la formule (2.13) :

$$N_{\text{couverture}} = \frac{S_{\text{déploiement}}}{S_{\text{cellule}}} + 1 \quad (2.13)$$

Avec

$$S_{\text{cellule}} = K \times R$$

R : est la distance du rayon de la cellule ($R = \text{Min}(RUL; RDL)$).

K : est une constante, donnée suivant le nombre de secteurs (**Tableau 2.5**).

Pour notre cas, on est appelé à travailler sur une configuration des sites bi-sectorisés et tri-sectorisés.

Tableau 2.5. La superficie de la zone et la surface des cellules.

Type de Morphologie	Dense Urban	Urban	Sub Urban	Urban
$S_{\text{déploiement}} (\text{Km}^2)$	3.96	15.65	15.78	27.52
$S_{\text{cellule}} (\text{Km}^2)$	0.27	0.45	2.32	71.30

Finalement le nombre de sites trouver après calculé figurée dans le tableau suivant :

Tableau 2.6. Le nombre de sites obtenus de chaque zone.

Type de Morphologie	Dense Urban	Urban	Sub Urban	Rural
Nombre de sites par Morphologie	15	35	3	1

Finalement le nombre total de site de la zone de déploiement est égale :

$$Nbr \ eNodeB_{\text{couverture}} = \sum Nbr \ site_{DU}, Nbr \ site_U, Nbr \ site_{SU}, Nbr \ site_{RU} \quad (2.14)$$

$$Nbr \ eNodeB_{\text{couverture}} = 54 \ sites$$

II. 3.2. Dimensionnement orienté capacité

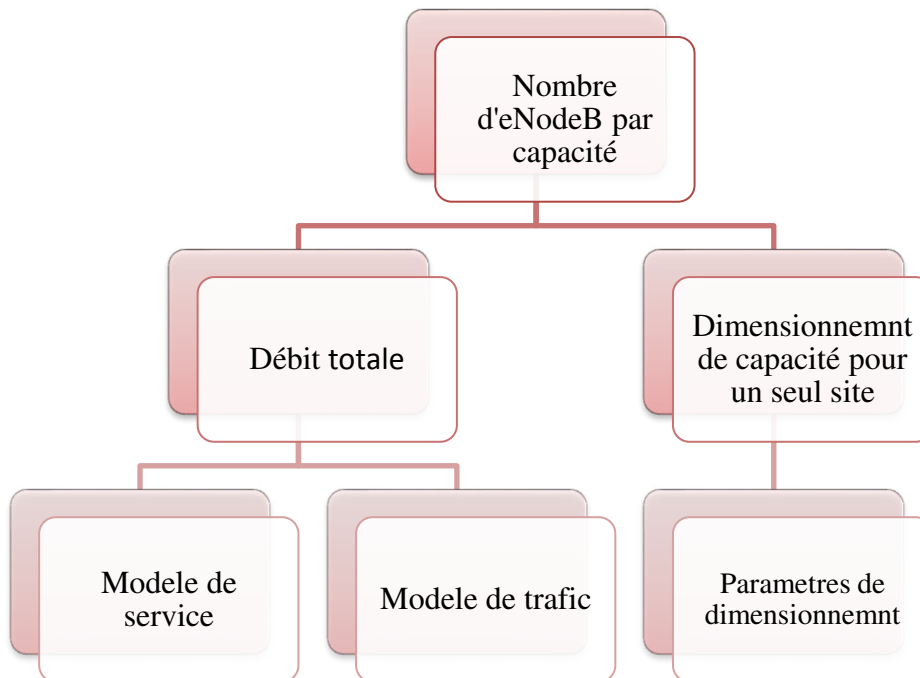


Figure 2.7. Organigramme de planification orientée capacité. [18]

Le dimensionnement de la capacité LTE comprend essentiellement deux parties qui sont le dimensionnement de la capacité sur un seul site et le calcul de débit total du réseau.

- Le dimensionnement de capacité pour un site unique est effectué en fonction de certains paramètres de dimensionnement tels que le mode de duplexage, la bande passante du système ...etc.
- le calcul du volume de trafic total est effectué sur la base du modèle de service et du modèle de trafic. Tout d'abord, le débit d'un seul utilisateur est calculé. Le débit du réseau total est ensuite généré.

Le nombre d'eNodeB par capacité est le résultat que le volume de trafic total est divisé par la capacité d'un seul site. [18]

➤ La procédure de calcul du débit réseau total (Total Network Throughput)

❖ Calcul de modèle de service

Le débit d'un seul utilisateur est calculé en utilisant le modèle de service et le modèle de trafic. Nous avons utilisé un modèle de service et de trafic selon le fournisseur HUAWEI :

Tableau 2.7. Les modèles de service. [18]

Service Model								
Traffic parameters	UL				DL			
	Bearer rate (Kbps)	PPP session time(s)	PPP session duty rate	BLER	Bearer rate (Kbps)	PPP session time(s)	PPP session duty rate	BLER
VoIP	26,9	80	0,4		26,9	80	0,4	
Video Phone	62,53	70	1	1%	62,53	70	1	1%
Video Conference	62,53	1800	1	1%	62,53	1800	1	1%
Real Time Gaming	31,26	1800	0,2	1%	31,26	1800	0,4	1%
Streaming Media	31,26	3600	0,05	1%	31,26	3600	0,95	1%
IMS Signaling	15,63	7	0,2	1%	15,63	7	0,2	1%
Web Browsing	62,53	1800	0,05	1%	62,53	1800	0,05	1%
File Transfer	140,69	600	1	1%	140,69	600	1	1%
Email	140,69	50	1	1%	140,69	50	1	1%
P2P file sharing	250,11	1200	1	1%	250,11	1200	1	1%

Basé sur le modèle de service **Data volume per session** peut être calculé par la formule suivante :

$$Data\ volume\ per\ session(Kbit) = \frac{Bearer\ Rate \times PPP\ session\ Time \times PPP\ session\ duty\ Ratio}{1 - BLER} \quad (2.15) \quad [18]$$

Avec :

Session Time: La durée de chaque session ppp.

PPP session Ratio: Le rapport de transmission de données de chaque session ppp.

BLER: Taux d'erreur de bloc.

Bearer Rate: Le taux support de la couche application de service (IP).

❖ **Calcul de modèle de trafic**

Modèle de trafic décrit les comportements de l’UE.

Tableau 2.8. Les modèles de trafic. [18]

Traffic Model								
User behavior	dense urban		urban		sub urban		rural	
	Traffic	BHSA	Traffic	BHSA	traffic	BHSA	Traffic	BHSA
	PR		PR		PR		PR	
VoIP	100%	1,4	100%	1,3	100%	1,4	100%	1,3
Video Phone	20%	0,2	20%	0,16	20%	0,2	20%	0,16
Video Conference	20%	0,2	15%	0,15	20%	0,2	15%	0,15
Real Time Gaming	30%	0,2	20%	0,2	30%	0,2	20%	0,2
Streaming Media	15%	0,2	15%	0,15	15%	0,2	15%	0,15
IMS Signaling	40%	5	30%	4	40%	5	30%	4
Web Browsing	100%	0,6	100%	0,4	100%	0,6	100%	0,4
File Transfer	20%	0,3	20%	0,2	20%	0,3	20%	0,2
Email	10%	0,4	10%	0,3	10%	0,4	10%	0,3
P2P file sharing	20%	0,2	20%	0,3	20%	0,2	20%	0,3

✓ **Paramètres dans le modèle de trafic**

- * Taux de pénétration (PR): proportion du type de service.
- * BHSA: tentatives (busy hour) de session chargée pour un seul utilisateur.

✓ **Calcul du débit d'un seul utilisateur**

$$single\ user\ throughput(Kbps) = (\sum(Data\ volume\ per\ session \times BHSA \times penetration\ Ratio)) \times (1 + peak\ to\ Average\ Ratio) / 3600 \quad (2.16). [18]$$

Σ : C’est la somme du débit de différents types de services.

morphology	dense urban	urban	sub urban	rural
peak to avrege ratio	40%	20%	10%	0%

Figure 2.8. Valeurs typiques pour Peak To Average Ratio.

Tableau 2.9. Résultats de débit de chaque utilisateur. [18]

Trafic	Dense urban		Urban		Sub Urban		Rural	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
VoIP	1217,29	1217,29	1130,34	1130,34	1217,29	1130,34	1130,34	1130,34
Video Phone	176,85	176,85	141,48	141,48	176,85	141,48	141,48	141,48
Video Conference	4547,64	4547,64	2558,05	2558,05	4547,64	2558,05	2558,05	2558,05
Real Time Gaming	682,04	5457,16	454,69	3638,11	682,04	3638,11	454,69	3638,11
Streaming media	170,51	25920,49	127,88	19440,37	170,51	19440,37	127,88	19440,37
IMS Signaling	44,21	44,21	26,52	26,52	44,21	26,52	26,52	26,52
Web Browsing	3410,73	13642,36	2273,82	9094,91	3410,73	9094,91	2273,82	9094,91
File Transfer	5116,00	27285,09	3410,67	18190,06	5116,00	18190,06	3410,67	18190,06
Email	284,22	454,75	213,17	341,06	284,22	341,06	213,17	341,06
P2P file sharing	12126,55	36380,12	18189,82	54570,18	12126,55	54570,18	18189,82	54570,18
Somme des débits de chaque service kbit/s	27776,03	115125,97	28526,44	109131,09	27776,03	109131,09	28526,44	109131,09
Peak to average ratio	40%		20%		10%		0%	
Debit d'un utilisateur kbit/s	10,80	44,77	9,51	36,38	8,49	33,35	7,92	30,31

❖ Calcul du débit réseau total

$$Total\ Network\ Throughput = Total\ User\ Number \times Single\ User\ Throughput \quad (2.17) [18]$$

Tableau 2.10. Le débit total du réseau. [18]

Item	Dense Urban		Urban		sub Urban		rural	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
nombre totale d'utilisateurs	17346							
pourcentage du nombre totale d'utilisateur	23%		59%		14%		5%	
densité UE (Nbr UE/Km*Km)	1000		660		410		30	
surface de morphologie	3,96		15,65		5,78		27,47	
nombre d'utilisateurs par morphologie	3960		10329		2370		824	
Débit d'un utilisateur(Kbps)	10,80	44,77	9,51	36,38	8,49	33,35	7,92	30,31
Débit total du réseau(IP layer) (Kbps)	42775,08356	177293,993	98216,5225	375738,332	20112,7764	79022,4264	6530,17686	24981,9247
radio overhead (from IP to MAC)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Débit totale du réseau (MAC) (Kbps)	43202,83439	179066,933	99198,6877	379495,716	20313,9042	79812,6506	6595,47863	25231,7439

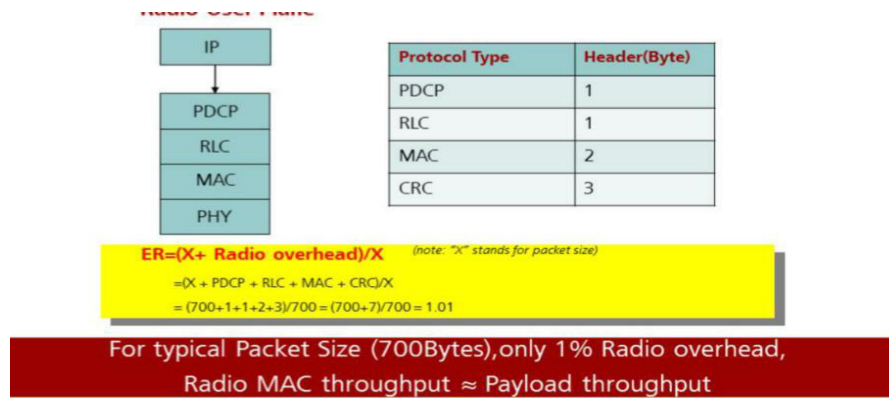


Figure 2.9. Le transfert de l'adresse IP vers l'adresse MAC. [18]

❖ Le nombre d'eNodeB par capacité

Le nombre d'eNodeB par capacité est calculé par la formule suivante :

$$\left[\max \left\{ \frac{DL \text{ network throughput}}{DL \text{ capacity per site}}, \frac{UL \text{ network throughput}}{UL \text{ capacity per site}} \right\} \right] \quad (2.18) [18]$$

item	Dense urban		urban		sub urban		rural	
	UP	DL	UP	DL	UP	DL	UP	DL
Network throughput (MAC) (Mbps)	42,88346292	177,7432	98,420575	376,51896	20,141644	79,135846	6,5432207	25,031825
cell avrage throughput (MAC) (2600MHz)(10M)	9,8	16,9	9,8	16,9	6,9	13	6,9	13
capacity per site	29,4	50,7	29,4	50,7	20,7	39	13,8	26
number of eNodeB by capacity (UP/DL)	2	4	4	8	1	3	1	1
number of eNodeB by capacity	4		8		3		1	

Figure 2.10. Calcul d'eNodeB par capacité.

II. 3.3.Équilibrer le dimensionnement entre couverture et capacité

Peut-être que les résultats du dimensionnement de la couverture et les résultats du dimensionnement de la capacité sont différents. Le nombre d'eNodeB doit donc être équilibré entre la couverture et la capacité. Le nombre final d'eNodeB résultant du dimensionnement est :

$$\max\{\text{Number of eNodeB by coverage}, \text{Number of eNodeB by capacity}\} \quad (2.19)$$

$Nbr \ eNodeB_{requis} = 54 \ \text{sites}$

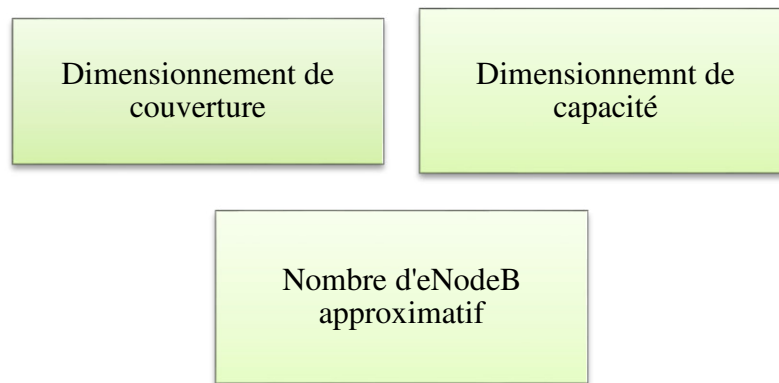


Figure 2.11. Balancement entre dimensionnement par couverture et capacité. [18]

II. 3.4. câblage d'un eNodeB

L'installation de l'eNodeB est composée de différents Equipements :

- Jumper : est un câble souple qui est utilisé aux extrémités du feeder. Ses pertes sont plus importantes.
- Feeder : est un gros câble rigide dont l'atténuation dépend du type, de la longueur et de la bande de fréquence.
- Connecteurs : qui relient des câbles ensemble introduisent des pertes supplémentaires.
- Duplexer ou triplexer: permet de combiner/séparer émission et réception sur une même bande de fréquence, Il s'agit essentiellement de filtres passe-bande, qui transmettent simultanément la RF dans les deux sens à travers le connecteur commun.
- TMA (Tower Mounted Amplifier) ou (Mast Head Amplifier MHA) : permet d'améliorer la sensibilité, il compense les pertes câbles (typiquement 3 dB). Mais il introduit une perte d'insertion sur la voie descendante (typiquement 0.5 dB).
- RRU : (Remote Radio Unit) ou RRH (Remote Radio Head) : permet de déporter certaines fonctions de la BS dans un module proche de l'antenne.[19]

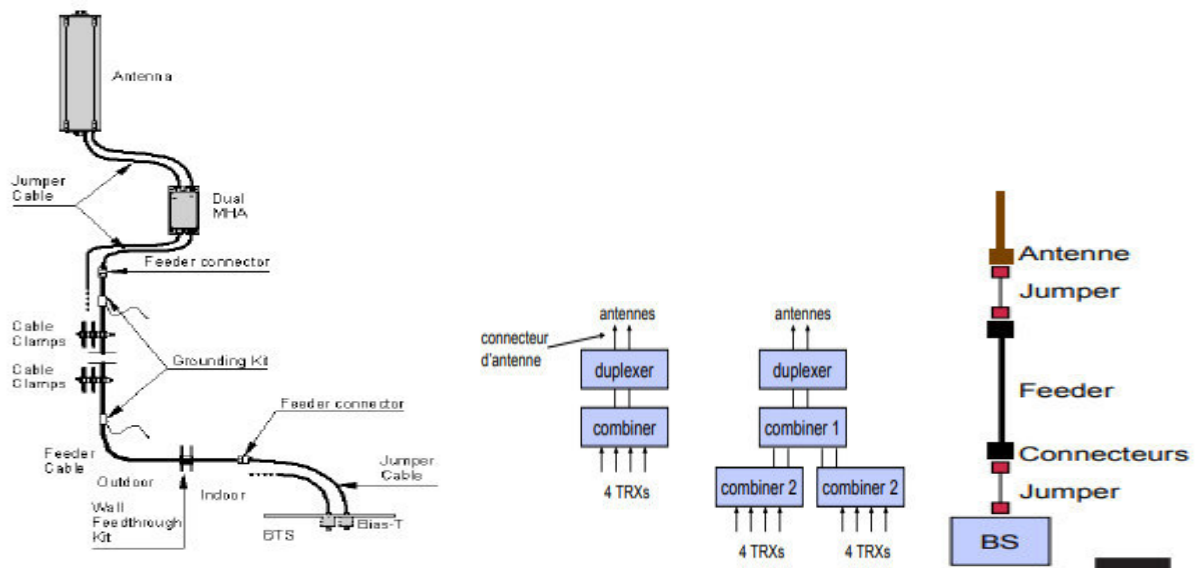


Figure 2.12. Les différents équipements de l'eNodeB. [19]

II. 4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes attachés à donner un modèle analytique simple qui permette de quantifier l'impact de dimensionnement d'un réseau mobile LTE qui fait intervenir deux composantes : couverture et capacité. Ces derniers s'avèrent complémentaires et essentielles pour la robustesse du processus de planification. Dans ce qui suit, nous allons mettre en œuvre la planification d'une partie du réseau mobile dans la région d'Alger.



C*HAPITRE 3:* *Planification des ressources Radio*

III. 1. Introduction

La planification constitue un processus systématique et une étape primordiale dans la conception d'un réseau cellulaire, le succès de cette phase est conditionné par la réalisation d'un bon dimensionnement du réseau, L'objectif de ce chapitre est de proposer une solution optimale pour assurer une bonne couverture d'une région d'Alger et de maintenir une bonne qualité de service.

Dans ce chapitre nous allons effectuer une planification en sélectionnant 54 sites selon le résultat du bilan de liaison orienté couverture obtenu dans le second chapitre pour le déploiement du réseau LTE, sachant qu'il existe 46 sites 4G déjà fixé sur la zone choisi, nous avons effectué la simulation de la couverture radio qui concerne la partie Est de la ville d'Alger

Dans notre cas on doit éliminer les trous de couvertures (black spot) avec l'ajout d'autres sites et configurés leur paramètres (hauteur, Azimut, Tilt...), Le processus de planification se fait à l'aide de l'outil de planification et de simulation radio **Atoll Forsk.**

III. 2. Définition du design radio

La planification radio permet de répondre aux objectifs stratégiques des opérateurs, en termes de zones et population à couvrir. Le design radio commence par la définition des objectifs :

- Hypothèses générales sur le design de tout le réseau.
- Stratégie de déploiement (zones et populations).
- Prévisions en termes d'abonnées.
- Modèle du trafic.
- Distribution du trafic.
- Modèles de propagation.
- Qualité de service.
- Services à fournir (Voix, GPRS, HSDPA, LTE...).
- Hauteur et configuration d'un site standard.
- Technologie (OFDMA, MIMO..) et bande de fréquence.
- Réseau existant.

Après la définition des objectifs, nous avons utilisé des outils de planification pour produire un plan nominal radio. Ce plan nominal résume les objectifs de :

- Couverture
- Qualité
- Capacité

III. 3. Processus de planification LTE :

Le processus de planification LTE est basé sur l'utilisation l'outil ATOLL. Il permet de réaliser de multiples prédictions. Les étapes à suivre lors de la phase de planification sont :

➤ **Planification :**

L'objectif de la phase de planification est de trouver les meilleurs emplacements pour eNodeB pour construire une couverture continue selon les exigences. La sortie de la phase de planification est :

- La couverture finale et détaillée.
- Les plans de capacité.

La phase de planification doit aussi étudier les fréquences, le problème des voisins et interférences.

➤ **Vérification :**

La vérification est la phase qui suit l'installation du site, mais pas encore disponible pour les utilisateurs. Le but de cette phase est d'assurer un fonctionnement optimal du réseau.

➤ **Optimisation :**

L'Optimisation du réseau est la phase finale qui permet de vérifier la satisfaction des clients et résoudre leurs plaintes.

III. 4. Description de la zone géométrique choisi

Cette étude concerne une zone géographique couvrant les villes de Borj El Kiffan, Borj El Bahri et El Marsa, Bab Ezzouar, Dar El Beida, Mohammadia.

Notre zone d'étude s'étend sur une superficie de $54,78\text{Km}^2$, dont la population avoisine les 330400 habitants, la **Figure 3.1** illustre la carte de la zone géographique à dimensionner :

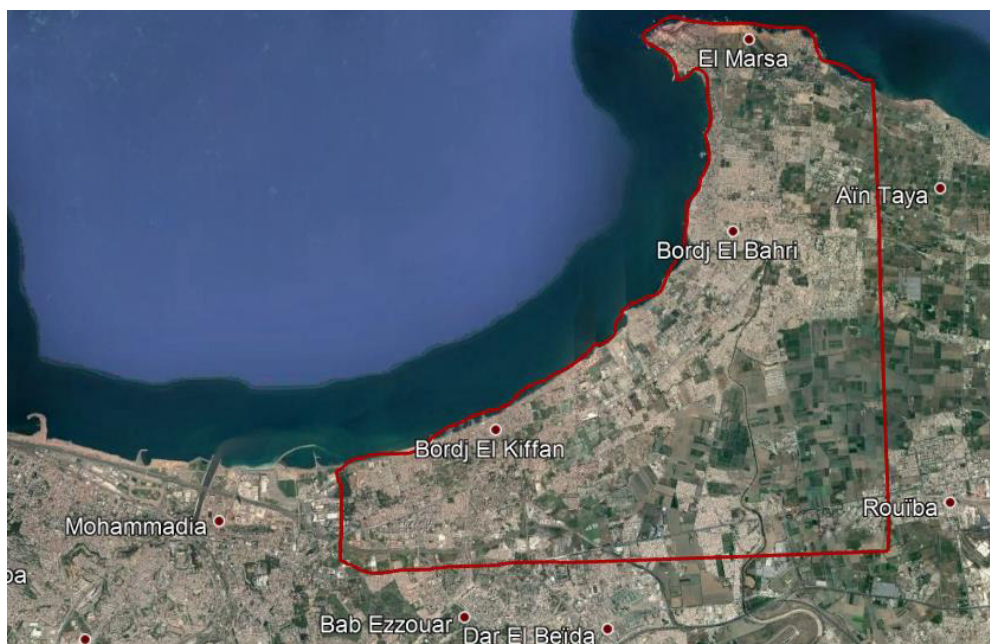


Figure 3.1 Carte de la zone géométrique à dimensionner via Google Earth.

Notre zone d'étude est caractérisée par plusieurs classes de morphologies, les différentes classes de sursol sont présentées sur la **Figure 3.2**

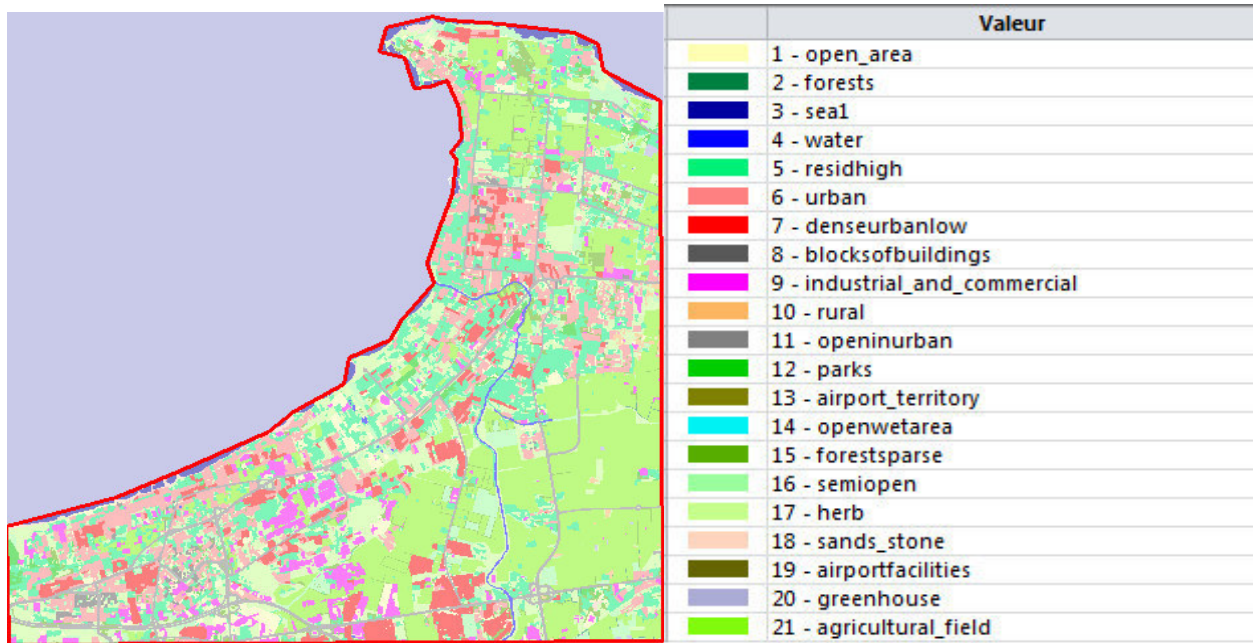


Figure 3.2. Classes de sursol.

III. 5. Phase de planification sur ATOLL

III. 5.1. Description d'ATOLL

ATOLL est un logiciel de dimensionnement, planification, prédiction et couverture pour le système de la radio diffusion.

- Il permet de simuler la couverture radio de chaque cellule à l'aide d'algorithmes de prédiction.
- Il prend en compte la géographie des sites, type d'émetteur, environnement, modèle de propagation radio et caractéristiques de l'eNodeB (Tilt, Azimut, etc.. .).

Le paramétrage du logiciel ATOLL est différent pour chaque technologie (on doit définir le modèle de propagation, le type d'antenne, les caractéristiques du site, etc. .).

III. 5.1.1. Les étapes de configuration à suivre :

Les étapes de configuration d'ATOLL sont (voir ANNEXE C) :

- Création d'un projet LTE.
- Importer la carte de la région à planifier (résolutions des pixels de 20m).
- choisir le système de coordonnées.
- définir le modèle de propagation.
- créer les paramètres radio (le type d'antenne, les caractéristiques du site...).

- ajouter des sites (un nom, une position et une hauteur...).
- configurer les paramètres du Transmetteur.

III. 5.1.2. Classification du clutter sur ATOLL

Après avoir entré tous les paramètres calibré du modèle COST -231 HATA dans les différents environnements sur ATOLL (Dense Urban, Sub Urban, Urban, Rural), nous avons, dans ce qui suit, une classification du clutter des villes (Borj El Kiffan, Borj El Bahri et El Marsa) selon le DU, SU, U, RU, NA, comme illustré sur la **Tableau 3.1** :

Tableau 3.1. Classification et surface des différents clutter

Nom	Surface (km ²)	Pourcentage	classification morphologie
open_area	1,7576	3,2	RU
forests	0,04	0,1	RU
sea	1,1432	2,1	NA
water	0,2808	0,5	NA
residhigh	8,672	15,9	U
urban	6,9772	12,8	U
denseurbanlow	3,6264	6,6	DU
blocksofbuildings	0,3352	0,6	DU
industrial_and_commercia	2,4928	4,6	SU
rural	0,1548	0,3	RU
openinurban	2,7232	5	SU
parks	0,56	1	SU
airport_territory	0	0	RU
openwetarea	0	0	NA
forestsparse	1,5832	2,9	RU
semiopen	2,5192	4,6	RU
herb	7,216	13,2	RU
sands_stone	0,2524	0,5	NA
airportfacilities	0	0	U
greenhouse	0,0552	0,1	NA
agricultural_field	14,1956	26	RU

III. 5.1.3. Insertion des sites

Ainsi, pour toute la région, nous avons atteint le nombre total de 54 sites. Pour réussir l'importation de ces sites, nous devons tenir compte des 46 sites 4G sélectionnés par l'opérateur dans la fenêtre d'ATOLL, on clique doublement sur le dossier « Sites » (ou cliquer avec le bouton droit sur le dossier « Sites » et sélectionner « ouvrir la table » afin d'importer les 46 sites choisis par l'opérateur à partir d'un fichier Excel qui contient toutes les informations essentielles comme montre la **Figure 3.3**

Site	X	Y	Tech/status
A16X096	3,19396	36,7403	2G/3G/4G On air
A16X099	3,1662	36,7318	2G/3G/4G On air
A16X105	3,24017	36,7276	2G/3G On air
A16X1058	3,22742	36,7617	2G/3G On air
A16X1065	3,25154	36,8043	2G/3G On air
A16X109	3,25026	36,7917	2G/3G/4G On air
A16X1095	3,17395	36,7319	Not On Air
A16X1100	3,2321	36,7524	3G On air
A16X1111	3,20378	36,7391	2G/3G On air
A16X1112	3,18127	36,7461	2G/3G On air
A16X1125	3,25214	36,7438	2G/3G On air
A16X119	3,21981	36,7493	2G/3G On air
A16X130	3,23882	36,7638	2G/3G/4G On air
A16X131	3,23536	36,8062	2G/3G/4G On air
A16X136	3,25455	36,811	2G/3G/4G On air
A16X144	3,2565	36,7692	2G/3G/4G On air
A16X177	3,24908	36,7805	2G/3G/4G On air
A16X178	3,23312	36,7785	2G/3G/4G On air
A16X182	3,18916	36,7463	2G/3G/4G On air
A16X183	3,17497	36,7367	2G/3G On air
A16X184	3,18439	36,7352	2G/3G/4G On air
A16X205	3,17852	36,7427	2G/3G/4G On air

Figure 3.3. Les différents paramètres des sites.

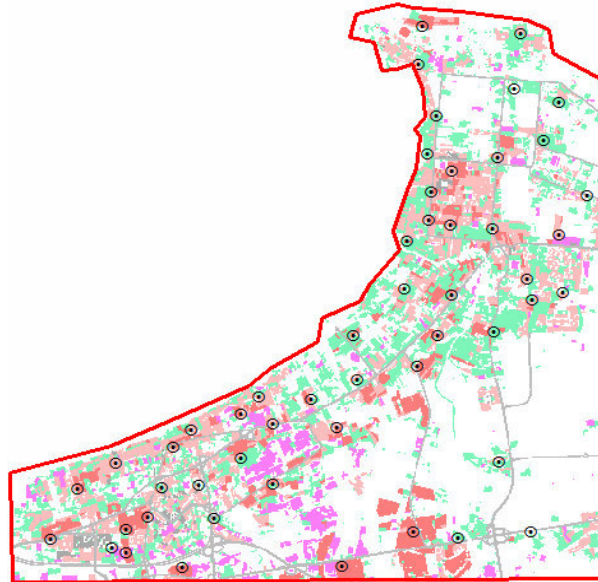


Figure 3.4. Emplacement des sites dans le polygone.

De la même manière, on peut importer les secteurs « Transmitters » et les cellules « Cells » dans le polygone, pour obtenir la carte décrite dans la **Figure 3.5**

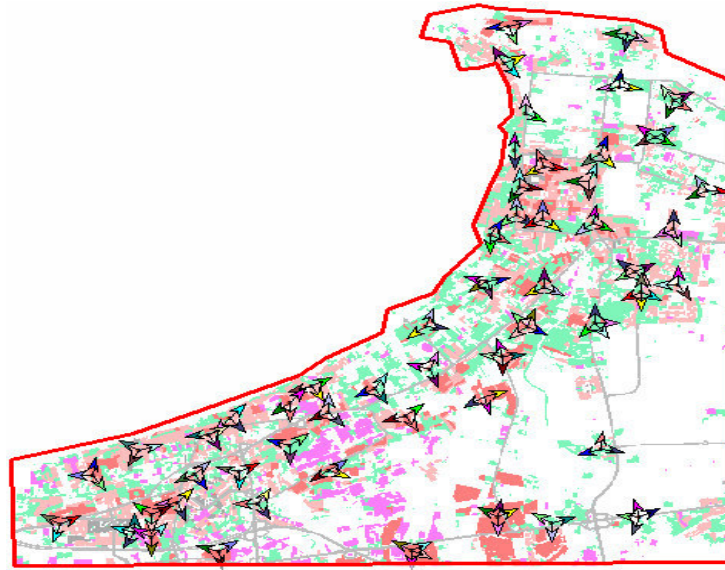


Figure 3.5. L'emplacement des « sites, émetteurs et cellule » dans le polygone.

III. 6. La Phase de prédiction

Le test de prédiction nous donne l'information sur le chevauchement des cellules, la couverture et la qualité du signal ainsi que le débit requis en chaque point de la zone d'étude pour cela nous avons effectué les prédictions suivantes qu'illustrent le plus le comportement des signaux qu'apporte la présence de la technologie LTE dans le réseau.

III. 6.1. Prédiction avant déploiement

Après avoir déployé les sites 4G déjà existés, on utilise l'outil ATOLL pour effectuer plusieurs prédictions en terme de : niveau de signal RSRP (Reference Signal Received Power), qualité de signal RSRQ (Reference Signal Received Quality), débit fourni en DL(Downlink-Throughput)et UL(Uplink-Throughput), zones de recouvrements (overlapping zones) afin de détecter les trous de couverture dans les zones à forte densité urbaine (endroits où le niveau de signal (RSRP) ou bien la qualité (RSRQ) sont dégradés).

III. 6.1.1. Prédiction avant déploiement de niveau de signal RSRP (signal de référence RS)

RSRP est la mesure la plus basique réalisée par la couche physique du l'UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise par la station de base par RE (Resource Élément) [20].

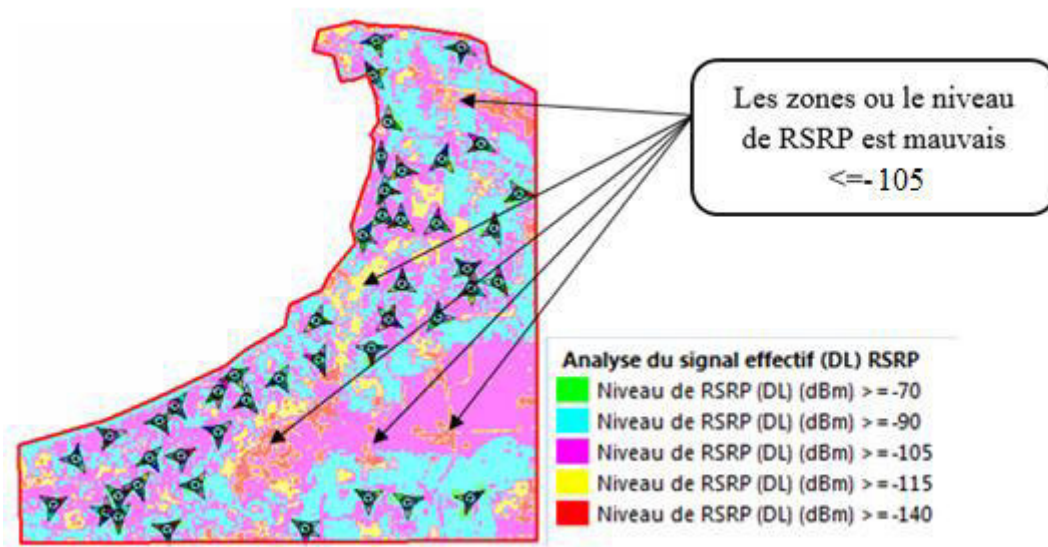


Figure 3.6. Prédiction par niveau de signal RSRP.

Tableau 3.2. Description des niveaux de RSRP reçu.

(RSRP) (dB)	description
[-140,-115[	Mauvaise qualité
[-115,-105[	Qualité acceptable
[-105,-90[	Bonne qualité
[-90,-70[	Excellente qualité

III. 6.1.2. Prédiction avant déploiement de la qualité du signal RSRQ

Bien que le RSRP soit une mesure importante, il ne donne aucune information sur la qualité de la transmission. Le LTE s'appuie alors sur l'indicateur RSRQ.

L'indicateur RSRQ est un type de mesure signal sur bruit, il indique la qualité du signal de référence reçu. Il est défini par la formule suivante [20] :

$$RSRQ = 10 \times \log_{10} \left(\frac{N \times RSRP}{RSSI} \right)$$

Avec :

N : Le nombre de ressources blocks sur lequel le RSSI est mesuré.

$RSSI$: « Received Signal Strength Indicator » : l'indicateur de la puissance du signal reçue.

$RSSI$ = le bruit thermique + la puissance de la cellule servie + puissance d'interférences.

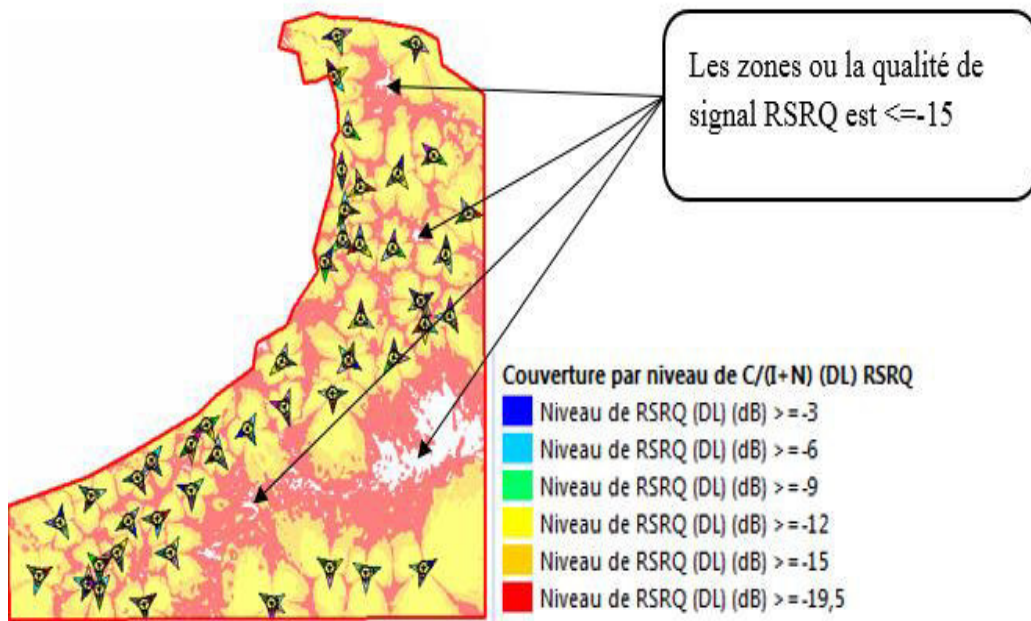


Figure 3.7. Prédiction par l'indicateur de qualité RSRQ.

Tableau 3.3. Les seuils et la description du RSRQ.

RSRQ (dB)	description
$[-19.5, -15[$	Mauvaise qualité
$[-15, -12[$	Qualité acceptable
$[-12, -9[$	Bonne qualité
$[-9, -6[$	Excellente qualité

III. 6.1.3. Prédiction avant déploiement par niveau de SINR

Le SINR c'est le rapport signal sur interférence (Signal-to-Interference Ratio) ou rapport signal sur brouillage est le quotient entre la puissance reçue du signal et les interférences dues aux autres signaux utilisant la même bande de fréquences. C'est un indicateur de la qualité utilisé dans la planification du réseau [20].

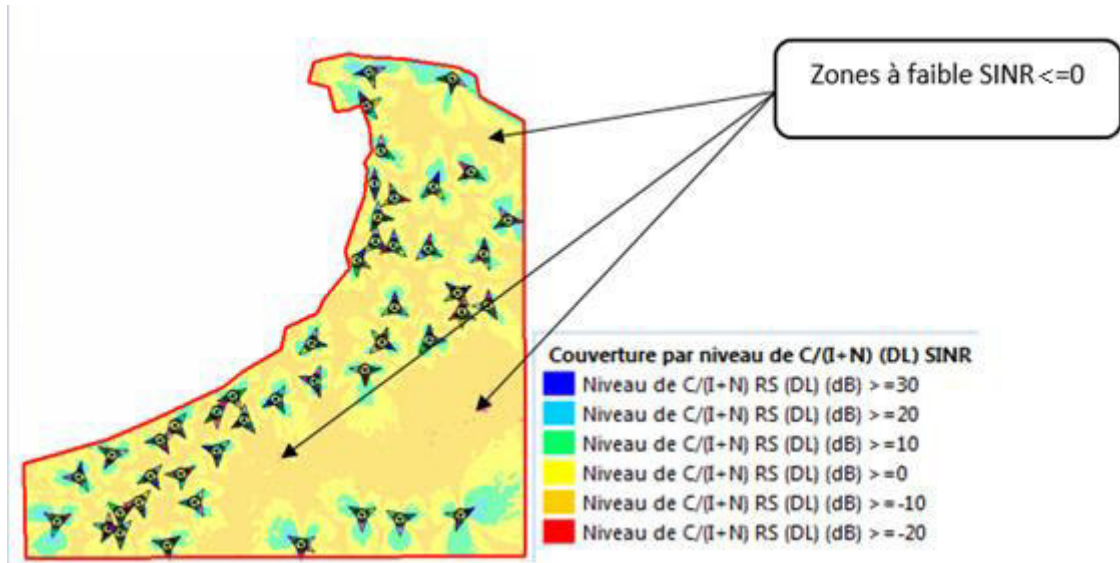


Figure 3.8. Prédiction par niveau de SINR.

Tableau 3.4. Les seuils et la description du SINR.

SINR (dB)	Description
$[-20, -10[$	Mauvaise qualité
$[0, 10[$	Qualité acceptable
$[10, 20[$	Bonne qualité
$[20, 30[$	Excellente qualité

III. 6.1.4. Prédiction avant déploiement de débit DL (DownLink)

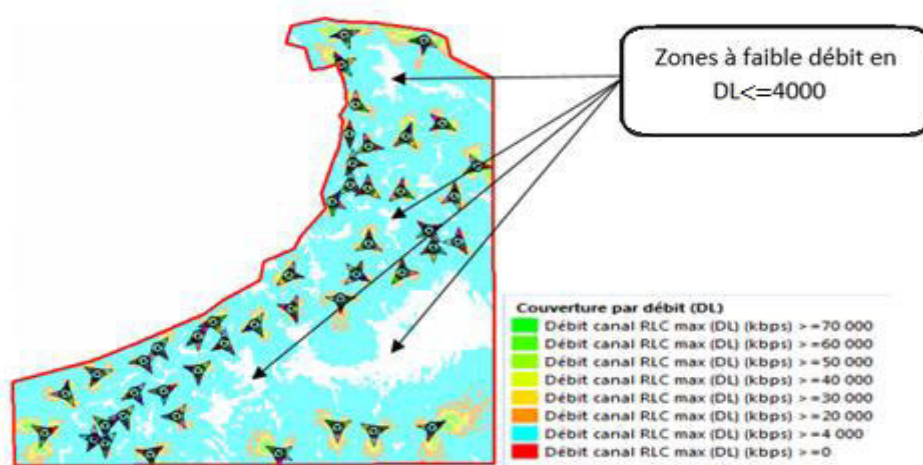


Figure 3.9. Prédiction sur le débit fourni en DL.

Tableau 3.5. Les seuils et la description du débit en Downlink.

Le débit DL (Kb/s)	Description
[0,4000[	Débit DL faible
[4000,20000[	Débit DL acceptable
[20000,30000[	Débit DL bon
[30000,50000[	Débit DL très bon
[50000,70000[	Débit DL excellent

III. 6.1.5. Prédiction avant déploiement de débit UL(Uplink)

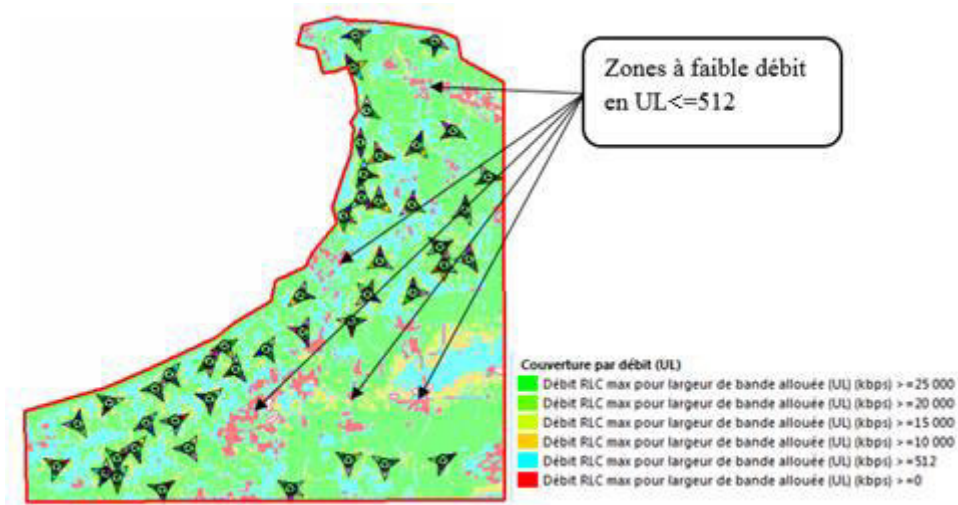


Figure 3.10. Prédiction sur le débit fourni en UL.

Tableau 3.6. Les seuils et la description du débit en Uplink.

Le débit en UL (Kb/s)	Description
[0,512[	Débit UL faible
[512,10000[	Débit UL acceptable
[10000,15000[	Débit UL bon
[15000,20000[	Débit UL très bon
[20000,25000[	Débit UL excellent

III. 6.1.6. Prédiction sur les zones de chevauchements (overlapping zone)

Les zones de recouvrement (nombre de serveurs) de critères sont utilisées pour établir la qualité de l'environnement de propagation RF à partir d'un point de vue de l'interférence, se produisent lorsque plusieurs émetteurs (serveurs) couvrent la même zone géographique. Les résultantes permettent de distinguer les zones où le mobile est couvert par un ou plusieurs serveurs. [21]

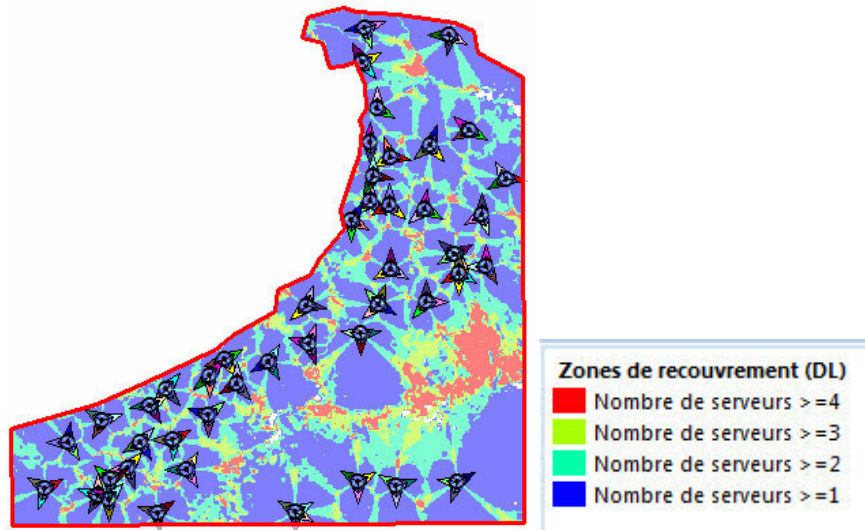


Figure 3.11. Prédiction de la zone de recouvrement.

Tableau 3.7. Le nombre de cellules chevauchées et la description.

Nombre de cellules chevauchées	Description
1	Pas de chevauchement
2	Acceptable
3	Alerte
Plus que 4	Alerte

Dans ce qui précède nous avons présenté les prédictions et les problèmes existants sur la zone d'étude (les trous de couverture) avec les sites 4G LTE réel de Djezzy. Dans la première partie, nous avons travaillé sur les sites 4G, en procédant sur deux paramètres : tilt électrique et puissance d'émission pour avoir la couverture la plus convenable possible et cela par l'utilisation de la procédure ACP « Automatic Cell Planning ».

Ensuite, nous avons positionné les nouveaux sites dans les endroits où nous avons des trous de couverture.

III. 7. Automatic cell planning « ACP »

L'outil de planification cellulaire automatique (ACP) permet aux opérateurs de trouver automatiquement les meilleures options pour planifier des nouveaux sites ou pour des sites existants.

Un cas typique d'utilisation de la planification ACP pour le réseau d'accès radio est la sélection automatique des meilleurs sites pour les petites cellules parmi une liste de candidats pour atteindre les objectifs de couverture ou de capacité. Les outils de planification automatique des cellules sont généralement basés sur des algorithmes d'optimisation mathématique sophistiqués qui trouvent une solution optimale.

L'ACP peut être utilisé soit avec les réseaux déjà existants ou avec des réseaux en phase initiale de planification.

Lors de l'optimisation d'un réseau, en phase de planification sous ATOLL, l'ACP calcule l'amélioration qu'il peut apporter au réseau de la manière suivante :

- Sélection du type d'antenne pour chaque émetteur : L'ACP sélectionne la meilleure antenne à partir du groupe d'antennes attribuées à cet émetteur.
- Changer l'Azimut (orientation des secteurs) pour les nouveaux sites.
- Changer la puissance d'émission (Power).
- Changer l'inclinaison de l'antenne (Tilt).

On va appliquer une ACP initiale sur les sites 4G existant sur la carte, après on va appliquer une ACP sur les tous les sites (sites 4G et les sites rajoutée), pour avoir une amélioration des différents paramètres (power, tilt..). L'azimut est uniquement modifié dans les sites ajoutés car il est impossible de les changer dans les autres sites en raison du risque d'influence sur la couverture 3G-2G, dans notre cas nous avons ajouté et réactivé quatre sites. [22]

III. 7.1. Création d'une nouvelle ACP

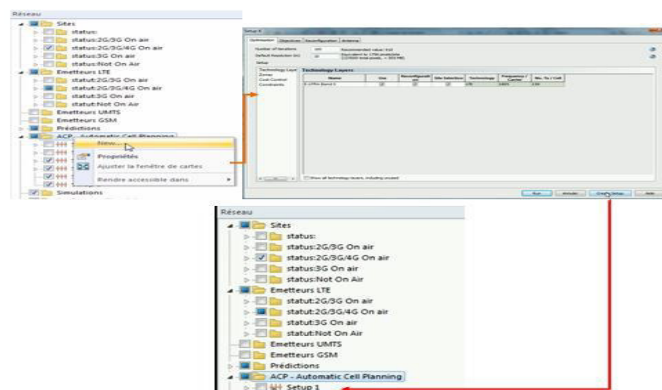


Figure 3.12. Étapes de création de l'ACP.

III. 7.2. Réglage des paramètres d'optimisation :

- Les paramètres d'optimisation des couches de radio à être optimisées (UMTS, GSM900, GSM1800, LTE)
 - L'utilisateur peut activer / désactiver la couche radio à utiliser.
 - Nombre d'itération (nombre maximal de changements potentiels).

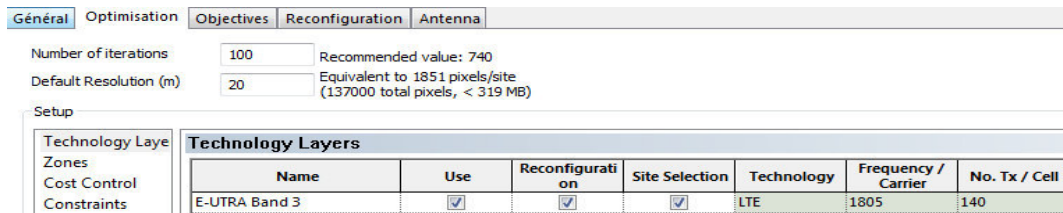


Figure 3.13. Sélection de la couche Radio 1800 FDD-10MHz (E-UTRAN Band3)

- La sélection de la zone d'étude à optimiser :
 - La sélection de la zone de computation où l'optimisation sera réellement effectuée.
 - La sélection d'un groupe de classes de sursol personnalisés (zone cible).

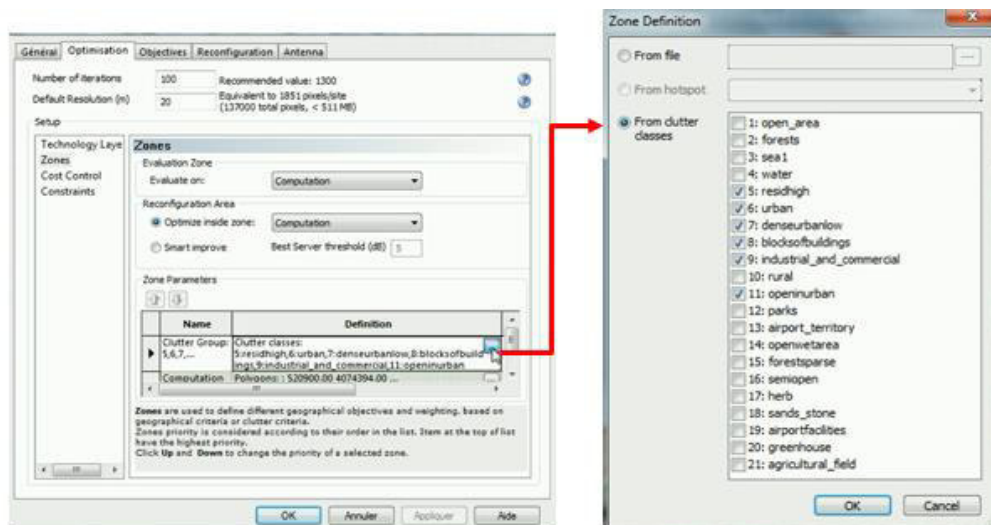


Figure 3.14. Sélection de la zone de computation et les zones cibles.

➤ Réglage des paramètres de reconfiguration

- sélectionné des paramètres définis par cellule ou par secteur (Tilt, azimut, hauteur d'antenne, la puissance totale) à optimiser dans le but d'augmenter la couverture et la qualité.
- Sélection des sites à être optimisées.

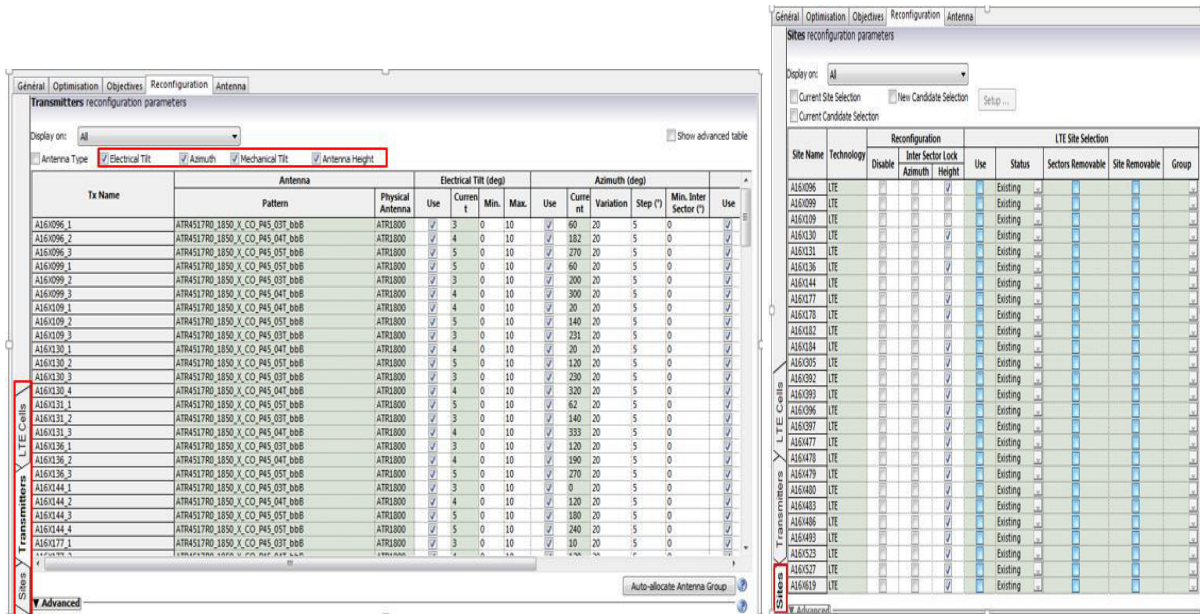


Figure 3.15. Modification des paramètres de reconfiguration.

➤ Objectifs

- Zones cibles pour les zones géographiques.
- Objectif principal : Optimisation du (overlap, niveau de signal, RSRP, RSRQ).

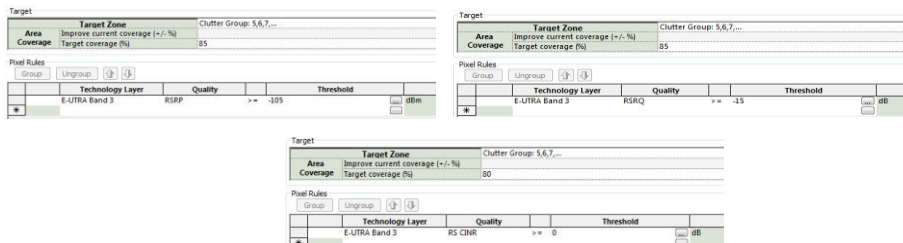


Figure 3.16. Les seuils pour chaque prédiction.

On trouve par défaut les objectifs sur la zone de computation mais Atoll permet de donner des priorités à des zones spécifiques.

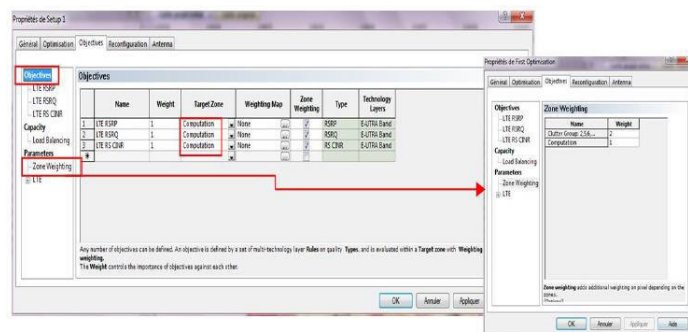


Figure 3.17. Configuration des objectives d'optimisation.

Après avoir déterminé la nouvelle configuration ACP, nous pouvons lancer l'optimisation immédiatement.

III. 7.3. Résultats de la première ACP sur les sites 4G LTE

Les deux Figures 3.18 et 3.19 montrent les modifications fournées par l'ACP sur les sites 4G :

Site Selection and Reconfiguration Statistics

Reconfiguration						
Antenna	Elec. Tilt	Azimuth	Mech. Tilt	Antenna Height	Power	
0	58	0	0	0	40	

Figure 3.18. Statiques des modifications effectuées par l'ACP.

Figure 3.19. Les corrections automatiques de la première optimisation des sites 4G.

L'ACP a modifié uniquement le tilt électrique et la puissance, une petite amélioration a été apportée à la couverture en termes de RSRP, RSRQ, SINR et débit DownLink le Tableau 3.8 montre le pourcentage de couverture obtenue après le premier ACP sur les zones à forte densité de populations.

Tableau 3.8. Comparaison de pourcentage de couverture pour chaque prédiction.

	Avant l'ACP	Après l'ACP
RSRP >= -105 dBm	75%	79%
RSRQ >= -15 dB	76%	88%
SINR >= 0 dB	65%	80%
Débit DL >= 4 Mbps	90%	97%
Débit UL >= 512	88%	88%

Une analyse sur des niveaux de prédictions détaillées pour chaque seuil, permet de générer un rapport sur ATOLL pour toute prédiction. Le rapport affiche pour chaque classe de sursol la surface couverte en km² par chaque valeur de seuil.

Nous récupérons un autre tableau dans Atoll qui affiche la surface totale couverte par chaque classe de sursol dans la zone de calcul, on s'intéresse uniquement aux zones à forte densité de population (haut résidentiel, urbain, faible densité urbain, bloc de constructions, industriel et commercial, Surface ouverte en ville (la route)).

Tableau 3.9. Surface de chaque classe de sursol.

Nom des morphologies	Surface (Km ²)
residhigh	8,672
Urban	6,9772
denseurbanlow	3,6264
blocksofbuildings	0,3352
industrial_and_commercial	2,4928
Surface totale des morphologies	24.8268

Nom	Surface (km ²)	% zone de ca	Surface oper	Surface fore	Surface sea	Surface wate	Surface resic	Surface urba	Surface dens	Surface blocl	Surface indu	Surface rural	Surface op
Couverture par niveau de RSRQ	52,9856	97,2	1,72	0,04	1,1	0,26	8,59	6,92	3,62	0,33	2,46	0,15	2,4
Niveau de RSRQ (DL) (dB) >=12	15,2512	28	0,47	0	0,31	0,04	3,57	2,44	1,64	0,1	0,81	0,06	0,1
Niveau de RSRQ (DL) (dB) >=15	35,4904	65,1	1,21	0,02	0,76	0,13	6,77	5,22	2,97	0,24	1,86	0,12	1,1
Niveau de RSRQ (DL) (dB) >=19,5	52,9856	97,2	1,72	0,04	1,1	0,26	8,59	6,92	3,62	0,33	2,46	0,15	2,4

Figure 3.20. Le rapport de prédiction généré sur Atoll.

Nous avons souligné sur la **Figure 3.20** la valeur du seuil à améliorer pour chaque prédiction. Pour acquérir les résultats de comparaison cités dans le **Tableau 3.8**.

Nous avons sommé la surface totale couverte par la valeur du seuil indiquée pour les zones à fortes densité de population comme illustré dans le **Tableau 3.9**, dans la suite nous avons divisé la surface totale couverte par seuil sur la surface totale des morphologies, la valeur obtenue indique le pourcentage de couverture des à forte densité par les niveaux de performance supérieur où égale aux seuils indiquée.

III. 8. La solution proposée pour l'amélioration des performances

Après avoir effectué les différentes prédictions nécessaires (RSRP, RSRQ, Débit) nous remarquons qu'il existe des zones où le niveau de couverture et de qualité est faibles nous rencontrons un inconvénient majeur (trous de couvertures) dû aux différents obstacles c'est-à-dire des coupures au niveau du lien radio.

Pour résoudre ce problème nous avons proposé une solution d'amélioration qui prend en considération les zones à forte densité de population, Nous avons adapté à plusieurs étapes : le dépoilement de la technologie 4G sur les sites 2G/3G, l'activation des sites Djezzy hors services, l'ajout de nouveaux sites 4G, l'ajout des secteurs sur les sites 4G de Djezzy on respectant la répartition de la population (les zone à forte densité de population) à l'aide de Google Earth, la carte de trafic.

Cette solution permet d'éliminer ces trous de couverture, et améliorer la qualité.

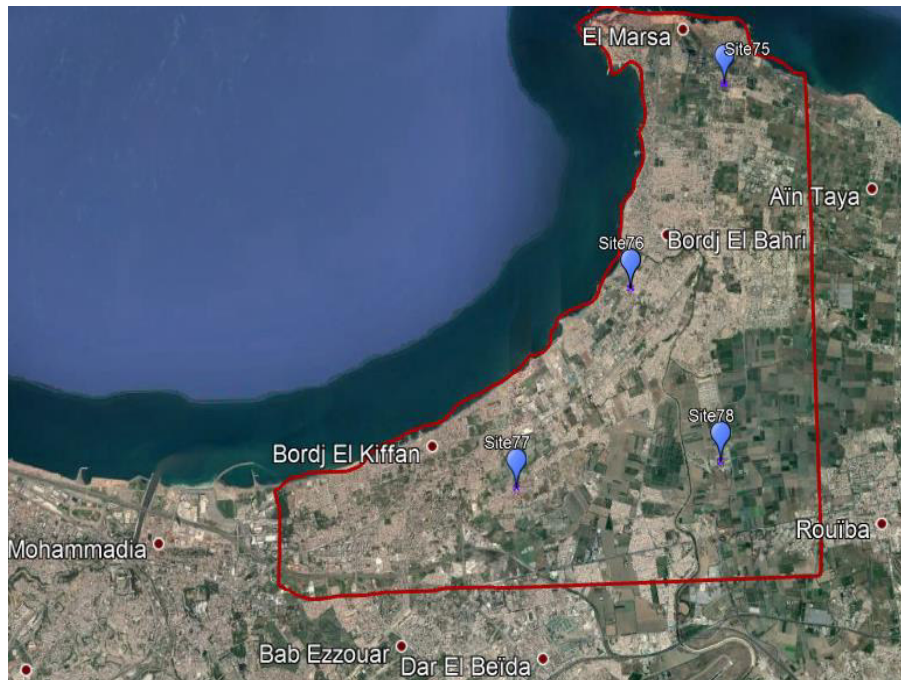


Figure 3.21. Installation des nouveaux sites.

Les actions effectuées :

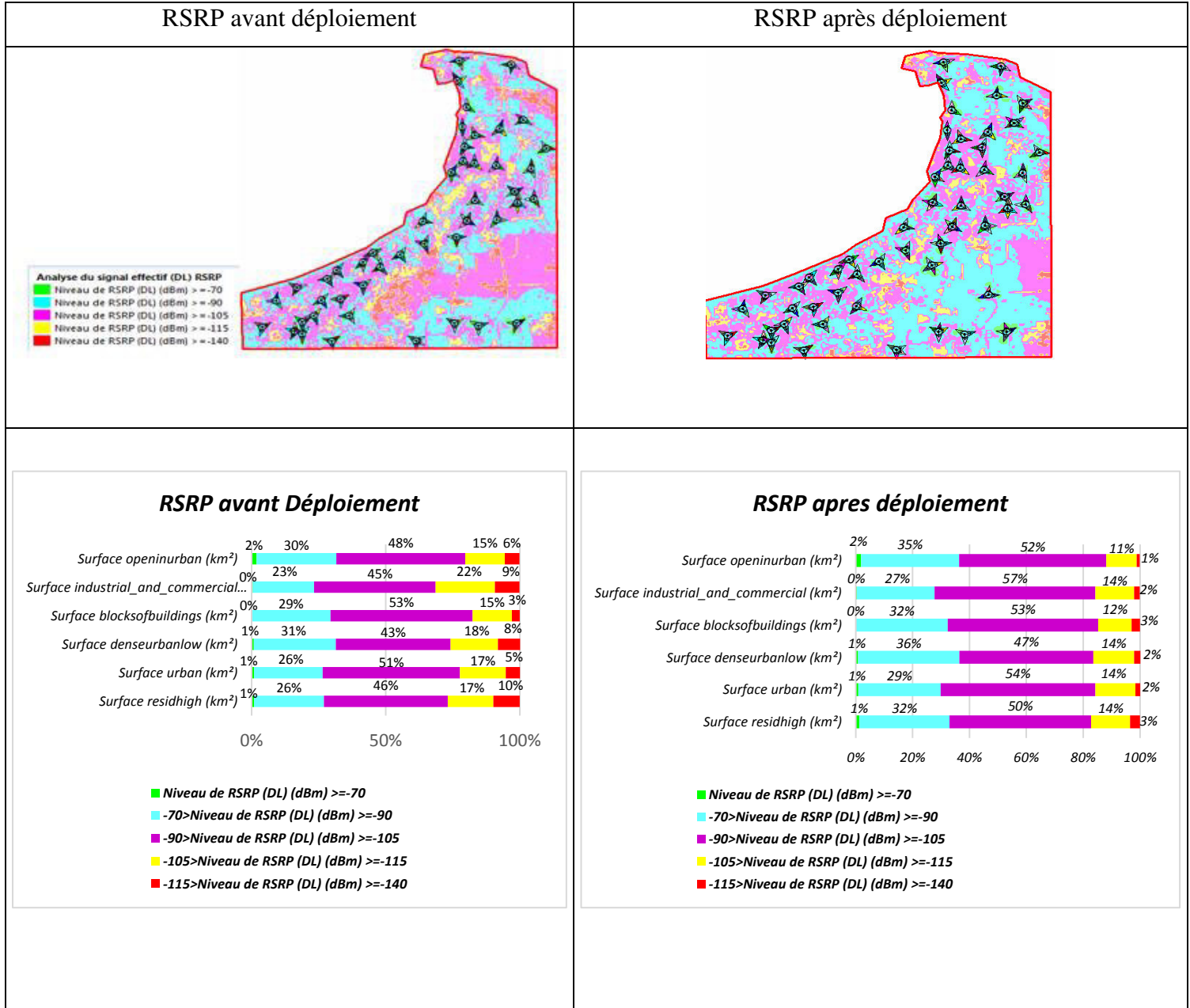
Tableau 3.10. Le nombre de site pour chaque action.

	Site ajouté	Site 2G/3G réactiver	Secteur ajouté
Nombre de sites	4	3	7

III. 9. Résultats de prédiction après déploiement

III. 9.1. Résultat de prédiction après déploiement par niveau de signal RSRP

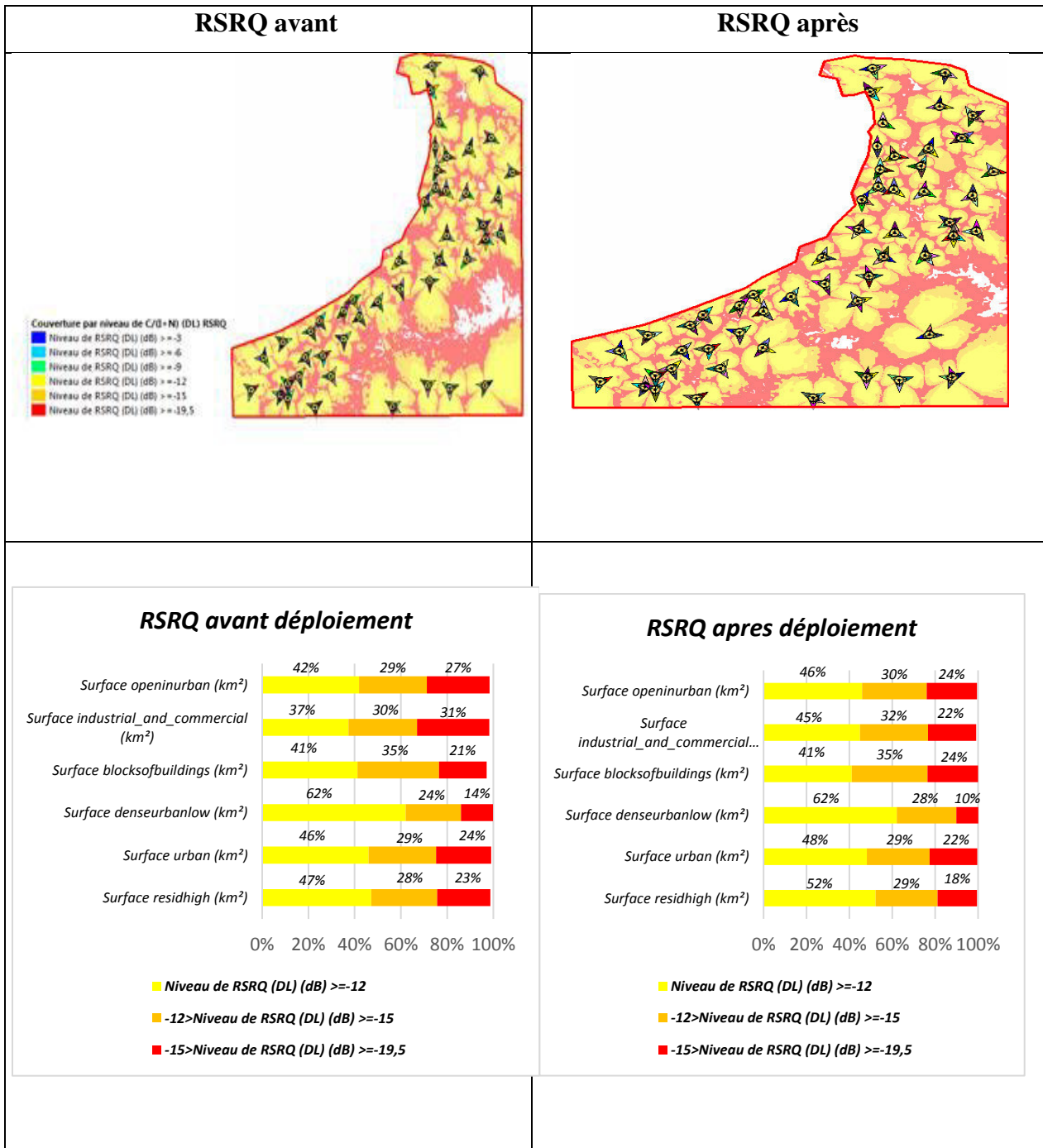
Tableau 3.11. Résultat de prédiction par RSRP.



Le niveau de signal RSRP est amélioré, une augmentation de 9% pour un niveau de signal ≥ -105 dBm.

III. 9.2. Résultat de prédiction après déploiement par qualité de signal RSRQ

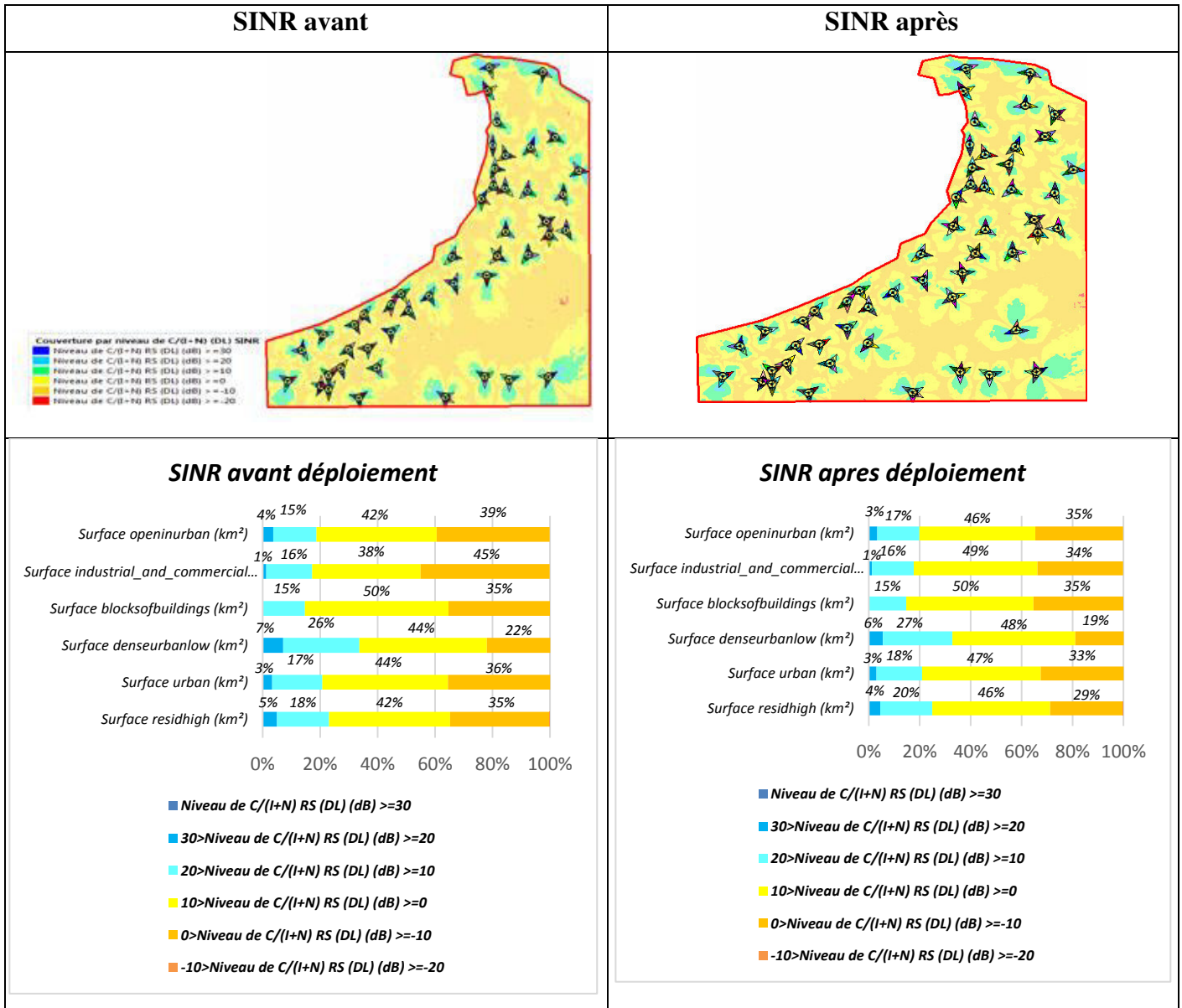
Tableau 3.12. Résultat de prédiction par RSRQ



Une amélioration remarquable de la qualité du signal RSRQ par un pourcentage de 4 % pour un niveau de RSRQ >= -15 dB.

III. 9.3. Résultat de prédiction après déploiement par niveau de SINR

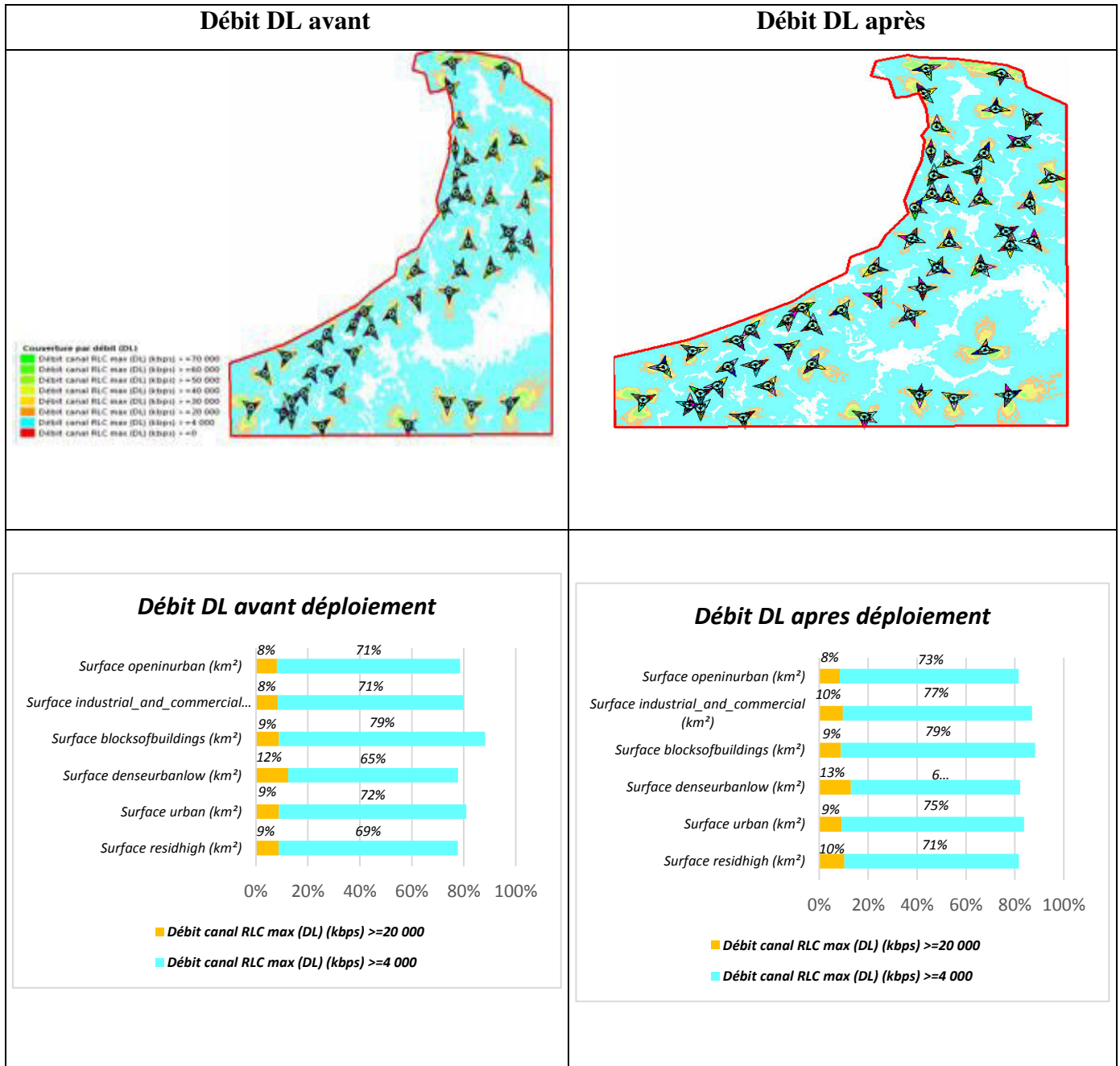
Tableau 3.13. Résultat de prédiction par SINR.



Une amélioration de 5% pour un niveau de SINR (DL) >= 0 dB.

III. 9.4. Résultat de prédiction après déploiement de débit en DL

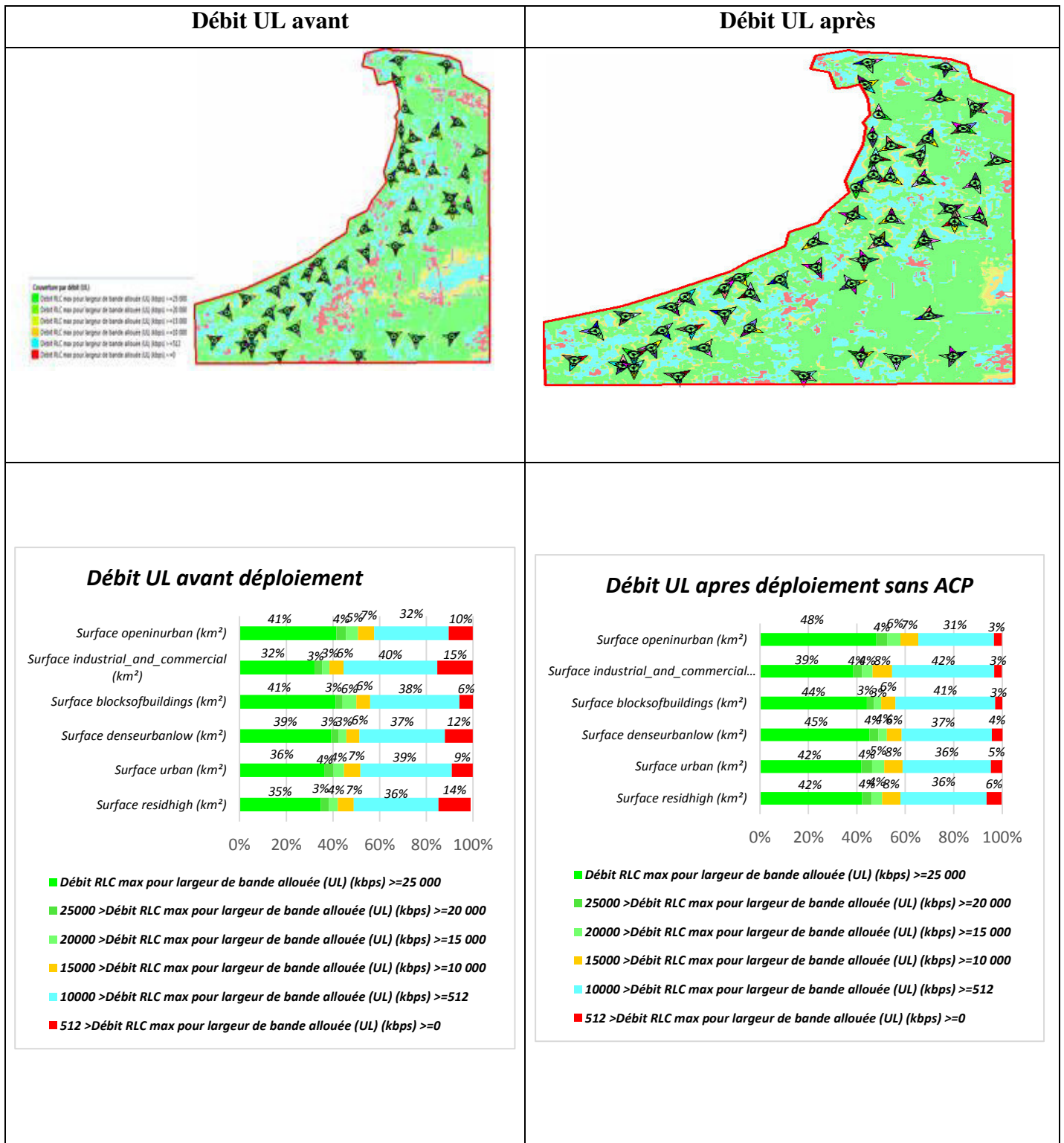
Tableau 3.14. Résultat de prédiction de débit DL.



Le débité en DownLink est amélioré de 4 % pour un seuil > = 4 Mbps.

III. 9.5. Résultat de prédiction après déploiement de débit en UL

Tableau 3.15. Résultat de prédiction de débit UL.



Le débit sur la voie montante a subi une amélioration de 7% pour le niveau >= 512 Kbps.

III. 10. Simulation Monte-Carlo

III. 10.1. Simulation du Trafic

La simulation du trafic sur Atoll génère une distribution d'utilisateurs aléatoire à un moment donné (instantané) en utilisant un algorithme de Monte Carlo. Cette distribution d'utilisateurs est basée sur l'entrée de donnée de trafic.

Les données de trafic à fournir sont présentées soit sous la forme de cartes de trafic ou de listes d'abonnés. [23]

➤ La carte de trafic

La carte de trafic permet d'introduire les données sur le trafic LTE au niveau de la zone à planifier. Il existe divers types de cartes de trafic. Dans notre étude, on définit une carte de trafic qui se base sur la densité des abonnés. On considère 4 types d'environnement : Dense Urban (DU), Urban (U), Suburban (SU) et Rural(RU). [23]

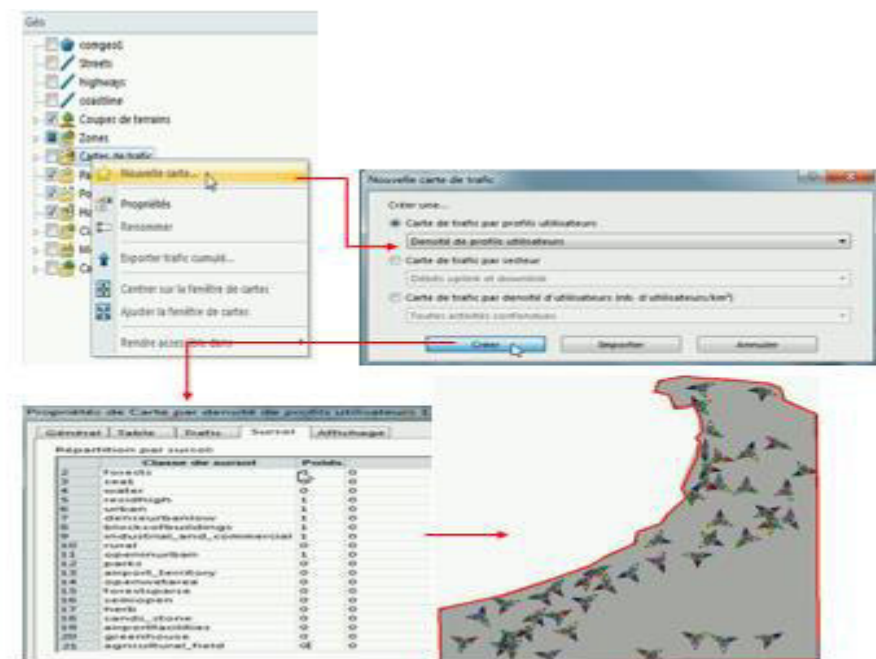


Figure 3.22. Création des cartes de trafic.

➤ Liste d'abonnés

La simulation sur Atoll fournit la répartition des utilisateurs à un moment donné sur la base de listes d'abonnés.

Géré depuis le dossier "Abonnés".

Basé sur les cartes de circulation du trafic (user profil traffic Map)

Statistiques Sites Cellules Mobiles Conditions initiales

Actions

Total : 2165

Id mobile	X	Y	Hauteur (m)	Profil utilisateur	Service	Terminal	Mobilité	État d'activité
1	3,160457107	36,72552798	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
2	3,2066861E	36,72560092	1,5	Business User	High Speed Internet	LTE MIMO Terminal	Pedestrian	Actif DL
3	3,216205548	36,7257553N	1,5	Business User	High Speed Internet	LTE MIMO Terminal	Pedestrian	Actif DL
4	3,224975604	36,72621683	1,5	Business User	High Speed Internet	LTE MIMO Terminal	Pedestrian	Actif DL
5	3,233689029	36,72643443	1,5	Business User	Voice	LTE Terminal	Pedestrian	Inactif
6	3,166518134	36,72666454	1,5	Business User	High Speed Internet	LTE MIMO Terminal	Pedestrian	Actif DL
7	3,165880374	36,72693588	1,5	Business User	Voice	LTE Terminal	Pedestrian	Actif UL
8	3,167863089	36,72715847	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
9	3,247208624	36,72720042	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
10	3,198884911	36,72730900	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
11	3,199703141	36,72757808	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
12	3,239079047	36,72750550	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
13	3,249103496	36,72789061	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
14	3,175704532	36,72807568	1,5	Business User	Voice	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
15	3,248857581	36,72803536	1,5	Business User	High Speed Internet	LTE MIMO Terminal	Pedestrian	Actif DL
16	3,164808525	36,72846088	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif UL
17	3,176802898	36,72844366	1,5	Business User	High Speed Internet	LTE MIMO Terminal	Pedestrian	Actif UL
18	3,182391501	36,72851636	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
19	3,177409149	36,72909183	1,5	Business User	Voice	LTE Terminal	Pedestrian	Inactif
20	3,268414096	36,72882223	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
21	3,220190698	36,72910151	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL
22	3,17781301E	36,72938871	1,5	Business User	Mobile Internet Access	LTE Terminal	Pedestrian	Actif DL

Figure 3.23. Résultats de simulations.

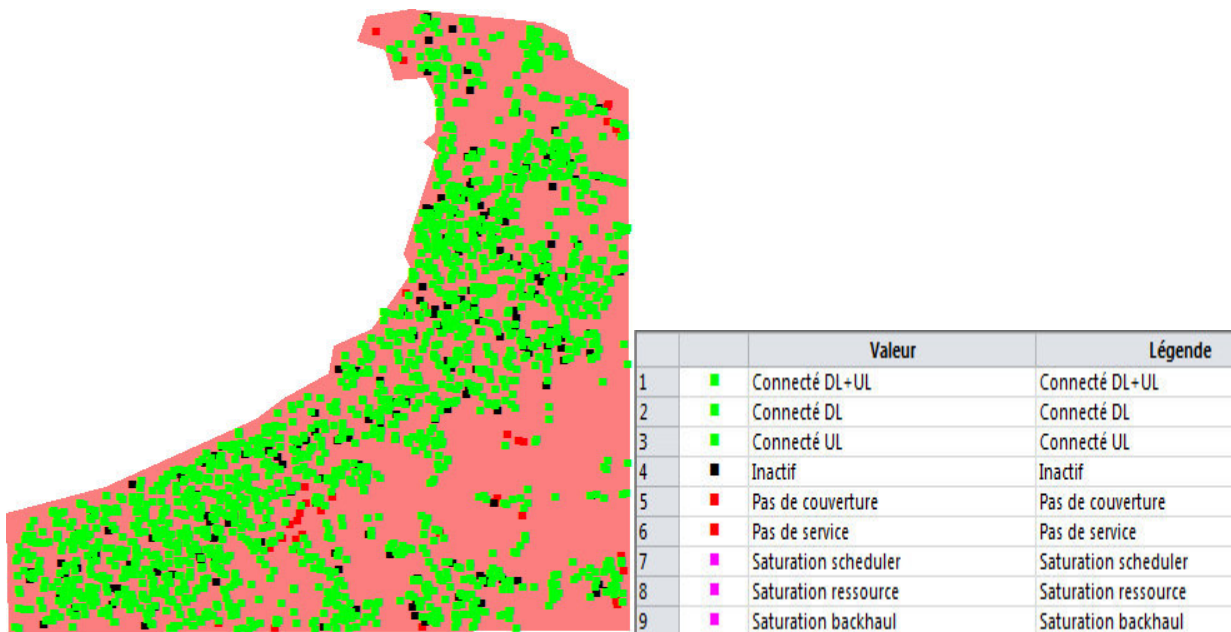


Figure 3.24. La répartition des utilisateurs après simulation.

III. 11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé les différentes étapes des applications réalisées (prédiction avant et après déploiement), pour vérifier l'amélioration des performances effectuée dans chaque étape. Nous avons proposé par la suite une solution optimale pour éliminer les trous de couverture en modifiant certains paramètres radio. On applique une ACP sur la solution proposée, nous avons détaillé les améliorations apportées par notre solution dans le prochain chapitre.



C*HAPITRE 4:* *Optimisation des ressources Radio*

IV. 1. Introduction

Dans le dernier chapitre nous allons présenter la dernière phase qui présente l’optimisation après la planification et le déploiement des nouveaux sites.

IV. 2. Optimisation finale

Cette final ACP est lancé afin d’atteindre une amélioration des performances le plus convenable possible en terme de couverture et de qualité.

La procédure ACP est appliquée sur les sites ajoutés, les sites 2G/3G (activé) sur lesquelles nous avons déployé la 4G, les secteurs ajoutés tandis que les sites 4G de Djezzy, en agissant sur l’azimut, la hauteur, le tilt électrique et la puissance d’émission de l’antenne. La contrainte se posait sur les sites 2G/3G et sites 4G, les seuls paramètres accessibles sont : le tilt électriques et la puissance d’émission car chaque changement dans l’un de ces paramètres risquera une influence sur la couverture et la qualité 2G/3G.

La **Figure 4.1** montre les corrections automatiques effectuées après l’application de l’ACP.

Cell/Tx Name	Total Power (dBm)		Azimuth (deg)		Mechanical Tilt (deg)		Ant
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	
A169011_1(0)	43.00	43.00	0	0	0	0	16.3
A169011_2(0)	43.00	43.00	210	210	0	0	16.3
A169011_3(0)	43.00	43.00	290	290	0	0	16.3
A169018_1(0)	43.00	43.00	20	20	0	0	26.0
A169018_2(0)	43.00	43.00	180	180	0	0	26.0
A169018_3(0)	43.00	43.00	270	270	0	0	25.2
A169067_1(0)	43.00	43.00	100	100	0	0	9.00
A169067_2(0)	43.00	43.00	240	240	0	0	9.00
A169067_3(0)	43.00	43.00	340	340	0	0	9.00
Add secteur 1(0)	43.00	43.00	344	344	0	0	30.0
Add secteur 2(0)	43.00	43.00	145	145	0	0	12.0
Add secteur 3(0)	43.00	43.00	126	126	0	0	9.00
Add secteur 4(0)	43.00	43.00	8	8	0	0	19.0
Site75_LTE_1(0)	43.00	43.00	5	5	0	0	35.0
Site75_LTE_2(0)	43.00	43.00	100	100	0	0	35.0
Site76_LTE_1(0)	43.00	43.00	22	22	0	0	35.0
Site76_LTE_2(0)	43.00	43.00	112	112	0	0	35.0
Site77_LTE_1(0)	43.00	43.00	213	213	0	0	25.0
Site77_LTE_2(0)	43.00	43.00	27	27	0	0	35.0
Site77_LTE_3(0)	43.00	43.00	115	115	0	0	35.0
Site78_LTE_1(0)	43.00	43.00	218	218	0	0	35.0
Site78_LTE_2(0)	43.00	43.00	5	5	0	0	35.0
Site78_LTE_3(0)	43.00	43.00	89	89	0	0	35.0
Add secteur 5(0)	43.00	43.00	250	250	0	0	9.00
Add secteur 6(0)	43.00	43.00	342	342	0	0	21.0
Add secteur 7(0)	43.00	43.00	286	286	0	0	35.0

Figure 4.1. Changement des paramètres après l’application de l’ACP.

➤ L’ensemble des changements sont résumé sur la figure ci-dessous :

Objective	Initial	Final	Improvement	Objective
Objective LTE RSRP (Coverage >= 85.0%), weighted by map / zone	86.01%	85.95%	-0.06%	ACHIEVED
Objective LTE RSRQ (Coverage >= 85.0%), weighted by map / zone	88.40%	88.45%	0.04%	ACHIEVED
Objective LTE RS CINR (Coverage >= 80.0%), weighted by map / zone	79.95%	80.04%	0.09%	ACHIEVED

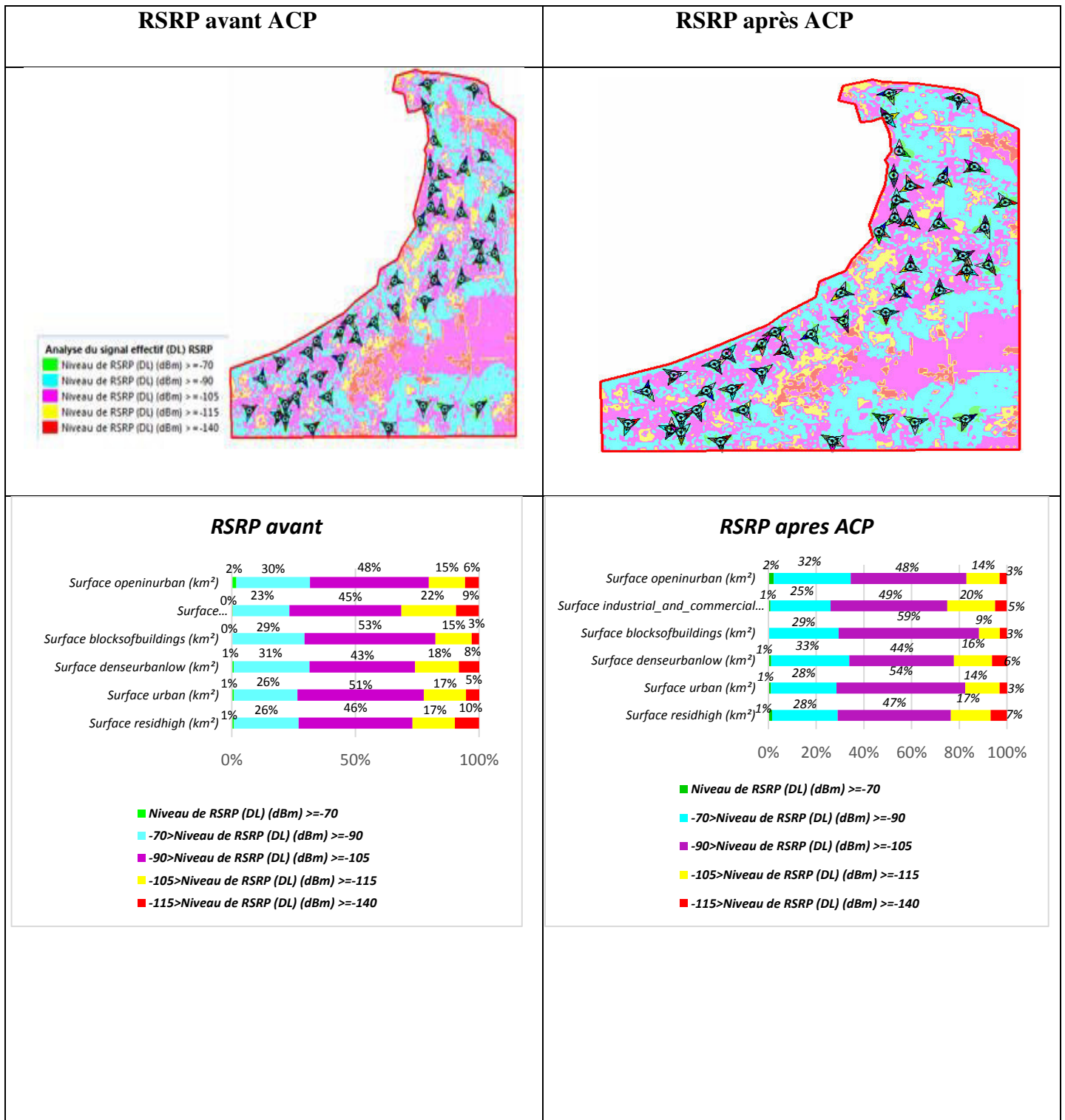
Site Selection and Reconfiguration Statistics

Reconfiguration	Antenna	Elec. Tilt	Azimuth	Mech. Tilt	Antenna Height	Power
	0	1	1	0	0	0

Figure 4.2. Les modifications de l’ACP sur les sites déployés

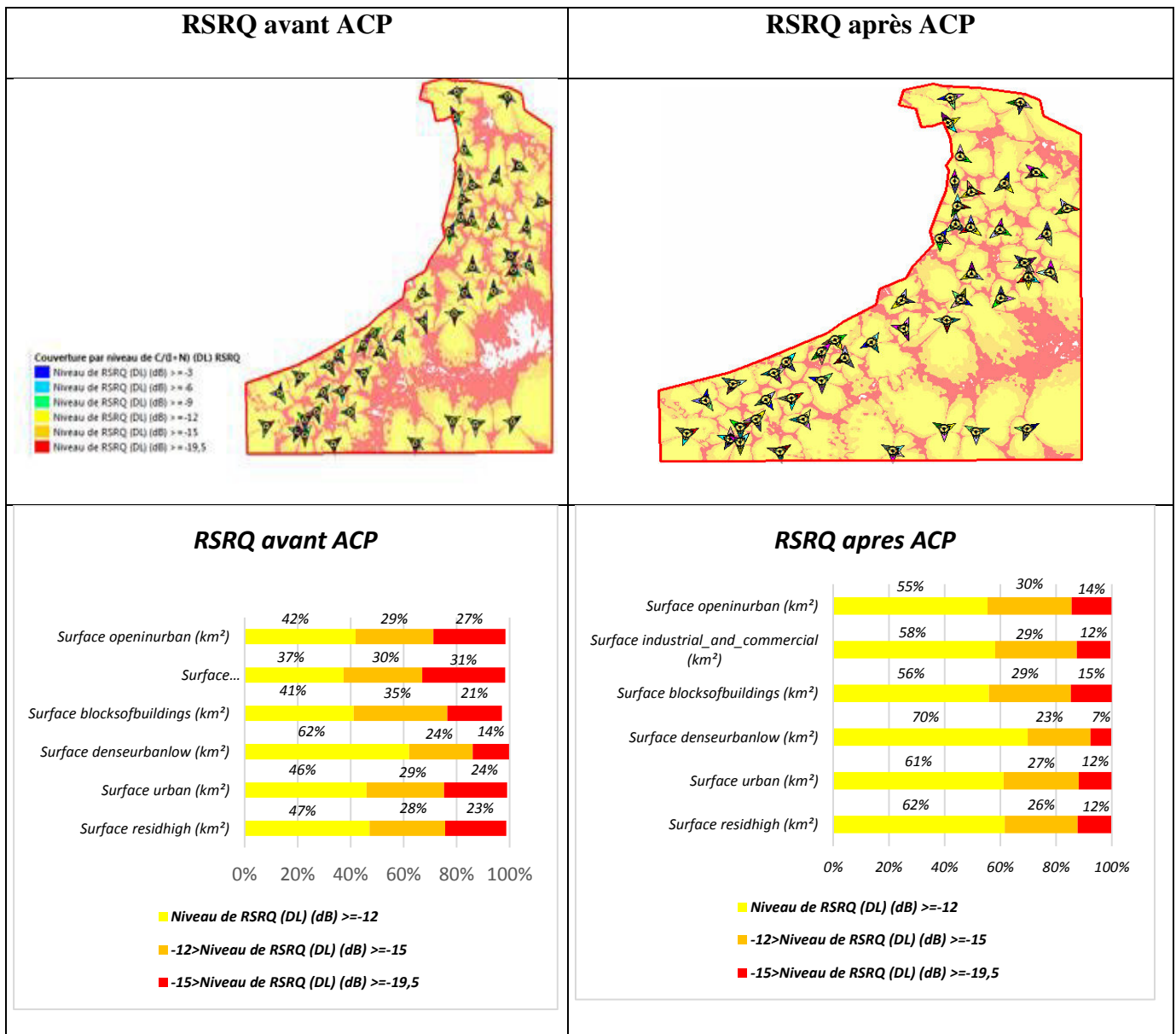
IV. 2.1. Résultats d'optimisation des sites 4G réel de DJEZZY

Tableau 4.1. RSRP avant et après l'ACP.



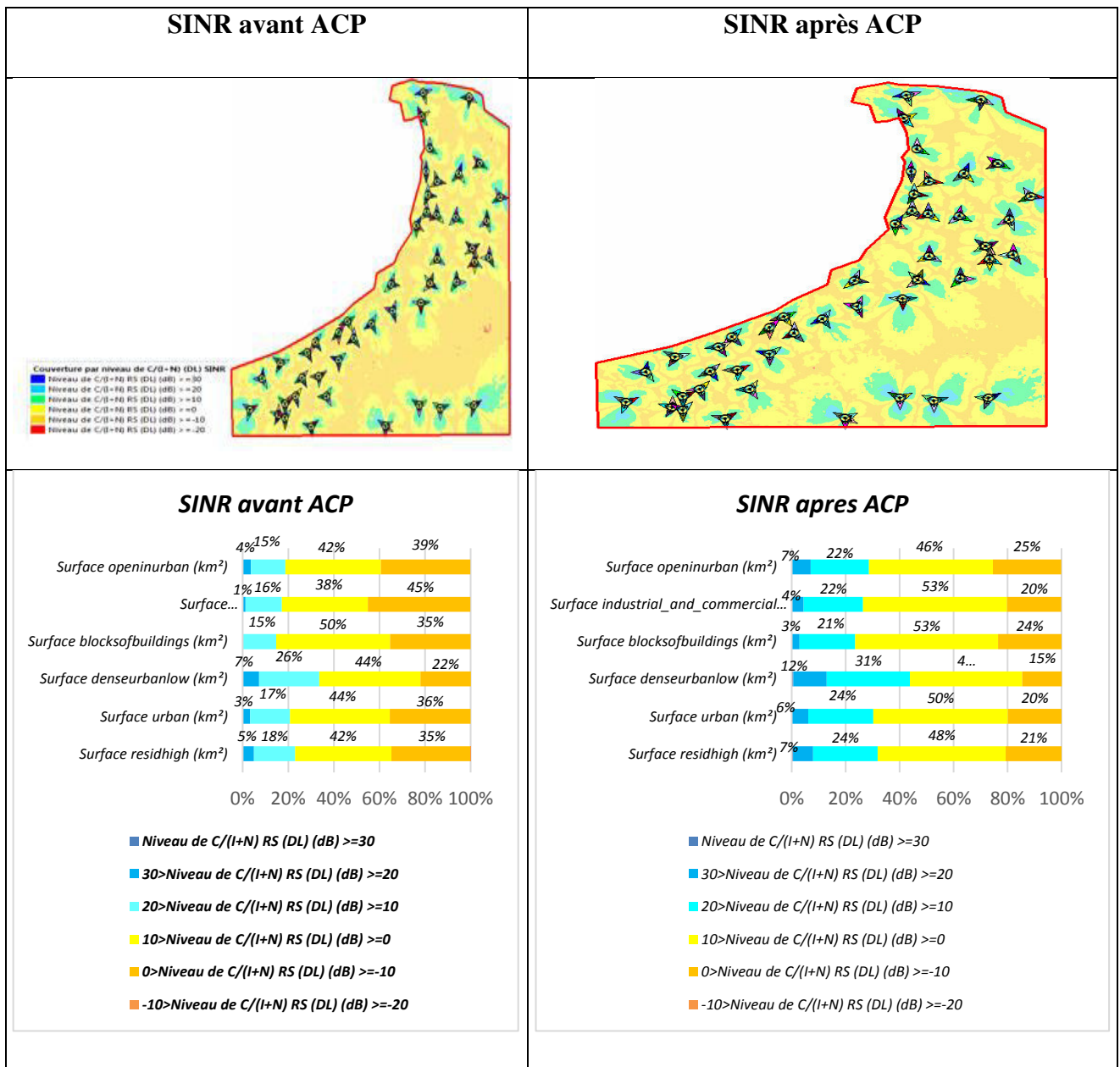
Le niveau de signal RSRP est amélioré, une augmentation de 9% pour un niveau de signal ≥ -105 dBm après l'optimisation.

Tableau 4.2. RSRQ avant et après l'ACP.



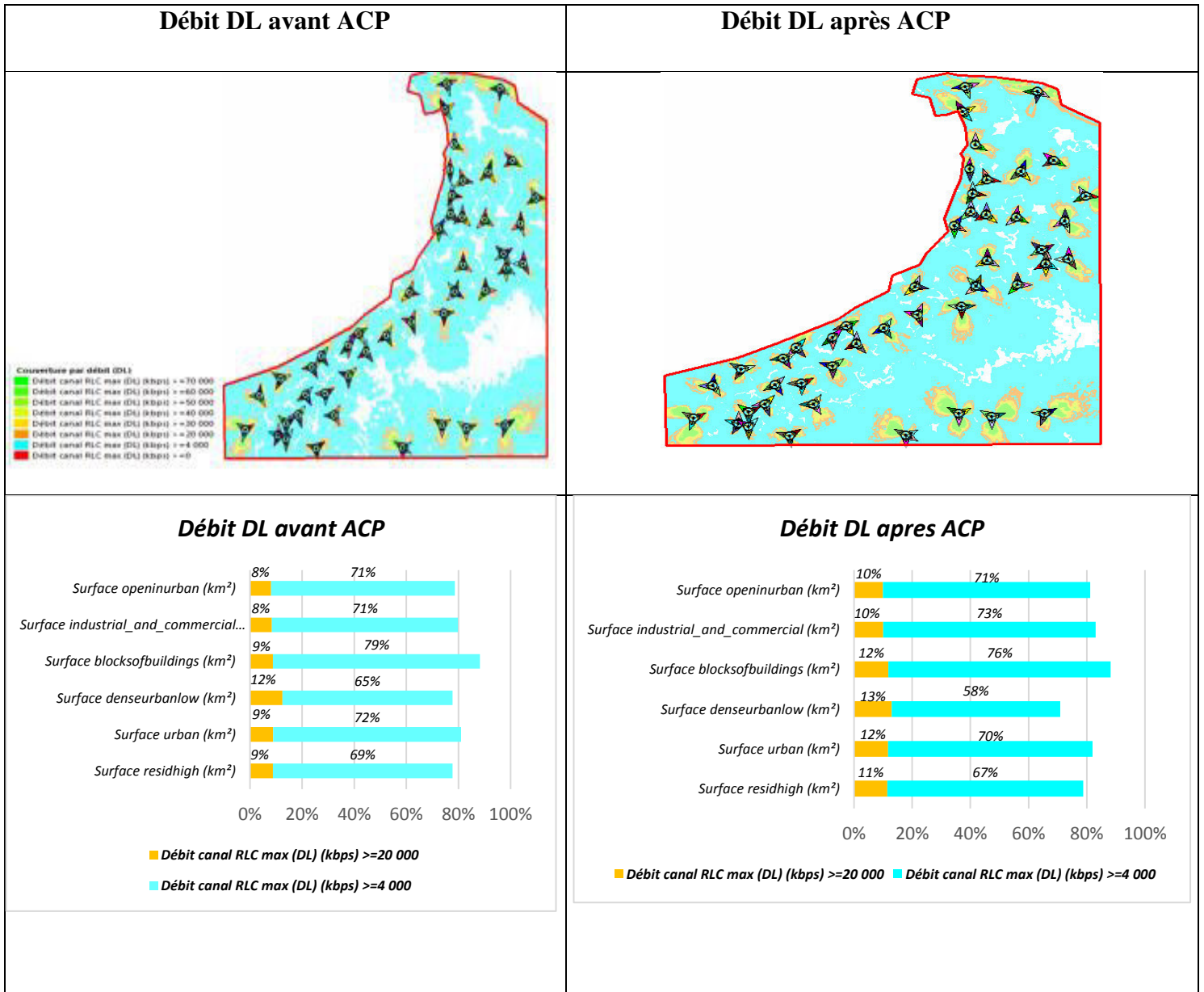
Une amélioration remarquable de la qualité du signal RSRQ par un pourcentage de 12% pour un niveau de RSRQ >= -15 dB après l'optimisation.

Tableau 4.3. SINR avant et après l'ACP.



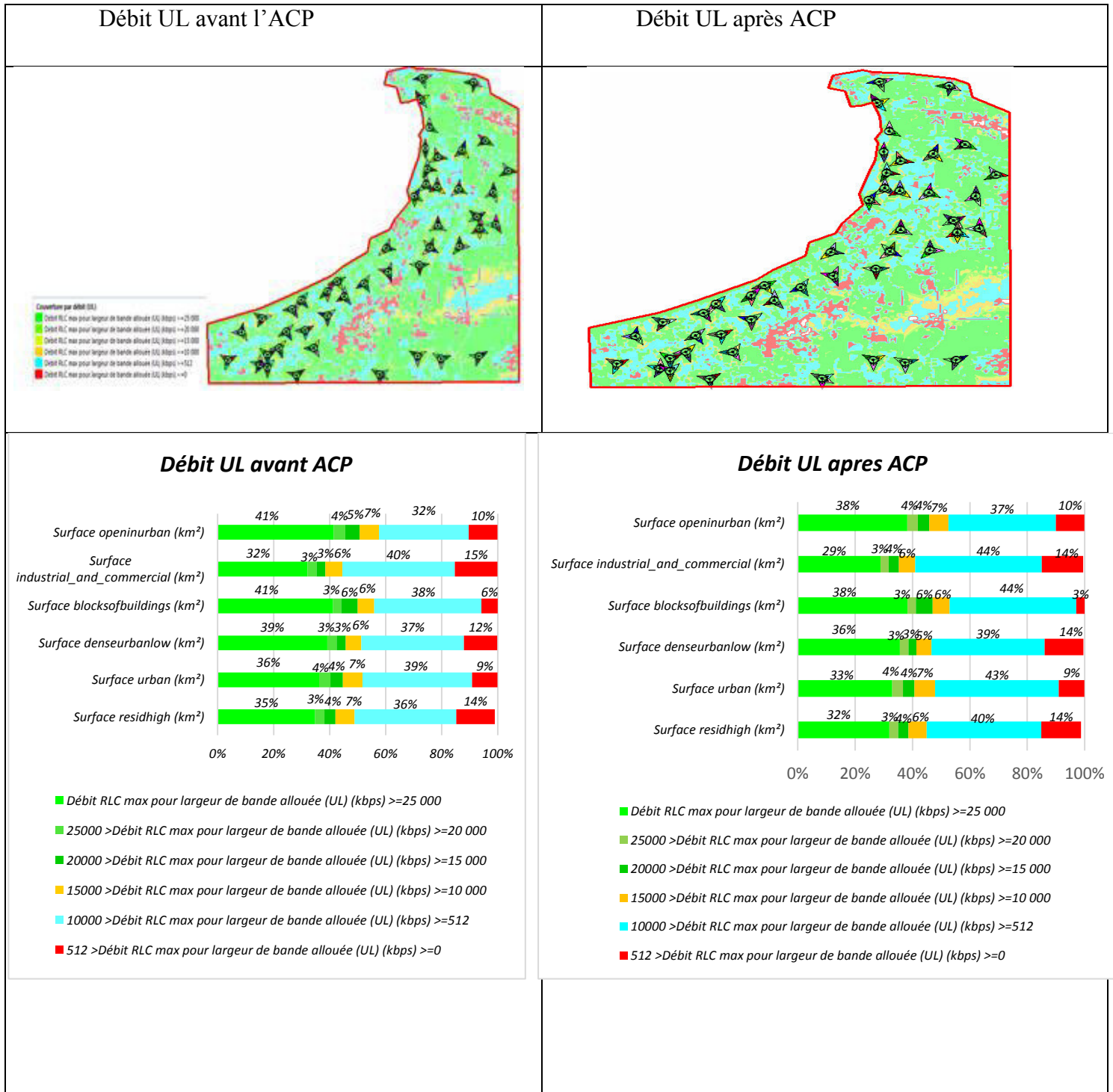
Une amélioration de 15% pour un niveau de SINR (DL) >= 0 dB après l'optimisation.

Tableau 4.4. Débit DownLink avant et après l'ACP.



Le débit en DownLink est amélioré de 7 % pour un seuil ≥ 4 Mbps après l'optimisation.

Tableau 4.5. Débit UL avant et après ACP.

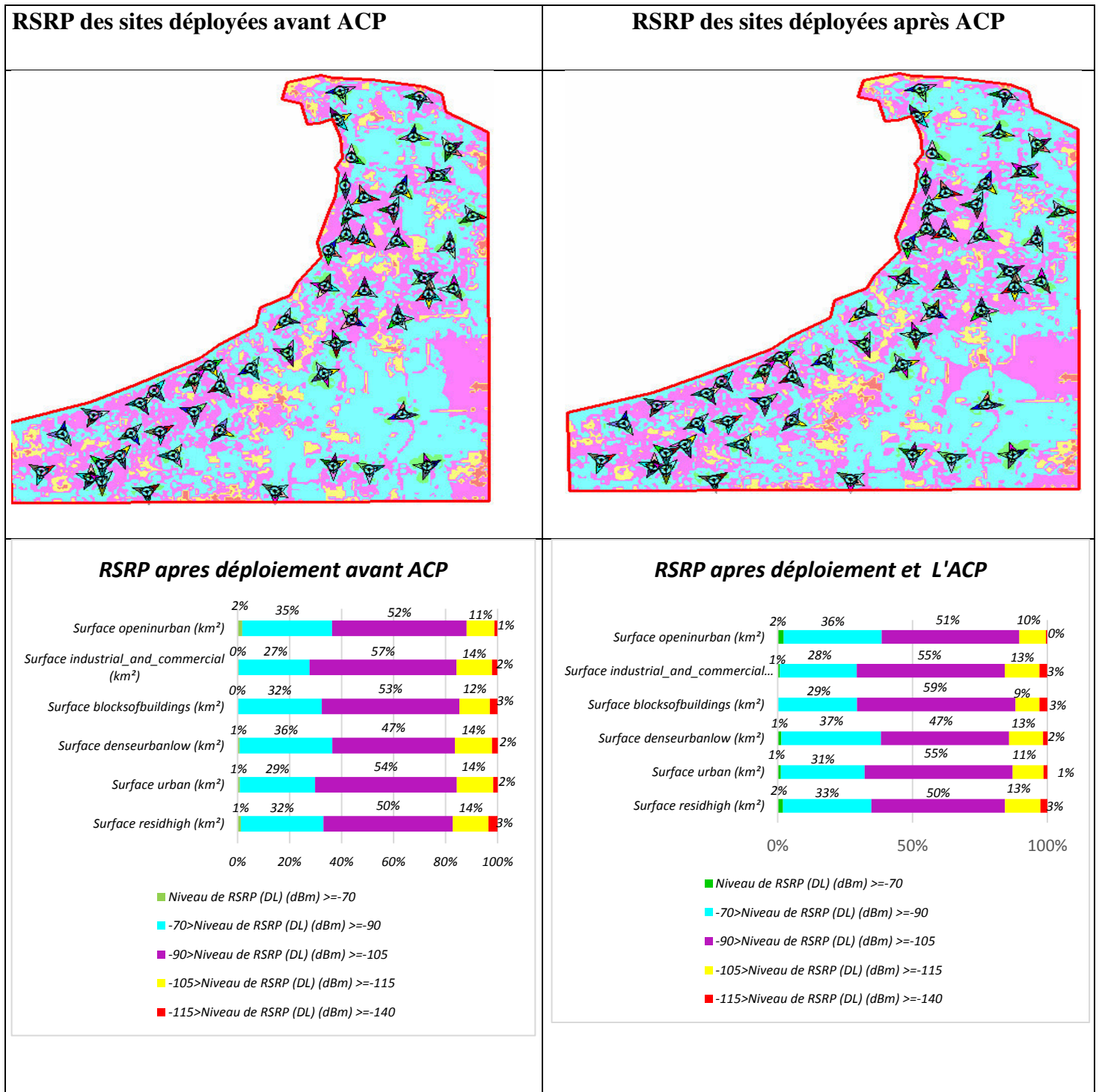


Le débit sur la voie montante a subi une amélioration de 1% pour le niveau >= 512 Kbps, après l'optimisation.

IV. 2.2. Résultats d'optimisation des sites déployés

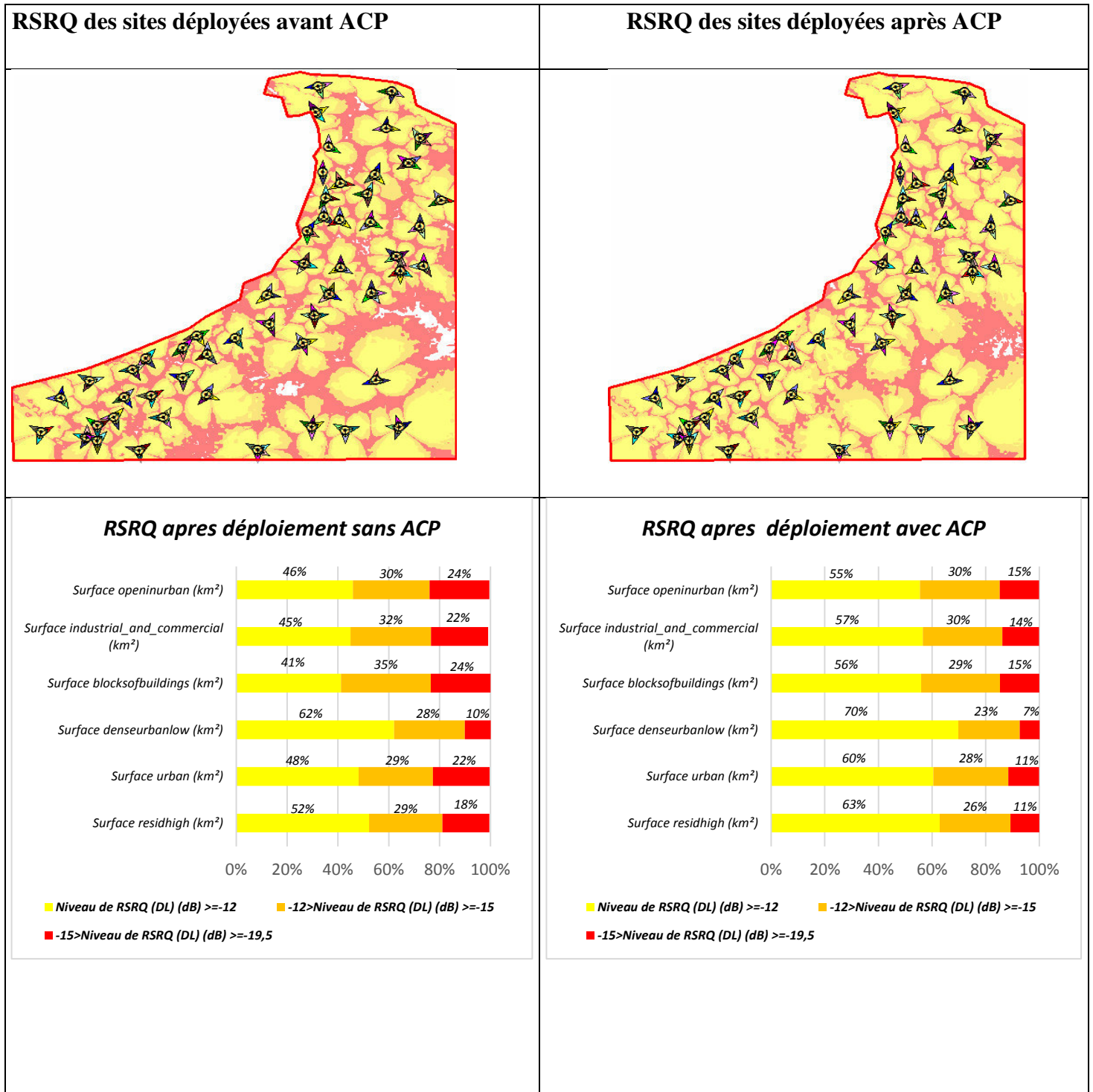
Les tableaux ci-dessous présentent les résultats de prédiction après optimisation des sites déployés :

Tableau 4.6. RSRP avant et après L'ACP.



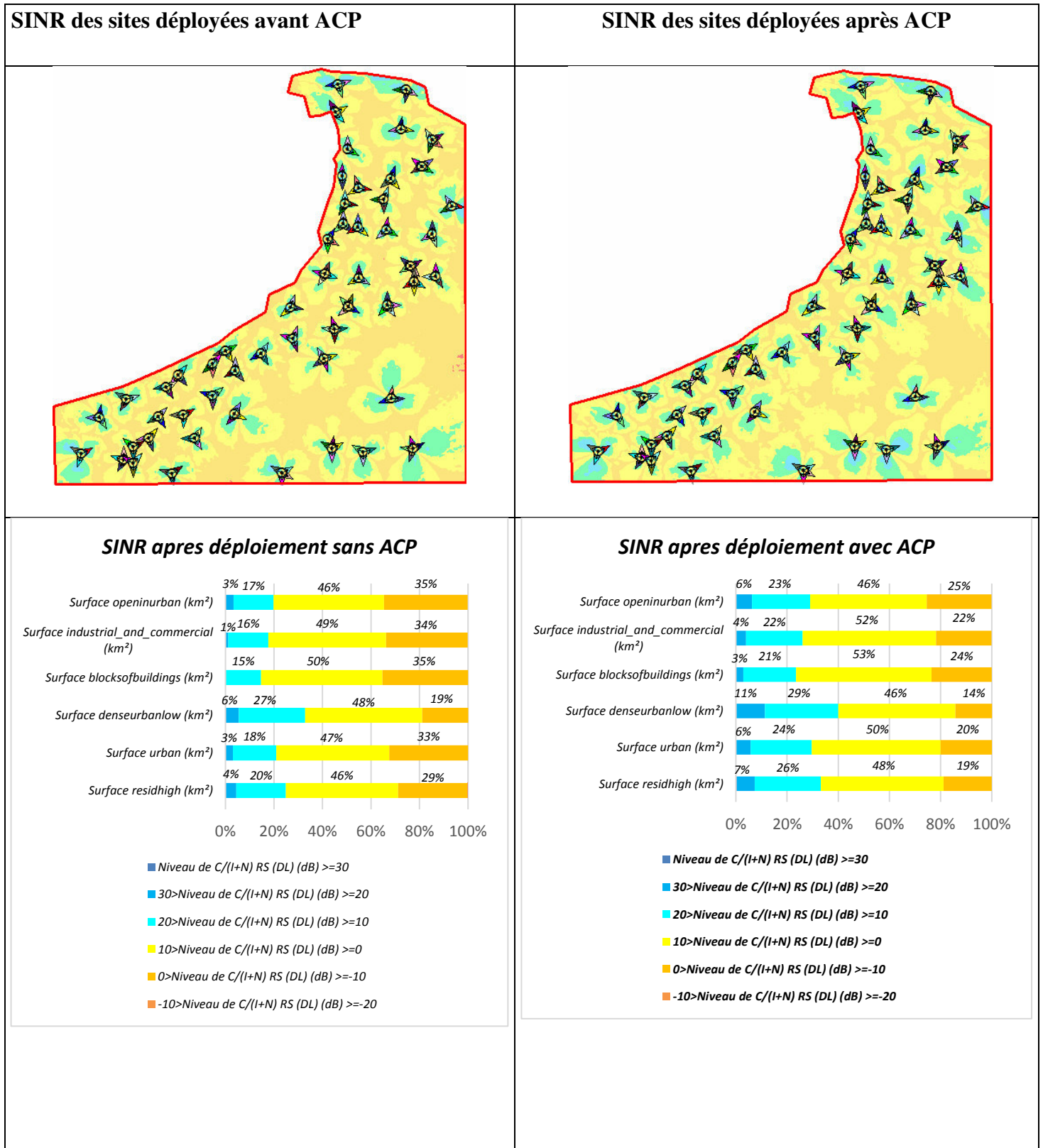
Suivant les résultats obtenus par l'optimisation de la solution proposée, nous remarquons une amélioration de 2% du niveau signal RSRP >= -105.

Tableau 4.7. RSRQ avant et après L'ACP.



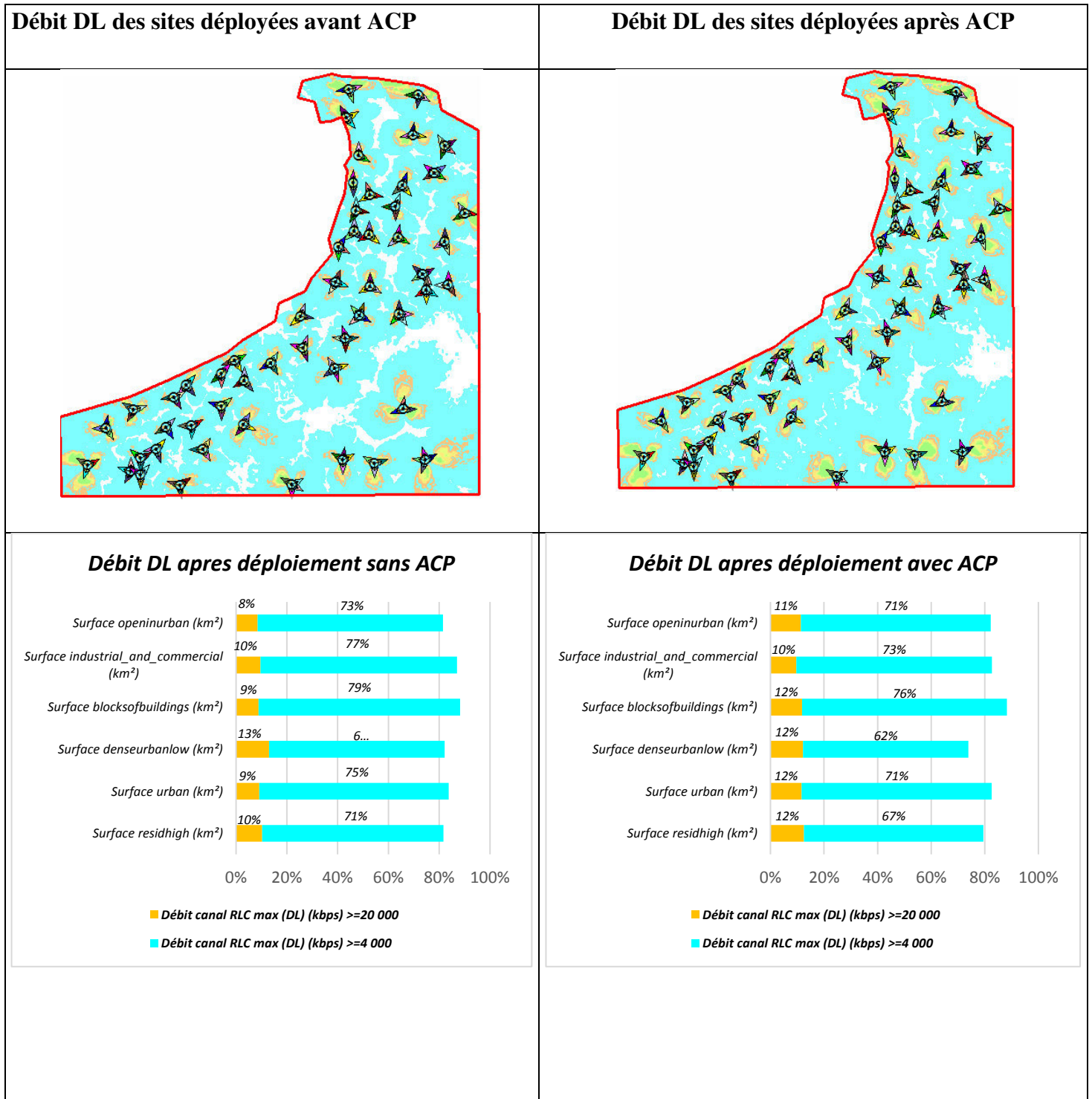
Une amélioration remarquable de la qualité du signal RSRQ par un pourcentage de 9 % pour un niveau de RSRQ >= -15 dB.

Tableau 4.8. SINR avant et après L'ACP.



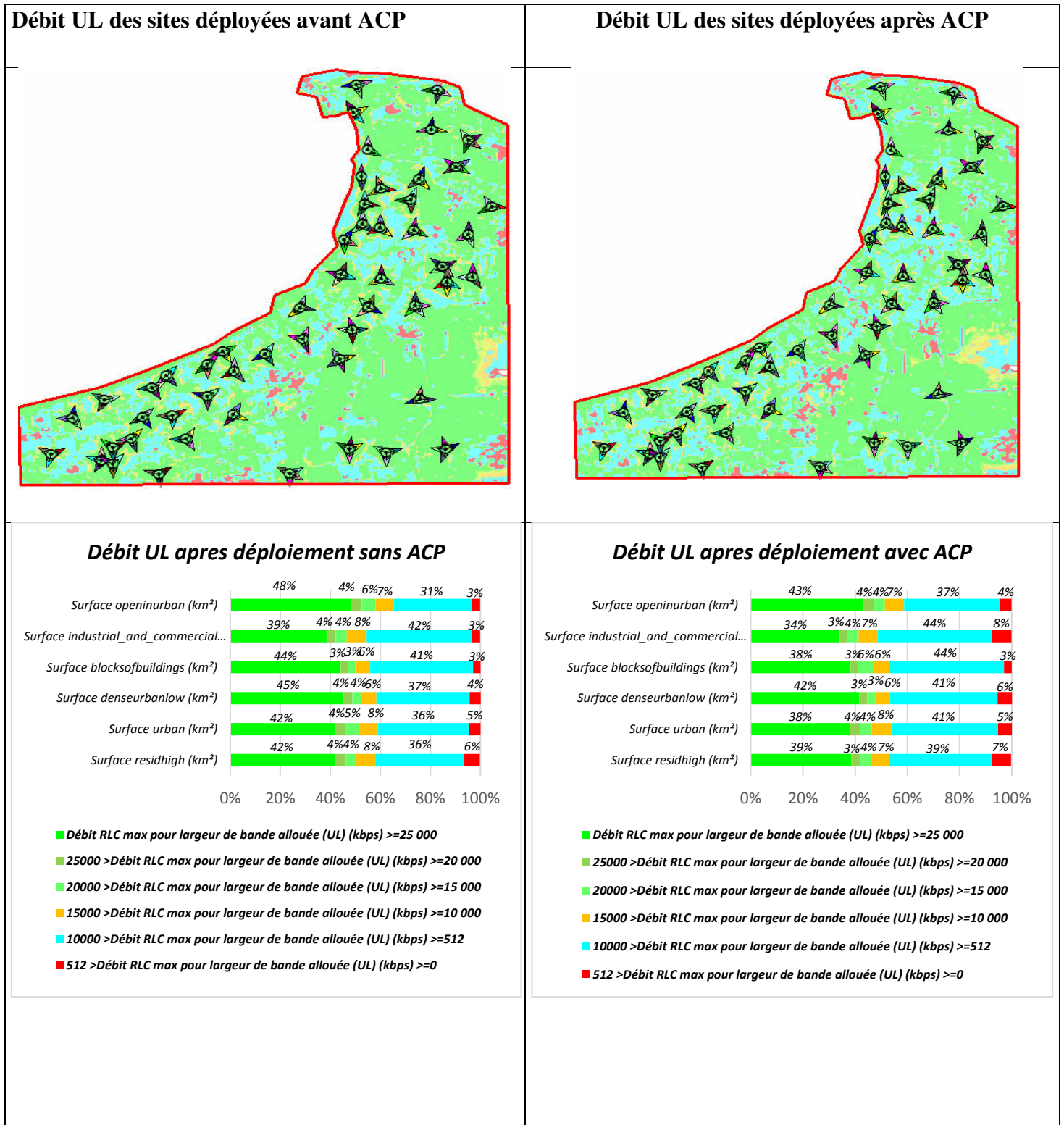
Une amélioration remarquable de 10% pour un niveau de SINR (DL) >= 0 dB après l'optimisation.

Tableau 4.9. Débit DL avant et après L'ACP.



Le débité en DownLink est amélioré de 3 % pour un seuil > = 4 Mbps.

Tableau 4.10. Débit UL avant et après L'ACP.

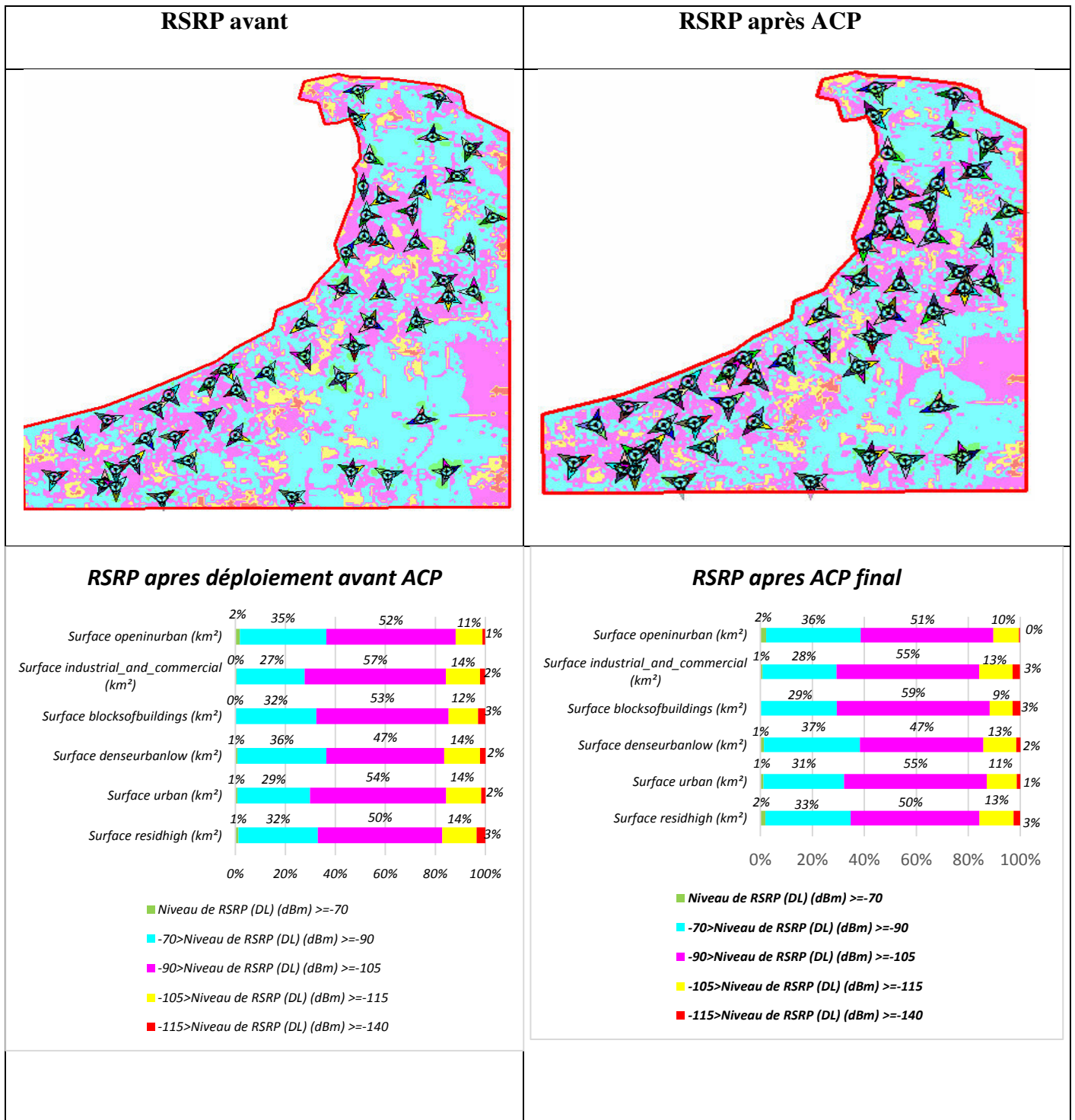


Le débit sur la voie montante a subi une amélioration pour le niveau >= 512 Kbps.

IV. 2.3. Résultats d'optimisation finale des sites déployés et les sites 4G réel de Djezzy

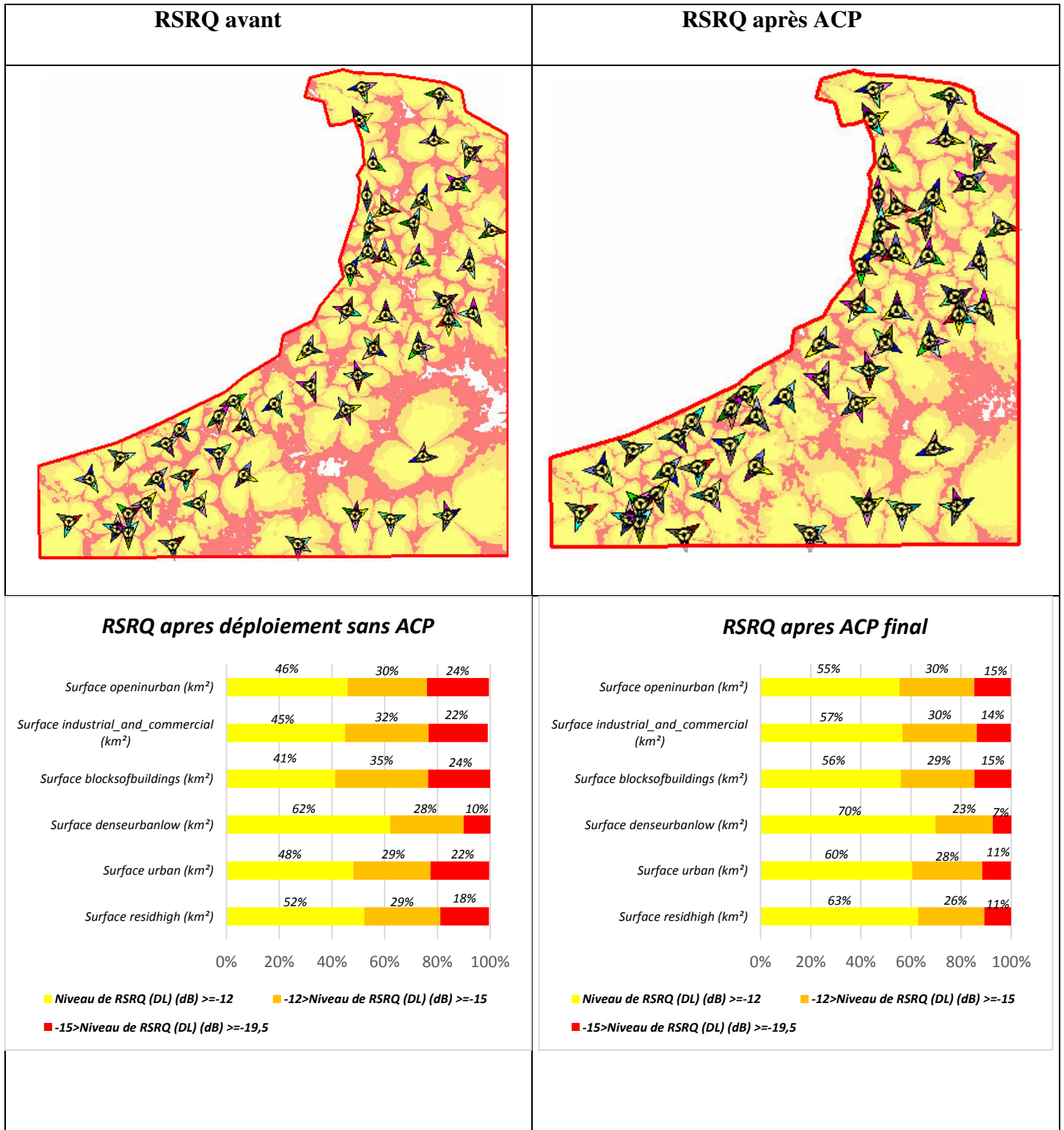
Les tableaux ci-dessous présentent les résultats de prédiction après optimisation des sites déployés :

Tableau 4.11. RSRP avant et après L'ACP.



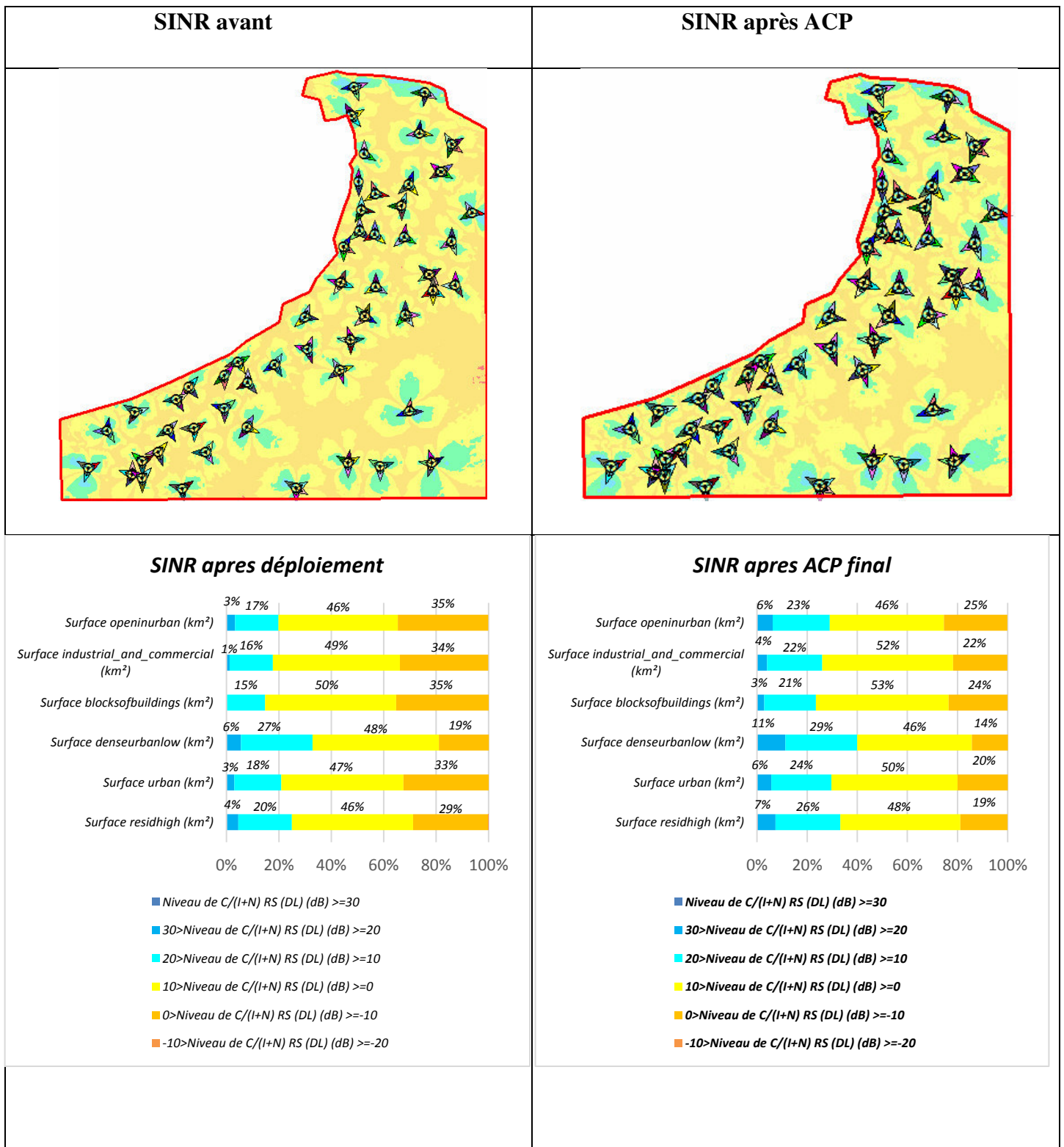
Le niveau de signal RSRP est amélioré, une augmentation de 2% pour un niveau de signal >= -105 dBm après L'optimisation finale.

Tableau 4.12. RSRQ avant et après L'ACP.



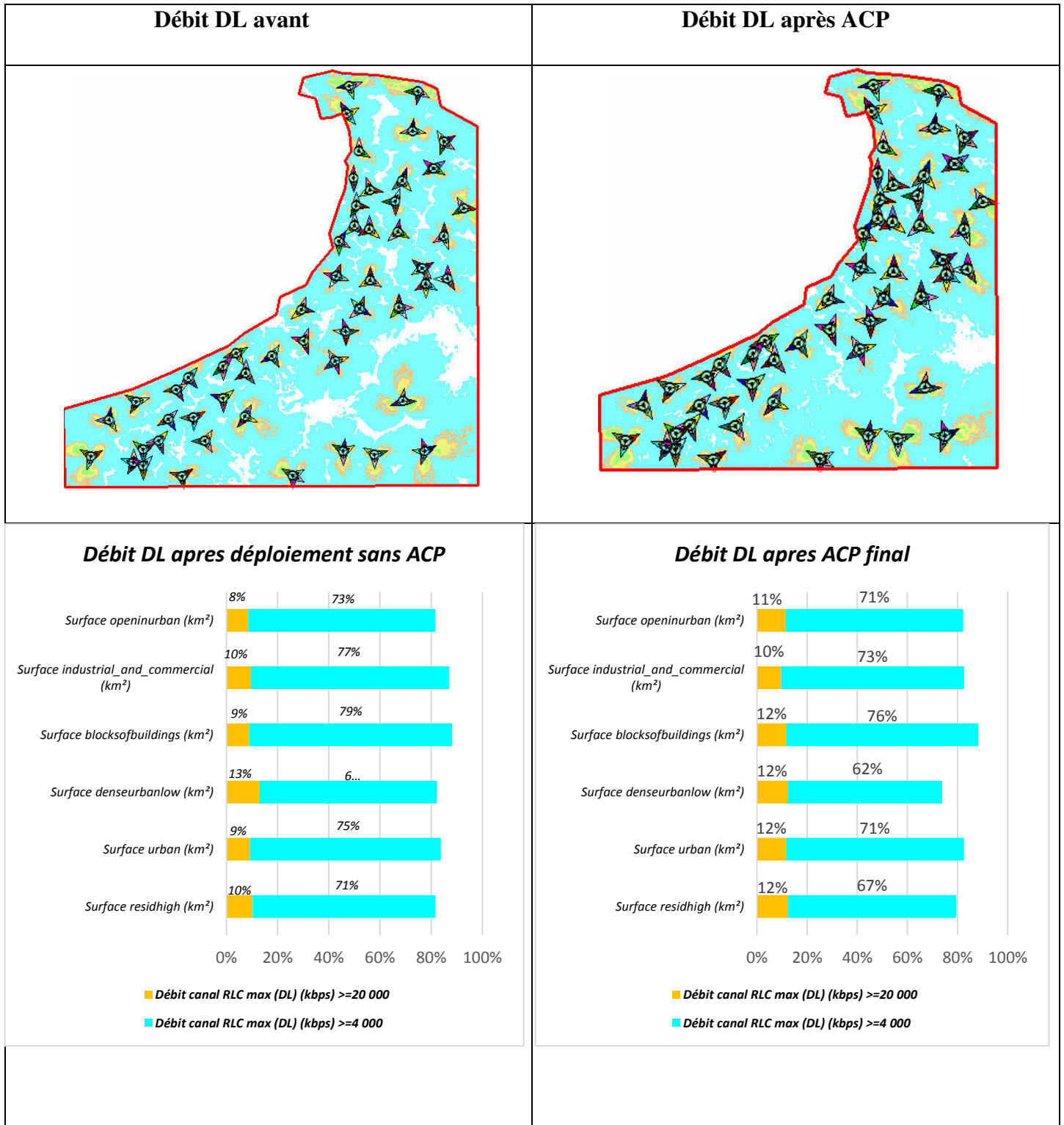
Une amélioration remarquable de la qualité du signal RSRQ par un pourcentage de 9 % pour un niveau de RSRQ >= -15 dB après L'optimisation finale.

Tableau 4.13. SINR avant et après L'ACP.



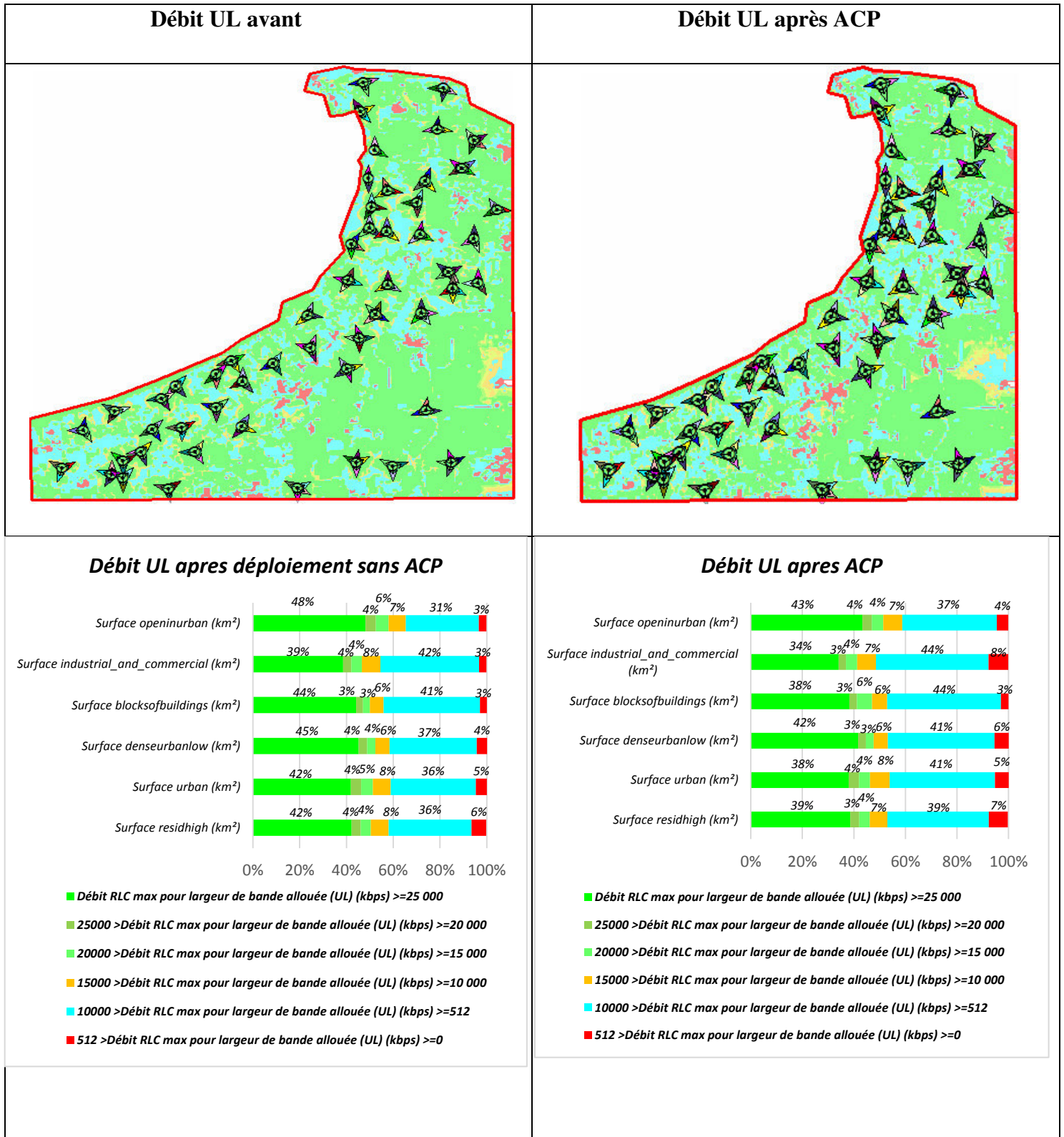
Une amélioration remarquable de 10% pour un niveau de SINR (DL) >= 0 dB après L'optimisation finale.

Tableau 4.14. Débit DL avant et après L'ACP.



Le débit en DownLink est amélioré de 3 % pour un seuil > = 4 Mbps.

Tableau 4.15. Débit UL avant et après L'ACP.



Le débit sur la voie montante a subi une amélioration de 1 % pour le niveau >= 512 Kbps.

IV. 3. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté les résultats de la dernière phase de notre solution proposée qui est l'optimisation à partir de plusieurs modification de certain paramètres des sites 4G déployés (Tilts, Azimut, Puissance d'émission) afin d'atteindre une meilleure solution de design et d'optimisation radio dans le réseau 4G/LTE.



*Conclusion
Générale*

Le but de notre projet est de proposer une solution d'optimisation des ressources radio et d'amélioration des performances du réseau 4G LTE de Djazzy en terme de couverture et de qualité sur quelques villes d'Alger en utilisant l'outil de planification et de dimensionnement Atoll V 2.3.3.

Pour ce faire, nous avons commencé dans le premier chapitre par une définition des notions sur les réseaux mobiles et plus précisément une description générale du réseau 4G-LTE en expliquant les techniques d'accès OFDMA, SC-FDMA et la nouvelle technologie MIMO.

Puis au deuxième chapitre, nous avons entamé le principe du design radio d'un réseau 4G-LTE en mettant en place les deux plans: couverture et capacité qui s'avère essentielles pour la robustesse du processus de dimensionnement.

Dans le troisième chapitre, Nous avons abordé les principes de planification Radio et exposé les différentes étapes des applications réalisées (prédiction avant et après déploiement), pour vérifier l'amélioration des performances effectuée dans chaque étape. Nous avons proposé par la suite une solution optimale pour éliminer les trous de couverture en modifier certains paramètres radio.

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté les résultats de la dernière phase de notre solution proposée qui est l'optimisation à partir de plusieurs modification de certain paramètres des sites 4G déployés afin d'atteindre une meilleure solution de design et d'optimisation radio dans le réseau 4G/LTE.

Ce projet était l'occasion pour approfondir nos connaissances sur les réseaux mobiles, plus précisément le réseau 4G-LTE qui constitue la solution la plus recherchée par les opérateurs de télécommunications pour remédier au compromis QoS-cout, face aux exigences des abonnées envers des débits de données plus élevés et des tarifs réduits.

Nous espérons que notre solution a atteint les objectifs déclarés de fournir une bonne couverture et d'augmenter la capacité avec une qualité de réseau améliorée en minimisant les interférences.



Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Tarek BCHINI, « Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération », Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, Juin 2010.
- [2]. Frédéric Launacy. Evolution de la 1G vers la 4G [en ligne]. (Consulté le 25 mai 2018). <http://4glte.over-blog.com/article-evolution-de-la-1g-vers-la-4g-82164235.html>
- [3]. « LES RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE I. LE GSM ». (Consulté le 12 avril 2018). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00454612/document>
- [4]. Wikipédia. (Consulté le 16 avril 2018). https://fr.wikipedia.org/wiki/High_Speed_Packet_Access
- [5]. H.Holma, A.Toskala. «UMTS: les réseaux mobile de 3^{ème} génération » EYROLLES 2001.
- [6]. 3GPP «Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN) ». TR 25.913 V8.0.0 R8. 2009.
- [7]. 3GPP «Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) ». TS 36.300 V11.14.0 R11. 2015.
- [8]. Yannick Bouguen, Eric Hardouin et François-Xavier Wolff. LTE et les réseaux 4G. Édition groupe EYROLLES, numéro, 2012, 126.
- [9]. Novosad.T, Serna. L, Johnson .C. «Nokia Siemens Networks, LTE Radio Network Planning Guide lines». 12.01.2011.
- [10]. 3GPP. «LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) ». TS 36.300 version 10.9.0 Release 10.Overall description. 2013.
- [11]. Olivier Berder. «Optimisation et stratégies d'allocation de puissance des systèmes de transmission multi antennes ». Université de Bretagne Occidentale. 20 décembre2002.
- [12]. A. Diallo. « Systèmes multi-antennes pour diversité et MIMO ». Autre. Université Nice Sophia Antipolis, 2007. Français. (Consulté le 25 avril 2018). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00454612/document>

[13]. En ligne (consulté le 2 mai 2018).

http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_TransmissionMode.html

[14].Lassoued. A « Outil de planification et de dimensionnement dans l'EUTRAN LTE-Advanced ». Ericsson AB branche Tunisie 2011/2012.

[15]. « LTE Radio Network Coverage Dimensioning ». Huawei 2016.

[16]. «LTE Link Budget ». Nokia Siemens Network Academy.

[17]. Documentation Atoll3.3.2.

[18]. « LTE Radio Network capacity Dimensioning». Huawei technologies 2016.

[19]. Marceau Coupechoux. « Bilan de liaison 4G ».INFRES/RMS.

[20].Frédéric Launay. « Les réseaux de mobiles 4G et 5G [en ligne] ». (Consulté le 29/05/2018).

<http://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/2013/08/27/rsrp-et-rsrq-2eme-definition/>

[21].Ait Tahar Radia, Kahli Radja (2015-2016). « Aide à la calibration et planification d'un réseau 4G/LTE ». Mémoire de Master.

[22]. « User Manual for Radio Network » FORSK 2016 Atoll3.3.2.

[23]. Atoll 3.3. « Monte-Carlo Simulations ».



ANNEXE

Annexe A

LES RESEAUX D'ACCES ET LES CANAUX RADIO DE L'UTRAN

1. Réseau d'accès (Access Network) d'E-UTRAN :

Tableau A.1. Définition et caractéristiques de réseau d'accès.

Définition	Caractéristiques
<p>les eNodeBs prennent la décision de Handover d'une façon autonome sans implication des éléments : MME et S-GW. Les informations nécessaires au Handover sont échangées entre les eNodeBs via une interface appelée X2. Le MME et le S-GW recevront une notification avec un message complet de Handover après que la nouvelle connexion aura été attribuée entre l'UE et la nouvelle eNodeB. Après réception du message, les Gateways effectuent le chemin de commutation.</p>	<ol style="list-style-type: none">1. Le Handover est déclenché par l'UE qui envoie un rapport de mesure à l'eNodeB source qui va décider en se basant sur le rapport reçu et sur les informations concernant la gestion des ressources radio (RRM : Radio Resource Management).2. Le Handover envoie une requête (HO Request) de l'eNodeB source vers l'eNodeB cible. Ce message contient toutes les informations pertinentes sur le Handover.3. L'eNodeB cible enregistre le contexte, prépare les couches 1 et 2 (L1/L2) pour le Handover et répond à l'eNodeB source par un acquittement (HO Request Ack) qui fournira les informations sur l'établissement de nouveaux liens radio.4. L'eNodeB source transférera toutes les informations nécessaires à l'UE, et à ce moment là, l'eNodeB source arrête d'envoyer et de recevoir des données avec l'UE. Il fera alors suivre les données à l'eNodeB cible.5. L'UE informe l'eNodeB cible du succès du Handover avec un message de confirmation. Jusqu'à cet instant l'eNodeB cible mémorise les données reçues de l'eNodeB source. Après avoir reçu le message de confirmation, il commence à envoyer les données bufférisées à l'UE.6. L'eNodeB cible initie le changement de chemin de données en envoyant un « Handover Complete » aux passerelles. Les informations de localisation de l'UE seront ensuite mises à jour au niveau des passerelles qui vont effectuer le changement de chemin pour que les données soient envoyées directement vers l'eNodeB cible.7. L'MME/S-GW confirme le chemin par un message 'Handover Complete Ack', et dès que l'eNodeB cible reçoit ce message, il envoie une indication 'release Source' à l'eNodeB source pour qu'il libère définitivement la connexion avec l'UE.

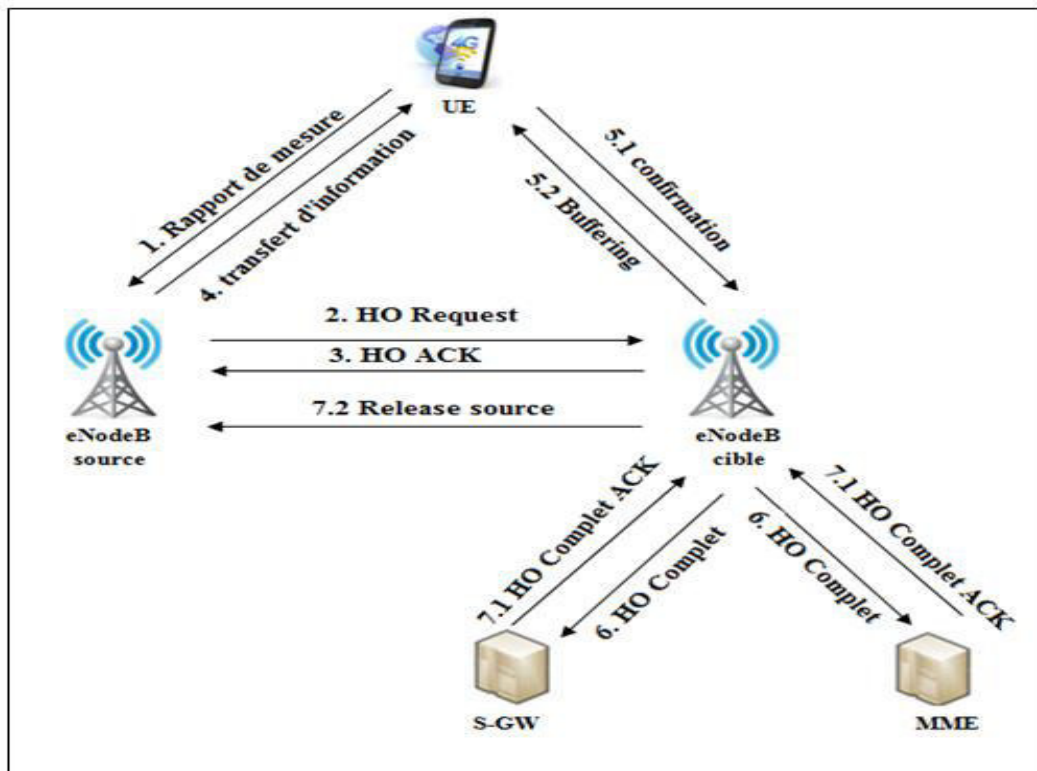


Figure A.1. Le Handover dans LTE.

2. Les canaux radio d'E-UTRAN :

L'interface radio E-UTRAN doit être capable de transmettre des informations à haut débit et à faible temps de latence. Les flux d'information ne nécessitent pas la même protection face aux erreurs de transmission ou la manipulation de la Qualité de Service (QoS). Les messages de signalisations E-UTRAN doivent être transmis le plus rapidement possible en utilisant le meilleur schéma de protection contre les erreurs, car ils sont critiques dans le cas d'une mobilité radio. D'un autre côté, la voix et les données peuvent tolérer un frame loss raisonnable, due à la transmission radio.

Les spécifications de l'E-UTRAN ont introduit plusieurs types de canaux, dans l'objectif d'être flexible et permettre différents schémas pour la transmission de données.

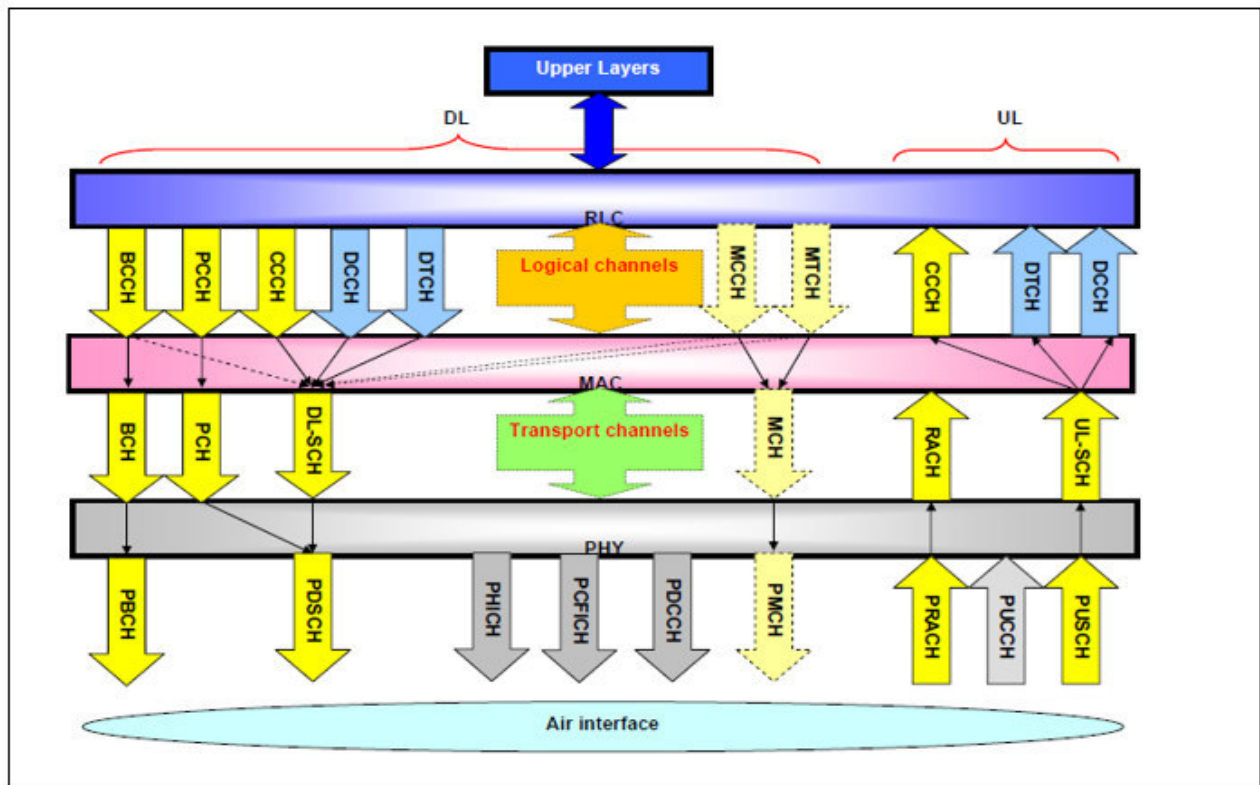


Figure A.2. les canaux radio de l'E-UTRAN

Tableau A.2. Les canaux logiques dans l'E-UTRAN

Canaux logiques	Types	
	Les canaux logiques de contrôles	Les canaux logiques de trafic
Les canaux logiques correspondent aux services de transfert de données offert par les protocoles des couches hautes de l'interface radio. Il y a uniquement deux types de canaux logiques : les canaux de contrôle, pour les transferts des informations du plan de contrôle et les canaux de trafic pour les transferts des données utilisateur du plan usager. Chacun des	<p>-BCCH (Broadcast Control Channel) : est un canal commun en DownLink, utilisé par le réseau pour broadcaster les informations système de l'E-UTRAN à l'ensemble des terminaux présents dans une cellule radio. Ces informations sont utilisées par le terminal, par exemple pour connaître l'opérateur, pour avoir des informations sur la configuration des canaux commun de la cellule et comment accéder au réseau, etc.</p> <p>-PCCH (Paging Control Channel) : est</p>	<p>-DTCH (Dedicated Traffic Channel) est un canal point-à-point bidirectionnel utilisé entre un terminal donné et le réseau. Il peut supporter la transmission des données utilisateurs qui inclut les données elles-mêmes et la signalisation de niveau application associée à ce flux de données.</p> <p>-MTCH (Multicast Traffic Channel) est un canal de données point-à-</p>

<p>canaux de ces deux catégories correspond à un certain type de flux d'information.</p>	<p>un canal commun en DownLink qui transfère les informations de paging aux terminaux présente dans une cellule.</p> <p>-CCCH (Common Control Channel) est utilisé pour la communication entre le terminal et l'E-UTRAN quand la connexion RRC. Ce canal est typiquement utilisé dans les premières phases de l'établissement de communication.</p> <p>-MCCH (Multicast Control Channel) est utilisé pour la transmission des informations MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service) du réseau à plusieurs terminaux.</p> <p>-DCCH (Dedicated control Channel) est un canal point-à-point bidirectionnel qui supporte les informations de contrôle entre un terminal donné et le réseau. Il supporte uniquement les signalisations RRC et NAS.</p>	<p>multipoint pour la transmission de trafic de données du réseau à un ou plusieurs terminaux. Comme pour le MCCH, ce canal est associé au MBMS.</p>
--	---	--

Tableau A.3. Les canaux de transport dans l'E-UTRAN

Canaux de transport	Types	
	Les canaux de transport E-UTRAN en DownLink	Les canaux de transport E-UTRAN en Uplink
<p>Les canaux de transport décrivent pourquoi et avec quelles données caractéristique sont transférés à travers l'interface radio.</p> <p>Par exemple, les canaux de transport décrivent comment les données sont protégées contre les erreurs de transmission, le type de codage canal, la protection CRC qui est utilisée, la taille des paquets de données envoyés sur l'interface radio, etc. Cet ensemble d'information est connu sous le nom de 'Transport Format'.</p> <p>Comme décrit dans les spécifications, les canaux de transports sont classifié en deux catégories : les canaux de transport downlink et les canaux de transport uplink.</p>	<p>-BCH (Broadcast Channel) est associé au canal logique BCCH. Il un 'Transport Format' fixé et prédéfini et doit couvrir l'ensemble de la cellule.</p> <p>-PCH (Paging Channel) associé au BCCH.</p> <p>-DL-SCH (Downlink Shared Channel) qui est utilisé pour transporter le contrôle d'utilisateur ou le trafic data.</p> <p>-MCH (Multicast Channel) qui est associé au MBMS pour le contrôle des informations de transport.</p>	<p>-UL-SCH (Uplink Shared Channel) qui est l'équivalent du DL -SCH en Uplink.</p> <p>-RACH (Random Access Channel) qui est un canal de transport spécifique supportant un contrôle d'information limité. Il est utilisé durant les premières phases d'établissement de communication ou dans le cas du changement d'état du RRC.</p>

Tableau A.4. Les canaux physiques dans l'E-UTRAN

Canaux physiques	Types	
	Les canaux physiques en Downlink	Les canaux physiques en Uplink
<p>Les canaux physiques sont l'implémentation des canaux transport sur l'interface radio. Leur structure dépend étroitement des caractéristiques de l'interface physique OFDM.</p>	<p>-PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) qui transporte les données usager et la signalisation des couches hautes</p> <p>-PDCCH (Physical Downlink Control Channel) qui transport les assignations d'ordonnancement</p> <p>-pour le lien montant.</p> <p>-PMCH (Physical Multicast Channel) qui transporte l'information Multicast/Broadcast.</p> <p>-PBCH (Physical Broadcast Channel) qui transporte les informations système.</p> <p>-PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel) qui informe l'UE sur le nombre de symboles OFDM utilisé pour le PDCCH.</p> <p>-Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH) qui transporte les ACK et NACK des réponses de</p>	<p>-PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) qui transporte les données utilisateur et la signalisation des couches hautes.</p> <p>-PUCCH (Physical Uplink Control Channel) transporte les informations de contrôle, comprends les répons ACK et NACK du terminal aux transmissions DownLink, relative au mécanisme HARQ.</p> <p>-PRACH (Physical Random Access Channel) qui transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux au réseau d'accès.</p> <p>En plus des canaux physiques, la couche physique utilise des signaux physiques et qui sont les :</p> <p>Signaux de référence (Reference signals) un seul signal est transmis par port d'antenne</p> <p>DownLink. Signaux de synchronisation (Synchronisation signaux) divisé</p>

	l'eNodeB aux transmissions en Uplink relative au mécanisme HARQ.	en signaux primaire et secondaire de synchronisation.
--	--	---

Annexe B

LES ANTENNES

1. Définition :

L'antenne est un dispositif rayonné qui transforme un courant alternatif à haute fréquence en ondes électromagnétiques en émission ou réciproquement en réception. Donc il permet d'établir une liaison radio depuis l'émetteur vers le récepteur.

La propagation de l'onde radio sur une antenne se fait sur un lobe de 120, d'où l'antenne sectorielle pour émettre dans chaque secteur sur les trois cellules.

2. Les caractéristiques de l'antenne :

Une antenne est caractérisée essentiellement de : la fréquence d'utilisation, le gain, la polarisation, la puissance, l'ouverture, le tilt, l'azimut, la directivité et le diagramme de rayonnement.

Tableau B.1. Les caractéristiques d'une antenne

Caractéristiques	Définitions
la fréquence d'utilisation	La caractéristique la plus importante d'une antenne est la bande de fréquence supportée ; c'est-à-dire les fréquences sur lesquelles l'antenne pourra émettre et recevoir. On trouve des antennes bi-modes (GSM et UMTS), bi-bandes (1800 et 1900-2200MHz) ou tri-bandes (900,1800 et 1900-2200MHz).
Le Gain	Le gain représente une amplification pour la puissance utilisée par l'antenne. Si l'antenne est omnidirectionnelle son gain varie entre 2 à 11 dBi et si elle est directionnelle son gain atteint les 20 dBi.
La polarisation	Le champ électrique E d'une antenne peut être principalement polarisé linéairement, Verticalement ou Horizontalement :

	<p>Il existe aussi d'autres polarisations : circulaire droite ou gauche, elliptique...</p> <p>Pour réaliser une bonne liaison radio, l'antenne du récepteur doit avoir la même polarisation que celle de l'émetteur.</p>
La puissance	<p>La puissance isotrope rayonnée équivalente d'une antenne (PIRE ou EIRP en anglais) est un terme souvent utilisé en télécommunications (principalement dans les bilans de liaison) qui définit, dans la direction de rayonnement maximal, la puissance électrique qu'il faudrait apporter à une antenne isotrope pour obtenir la même puissance rayonnée dans cette direction.</p>
Tilt (Down tilt)	<p>Le tilt est utilisé pour diriger le faisceau de l'antenne vers le haut (tilt positif) ou, plus souvent, vers le bas (down-tilt, tilt négatif). L'inclinaison peut se faire de deux façons, souvent complémentaires : tilt mécanique réalisé par une inclinaison de l'antenne (vers le haut ou le bas), et tilt électrique, réalisé par légère modification des caractéristiques électriques de l'antenne.</p>
L'azimut	<p>L'azimut est la direction principale d'émission d'une antenne. Il est exprimé en degrés et est compté positivement dans le sens horaire, en partant du nord (azimut 0).</p>
La directivité	<p>Ce sont les directions sur lesquelles l'antenne va émettre, il existe 2 types de directivité :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Antennes omnidirectionnelles : elles émettent dans tous les sens (direction) d'une manière égale, elles ne se sont pas beaucoup utilisées. 2. Antennes directionnelles (sectorielle) : elles émettent dans la direction dans laquelle elles sont orientées, ce qui permet de diminuer le champ de propagation, elles sont beaucoup plus utilisées.
Le diagramme de rayonnement.	<p>Le diagramme de rayonnement d'une antenne est principalement relié à sa géométrie mais peut aussi varier avec la fréquence. Hormis les antennes omnidirectionnelles, les antennes ne rayonnent pas la puissance de manière uniforme dans l'espace. Dans ce cas, la fonction caractéristique de rayonnement est égale à 1 quelle que soit la direction considérée. En général, la puissance est concentrée dans un ou plusieurs «</p>

	lobes ». Le lobe principal correspond à la direction privilégiée de rayonnement. Les lobes secondaires sont généralement des lobes parasites. Dans ces directions, l'énergie rayonnée est perdue donc on cherche à les atténuer.
--	--

Annexe C

ATOLL

C.1. Présentation de l'outil de planification radio 'Atoll' :

Atoll est un logiciel de dimensionnement et de planification de réseaux cellulaires qui peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux (du design à l'expansion et l'optimisation). Le logiciel exploite différentes données en entrée car il permet de choisir le type de projet à réaliser GSM 900, DCS 1800, UMTS, HSDPA, WIMAX , CDMA2000 et **LTE**.

On peut définir le **model de propagation**, le type d'antenne, les caractéristiques du site. Enfin après avoir déployé un réseau, Atoll permet de réaliser de multiples prédictions de couverture. Une fois que nous avons créé le réseau, Atoll propose de nombreux outils pour nous permettre d'optimiser le réseau.

C.1.1 Création du projet sur Atoll :

Avant la création d'un projet sur ATOLL, il faut créer un dossier vide où le projet va enregistrer après suivre les étapes de démarrage suivantes :

Ouvrir un dossier et choisir « 3GPP Multi-RAT », comme suit :

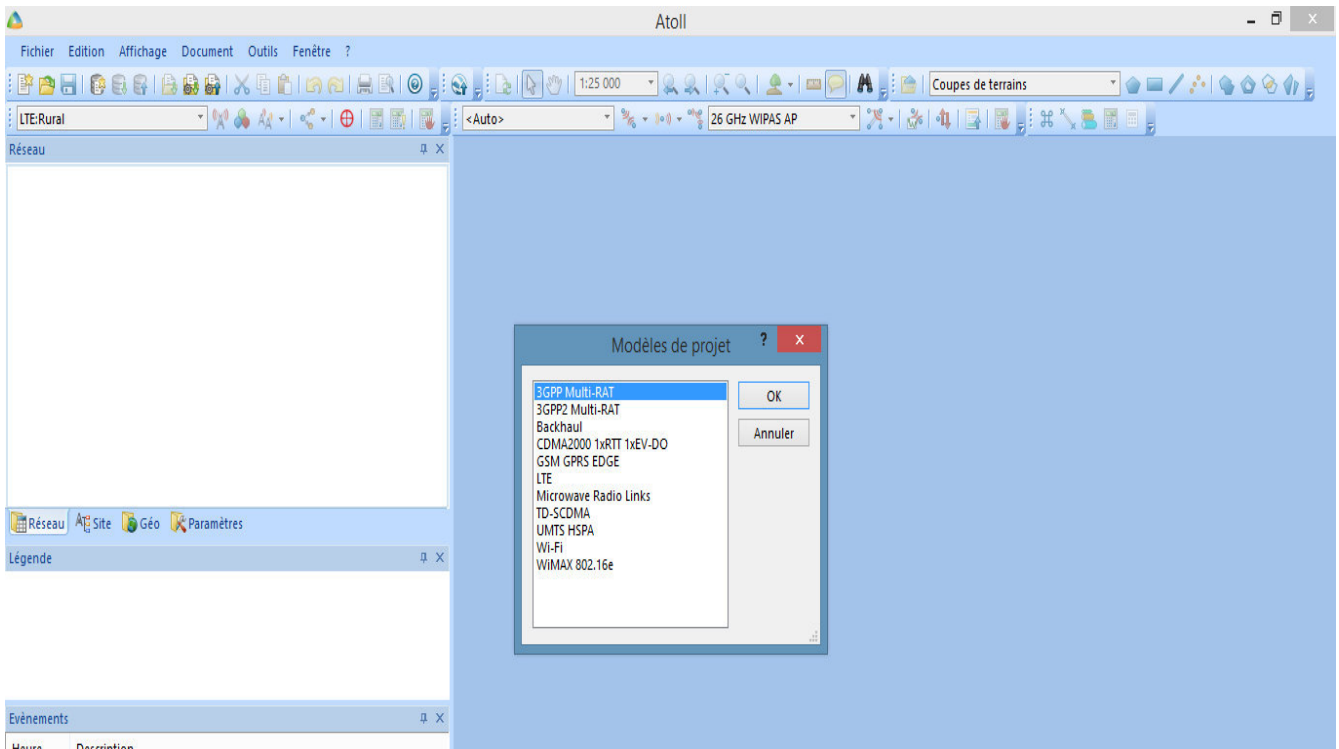


Figure C.1. La création d'un projet sur ATOLL

Cliquez sur « Document » puis « propriétés », une fenêtre pour choisir les options va s'ouvrir on règle les paramètres :

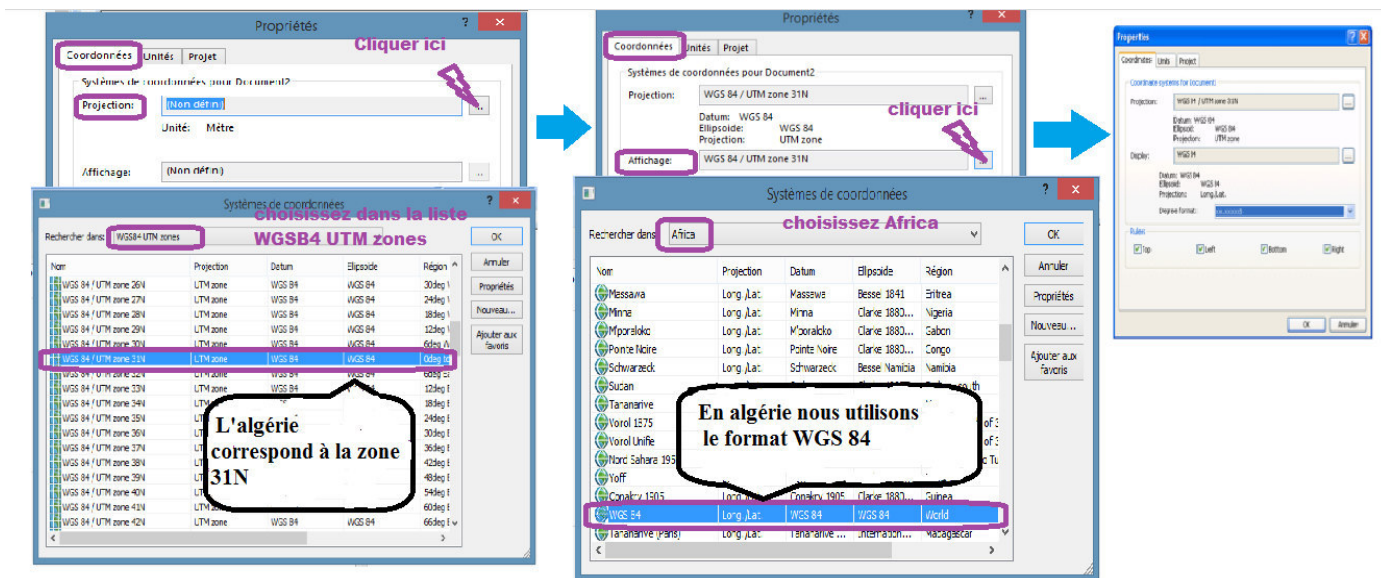


Figure C.2. Le choix des options

C.1.2 Importer les cartes :

On importe la carte géographique qui présente (Bordj el Kifan, Bordj el Bahri et el Marsa) avec une résolution de 20 mètre et un rayon de calcul de 8000 mètre. Atoll nécessite l'introduction de plusieurs paramètres pour son bon fonctionnement, tels que la zone géographique à planifier, les cartes morphologiques et topographiques, des sites, des secteurs, des cellules et de l'antenne. Ces paramètres sont soit calculés soit fournis par l'opérateur DJEZZY.

Après import de la carte on importe le polygone dans lequel on place les sites : Pour importer ce dernier aller _a « File » choisi « Import » une fenêtre va s'ouvrir, chercher ou on a enregistré le fichier du polygone sous forme «.tab» sélectionner le fichier et cliquer sur «Open».

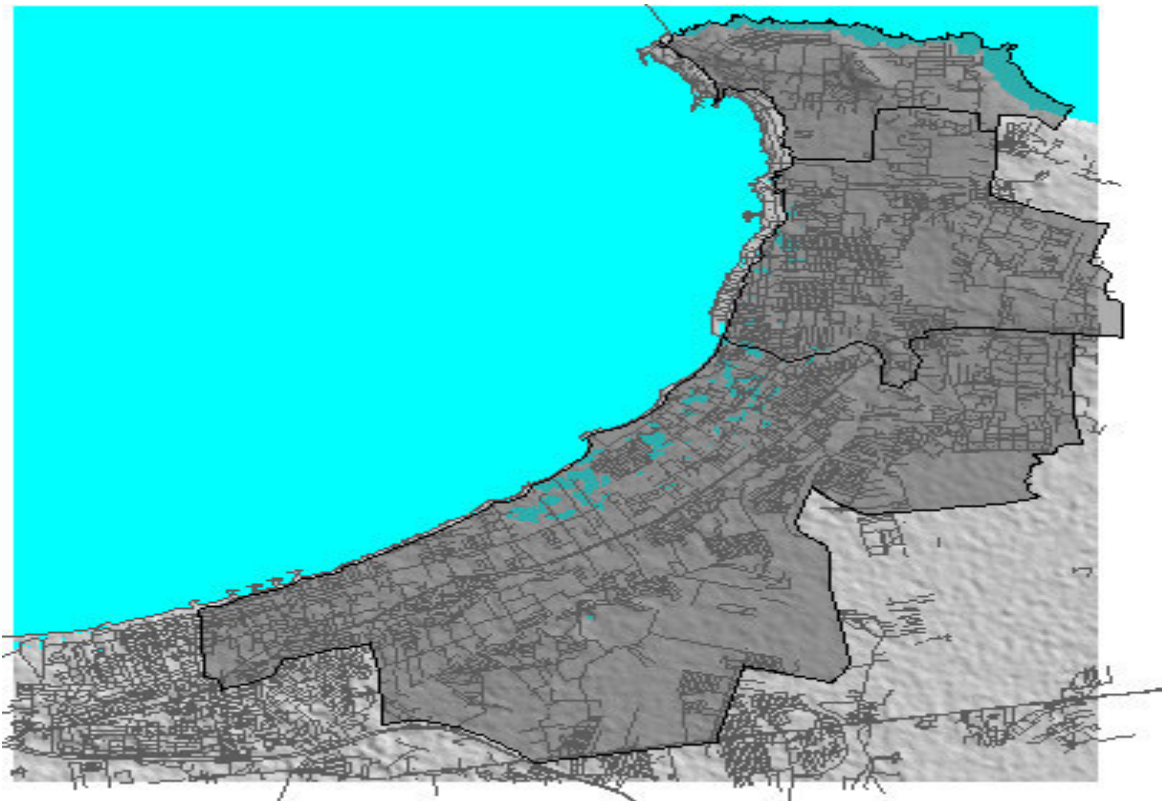


Figure C.2. Importation du polygone dans le logiciel Atoll

C.1.3 Importer les cartes, les émetteurs et les cellules :

La création d'un site consiste à sélectionner la commande «New» dans la table site de la partie Data du menu explorer. Ou aussi importer l'emplacement des sites existants dans la base de données. Au niveau de cette fenêtre, on précise le nom du site, sa position géographique (X, Y), son altitude par rapport au niveau de la mer, sa longitude, sa hauteur, type de support

utilisée et la hauteur de pylône, le nombre de canaux implémentées au sein de ce eNodeB pour le lien montant et le lien descendant et la version de l'équipement utilisé.

• **Choix des sites :**

La planification de couverture et le choix des sites sont effectués en parallèle avec l'acquisition du site en mode interactif, le choix des sites doit être effectué en fonction de plusieurs contraintes :

- La distance inter-sites LTE doit être respectée

$$DIS=1.5 \times Cell_{raduis}^2$$

- Le choix des sites à forte densité d'utilisation UMTS.

- L'emplacement du site.

- La hauteur du site (HBA)

- Favorisant les sites proches des institutions étatiques (ex : assemblée nationale, les ministères, ambassades etc..) ainsi que les centres de loisirs et les sociétés nationales, les banques, universités etc... Les différents sites choisis sont illustrés dans le tableau de la figure suivante :

Nom	Longitude	Latitude	status	Altitude (m)	Hauteur du support (m)
A16X096	3,19396E	36,7403N	2G/3G/4G On air	[31]	50
A16X099	3,1662E	36,7318N	2G/3G/4G On air	[38]	50
A16X105	3,24017E	36,7276N	2G/3G On air	[18]	50
A16X1058	3,22742E	36,7617N	2G/3G On air	[3]	50
A16X1065	3,25154E	36,8043N	2G/3G On air	[41]	50
A16X109	3,25026E	36,7917N	2G/3G/4G On air	[16]	50
A16X1095	3,17395E	36,7319N	Not On Air	[31]	50
A16X1100	3,2321E	36,7524N	3G On air	[11]	50
A16X1111	3,20378E	36,7391N	2G/3G On air	[19]	50
A16X1112	3,18127E	36,7461N	2G/3G On air	[8]	50
A16X1125	3,25214E	36,7438N	2G/3G On air	[15]	50
A16X1140	3,17515E	36,7351N	Not On Air	[24]	50
A16X119	3,21981E	36,7493N	2G/3G On air	[11]	50
A16X130	3,23882E	36,7638N	2G/3G/4G On air	[24]	50
A16X131	3,23536E	36,8062N	2G/3G/4G On air	[13]	50
A16X136	3,25455E	36,811N	2G/3G/4G On air	[37]	50
A16X144	3,2565E	36,7692N	2G/3G/4G On air	[11]	50
A16X177	3,24908E	36,7805N	2G/3G/4G On air	[19]	50
A16X178	3,23312E	36,7785N	2G/3G/4G On air	[3]	50
A16X182	3,18916E	36,7463N	2G/3G/4G On air	[13]	50
A16X183	3,17497E	36,7367N	2G/3G On air	[30]	50
A16X184	3,18439E	36,7352N	2G/3G/4G On air	[27]	50
A16X305	3,17853E	36,7437N	2G/3G/4G On air	[13]	50
A16X392	3,23427E	36,7329N	2G/3G/4G On air	[19]	50
A16X393	3,23494E	36,7589N	2G/3G/4G On air	[12]	50
A16X395	3,26536E	36,7674N	2G/3G On air	[12]	50
A16X396	3,2493E	36,7642N	2G/3G/4G On air	[17]	50
A16X397	3,26151E	36,7795N	2G/3G/4G On air	[35]	50
A16X477	3,23607E	36,8122N	2G/3G/4G On air	[36]	50
A16X478	3,23779E	36,7863N	2G/3G/4G On air	[2]	50
A16X479	3,24148E	36,777N	2G/3G/4G On air	[8]	50
A16X480	3,25612E	36,7328N	2G/3G/4G On air	[20]	50

Figure C.3. Sites LTE de la zone de déploiement

Les émetteurs correspondent à chaque site et leurs paramètres calculés ou fournis par l'opérateur DJEZZY présentés dans la figure suivante :

Site	Emetteur	Activé	Type d'émetteur	Antenne
A16X096	A16X096_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_10T_bbB
A16X096	A16X096_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_10T_bbB
A16X096	A16X096_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_10T_bbB
A16X099	A16X099_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_05T_bbB
A16X099	A16X099_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X099	A16X099_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_04T_bbB
A16X105	A16X105_1	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_05T_bbB
A16X105	A16X105_2	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X105	A16X105_3	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_04T_bbB
A16X105	A16X105_4	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_05T_bbB
A16X1058	A16X1058_1	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X1058	A16X1058_2	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_04T_bbB
A16X1058	A16X1058_3	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_05T_bbB
A16X1058	A16X1058_4	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X1065	A16X1065_1	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_04T_bbB
A16X1065	A16X1065_2	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_05T_bbB
A16X1065	A16X1065_3	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X109	A16X109_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_01T_bbB
A16X109	A16X109_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_08T_bbB
A16X109	A16X109_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X1095	A16X1095_1	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_04T_bbB
A16X1095	A16X1095_2	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_05T_bbB
A16X1095	A16X1095_3	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X1100	A16X1100_1	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_04T_bbB
A16X1100	A16X1100_2	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_05T_bbB
A16X1100	A16X1100_3	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X1100	A16X1100_4	<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_04T_bbB
A16X1111	A16X1111_1	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_05T_bbB
A16X1111	A16X1111_2	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB
A16X1111	A16X1111_3	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_04T_bbB
A16X1112	A16X1112_1	<input type="checkbox"/>	Intra-réseau (	ATR4517R0_1850_X_CO_P45_03T_bbB

Figure C.4. Les émetteurs correspondent aux sites LTE de la zone de déploiement.

On peut définir pour une antenne son gain, son diagramme de rayonnement (vertical et horizontal) et sa bande de fréquence de travail. Dans la fenêtre d'Atoll, double clique dans le dossier « Sites » (ou on clique avec le bouton droit sur le dossier « Sites » et sélectionnée « open table ») une fenêtre va s'ouvrir :

Carte: pfe2 Sites: pfe2

Nom	Longitude	Latitude	status	Altitude (m)	Hauteur du support (m)	Type de
A16X096	3,19396E	36,7403N	2G/3G/4G On air	[31]	50	
A16X099	3,1662E	36,7318N	2G/3G/4G On air	[38]	50	
A16X105	3,24017E	36,7276N	2G/3G On air	[18]	50	
A16X1058	3,22742E	36,7617N	2G/3G On air	[3]	50	
A16X1065	3,25154E	36,8043N	2G/3G On air	[41]	50	
A16X109	3,25026E	36,7917N	2G/3G/4G On air	[16]	50	
A16X1095	3,17395E	36,7319N	Not On Air	[31]	50	
A16X1100	3,2321E	36,7524N	3G On air	[11]	50	
A16X1111	3,20378E	36,7391N	2G/3G On air	[19]	50	
A16X1112	3,18127E	36,7461N	2G/3G On air	[8]	50	
A16X1125	3,25214E	36,7438N	2G/3G On air	[15]	50	
A16X1140	3,17515E	36,7351N	Not On Air	[24]	50	
A16X119	3,21981E	36,7493N	2G/3G On air	[11]	50	
A16X130	3,23882E	36,7638N	2G/3G/4G On air	[24]	50	
A16X131	3,23536E	36,8062N	2G/3G/4G On air	[13]	50	
A16X136	3,25455E	36,811N	2G/3G/4G On air	[37]	50	
A16X144	3,2565E	36,7692N	2G/3G/4G On air	[11]	50	
A16X177	3,24908E	36,7805N	2G/3G/4G On air	[19]	50	
A16X178	3,23312E	36,7785N	2G/3G/4G On air	[3]	50	
A16X182	3,18916E	36,7463N	2G/3G/4G On air	[13]	50	
A16X183	3,17497E	36,7367N	2G/3G On air	[30]	50	
A16X184	3,18439E	36,7352N	2G/3G/4G On air	[27]	50	
A16X305	3,17853E	36,7437N	2G/3G/4G On air	[13]	50	
A16X392	3,23427E	36,7329N	2G/3G/4G On air	[19]	50	
A16X393	3,23494E	36,7589N	2G/3G/4G On air	[12]	50	
A16X395	3,26536E	36,7674N	2G/3G On air	[12]	50	
A16X396	3,2493E	36,7642N	2G/3G/4G On air	[17]	50	
A16X397	3,26151E	36,7795N	2G/3G/4G On air	[35]	50	
A16X477	3,23607E	36,8122N	2G/3G/4G On air	[36]	50	
A16X478	3,23779E	36,7863N	2G/3G/4G On air	[2]	50	
A16X479	3,24148E	36,77N	2G/3G/4G On air	[8]	50	
A16X480	3,25612E	36,7328N	2G/3G/4G On air	[20]	50	

Rec. 1

Figure C.5. Paramètres d'antenne

Pour la bande de fréquence (Band3-10) utilisée par cellule et le numéro da canal (1500), et d'autre paramètres de cellules ; cliqué avec la droite sur souris et « ouvrir la table » :

Carte: pfe2 Sites: pfe2 Emetteurs LTE: pfe2 Cellules LTE: pfe2

Emetteur	Nom	ID	Active	Ordre	Couch
3A16X1140_1	3A16X1140_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
3A16X1140_2	3A16X1140_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
3A16X1140_3	3A16X1140_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X096_1	A16X096_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X096_2	A16X096_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X096_3	A16X096_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X099_1	A16X099_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X099_2	A16X099_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X099_3	A16X099_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X105_1	A16X105_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X105_2	A16X105_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X105_3	A16X105_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X105_4	A16X105_4(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1058_1	A16X1058_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1058_2	A16X1058_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1058_3	A16X1058_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1058_4	A16X1058_4(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1065_1	A16X1065_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1065_2	A16X1065_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1065_3	A16X1065_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X109_1	A16X109_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X109_2	A16X109_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X109_3	A16X109_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1095_1	A16X1095_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1095_2	A16X1095_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1095_3	A16X1095_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1100_1	A16X1100_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1100_2	A16X1100_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1100_3	A16X1100_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay
A16X1100_4	A16X1100_4(0)		<input checked="" type="checkbox"/>		1 Macro Lay

Rec. 1

Figure C.6. Paramètres de la cellule