Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques Fès
Département Génie Electrique

Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

FIKRI Hajar

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

Déploiement du réseau LTE

Encadré par :

Pr Hicham Ghennioui

Mr Abdennabi Latrache (ANRT)

Soutenu le Jeudi 27 Juin 2013, devant le jury composé de :

Pr H. Ghennioui ……..: Encadrant

Pr F. Mrabti …… : Examinatrice

Pr M. Jorio…… : Examinateur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012- 2013

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques Fès
Département Génie Electrique

Dédicaces

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012- 2013

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques Fès
Département Génie Electrique

Je dédie ce travail

A ma chère mère qui n'a pas cessé

de m'encourager durant mes

années d'études.

A mes chers frères et sœurs.

A tous mes amis.

À tous ceux qui me sont chers.

FIKRI HAJAR

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012- 2013

Remerciements

En témoignage de ma profonde reconnaissance, je dois remercier toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au **Professeur. HICHAM GHENNIOUI,** mon encadrant interne, pour l'intérêt qu'il a porté à mon projet de fin d'études, pour son suivi efficace et ses recommandations valeureuses.

Je remercie également mon encadrant de stage **Monsieur ABDENNABI LATRACHE,** Chef de Service Assignation des Fréquences **à ANRT** pour son excellent suivi, ses remarques pertinentes et ses recommandations fort enrichissantes dont j'ai bénéficiée tout au long de ce stage.

Je n'oublie pas également mes sincères remerciements et ma reconnaissance au Professeur **M'hammed LAHBABI, Responsable** de la filière 'Systèmes Electroniques et Télécommunications' et à tout le corps professoral de la FSTF.

Que toute personne ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de mon projet de fin d'études, trouve ici l'expression de ma reconnaissance et ma gratitude.

Sommaire

Sommaire 5
Liste des figures : 7
Liste des tableaux 9
Liste des abbreviations 10
Chapitre 1 : EVOLUTION DES RESEAUX MOBILEX 15
Introduction 15
I. Historique des réseaux mobiles 16
1. Les réseaux mobiles de première génération 17
2. Les réseaux mobiles de deuxième génération 18
3. Les réseaux mobiles de troisième génération 19
Conclusion 23
Chapitre 2 : Réseaux LTE(LONG TERM EVOLUTION) 22
Introduction 24
I- Caractéristique du réseau LTE 24
1- Architecture général du réseau EPS (Evolved Packet Système) 25
II- Les techniques d'accès multi-porteuses 29
1- Principe de technique OFDM 29
2- OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access 30
3- SC-FDMA : Single-carrier Frequency-division multiple access 33
4- LTE MIMO (Multiple Input Multiple Output) 35
5- Structure de la trame LTE 37
III- Différentes interfaces de l'eNodeB 39
1- L'interface Uu 39
2- L'interface S1 42
3- L'interface X2 43
IV- Les canaux 44

V- Handover LTE et mobilité 45
1- Handover intra LTE avec support X2 46
2- Handover intra LTE sans support X2 48
Conclusion : 49
Chapitre3: Planification dans l'E-UTRAN 50
Introduction 50
I- Les étapes de *planification* dans l'E-UTRAN 50
II- Dimensionnement de l'eNodeB 52
1- Planification orientée couverture 52
1.1. Bilan de liaison radio 53
1.2. Modèle de propagation RF 61
1.3. Calcul du nombre de site en se basant sur le bilan de liaison 66
Conclusion : 67
Chapitre 4 : RESULTAS LTE-ATOLL 68
Introduction 68
I. Démarrage d'un projet Atoll 68
1. Création d'un nouveau document Atoll à partir d'un modèle 68
II. Définition des paramètres radio 72
1. Création des sites 72
2. Création des émetteurs 72
3. Création des cellulles 73
III. Planification du Réseau LTE 74
1. Etude de couvertures 75
2. Planification des voisins 88
3. Planification de fréquences 89
4. *Planification des identifiants cellulaires physique* 91
Conclusion général : 93
BIBLIOGRAPHIE 94

Liste des figures :

Figure 2.1 : *architecture EPS* 27
Figure 2.2 : interfaces du réseau d'accès 27
Figure 2.3 : Le signal OFDM en fréquences et temps 30
Figure 2.4 : schéma complet de transmission/réception d'un système OFDMA 31
Figure 2.5 : La répartition des PRBs 32
Figure 2.6 : schéma complet de transmission/réception d'un système SC-FDMA 33
Figure 2.7 : La différence entre le SC-FDMA et l'OFDMA 35
Figure 2 .8 : principe MIMO 36
Figure 2 .9 : structure d'une trame LTE type 1 38
Figure 2 .10 : structure d'une trame LTE type 1 39
Figure 2 .11 : les piles protocolaires au niveau de l'interface Uu 40
Figure 2.12: pile protocolaire au niveau des interfaces S1-U et S1-MME : 43
Figure 2.13: L'architecture protocolaire de l'interface X2 44
Figure 2 .14 : Les étapes à suivre dans la procédure de Handover 47
Figure 2.15: processus Handover intra LTE sans support X2 48
Figure3.1 : Processus de planification radio 50
Figure 3.2 : Processus de dimensionnement 52
Figure 3.3 La variation du SINR requis en fonction du nombre de blocs de ressources alloués. 58
Figure 3.4 Inputs pour le calcul du MAPL 61
Figure 3.5 Site mona-sectorisé (à gauche), site bi-sectorisé (au milieu) et site tri-sectorisé (à droite) 66
Figure 4.1 : nouveau document Atoll basé sur le modèle LTE 70

Figure 4.2 : réglage des paramètres de projection et de formats 70
Figure 4.6: création d'un nouveau site..... 72
Figure 4.7: création d'un nouveau émetteur - onglet Émetteur..... 73
Figure 4.8: création d'un nouveau émetteur - onglet Cells 74
Figure 4.9: Position des sites et des émetteurs sur la carte..... 74
Figure 4.9: Création d'une nouvelle couverture par le niveau du signal..... 77
Figure 4.10 : paramètres général d'une prédiction de la couverture par le niveau du signal..... 77
Figure 4.11 : paramètres de condition d'une prédiction de la couverture par le niveau du signal78
Figure 4.12 : Paramètres d'affichage d'une prédiction de la couverture par le niveau du signal78
Figure 4.14: Histogramme de couverture par le niveau de signal 79
Figure 4.15: Création d'une prédiction de couverture par émetteur 80
Figure 4.16 : paramètres général d'une prédiction de couverture par émetteur 80
Figure 4.17: paramètres de condition d'une prédiction de la couverture par émetteur 80
Figure 4.18 : paramètres d'affichage d'une prédiction de la couverture par émetteur..... 81
Figure 4.19: Résultats de prédiction de couverture par émetteur 81
Figure 4.20: Histogramme de couverture par émetteur..... 82
Figure 4.21: prédiction de la couverture sur les zones de chevauchement 83
Figure 4.22: paramètres de condition d'une prédiction de la couverture sur les zones de chevauchement..... 84
Figure 4.23: paramètres d'affichage d'une prédiction de la couverture sur les zones de chevauchement..... 84
Figure 4.24: Carte de recouvrement 85
Figure 4.25: Histogramme de couverture par les zones de chevauchement..... 85
Figure 4.26 : création d'un nouveau service 86
Figure 4.27: création d'un nouveau type de mobilité..... 88
Figure 4.29 : allocation automatique des voisins..... 89
Figure 4.30 : Paramètres d'allocation des voisins..... 89
Figure 4.31 : Résultats d'allocation des voisins..... 89
Figure 4.32 : allocation automatique de fréquences 90
Figure 4.33 : Visualisation des fréquences en numéro de canal sur la carte..... 91
Figure 4.34 : allocation automatique des ID de cellules physiques 92

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Comparaison des technologies GSM, UMTS Release 99, HSPA et HSPA+ Release 823
Tableau 3.1 paramètres du bilan de liaison radio 54
Tableau 3.2 paramètres pour le calcul du la PIRE 55
Tableau 3.3 Paramètres pour le calcul de la sensibilité de réception 55
Tableau 3.4 $IMdB$ en fonction de la charge de la cellule 60
Tableau 3.5 modèle COST-231 Walfisch-Ikegami 63
Tableau 3.6 Modèle Okumura-Hata 64
Tableau 3.7 Modèle COST 231 Hata 65
Tableau 3.8 Paramétrage des terrains pour le modèle Erceig-Greenstein 66
Tableau 3.9 Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs 67
Tableau 4.1 : les services offert par le LTE 87
Tableau 4.2 : types de mobilité du réseau LTE 88

Liste des abbreviations

2G: 2nd generation

3G: 3rd generation

3GPP: 3rd generation partnership project

3GPP2: 3rd generation partnership project 2

ACK: Acknowledgment

CDMA: code division multiple access

CP: cyclic prefix

CQI: channel quality indicator

CRC: cyclic redundancy check

CSP: communication service provider

DAB digital audio broadcasting

DFT: discrete fourier transform

DMB digital mobile broadcasting

DSL: digital subscriber loop

DVB: digital video broadcasting

DWPTS: downlink pilot time slot

Eb: energy bit

eNodeB: evolved NodeB

EPC: evolved packet core

EPS: evolved packet system

ES: energy symbol

E-UTRAN: evolved-outran

EV-DO: evolution- data optimized

EVM RMS: error vector magnitude in root means square

FDD: frequency division duplex

FDPS: frequency domain packet scheduling

MU-MIMO: multi-user mimo

NACK: negative acknowledgement

NAS: non-access stratum

OFDM: orthogonal frequency division multiplexing

OFDMA: orthogonal frequency division multiple access

OPEX: operational expenditure

P/S: parallel to serial

FFT: fast fourier transform

FMC: fixed mobile convergence

GERAN: gsm edge radio access network

HARQ: hybrid automatic repeat request

HLR home location register

HSDPA high-speed downlink packet access

HSPA high-speed packet access

HSPA+:high-speed packet packet access evolution

HSS home subscriber server

ICI inter cellular interference

IDFT inverse discrete fourier tronsform

IEEE institute of electrical and electronics engineers

IFFTn inverse fast fourier transform

IMS ip multimedia subsystem

INTER-RAT inter-radio access technology

IP internet protocol

IR incremental redundancy

LCID logical channel identification

LP OFDM linear precoding ofdm

LTE long term evolution

MAC medium access control

MBMS multimedia broadcast multicast service

MCS modulation and coding scheme

MGW media gateway

MIMO multiple input multiple output

M-QAM quadrature amplitude modulation order M.

MRC maximum ratio combining

PAPR peak-to-average power ratio

PDCCH physical downlink control channel

PDSCH physical downlink shared channel

PMI pre-coding matrix indicator

PRB physical resource block

PS packet scheduler

PSTN public switched telephone network

PUCCH physical uplink control channel

PUSCH physical Uplink shared channel

RI rank indicator

RNC radio network controller

RRC radio resource control

RRM radio resource management

RTT round trip time

S/P serial to parallel

SAE system architecture evolution

SC-FDM single-carrier frequency division multiplexing

SC-FDMA single-carrier frequency division multiple access

SDMA spatial division access

SER symbol error rate

SINR signal to interference and noise ratio

SNR signal to noise ratio

SON self-organizing networks

SRS sounding reference signal

TBS transport block size

TDD time division duplex

TGV train a grande vitesse

TTI transmission time interval

UE user equipment

UMB ultra mobile broadband

UMTS universal mobile telecommunications

UPPTS uplink pilot time slot

UTRAN universal terrestrial radio access network

WCDMA wideband code division multiple access

WI-FI wireless fidelity (wlan based on IEEE 802, 11)

WIMAX worldwide interoperability for microwave access

ZF zero forcing

Introduction

Les besoins des utilisateurs dans la téléphonie mobile ont vu de nombreux rebondissement au début des années 70. L'objectif était d'avoir un moyen de télécommunication sans fil fiable capable de transmettre la voix d'un point donné à un autre, en effet après des recherches approfondies qui ont abouti à la première génération de la téléphonie mobile qui est la téléphonie analogique utilisée uniquement pour passer les appels traditionnels.

Après ce premier pas, les besoins ont changé et on a pensé à améliorer la qualité de services ; donc on a digitalisé cette première technique pour avoir une nouvelle technologie qui est le GSM en 1989. Cette technologie a connu un succès énorme et tous les pays développés l'ont adoptée, mais après l'essor et le développement d'internet, on a cherché de l'incorporer dans les téléphones mobiles. Ce jour là, on a vu la limite du GSM. Dés lors, on a donc cherché à créer une technologie qui permet une connexion à internet avec une qualité de service élevée et qui répond au besoin des utilisateurs à savoir avoir du haut débit.

C'est dans ce contexte que se pose notre projet de fin d'année, à savoir la migration 3G/LTE avec une étude du dimensionnement et la planification

Le document est organisé de la façon suivante ; dans le premier chapitre on va donner un historique sur les générations et les technologies utilisées, puis dans le deuxième chapitre on va passer vers une étude du LTE (Long Term Evolution), On passera après dans le troisième chapitre vers l'étude du dimensionnement et la planification dans LTE et on finira dans le quatrième chapitre par la partie de planification et de dimensionnement de réseau LTE avec l'outil 'ATOLL' dans la région de Meknès.

Chapitre 1 : EVOLUTION DES RESEAUX MOBILEX

Introduction

Durant ces dernières années, on remarque une grande évolution des systèmes cellulaires sans fil et de nombreuses générations sont apparues pour satisfaire les demandes des abonnés et offrir de nouveaux services.

La première génération de la téléphonie mobile est la téléphonie purement analogique utilisée uniquement pour passer les appels traditionnels.

Quand le nombre d'abonnement augmente, les spécialistes ont pensé à faire évoluer la capacité du réseau, améliorer la qualité d'appel ainsi qu'offrir plus de services. Ils ont pensé également à digitaliser la téléphonie et cela a introduit la deuxième génération de téléphonie.

En fait, c'était ce jour là que la norme « 2G » a vue le jour.

Les principaux avantages de la deuxième génération par rapport à la première génération (1G) sont :

- Les appels digitalisés ont relevé l'efficacité de l'interconnexion des équipements.
- L'échange entre le mobile et la BTS (Base Transceiver Station) était digitalisé.
- L'amélioration de deux aspects:
  - ⇨ La compression de donnée voix et la composition des canaux étaient plus efficaces qu'en analogie grâce à plusieurs mécanismes de codages. Cela nous a permet de coder plusieurs appels dans une même fréquence.

- Un système digital a minimisé le besoin de l'énergie radio émise par le mobile. Cela a permet de fabriquer les mobiles plus petits et a permet aux opérateurs de diminuer l'investissement matériel comme la BTS.

Pour la première fois, on a pu introduire les services donnée sur le téléphone mobile, commençant avec SMS (Short Message Service).

Malgré l'évolution de digitalisation, la 2G est encore un système à bande étroite, basée sur la technologie CS (Circuit Switching). Avec le temps, la capacité de 2G ne répond plus aux besoins des services avancés.

Pourtant, avant d'arriver à la maturité de la génération de la téléphonie suivante, 3G, le monde a passé une période de transition, connu sous la norme 2.5G (GPRS) et 2.75G (EDGE). C'est le début de la téléphonie en mode paquet.

I. Historique des réseaux mobiles

L'infrastructure de tout réseau mobile peut être généralisée en deux grandes parties: le réseau d'accès radio (RAN) et le Réseau de cœur (CN).

Le RAN se compose d'un émetteur-récepteur, d'une station de base et des contrôleurs de station de base.

Le réseau cœur peut être divisé en un Sous-système de Multimédia IP (IMS), un domaine de commutation de circuit (CS), et d'un domaine de commutation de paquets (PS).

L'IMS est une collection d'éléments de réseau qui fournissent de la multimédia IP à partir des services liés comme le texte, l'audio et la vidéo. Les données relatives à ces services sont transmises à travers le domaine PS.

CS-type est une connexion de télécommunication de style traditionnel connecté avec des ressources dédiées pour la durée de la connexion.

Dans une connexion de type PS, l'information est généralement transportée en paquets et chaque paquet est acheminé de façon distincte et autonome.

1. Les réseaux mobiles de première génération

La première génération de réseaux mobiles émerge au cours des années 1980 et elle est caractérisée par une multitude de technologies introduites en parallèle à travers le monde. On peut citer les technologies suivantes :

- AMPS (Advanced Mobile Phone System) aux États-Unis.
- TACS (Total Access Communication System) au Japon et au Royaume-Uni.
- NMT (Nordic Mobile Telephone) dans les pays scandinaves.
- Radiocom2000 en France.
- C-NETZ en Allemagne.

Ces systèmes devaient offrir un service de téléphonie en mobilité. Ils ne parviennent pas à réellement franchir les frontières de leurs pays d'origine et aucun système ne s'imposa en tant que véritable norme internationale. Cette hétérogénéité résultat principalement des cloisonnements nationaux en vigueur à l'époque dans le domaine des télécommunications. Elle impliquait de fait l'incompatibilité des systèmes et l'impossibilité d'itinérance internationale (aussi appelée roaming). Cet échec relatif fut primordial dans la reconnaissance par les différents pays de la nécessité de définir des normes de téléphonie mobile à l'échelle internationale.

D'un point de vue technique, ces systèmes étaient basés sur un codage et une modulation de type analogique. Ils utilisaient une technique d'accès multiples appelée FDMA (Frequency Division Multiplex Access), associant une fréquence à un utilisateur. La capacité de ces systèmes demeurait très limitée, de l'ordre de quelques appels voix simultanés par cellule. Cette contrainte de capacité, ainsi que les coûts élevés des terminaux et des tarifs de communication ont restreint l'utilisation de la 1G à un très faible

nombre d'utilisateurs. Par ailleurs, les dimensions importantes des terminaux limitaient significativement leur portabilité.

2. Les réseaux mobiles de deuxième génération

La deuxième génération de réseaux mobiles (2G) est elle aussi marquée par le nombre de systèmes ayant été définis et déployés à travers le monde. On retrouve le GSM (Global System for Mobile communications) en Europe, le PDC (Personal Digital Communications) au Japon et l'IS-95 aux États-Unis. Ces systèmes, dans leurs versions initiales, donnaient accès au service voix en mobilité, mais aussi aux messages textes courts plus connus sous le nom de SMS (Short Message Service).

En complément, ces systèmes permettaient des transferts de données à faible débit. Les progrès technologiques réalisés dans la conception de circuits hyperfréquences et de dispositifs de traitement numérique du signal permirent une réduction drastique de la taille des terminaux, autorisant une réelle mobilité.

Les systèmes 2G ont pour principal point commun d'être basés sur des codages et des modulations de type numérique : le signal de parole est transformé en un train de bits avant modulation et transmission sur l'interface radio. Par ailleurs, des techniques d'accès multiple plus élaborées que le FDMA furent employées. GSM et PDC sont par exemple basés sur une répartition en fréquences FDMA entre les cellules, combinée à une répartition en temps sur la cellule appelée TDMA (Time Division Multiple Access). D'autre part, les voies montante et descendante sont séparées en fréquence (mode FDD). L'IS-95 utilise une répartition par codes appelée CDMA (Code Division Multiple Access). Ces techniques accrurent largement l'efficacité spectrale des systèmes, c'est-à-dire le débit pouvant être écoulé par Hertz par cellule. À titre d'exemple, une cellule GSM peut supporter une cinquantaine d'appels voix simultanés et ce chiffre double quasiment si le schéma de codage de la voix est réduit au format demi-débit (half-rate).

Les systèmes 2G présentent toutefois plusieurs limites. La plus importante est d'ordre capacitaire, impliquant des rejets d'appels aux heures les plus chargées de la journée

malgré la densification des réseaux. La seconde est d'ordre fonctionnel. À ses débuts, le GSM utilisait un réseau cœur à commutation de circuit par lequel l'accès aux services de données était particulièrement lent. Afin d'accroître les débits fournis, le réseau d'accès GSM fut connecté à un réseau cœur appelé GPRS (General Packet Radio Service). Cette évolution améliora la prise en charge des services de données. En complément de ce développement, la technologie d'accès radio EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) rendit possible des débits de l'ordre de 240 Kbit/s par cellule grâce à l'amélioration des techniques d'accès au canal radio. Toutefois, les débits fournis par les réseaux 2G étaient encore trop limités pour que l'accès aux services de données soit fluide. Cette limitation fut à l'origine de la définition des technologies 3G.

3. Les réseaux mobiles de troisième génération

La troisième génération de réseaux mobiles (3G) regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial : l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 et déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord. Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches, notamment un schéma d'accès multiples à répartition par les codes (CDMA).

L'UMTS

La 3G est caractérisée par la volonté des industriels de télécommunications de définir une norme au niveau mondial. Les enjeux étaient d'offrir une itinérance globale aux utilisateurs, mais également de réduire les coûts unitaires des terminaux mobiles et des équipements de réseau grâce aux économies d'échelle. Dans cette perspective, ces entreprises, en particulier celles issues du monde GSM, se sont regroupées au sein d'un consortium appelé 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Cette démarche aboutit à l'élaboration de la norme UMTS à la fin des années 1990. Cette première version de la norme est appelée Release 99. Les innovations associées au système UMTS ont principalement trait au réseau d'accès, celui-ci s'interfaçant avec le réseau cœur

GPRS. Les objectifs de l'UMTS étaient d'accroître la capacité du système pour le service voix mais surtout d'améliorer le support des services de données.

L'UMTS Release 99 utilise la technologie W-CDMA (Wideband CDMA ou CDMA large bande). Cette dernière est basée sur une technique d'accès multiples CDMA et supporte les deux schémas de duplexage FDD et TDD. Le signal utile est étalé sur une largeur de bande de 3.84 MHz avant mise sur porteuse (d'où le nom de large bande), une porteuse occupant un canal de 5 MHz. Chaque appel est associé à un code spécifique connu de la station de base et du terminal, qui permet de le différencier des autres appels en cours sur la même porteuse. Le W-CDMA autorise la connexion simultanée à plusieurs cellules, renforçant la qualité des communications lors du changement de cellule en mobilité. La Release 99 est limitée à un débit maximal de 384 Kbits/s dans les sens montant et descendant.

Une variante de l'UMTS TDD, appelée TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA), est également normalisée par le 3GPP. Cette technologie opère sur une largeur de bande de 1.28 MHz, et est principalement déployée en Chine.

L'UMTS connaît deux évolutions majeures que nous présentons brièvement dans les sections suivantes :

• Le HSPA (High Speed Packet Access).

• Le HSPA+ (High Speed Packet Access+).

Les évolutions HSPA

Rapidement, la volonté apparut d'effacer les limites de la Release 99 en matière de débits. Les évolutions HSPA, aujourd'hui connues commercialement sous le nom de 3G+, furent introduites :

• HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) pour la voie descendante.

• HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pour la voie montante.

Ces évolutions ont été définies par le 3GPP respectivement en Release 5 (2002) et Release 6 (2005) afin d'accroître les débits possibles et de réduire la latence du système. La latence désigne le temps de réponse du système à une requête de l'utilisateur, et est un facteur clé de la perception des services de données par l'utilisateur.

Les évolutions HSPA+

Dans certains pays tels que le Japon et les États-Unis, la technologie UMTS et ses évolutions HSPA ont cependant commencé à montrer leurs limites en termes de capacité. La mise sur le marché de terminaux attractifs comme les smartphones et l'introduction de nouveaux services impliquant une connexion quasi-continue au réseau sont des facteurs qui ont mené à un essor brutal des usages et du trafic à écouler par les réseaux. On fait à présent référence aux utilisateurs toujours connectés ou always-on. Cette augmentation du trafic implique un partage des ressources entre les utilisateurs et, dans certains cas, une réduction des débits qui leur sont délivrés. Avec l'augmentation de la charge des réseaux, la qualité de service fournie aux clients se dégrade, ce qui pose un véritable problème aux opérateurs de réseaux mobiles. Deux pistes ont été suivies par le 3GPP afin de répondre à ces contraintes :

• la définition d'évolutions du HSPA, appelées HSPA+ ;

• la définition du LTE.

HSPA+ est un terme qui regroupe plusieurs évolutions techniques visant principalement à améliorer :

• les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système ;

• la gestion des utilisateurs always-on.

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008). L'amélioration des débits et de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles techniques. En voie descendante, la modulation 64QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DC-

HSDPA (Dual Carrier – HSDPA). Le spectre supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz. Les débits fournis à l'utilisateur sont potentiellement doublés. De plus, la largeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales.

La fonctionnalité MIMO (Multiple Input Multiple Output) est également introduite pour améliorer les débits en voie descendante. Les utilisateurs always-on sont mieux pris en compte via des fonctionnalités regroupées sous le terme de CPC (Continuous Packet Connectivity). Le HSPA+ intègre enfin une option d'architecture qui réduit la latence du système via la suppression du contrôleur de stations de base pour les services de données. Les évolutions HSPA+ apportent ainsi des gains très significatifs en termes de débits, de capacité et de latence et renforcent la pérennité des réseaux 3G.

	GSM/GPRS/EDGE	UMTS Release 99	HSPA	HSPA+ Release 8
Débit Max UL	188 Kbit/s	384 Kbit/s	5,8 Mbit/s	11,5 Mbit/s
Débit Max DL	236 Kbit/s	384 Kbit/s	Mbit/s	Mbit/s
Latence	300 ms	250 ms	70 ms	30 ms
Largeur de canal	200 kHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz avec possibilité de deux canaux simultanés
Technique d'accès	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA/TDMA	CDMA/TDMA
Modulation DL :	GMSK	QPSK	QPSK, 16QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Modulation UL :	8PSK	BPSK	BPSK, QPSK	BPSK, QPSK, 16PSK
Bandes de fréquences usuelles (MHz)	900/1800	900/2100	900/2100	900/2100

Tableau 1.1 : Comparaison des technologies GSM, UMTS Release 99, HSPA et HSPA+ Release 8

L'UMTS et son évolution HSPA sont aujourd'hui largement déployés sur tous les continents. Ils ont rencontré un succès commercial croissant en lien avec le développement de nouveaux usages (Internet mobile, TV, vidéo, applications mobiles…) mais aussi grâce à l'arrivée de nouveaux terminaux favorisant ces usages (smartphones, clés 3G+, modules intégrés aux ordinateurs portables).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons eu un aperçue sur les différentes générations de réseaux cellulaire à savoir la première génération puis la deuxième génération la troisième génération et finissant avec une évolution vers la 4G dans le chapitre suivant nous allons avoir une description de la 4G en mettant en valeur ses différentes critères: la bande passante le débit, les techniques d'accès,…

Chapitre 2 : Réseaux LTE (LONG TERM EVOLUTION)

Introduction

Le LTE (Long Term Evolution of 3G) est un projet mené par l'organisme de standardisation 3GPP visant à rédiger les normes techniques de la future quatrième génération en téléphonie mobile. Elle permet le transfert de données à très haut débit, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule supérieur et une latence plus faible. Pour les opérateurs, le LTE implique une modification du cœur de réseau existant et des émetteurs radio. Il faut également développer des terminaux mobiles adaptés au débit théorique, l'objectif de ce chapitre et de présenter une vue globale de bout en bout de réseau employé en LTE et appelé EPS (Evolved Packet System).

I- Caractéristique du réseau LTE

Les objectifs de performance établis pour le système LTE sont :

- Débit pic accru : Les débits maximums cibles sont 172.8 Mbits/s (liaison descendante) et 86.4 Mbit/s (liaison ascendante) avec une largeur spectrale de 20 MHz, une efficacité de 5 bps/Hz en downlink et 2.5 bps/Hz en uplink et une configuration MIMO 2×2. Le débit en liaison descendante peut aller jusqu'à 326,4 Mb/s avec une configuration MIMO 4×4.
- Latence dans le plan usager : Le temps de transition moyen d'un paquet de l'utilisateur entre la couche IP du terminal mobile et la couche IP de la station de base et inférieur à 5ms.

- Latence dans le plan de control : temps de transition inférieur à 100 ms d'un état inactive, et inferieur à 50 ms d'un état à faible inactivité.
- Flexibilité de spectre de fréquence : E-UTRAN doit pouvoir opérer dans des allocations de bande de fréquence de différentes tailles incluant 1.25 MHz, 2.5MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz.
- Efficacité spectral : est améliorée 3 à 4 fois supérieures à celle du HSDPA et 2 à 3 fois supérieur à celle du HSUPA.
- Mobilité : assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer (le LTE ne permet que le hard handover et non pas le soft handover) dans des conditions où l'usager se déplace à grande vitesse.
- Possibilité d'interopérabilité et interconnexion avec des réseaux 3G existants ainsi qu'avec des réseaux qui ne sont pas spécifiés par le 3GPP
- Réduction CAPEX et OPEX : un élément clé pour tout opérateur est de réduire les couts. Il est donc essentiel que tout nouveau design réduit à la fois les dépenses en capital (CAPEX) et les dépenses opérationnelles (OPEX). La nouvelle architecture plate utilisée pour la SAE, système architecture évolution, signifie que seuls deux types de nœuds sont utilisés. En plus un niveau plus élevé de configuration automatique est introduit ce qui réduit le temps de configuration et de commande.
- L'affectation du spectre : les deux modes de duplexage entre la liaison ascendante et descendante sont pris en charge à savoir : (Frequency Division Duplex/ Mode FDD) et le (Time Division Duplex/ TDD Mode).
- Qualité de service : La qualité de service (QoS) de bout est prise en charge. VolP devrait être soutenue par au moins une bonne efficacité, latence radio et backhaul similaire à celles du trafic voix sur les réseaux à commutation de circuit de l'UMTS.

1- Architecture général du réseau EPS (Evolved Packet Système)

L'objectif de cette évolution : LTE/SAE est de fournir un accès, basé IP, au débit de donnés, à faible latence et à bande passante flexible. En parallèle, une nouvelle architecture est conçue dans le but de soutenir la commutation de paquets du trafic avec une transparence de la mobilité, une haute qualité de service et un temps de latence minimal.

La figure 2.1 montre l'architecture EPS avec les différentes entités qui la composent :

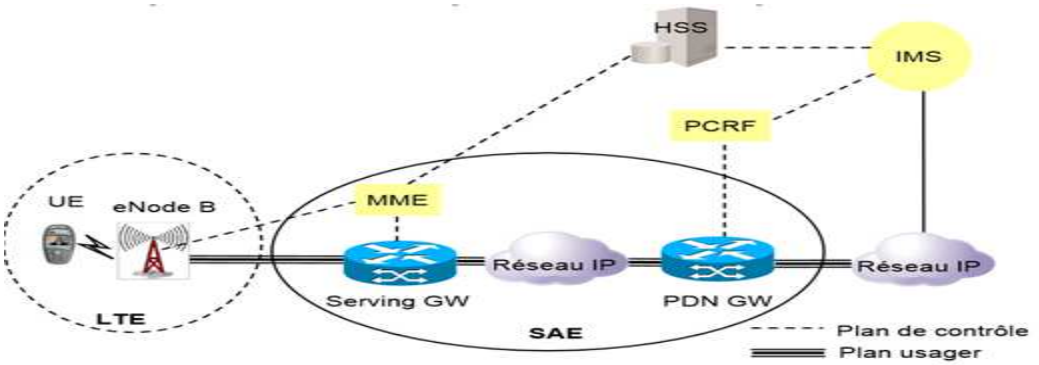


Figure 2.1 : architecture EPS

L'une des particularités de l'EPS est la séparation entre les entités réseaux assurant du plan de contrôle (MME) et celle du plan usager (S-GW)

a- Réseau d'accès E-UTRAN

L'eNodeB est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. A la différence de l'UTRAN 3G où sont présentes les entités Node B et RNC, l'architecture EUTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/Serving GW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur. L'interface S1 consiste en S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME et S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW. Une nouvelle interface X2 a été définie entre eNodeBs adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'usager en mode ACTIF (handover). Lorsque l'usager se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE ; or le réseau continu à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que le nouvel eNodeB n'a pas informé le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNodeB qui les remet à l'UE.

La figure 2.2 décrit l'architecture E-UTRAN avec ses eNodeB et les interfaces X2 (entre les eNodeB) et S1 (entre eNodeB et entités du réseau cœur MME/Serving GW).

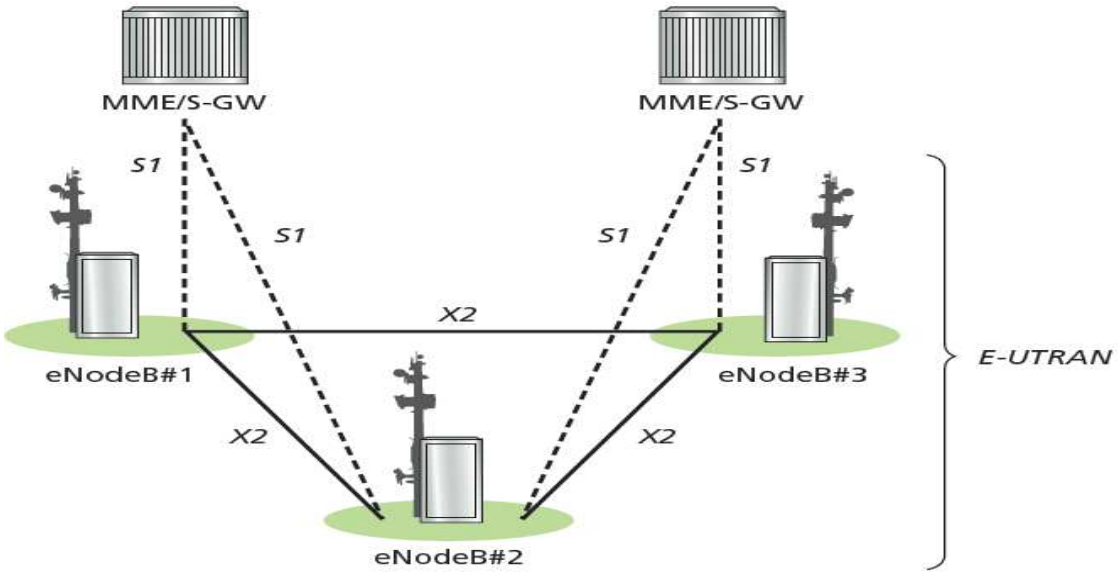


Figure 2.2 : interfaces du réseau d'accès

b- Réseau cœur EPC (Evolved Packet Core)

Les principales entités de l'EPC ainsi que nous avons pu l'observer dans les figures précédentes sont : MME, S-GW, PDN-GW, RCRF et HSS. Les fonctions de ces entités sont décrites de la façon suivante :

- Mobility Management Entity, Entité de gestion de mobilité : La MME est le nœud principal de contrôle du réseau d'accès LTE/SAE. Elle manipule un certain nombre de fonctionnalités telles que :
  - Le suivi des UE Mode Inactif (idle).
  - L'activation/ désactivation du Bearer.
  - Le choix du SGW pour un UE.
  - Le Handover Intra-LTE impliquant la location du nœud du réseau d'accès.
  - L'interaction avec le HSS pour authentifier un utilisateur en attachement et implémentation des restrictions d'itinérance.
  - Elle agit comme un licenciement pour le Non-Access Stratum (NAS).
  - Elle fournit des identités temporaires pour les UEs.
  - La SAE/MME agit en point de terminaison pour le chiffrement de protection de NAS de signalisation. Dans le cadre de cela, il s'occupe

également de la gestion de la clé de sécurité. En conséquence, la MME est le point où l'interception légale de signalisation peut être effectuée.

- La procédure de Paging.
- L'interface S3 se terminant dans la MME fournit ainsi la fonction de plan de contrôle de mobilité entre les réseaux d'accès LTE et 2G/3G.
- Le MME/SAE termine également l'interface S6 pour le HSS pour l'itinérance UEs.
- La MME/SAE fournit un niveau considérable de fonctionnalités de contrôle global.

- Serving Gateway, SGW : La passerelle de service SGW, est un élément plan de données au sein de LTE/SAE. Son objectif principal est de gérer la mobilité du plan utilisateur, elle agit également comme une frontière principale entre le Radio Access Network, RAN et le réseau cœur. La SGW maintient également les chemins de données entre les eNodes B et les passerelles PDN. De cette façon le SGW forme une interface pour le réseau de données par paquets à l'E-UTRAN. Aussi quand les UEs se déplacent dans les régions desservies par des eNodes B différentes, la SGW sert de point d'ancrage de mobilité veillant à ce que le chemin de données soit maintenu.
- PDN Gateway, PGW : la passerelle LTE/SAE PDN assure la connectivité pour l'UE à des réseaux de paquets de données externes, remplissant la fonction d'entrée et de sortie pour les données UE. L'UE peut disposer d'une connectivité avec plus d'un PGW pour l'accès à des PDNs multiples.
- Home Subscriber Server, HSS : 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. A la différence de la 2G et de la 3G où l'interface vers le HLR est supportée par le protocole du monde SS7, MAP, l'interface S6 s'appuie sur le protocole du monde IP, DIAMETER. Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE et IMS qui appartiennent au même opérateur. Il supporte donc les protocoles MAP (2G, 3G) et DIAMETER (LTE/SAE, IMS).

- Policy and Charging Rules Function, PCRF : La PCRF est le nom générique de l'entité au sein de la LTE SAE/EPC qui détecte les flux de service et applique la politique de tarification. Pour les applications qui nécessitent une politique dynamique de tarification ou de contrôle, un élément du réseau intitulé Application Function.

II- Les techniques d'accès multi-porteuses

Les techniques qu'on appelle multi-porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. Le gain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en orthogonalisant les porteuses ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide de circuits performants de transformée de fourier rapide. Le multiplexage en fréquence est bénéfique pour les transmissions dans des canaux sélectifs en fréquence qui comportent des trajets multiples.

Cette technique se nomme OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

1- Principe de technique OFDM

Les systèmes OFDM subdivisent la bande passante disponible en plusieurs sous-porteuses étroites et transmettre les données en flux parallèles. Chaque sous-porteuse est modulée à l'aide de niveaux variables de modulation QAM. Chaque symbole OFDM est donc une combinaison linéaire des signaux instantanés sur chacune des sous-porteuses dans le canal. Puisque les données sont transmises en parallèle et non en série, les symboles OFDM sont généralement beaucoup plus longs que les symboles sur les systèmes à porteuse unique et son transmis dans un intervalle de temps équivalent.

Compte tenu de ses avantages, l'utilisation de l'OFDM et les technologies d'accès associés, OFDMA et SC-FDMA sont des choix naturels de la nouvelle norme cellulaire LTE. L'OFDM présente l'élément clé de la technologie LTE.

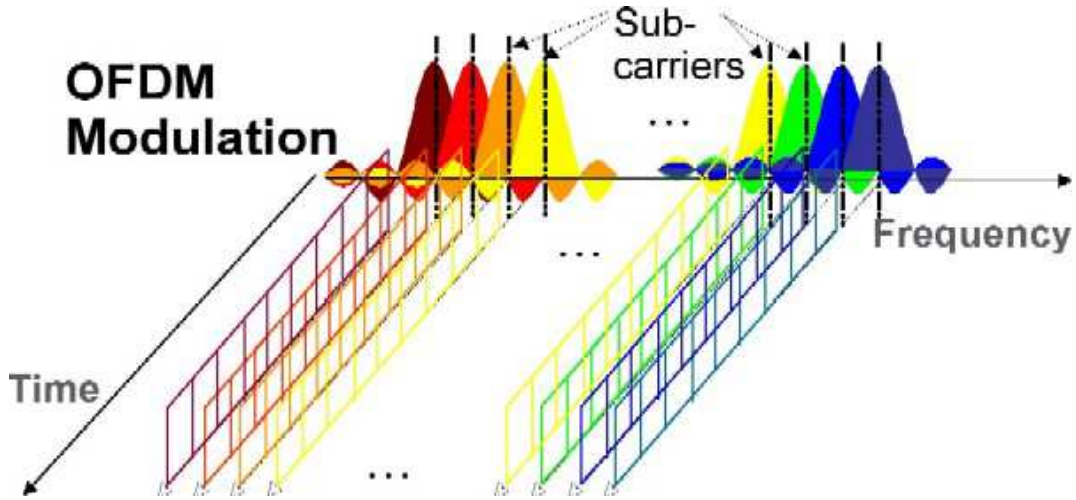


Figure 2.3 : Le signal OFDM en fréquences et temps

2- OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Lorsque de nombreux utilisateurs sont actifs au sein de la cellule, la latence peut devenir un problème important. De toute évidence, l'objectif des entreprises de téléphone cellulaire est de créer autant que possible que de demande réseau une grande variété de trafic qui comprend la voix, le multimédia et les données. L'efficacité et la faible latence sont donc primordiales. Comme nous le verrons dans ce qui suit, l'OFDMA est un excellent choix, de système de multiplexage pour la transmission Downlink, de la 3GPP LTE. Cette technique supporte un grand nombre d'utilisateurs aux caractéristiques variables (QoS, débits). Au niveau d'un utilisateur, on peut exploiter la diversité fréquentielle, et au niveau de la cellule, on peut exploiter la diversité multiutilisateur.

Dans cette technique, chaque sous-porteuse est exclusivement assignée à un seul utilisateur, éliminant de fait les Interférences Intra Cellulaires (ICI). Cela a pour conséquence directe un décodage facile de l'OFDMA par l'utilisateur.

La technique OFDMA permet d'allouer des canaux secondaires différents selon les utilisateurs dans une fenêtre temporelle à configuration variable pour la transmission d'un certain nombre de symboles OFDM.

L'implémentation de l'OFDMA est basée sur le Transformé de Fourier Discret ainsi que sur opération inverse IDFT pour passer du domaine temporel au domaine fréquentiel et

vice versa. La figure 2.4 illustre le schéma complet de transmission/réception d'un système OFDMA

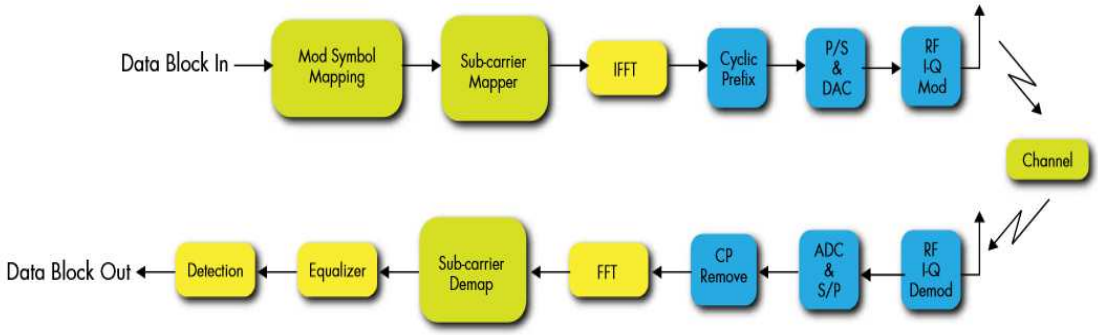


Figure 2.4 : schéma complet de transmission/réception d'un système OFDMA

L'émetteur du système OFDMA doit être capable de délivrer des porteuses étroites et mutuellement orthogonales. Il utilise donc un bloc IFFT pour créer le signal. En effet, les données passent par un convertisseur série parallèle puis par bloc IFFT. Chaque entrée de ce bloc correspond à une sous porteuse qui été modulé indépendamment des autres. Le bloc IFFT est suivi par l'ajout d'un préfixe cyclique afin d'éviter les interférences inter-symboles. En effet, le transmetteur copie une partie est d'avoir une durée supérieure à celle de la réponse impulsionnelle du canal. L'effet de symbole précédent est donc éliminé en ignorant le préfixe à la réception.

Du coté récepteur, le type du signal reçu est idéal du fait qu'on besoin d'égaliseur, mais on a besoin seulement de compenser l'influence du canal sur la phase et sur l'amplitude des différentes porteuses. On utilise le block FFT pour passer du domaine temporel au domaine fréquentiel. L'égaliseur utilisé ne présente pas une grande complexité, mais simplement il joue le rôle d'un estimateur qui a pour fonction d'annuler l'évanouissement sélectif en fréquence (frequency-selective fading) dû au canal.

L'OFDMA est un excellent choix de la 3GPP LTE de système de multiplexage pour la transmission downlink. Même si elle implique plus de complexité en termes de planification des ressources, elle est nettement supérieure aux approches orientés-paquets en termes d'efficacité et de latence.

❖ **Les blocs de ressources physiques**

En OFDMA, les utilisateurs se voient attribuer un nombre précis de sous-porteuses pour un nombre de fois prédéterminé, appelées blocs de ressources physique (PRBs, Physical Resource Blocks) dans les spécifications LTE. Les PRBs qui ont chacun une dimension temps et fréquence. La répartition des PRBs est géré par une fonction de planification à la station de base 3GPP (eNodeB).

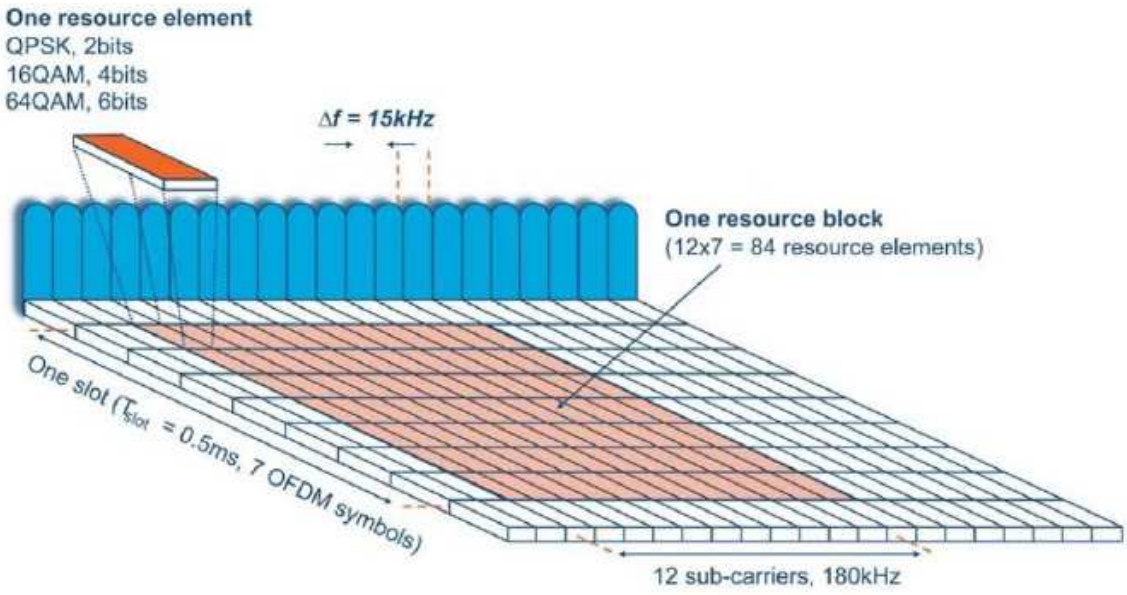


Figure 2.5 : La répartition des PRBs

Comme le montre la figure 2.5, un PRB est défini comme étant composé de 12 sous-porteuses consécutives pour un slot (0,5ms). Un PRB est le plus petit élément d'allocation des ressources effectuées par le planificateur de station de base.

L'OFDMA a été donc choisi comme meilleur solution pour le sens descendant en LTE, cependant elle présente un défi majeur qui consiste à introduire un PAPR (Peak to Average Power Ratio) assez grand, ce qui exige l'utilisation d'amplificateurs linéaires. Ce type d'amplificateurs est moins efficace en termes de consommation de batterie (au niveau des UEs), ce qui implique que l'OFDMA n'est pas la meilleure solution pour l'uplink. D'où l'utilisation de SC-FDMA dans le sens montant, car elle permet une meilleure efficacité en terme d'amplification de puissance.

Ce genre de problématiques est plus facile à gérer du côté réseau vu que ça dépasse les capacités des mobiles. En effet, les caractéristiques nécessaires pour un émetteur d'un UE sont :

- Peu de complexité.
- Puissance d'émission limitée.
- Faible coût.

Ces caractéristiques peuvent être réalisées en utilisant la technique d'accès « Single Carrier Frequency Division Multiple Access » (SC-FDMA).

3- SC-FDMA: Single-carrier Frequency-division multiple access

Cette technique offre des performances et une complexité globale similaire à L'OFDMA, mais utilise en revanche une technique de multiplexage fréquentiel à une seule porteuse.

Le principe du SC-FDMA est d'attribuer à un utilisateur un nombre N de ressources blocks, les ressources étant allouées dans le domaine temporel.

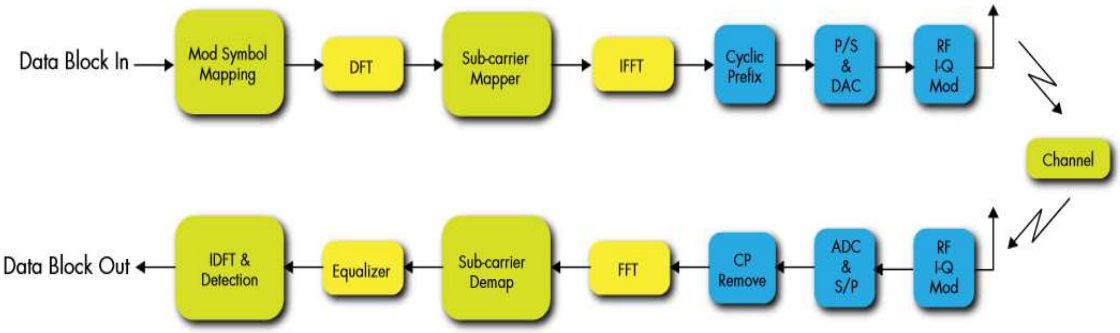


Figure 2.6 : schéma complet de transmission/réception d'un système SC-FDMA

Après la conversion de flux de bits entrants en symboles à seule porteuse (BPSK, QPSK, 16QAM selon les conditions du canal). Ces symboles seront par la suite formatés dans le domaine temporel en bloc pour l'entrée au moteur FFT.

Les blocs fonctionnels de la chaine de transmission sont :

- N-point FFT : Convertit le bloc symbole SC du domaine temporal en M tons discrets.
- Subcarrier Mapping : Mappe les tons de sorties DFT aux sous porteuses fixées pour la transmission. Les systèmes SC-FDMA utilisent soit des tons contigus (localisé) ou des tons uniformément espacés (distribués) comme la montre la figure ci-dessous. L'hypothèse LTE de travail actuel est que le Mapping à sous porteuse localisées sera utilisé.
- M-point IFFT : Reconvertit les sous-porteuses mappées de nouveau dans le domaine temporel pour la transmission.
- Ajout CP : Le préfixe cyclique est suspendu au symbole composite de SC-FDMA pour offrir l'immunité contre les effets de trajets multiples de la même manière que celle décrite pour l'OFDM.

Du coté chaine de réception, le processus est essentiellement inversé. Comme dans le cas de l'OFDMA, les transmissions SC-FDMA peuvent être considérées comme des sommations linéaires de sous-porteuses discrètes.

Le SC-FDMA utilise deux méthodes pour associer les données aux sous-porteuses (Mapping) :

- FDMA Distribué : Un certain nombre de zéro est inséré entre chaque échantillon de sortie de la DFT, offrant une plus grande diversité fréquentielle. Donc, les données de l'utilisateur occupent un ensemble de sous-porteuses non consécutives de façon à réaliser une diversité en fréquence.
- FDMA localisé : Aucun zéro n'est inséré entre les échantillons de sortie de la DFT (Discrete Fourier Transform), ceux-ci étant transposé sur des sous-porteuses consécutives. Donc, les données l'utilisateur occupent un ensemble de sous porteuses consécutives localisées réalisant ainsi le gain sélectif en fréquence par établissement d'un ordonnancement dépendant du canal (channel-Dependent Scheduling : CDS).

Finalement les différences entre le SC-FDMA et l'OFDMA peuvent être résumées sur la figure 2.7 :

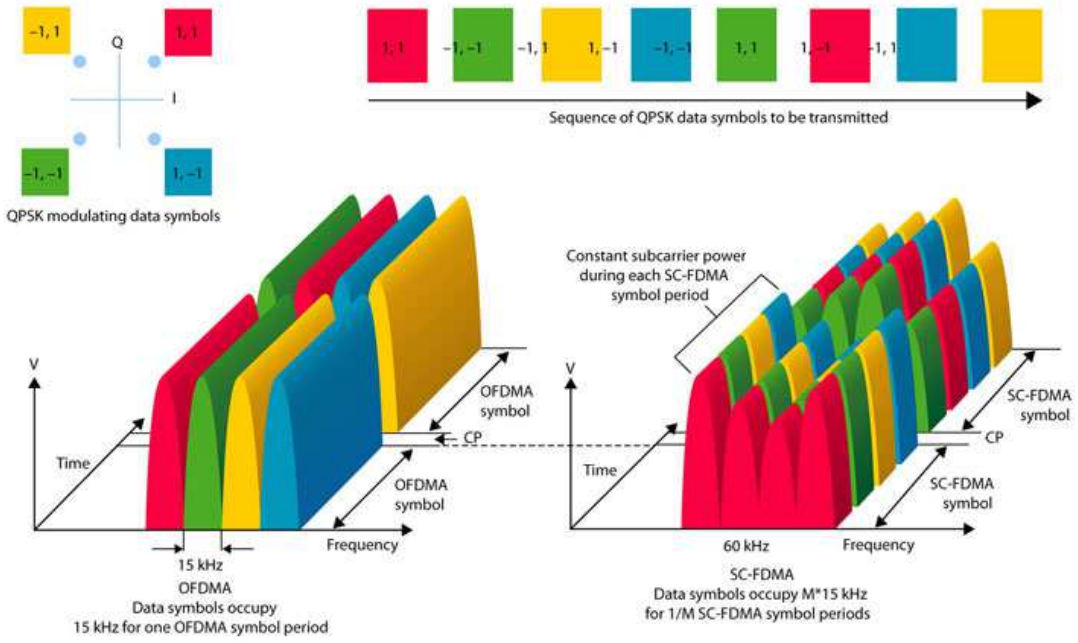


Figure 2.7 : La différence entre le SC-FDMA et l'OFDMA

Le LTE utilise ainsi une technique d'accès OFDM en voie descendance et SC-FDMA en voie montante deux techniques qui permettent des performances meilleures en termes d'efficacités spectrale et d'allocation de ressources.

4- LTE MIMO (Multiple Input Multiple Output)

La technologie d'antenne MIMO est l'une des technologies clés utilisé par LTE. Il s'agit d'une technologie dans laquelle plusieurs antennes sont utilisées à la fois à l'émetteur et au récepteur pour améliorer la communication: L'utilisation d'éléments d'antenne supplémentaires à chaque station de base (eNB) ou User Equipment (sur la liaison montante et /ou descendante) ouvre une dimension spatiale supplémentaire au pré codage et détection du signal.

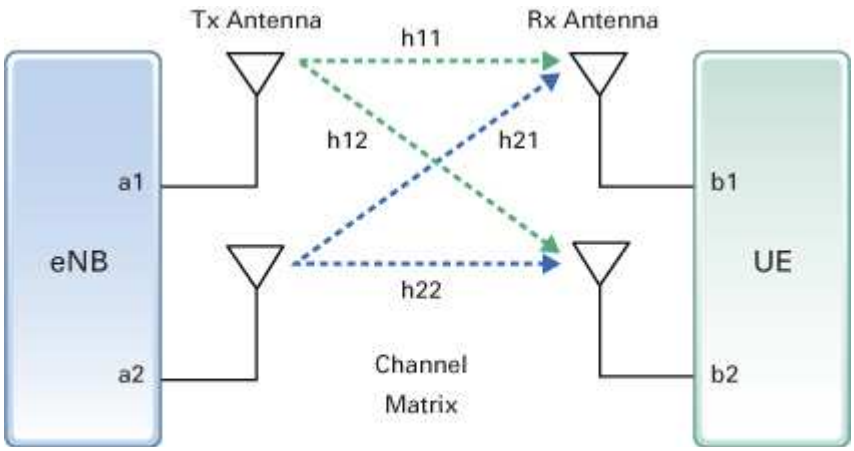


Figure 2 .8 : principe MIMO

Selon la disponibilité de ces antennes à l'émetteur et/ou au récepteur, les classifications suivantes sont réunies :

- ✓ **Single-Input Multiple-Output (SIMO) :** Un scénario simple de cette transmission est une liaison montante par lequel une station de base multi antenne (eNB) communique avec une seule antenne équipement utilisateur (UE).
- ✓ **Multiple-Input Single-Output (MISO) :** Une transmission descendante par laquelle une station de base multi-antenne communique avec une seule antenne équipement utilisateur (UE).
- ✓ **MIMO mono-utilisateur (SU-MIMO) :** Il s'agit d'une liaison multi antenne point à point entre une station de base et un UE.
- ✓ **MIMO multi-utilisateur (MU-MIMO) :** Il s'agit de plusieurs UE communiquant simultanément avec une station de base commune en utilisant les mêmes ressources dans le domaine temporel et fréquentiel.

En raison des exigences sur la couverture, la capacité et des débits de données, l'intégration de MIMO dans la couche physique LTE est très impérative, car il nécessite l'incorporation de systèmes de transmission tels de la diversité de transmission, le multiplexage spatial et la technique beamforming.

Le concept de base MIMO utilise la propagation du signal par trajets multiples qui est présent dans toutes les communications terrestres. Plutôt que de fournir des interférences, ces voies peuvent être mises à profit. Certes, les interférences multiples et les limitations de débit de données suite à la loi de Shannon peuvent être deux limitations importantes dans les canaux de communication, mais MIMO offre un moyen d'utiliser les voies de signaux multiples qui existent entre un émetteur et un récepteur pour améliorer sensiblement le débit de des données disponibles sur un canal donné avec une largeur de bande définie. En utilisant plusieurs antennes à l'émetteur et le récepteur avec certains traitements de signaux numérique complexes, la

technologie MIMO permet au système de créer plusieurs flux de données sur le même canal, augmentant ainsi sa capacité.

L'utilisation de plusieurs antennes technologie permet l'exploitation du domaine spatial comme une autre nouvelle dimension. Cela devient essentiel dans la quête de l'efficacité spectrale supérieure avec l'utilisation d'antennes multiples échelles d'efficacité spectrale théoriquement réalisables-linéairement avec le minimum du nombre d'antennes d'émission et de réception employées, au moins dans des antennes des environnements adaptés à la propagation des ondes radio.

Débit montant peut aller jusqu'à 75 Mhz .Apport de MIMO en termes de débit :

- ✓ En théorie, il y a un nombre de manières pour augmenter le débit de communication a savoir: utilisation d'une bande passante plus large, une modulation d'ordre supérieur et transmission MIMO.
- ✓ La bande passante utilisé par le LTE qui est de 20 Mhz permet des débits descendants pouvant aller jusqu'à 150 Mbps avec un MIMO 2x2, 300 Mbps avec un MIMO 4x4 et le

Afin d'obtenir un gain en diversité et en débit, la LTE MIMO propose un système qui se compose soit de 2 antennes émettrices et 2 antennes réceptrices, soit de 4 antennes émettrices et 4 antennes réceptrices. Cette technique substitue deux caractéristiques importantes de la norme UTRAN, débit variable et contrôle de puissance, par une technique de codage et de modulation adaptée (AMC) aux variations du canal MIMO.

5- Structure de la trame LTE

Les structures de trames pour la LTE différent entre les modes duplex TDD et FDD, car il y'a des exigences différentes sur la séparation des données transmises. Il existe deux types de structures de trames LTE :

- Type 1 : utilise par les systèmes opérant en mode LTE FDD.
- Type 2 : utilise par les systèmes opérant en mode LTE TDD.

a- La trame LTE de type1

La trame LTE de type 1 (mode LTE FDD) a une longueur totale de 10ms. Celle-ci est ensuite divisée en un total de 20 slots individuels. La sous trame LTE se compose alors de deux slots, en d'autre termes, il y'a dix sous-trames LTE au sein d'une trame. Dans ce cas la transmission des données Uplink et Downlink se fait dans deux canaux différentes.

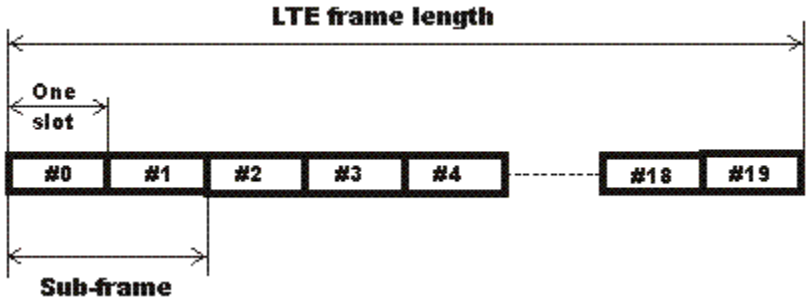


Figure 2 .9 : structure d'une trame LTE type 1

Ts : le temps d'échantillonnage.

Tslot : la durée d'un time slot.

Tf : la durée de la trame LTE.

b- La trame LTE de type 2

La structure de la trame utilisée dans le mode de transmission TDD est peu différente. Les 10 ms de la trame se composent en deux demi-trames, chacune de 5ms. Les demi-trames LTE sont de plus divisées en cinq sous-trames, chaque 1ms longtemps. Dans ce cas les transactions de données Uplink et Downlink se font en même bande, la structure de la trame en mode TDD est illustrée dans la figure suivante :

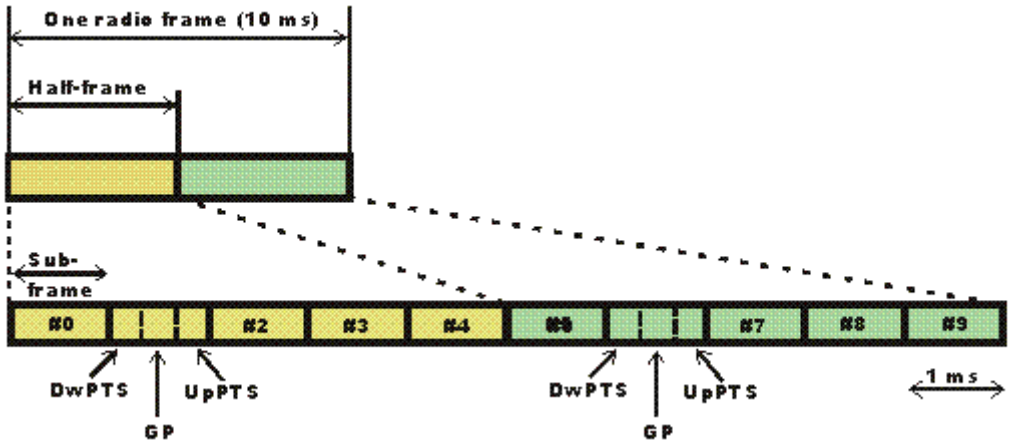


Figure 2 .10 : structure d'une trame LTE type 1

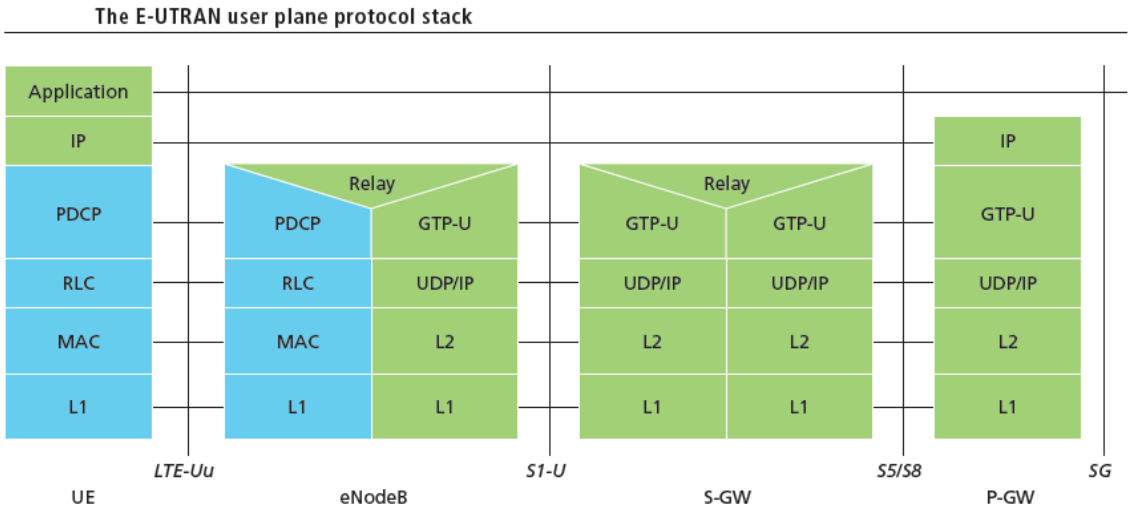
Les sous-trames peuvent être divisées en sous-trames spéciales. Les sous-trames spéciales composées de trois champs.

- DwPTS : downlink pilot Time Slot, elle est utilisée pour la synchronization download.
- GP Guard Period : il assure la transmission de UE.

III- Différentes interfaces de l'eNodeB

1- L'interface Uu

L'interface Uu est l'interface radio entre l'E-UTRAN et le UE. Cette interface adopte la communication entre l'eNodeB et le UE, et cela comprend le plan de contrôle pour la signalisation et le plan utilisateur pour le transfert des données utilisateurs. L'interface Uu est utilisée pour la mise en place, la reconfiguration et la libération des services du support radio.



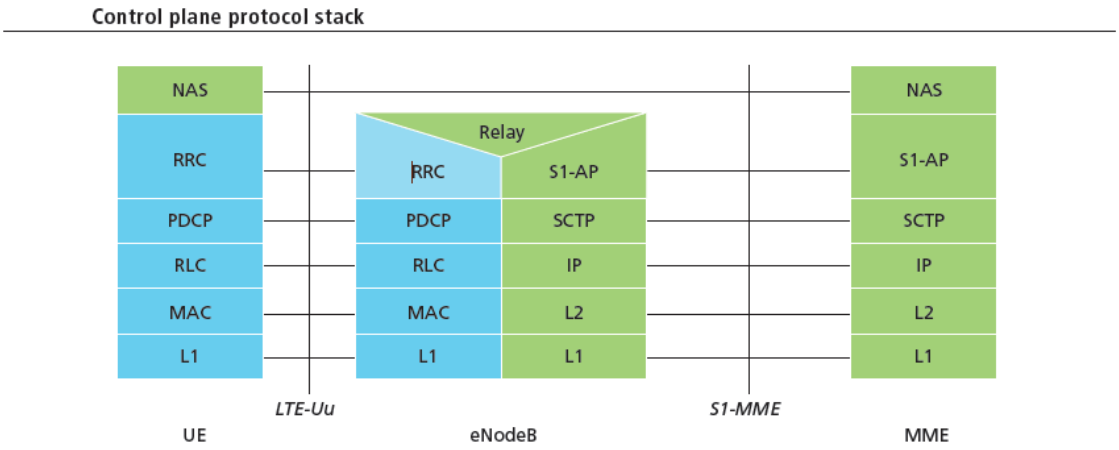


Figure 2 .11 : les piles protocolaires au niveau de l'interface Uu

- RLC *(Radio Link Control) gère le segmentation, l'assemblage et la retransmission*

- PDCP *(Packet Data Convergence Protocol)/UMTS : l'encapsulation de protocole,* compression d'en-tête , chiffrement et protection d'intégrité.

- RRC (*Radio Resource control) situé à la couche 3 gère la signalisation entre un UE* et un eNodeB (paging, RRC connexion, fonctions de mobilité, CR de mesures)

- NAS *(Non Access Stratum) gère les messages de signalisation (handover,* connexion, contrôle d'admission radio, mesures, allocation de ressource)

- SCTP (*Stream Control Transmission Protocol) joue un rôle similaire que UDP/TCP*

L'interface Uu consiste de 3 couches :

- La couche 1 (la couche physique) offre les services de transfert de données. L'accès à ces services se fait par l'utilisation des canaux de transport via la sous-couche MAC. La couche physique performe les fonctions suivantes pour offrir le service de transport de données :
    - Détection d'erreurs sur le canal de transport.

- Codage/décodage du forward Error Correction (FEC) du canal de transport.
- Harmonisation du débit du canal de transport codé avec les canaux physiques.
- Mappage du canal de transport codé sur les canaux physiques.
- Pondération de la puissance des canaux physiques.
- Modulation/ démodulation des canaux physiques.
- Synchronisation fréquentielle et temporelle.
- Mesure des caractéristiques radios et indication aux couches supérieures.
- Traitement MIMO.
- Diversité et beamforming.
- RE processing.

- La couche 2 est divisée en 3 sous-couches :
- La sous-couche Medium Access Control (MAC). Ses principales fonctions sont :
  - Mappage entre les canaux logiques et les canaux de transport.
  - Multiplexage/démultiplexage des SDUs MAC appartenant à un ou plusieurs canaux logiques différents.
  - Report des informations d'ordonnancement.
  - Correction d'erreurs par Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ).
  - Gestion de la priorité que ça soit entre les canaux logiques d'un seul UE ou entre plusieurs UE (Dynamic scheducling).
  - Sélection du format de transport.
  - Rembourrage.
- La sous-couche Radio Link Control (RLC). Ses principales fonctions sont :
  - Transfert des PDUs des couches supérieures.
  - Correction d'erreurs par Automatic Repeat Request (ARQ) (seulement pour le transfert des données AM).
  - Concaténation, segmentation et rassemblement des SDUs RLC (seulement pour le transfert des données UM et AM).
  - Re-segmentation des PDUs RLC (seulement pour le transfert des données AM).
  - Livraison en séquences des PDUS des couches supérieures (seulement pour le transfert des données UM et AM).

- Détection d'erreur de protocole et récupération.
- Ecart des SDU RLC (seulement pour le transfert des données UM et AM).

- La sous-couche Packet Data Convergence Protocol (PDCP). Ses principales fonctions sont :
  - Compression de l'entête IP (RoHC)
  - Transfert des données utilisateur (dans le plan utilisateur) et transfert des données de contrôle (dans le plan de contrôle).
  - Chiffrement.
  - Protection de l'intégrité (seulement pour le plan de contrôle).
- La couche 3 (la couche réseau) consiste du protocole Radio Ressource Control (RRC) du plan de contrôle. Les principales fonctions de la couche RRC sont :
  - Broadcast des informations systèmes.
  - Contrôle de la connexion RRC : Etablissement/ libération de la connexion RRC et des supports radio, contrôle du QoS ; rétablissement après une coupure de la liaison radio…
  - Handover inter-RAT.
  - Configuration et rapport des mesures.
  - Gestion des erreurs de protocoles générique.
  - Support de la self-configuration et la self-optimisation.
  - Plusieurs autres fonctions comme le transfert des informations NAS dédiés, support du partage de l'E-UTRAN…

2- L'interface S1

L'interface S1 connecte l'E-UTRAN au CN. Elle possède deux instances : S1-U pour connecter le eNOBe avec le S-GW (plan utilisateur) et S1-MME pour connecter le eNOBe avec le MME (plan de contrôle).

Les fonctions suivantes sont supporté par l'interface S1-MME et S1-U :

- Gestion du contexte UE

- Gestion des E-RAB qui son responsable de l'établissement, modification et libération des ressources de l'E-UTRAN pour les données utilisateur une fois que le contexte utilisateur est disponible dans le eNB. Ceci est déclenché par MME.
- Gestion de la liaison S1
  - Gestion des tunnels GTP-U.
  - Gestion de la liaison de signalisation S1.
- Handover pour les UEs dans l'état actif (LTE_Active)
- Support du roaming
- Fonction de sécurité et de coordination.
- Fonction de traçage du UE.

Voici la pile protocolaire au niveau des interfaces S1-U et S1-MME :

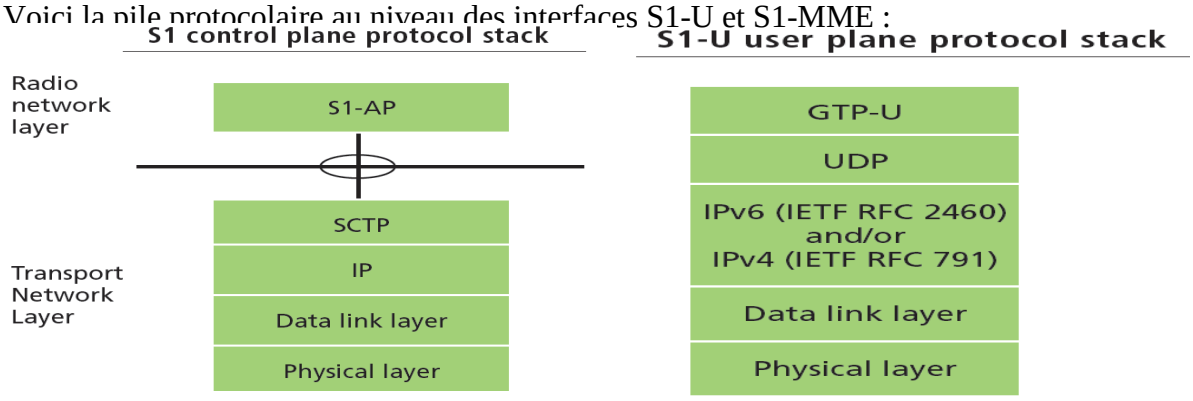


Figure 2.12: pile protocolaire au niveau des interfaces S1-U et S1-MME :

Le protocole S1-AP consiste de procédures élémentaires (EP), qui représente des unités d'interaction entre les eNBs et MME. Il y a deux types d'EP, EP avec réponse (succès ou échec) et EP sans réponses.

3- L'interface X2

L'interface X2 est utilisée pour interconnecter 2 eNBs dans un E-UTRAN. Elle facilite l'interconnexion de 2 eNBs de différents fabricants et offre une continuation, entre eux, des services offerts via l'interface S1.

L'architecture protocolaire de l'interface X2 est similaire à celle de l'interface S1 :

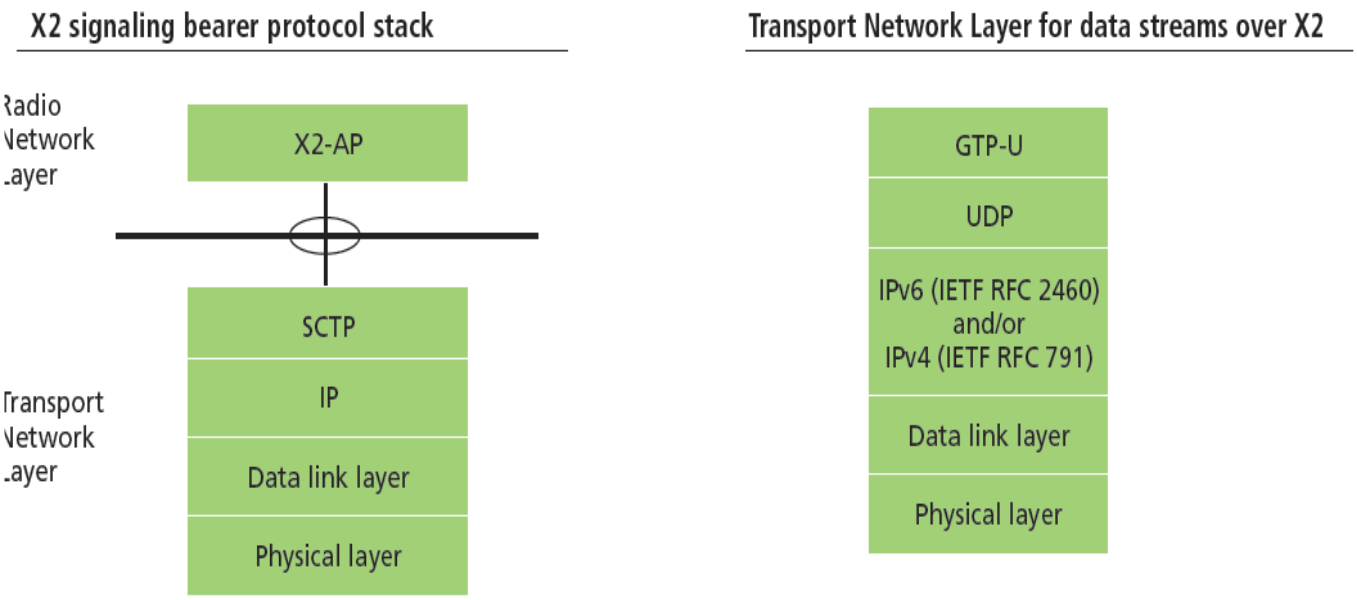


Figure 2.13: L'architecture protocolaire de l'interface X2

Les principale foncions de l'interface X2 sont :

- Handover intra LTE-Access-System entre deux eNBs.
- Echange d'information concernant la surcharge et le trafic entre deux eNBs.
- Contrôle des interférences inter-cellules
- Indication des erreurs du niveau application.
- Echange d'informations du niveau applications.

Le plan utilisateur à l'interface X2 : fournit un transfert des PDUs du plan utilisateur entre eNBs. La couche de transport est construite sur le transport IP et le protocole GTP-U est utilisé au dessus du UDP/IP pour porter les PDUs entre eNBs. La pile protocolaire de l'interface X2-U est similaire à celle de l'interface S1-U.

IV- Les canaux

Afin que les données puissent être transportées à travers radio LTE, des différents « canaux » sont utilisés. Ils servent à séparer des différentes données et leur permettent d'être transporter à travers le réseau d'accès radio d'une façon ordonnée.

En effet, les différents canaux fournissent des interfaces vers les couches supérieures dans la structure de protocoles LTE et permettent une séparation ordonnée et définie des données.

Il y'a trois catégories dans lesquelles les canaux de données différents pourraient être groupés.

- Canaux physique : ce sont des canaux de transmission qui transportent les données utilisateur et les messages de contrôle.
- Canaux de transport : les canaux de transport de la couche physique fournissent le transfert des informations au Medium Access Control (MAC) et aux couches supérieures.
- Canaux logique : fournissent des services au niveau de la couche Medium Access Control vers les couches supérieures. Dans la structure des protocoles de la LTE.

V- Handover LTE et mobilité

Le Handover ou le transfert intercellulaire est l'ensemble des fonctions et des opérations mises en œuvre entre une ou plusieurs stations de services et une station mobile, pour permettre à cette dernière de changer de cellule et de bénéficier des services d'une autre cellule au lieu de l'ancienne. La station mobile aura la possibilité de continuer sa communication en cours avec un minimum d'interruption, sachant que les deux cellules impliquées sont gérées par un ou plusieurs réseaux. Le Handover intervient dans trois cas :

- Une station mobile en mouvement passe d'une cellule à une autre.
- Une indisponibilité signalée par la station de service, soit parce qu'elle est tombée en panne, ou qu'elle est trop chargé par d'autres mobiles en communication, ou bien encore que le signal d'une autre station de service devient meilleur que le sien. Dans l'un de ces cas, s'il existe d'autres stations de service voisines disponibles, le Handover sera établi.
- Beaucoup d'interférences entre les stations mobiles dans une même cellule. Dans ce cas un mobile décide de changer de cellule pour subir moins d'interférences.

La mobilité en mode active est totalement sous le contrôle de réseau, la décision de changer de cellule autant que le choix de la cellule de destination sont effectuées par l'eNodeB courante du mobile, et sont basés sur les mesures effectuées par celle-ci et le mobile lui-même.

En mode actif la ressource et le contexte dans l'eNodeB de destination sont réservés avant le changement de cellule. Ceci garanti un temps d'interruption minimum, à cause du fait que le temps correspondant à la réservation n'est pas prédictible et il est même possible d'avoir un échec de réservation de ressource.

Plusieurs facteurs peuvent conduire à un Handover, le plus commun est relatif à la dégradation des conditions radio dans ce cas le fait de ne pas effectuer un Hanover pourrait conduire à un abandon d'appel, d'autre part il existe d'autres causes de Handover dépendant par exemple de la politique des contraintes d'ingénierie.

Nous explicitions dans les sous sections qui suivent les différentes procédures mise en œuvre afin de réaliser ces Handover. Nous nous attardons de ce fait sur les deux cas suivants : la mobilité intra LTE avec support X2 et sans support X2.

1- Handover intra LTE avec support X2

Ce cas de mobilité est le simple du fait qu'il utilise l'interface X2 et sollicite donc la MME et la S-GW au minimum. L'interface X2 permet de ce fait de minimiser le nombre de paquets perdus.

Le seul impact au niveau des nœuds EPC est relatif à la mise à jour de la connectivité du plan de contrôle et utilisateur. D'une part le fait que l'utilisateur se déplace d'une eNodeB à une autre il faut donc établir une nouvelle connexion S1 entre la nouvelle eNodeB et la MME ainsi qu'un nouveau tunnel avec la S-GW. Une fois le Handover effectué la libération des ressources est effectuée que ce soit au niveau des anciennes connexions avec la MME et la S-GW que sur les ressources radio au niveau de le eNodeB de destination.

Une fois la décision de Handover prise (mesure du mobile et de l'eNodeB elle-même) l'eNodeB source envoie un HANDOVER REQUEST message à l'eNodeB de destination via l'interface X2, qui alloue toutes les ressources ainsi que le bearer associé. Après avoir

fini avec l'allocation l'eNodeB de destination envoie une commande de Handover qui est éventuellement envoyée au mobile par l'eNodeB source. En cas d'échec le message HANDOVER PREPARATION FAILURE est envoyé.

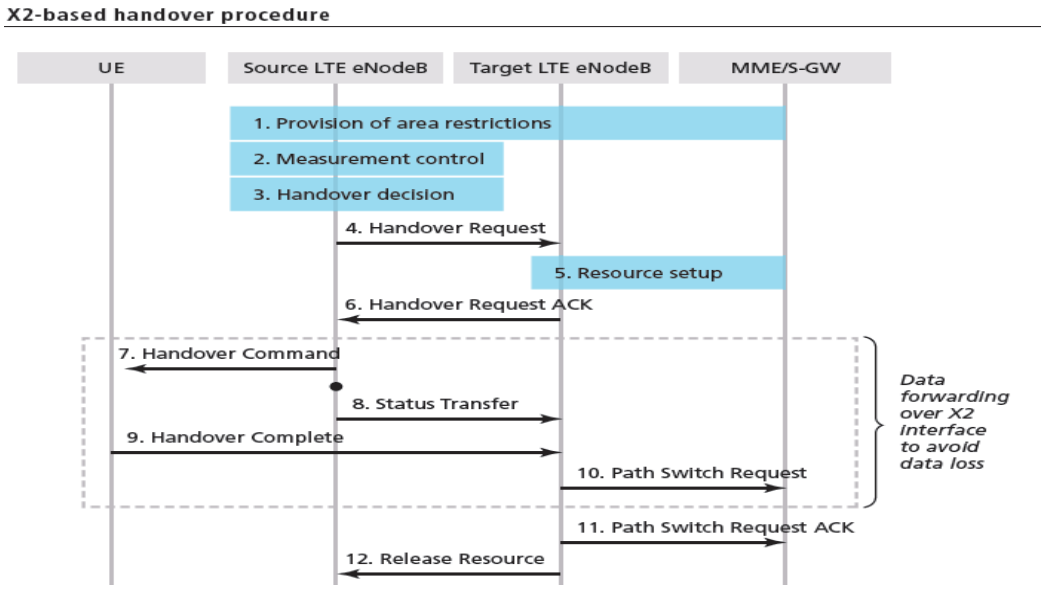


Figure 2 .14 : Les étapes à suivre dans la procédure de Handover

La figure 2.14 ci-dessus montre les étapes à suivre dans la procédure de Handover, lorsque l'eNodeB source reçoit le message HANDOVER REQUEST ACK il envois toutes les RLC SDU non acquitté par le mobile à l'eNodeB de destination et celle-ci se charge de les transmettre au mobile.

Une fois le terminal synchronisé avec l'eNodeB de destination il envoie un HANDOVER CONFIRM (les RLC SDU sont donc envoyés par l'eNodeB de destination au mobile), qui permet de lancer le message PATH une commutation du plan utilisateur à travers la nouvelle eNodeB.

Une fois que la MME à reçu ce message, elle met à jour la S-GW.

Le message RELASE RESSOURCE permet de libérer toutes les ressources allouées au niveau de l'eNodeB source.

2- Handover intra LTE sans support X2

L'interface X2 peut ne pas être disponible à cause par exemple de la défaillance de l'équipement ou bien du fait que l'opérateur a juste décidé de ne pas déployer. Pour des raisons de couts. Ceci augmente donc la complexité dans la procédure, comme conséquence la MME n'est plus transparente au processus, la figure ci-dessous met en évidence tout le processus :

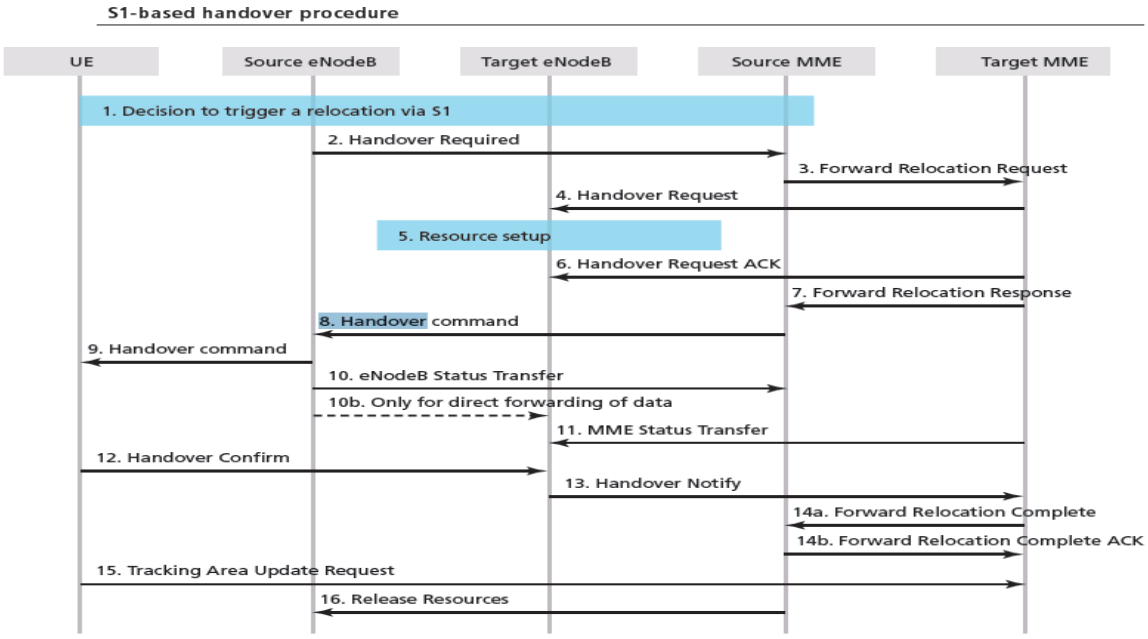


Figure 2.15: processus Handover intra LTE sans support X2

Au lieu d'être envoyée directement à l'eNodeB de destination la demande Handover est envoyée depuis l'eNodeB source via le MME en utilisant les messages HANDOVER REQUIRED et HANDOVER REQEST sur l'interface S1. De façon similaire lorsque les ressources ont été allouées, une réponse est envoyée en utilisant les messages HANDOVER COMMAND, contenant l'information radio relative à la cellule de destination.

Une fois le Handover terminé, la MME se charge de mettre à jour le nouveau plan utilisateur au niveau de la S-GW (USER UPDATE REQUEST) ainsi que d'assurer la libération des ressources au niveau de l'eNodeB source (UE CONTEXT RELEASE COMMAND).

La principale différence avec le Handover utilisant l'interface X2 qu'aucun transfert de données n'est effectué entre l'eNodeB source et destination, comme conséquence tous les RLC PDU stocké au niveau de l'eNodeB source seront perdus. L'impact sur la perception de l'utilisateur dépendra de l'application ainsi que du protocole utilisé. Pour les applications non temps réel (consultation web) qui s'appui sur TCP un tel type de Handover introduira un délai dans la transmission des informations de bout en bout mais il n'introduira pas vraiment de perte de données à cause du mécanisme de retransmission utilisé par TCP. Pour des applications temps réel (voix sur IP) basée sur UDP le Handover entrainera une perte de données et avec un possible impact sur la perception de l'utilisateur.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les caractéristiques du réseau LTE. En commençant par l'architecture de ce réseau ainsi que le rôle de différentes entités. Puis nous avons présenté les méthodes utilisées dans les deux sens montant et descendant ainsi le contrôle de puissance utilisé. Enfin nous avons présenté les canaux, les interfaces et les différentes procédures.

Chapitre3:Planification dans l'E-UTRAN

Introduction

La planification des réseaux cellulaires ne fait pas partie du standard, mais ceci ne contredit pas son intérêt fondamental, comme étant une phase très importante dans le cycle de vie de tout réseau. Du fait, un opérateur doit se focaliser sur la planification, avant la mise en œuvre de son réseau, dans le but d'optimiser le coût de déploiement et devenir plus concurrent dans le marché.

Dans ce chapitre nous allons étudier la planification du réseau d'accès, appelé E-UTRAN en LTE/LTE-Advanced

I- Les étapes de *planification* dans l'E-UTRAN

La planification en LTE/LTE-Advanced, comme tout autre réseau cellulaire, est une tâche complexe, contenant un certain nombre d'étapes consécutives, dont l'output d'une certaine étape fournit l'input de l'étape suivante. Contrairement à ces antécédents, la planification de couverture et de capacité en LTE se font de façon conjointe, en une seule tâche, appelée dimensionnement (voir figure 2.1). Le processus entier peut se résume en 4 grandes phases :

Figure3.1 : Processus de planification radio

- La pré-planification : nécessite la collecte des informations qui portent sur la zone de déploiement. Ces informations sont fruits des investigations approfondies, on cite par exemple : Les informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE (Noise Figure, MIMO, etc.), Les informations sur la zone de déploiement (superficie, information démographiques, densité d'abonné, taux de pénétration de la technologie LTE), informations sur les abonnés de la zone (services demandés, trafic offert, etc.).
- Le dimensionnement : comme son nom l'indique, consiste à satisfaire les contraintes de couverture et de capacité tout en minimisant les ressources exploitées.

- La planification détaillée consiste à sélectionner les positions géographiques adéquates des sites, ainsi que les configurations nécessaires des antennes dans le but de maximiser la couverture et la qualité.

- L'optimisation : Un processus itératif de contrôle et de suivi des KPI, ayant le but de maintenir les exigences de QoS préétablis.

Dans le cadre de ce projet nous allons nous intéresser plus à la phase de dimensionnement, qui consiste à déterminer le nombre des eNodeB requis, la capacité requise sur l'interface X2 et la capacité requise sur l'interface S1.
Pour un opérateur de télécommunication, l'étape de dimensionnement des équipements et des interfaces de son réseau est préliminaire. Elle permet de déterminer le volume des équipements et les logiciels à acquérir et à déployer afin de satisfaire ses abonnés. Cette étape fondamentale consiste principalement à :
- Trouver une meilleure architecture cellulaire capable de garantir la qualité de service requise pour chaque service.
- Absorber totalement la charge : le réseau doit fournir les canaux nécessaires pour s'assurer que le trafic associé à chaque cellule soit absorbé et transporté.
- Garantir la couverture et la mobilité dans toute la zone de déploiement.

La phase de dimensionnement, que nous allons traiter avec plus de détails dans ce chapitre, se résume dans le schéma ci-dessous :

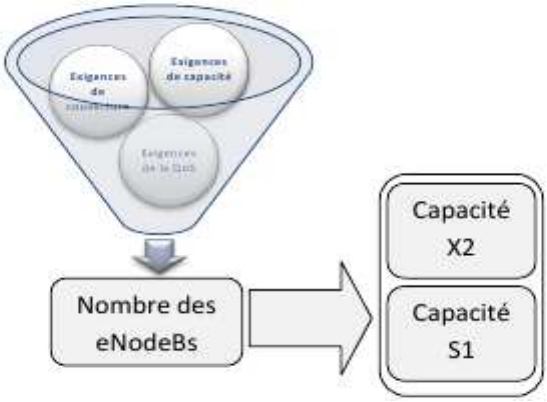


Figure 3.2 : Processus de dimensionnement

II- Dimensionnement de l'eNodeB

Le dimensionnement des eNodeBs est la partie la plus sophistiquée et délicate du processus de dimensionnement. Comme on a indiqué précédemment, le processus de dimensionnement nécessite une liaison conjointe entre la capacité et la couverture.

De ce fait, deux méthodologies doivent être mises en place pour le dimensionnement de ce nœud : un dimensionnement orienté capacité et un dimensionnement orienté couverture. Le premier tient compte des exigences en capacité et en trafic qui doit être absorbé et transporté par le réseau et la deuxième tient compte des exigences en couverture.

Finalement, le nombre des eNodeB serait le maximum du nombre issu des deux méthodes.

Dans notre projet on va se limiter à la première méthode.

1- Planification orientée couverture

La planification basée sur la couverture. On rassemble toutes les entrées et les sorties du dimensionnement orienté couverture. Le principal output de ce processus est le nombre minimum d'eNodeBs requis pour la couverture. Pour bien comprendre ce schéma, voici son descriptif séquentiel simplifié :

- Etablir le bilan de liaison radio pour aboutir à l'affaiblissement maximal de parcours (y compris le calcul de la sensibilité du récepteur)

- Choisir le modèle de propagation adéquat pour déterminer le rayon de la cellule.

- Calculer l'empreinte du site en se basant sur le rayon et la configuration.

- Déduire le nombre nécessaire de sites pour couvrir la surface de déploiement considérée.

1.1. Bilan de liaison radio

1.1.1. Formule générale

Souvent, lorsqu'on veut planifier une liaison radio, pour toute application sans fil, la première question qui peut se pose 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 (ou Maximum AllowablePathLoss MAPL), en passant par établir un bilan de liaison radio (RLB). La seule sortie de RLB est l'affaiblissement de parcours maximal, ce dernier est utilisé conjointement avec un modèle de propagation pour enfin déduire la distance maximale pouvant séparer l'émetteur et le récepteur. Pour un réseau cellulaire, la liaison sur l'interface radio est bidirectionnelle, car on a un sens montant et un sens descendant, d'où il semble nécessaire d'établir un double bilan de liaison pour UL et DL Commençons par l'expression de la puissance reçue en fonction de la puissance émise :

$$P_{RX} + G_{TX} - L_{TX} + G_{RX} - L_{RX} - PL - PM$$

Cette section va traiter le bilan de liaison d'une façon générale pour que ça soit valable pour le sens montant et descendant.

Paramètre	**Définition**	**Unité**
P_{RX}	Puissance reçue	dBm
P_{TX}	Puissance émise	dBm
G_{TX}	Ensemble des gains introduits au niveau de l'émetteur	dBi
L_{TX}	Ensemble des pertes introduites au niveau de l'émetteur	dB
G_{RX}	Ensemble des gains introduits au niveau du récepteur	dBi
L_{RX}	Ensemble des gains introduits au niveau du récepteur	dB

PL	Affaiblissement de parcours	dB
PM	Marges de planification	dB

Tableau 3.1 paramètres du bilan de liaison radio

Si on se place dans le cas d'un affaiblissement de parcours maximal, la puissance reçue correspond donc à la sensibilité du récepteur:

$$MAPL = PIRE - RefSens - L_{rx} + PM$$

Nous allons maintenant traiter les paramètres de l'équation un par un.

- MAPL (Maximum AllowablePathLoss) : L'affaiblissement maximal de parcours, exprimé en dB. C'est le paramètre dont on désire y aboutir à travers l'établissement d'un bilan de liaison, il s'exprime en dB.
- PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) : ou EIRP (Equivalent IsotropicRadiated Power), est la puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope. Elle est exprimée en dB, sous la formule suivante :

$$PIRE = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX}$$

Paramètre	**eNodeB**	**UE**
P_{TX}	Puissance de l'émission de l'eNodeB au niveau du connecteur de l'antenne (43-49 dBm)	Puissance d'émission de l'UE (dépend de la catégorie du UE)
$G_{TX} = \sum_{i} eUE/eNodeB^{Gi}$	G_a: Gain de l'antenne de l'eNodeB, il dépend du constructeur. G_{Txd}: Gain de diversité, dépend du nombre d'antennes à l'eNodeB et de la taille de motif de coopération (M_c)	G_a: Gain de l'antenne de l'UE, il dépend du constructeur. $G_{Tx,d}$: Gain de diversité, dépend du nombre d'antennes à l'UE.
$G_{TX} = \sum_{i} eUE/eNodeB^{Gi}$	L_{feeder}: Pertes des câbles d'alimentation entre l'eNodeB et le connecteur d'antenne : elle dépend de la longueur, type et	L_{body}/L_{head}: Pertes du humain, dépend de l'équipement de l'utilisateur (téléphone/clé USB/tablette)

	fréquence du câble. (1-6 dBm) L_{other} : Autres pertes liées à l'eNodeB (exemple : connecteur).	L_{other} : Autres pertes liées à l'UE.

Tableau 3.2 paramètres pour le calcul du la PIRE

- $RefSens$: désigne la sensibilité de référence du récepteur, elle s'exprime en dB. Physiquement, ce paramètre correspond à la puissance minimale de réception, au dessous de laquelle il y'a rupture du lien radio. Elle est donnée par la formule suivante.

$$RefSens = 10\ log_{10}(k.T.B_{Rx}) + SINR_{req} + NF + IM - G_{RX,d}$$

Paramètre	Description
k	Constante de Boltzmann (1.388062 $\times 10^{-23}$)
T	Température ambiante en (K)
B_{Rx}	La largeur de bande de réception : elle dépend du nombre de blocs de ressources requis, et la largeur d'un bloc de ressources.
$SINR_{req}$	La valeur de SINR requise au récepteur : dépend de B_{Rx}, du débit d'information requis, schéma CoMP, MIMO, etc. Déduite à partir des simulations du lien[12].
NF	RF Noise Figure (dB) : dépend du mode de duplexage et l'écart duplex.
IM	Marge d'implémentation (dB) : dépend du constructeur, elle tient compte des erreurs résiduelles dans l'étage RF du récepteur (erreurs d'échantillonnage, quantifications, etc)
$G_{R,d}$	Gain de diversité de réception (dBi) : dépend du type de récepteur[13] et du nombre d'antennes $G_{Rx,d} = 10log_{10}(N_B)$

Tableau 3.3 Paramètres pour le calcul de la sensibilité de réception

1.1.2. Calcul de la sensibilité du récepteur

Le calcul de la sensibilité n'est pas évident, il est complexe et passe plusieurs étapes, nous allons donc le consacrer cette partie, dans laquelle on va déterminer B_{Rx} et $SINR_{req}$ de l'équation précedente.

1) Détermination de la bande de réception B_{RX}

$$B_{RX} = N_{PRB,req} \times BW_{PRB} = N_{PRB,req} \times 12 \times \Delta f = 180_{kHz} \times N_{PRB}$$

Avec $N_{PRB,req}$ et BW_{PRB} sont respectivement le nombre de PRB (Physical Resource Block) requis et la largeur de bande d'un PRB. Δf = 15 KHz désigne l'espacement entre sous-porteuses. Etant sur la bordure de la cellule (où la puissance reçue doit être supérieure ou égale à la sensibilité), et déterminer $N_{PRB,req}$, nous devons tout d'abord fixer :

- Débit d'information requis sur les bordures de la cellule : C'est le débit à procurer pour les utilisateurs situés sur les bordures de la cellule, il dépend du service à planifier et garantir pour eux. On le note : $R_{service}$ $[bits/s]$.
- BLER (Block Error Rate) cible (%) : le taux d'erreur par bloc à planifier sur les bordures de cellule, il dépend du type de service à planifier et garantir. On va le noter $BLER_{target}$
- MCS index (Modulation & Coding Schema) : La technique de modulation et de codage optimale. L'index prend une valeur de 0 à 28. En fait, chaque MCS index doit se référer à une modulation ayant *b* bits/ symbole et un codage de rendement *R*. (Voir l'annexe).
- Le Coût système (System OverHead) (%) : on va le noter SOH, présente le pourcentage des ressources consommées par système parmi la totalité des ressources. En effet, le canal physique qui transporte le trafic usager (PDSCH pour le DL et PUSCH pour l'UL) n'occupe qu'un certain nombre de blocs de ressources PRB, car les autres PRB contiennent le reste des canaux et signaux physique.

Par conséquence, $N_{PRB,req}$ est donné par la formule suivante :

$$N_{PRB,req}^{XL} = E\left\{\frac{10^{-6}.R_{service}^{XL}.(1+SOH^{XL})}{(100\%-BLER_{target}^{XL}).R^{XL}.b^{XL}.CP_i.12}\right\} + 1$$

Où, l'indice XL mentionne UL/DL ,CP_i donne le nombre de RE par TTI (égal à 7 pour un préfixe cyclique normal et 6 pour cyclique étendu) et $E[.]$ la partie entière.

1.1.3. Détermination de SINR requis $SINR_{req}$

Avant tout, il faut mettre en relief que ce paramètre traduit la performance du système, en d'autres termes, plus le système est performant, plus cette valeur de SINR requis est faible. Pour déduire la valeur, nous allons proposer deux solutions.

La première consiste à exploiter les résultats de la simulation de lien (Link Level Simulation), car la mise en place d'une formule explicite faisait intervenir tous les facteurs, semble complexe. Le simulateur de lien permet de court-circuiter des lourdes étapes de calcul, en fournissant des outputs sous forme de courbes (figure 3.3), susceptible à être utilisées pour la planification.

Une deuxième solution consiste à l'approximation par la formule d'alpha-Shannon :

$$\eta = \eta_{BW}.log_2(1 + \eta_{SINR}.SINR)$$

Avec η, η_{BW} et η_{SINR} représentent respectivement l'efficacité spectrale, l'efficacité de la bande et l'efficacité de SINR. Ainsi, le débit théorique maximal est donné par :

$$R = B_{Rx}.\eta = B_{Rx}.B_{BW}log_2(1 + \eta_{SINR}.SINR)$$

Donc, $SINR = \frac{1}{\eta_{SINR}}.\left(\frac{R}{2^{B_{Rx}\eta_{BW}}}\right) - 1$ et puis on peut déduire que

$SINR_{req} = 10.log_{10}(SINR)$.

La figure 3.3 représente la variation de SINR requis $(SINR_{req})$ en fonction du nombre de bloc de ressources requis $(N_{PRB,req})$ déjà calculé pour tous les valeurs de MCS index.

Exemple : si le MCS est 0-QPSK (QPSK = 0,1172) et $N_{PRB,req} = 9$ donc

$SINR_{req} = -3dB$

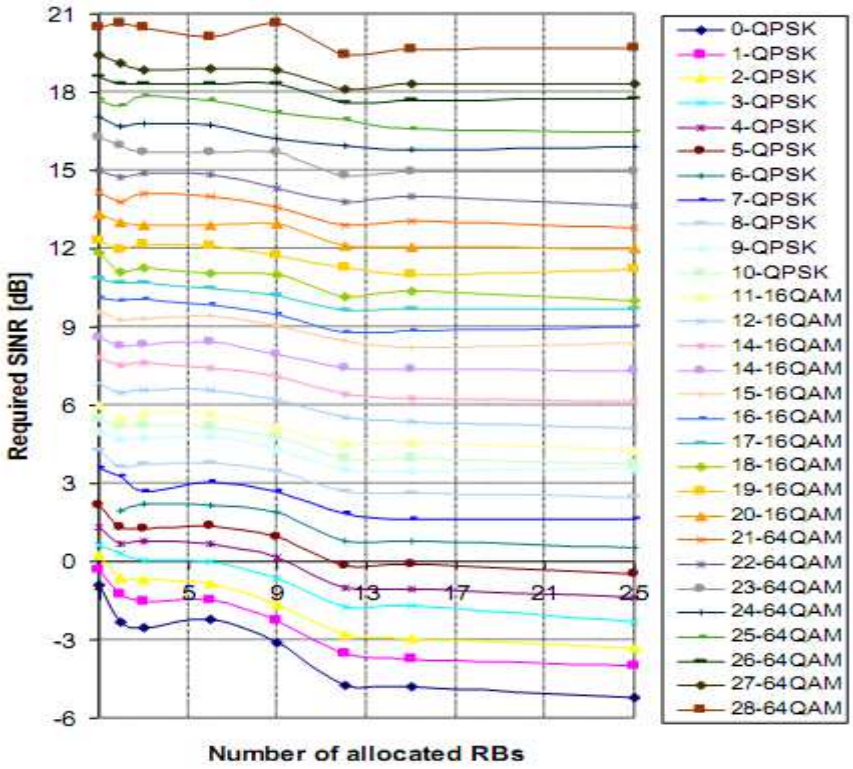


Figure 3.3 La variation du SINR requis en fonction du nombre de blocs de ressources alloués

1.1.4. **Marges**

Après avoir calculé la sensibilité du récepteur et la PIRE dans les sections précédentes, la question qui se pose maintenant : Est-ce qu'on peut calculer l'affaiblissement de parcours maximal ? On doit répondre immédiatement par 'non' car, il est indispensable de comptabiliser un ensemble de marges de sécurité, qui correspondent à l'environnement radio, pour éviter le phénomène 'SwissCheese' (surface avec trous de couverture), et enfin atteindre notre objectif de couverture.

1.1.4.1. 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 conséquence, on distingue 4 types de couverture : Outdoor, indoor, deep indoor 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:

- 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.

La marge de pénétration est assimilée à une variable aléatoire Gaussienne, le meilleur moyen de déterminer sa valeur, consiste à prendre des mesures expérimentales depuis la zone concernée. Généralement, elle prend une valeur autour de 20 dB ou plus pour la perte des bâtiments (notée bl), et une valeur autour de 8 dB pour la perte des véhicules (noté evl).

1.1.4.2. Marge de Shadowing

Le Shadowing, ou l'effet de masque, ou autrement le Slow fading, est la variation du signal dite à moyenne échelle. Ce phénomène est dû aux obstacles qui existent dans milieu de propagation radio, tel que les bâtiments et la morphologie du terrain (vallées, collines, etc.). Les mesures réelles du terrain ont montré que l'effet de masque est une valeur aléatoire Log-Normale (c.-à-d. Son Logarithme est une variable aléatoire Gaussienne) de moyenne nulle et de variance qui dépend de la densité de l'environnement. Le calcul théorique nécessaire pour modéliser cette variable est très complexe, la solution est donc de procéder comme pour la marge de pénétration car les mesures pratiques sont indispensables pour établir la distribution de cette variable. Généralement, la marge de Shadowing (notée sm) est fixée à 5.4 dB.

1.1.4.3. Marge d'interférence

L'interférence est un intervenant très gênant dans les réseaux cellulaires, faute de la réutilisation de fréquence. En particulier en LTE-A, le facteur de réutilisation est de 1, ce qui mène à des niveaux d'interférence beaucoup plus importante. D'autre sources d'interférence peuvent être prises en compte, tel que les interférences des autres systèmes, on parle donc de l'interférence inter-système. Pour ceci, on introduit une autre marge de sécurité pour maintenir l'équilibre du bilan de liaison : la marge d'interférence (InterferenceMargin). Son équation est donnée par :

$$IM_{dB} = 10\ log_{10}\left(\frac{SNR}{SINR}\right) = 10\ log_{10}\left(\frac{1+N_{th}.B_{Rx}}{N_{th}.B_{Rx}}\right)$$

Avec nth et brx, sont respectivement la densité de bruit thermique (dB/Hz), la largeur de bande de réception et le niveau de l'interférence provenant des cellules adjacentes qui utilisent les mêmes PRB simultanément. La valeur de IM_{dB} est fortement lié à la charge de la cellule (Cell Load (%) : le taux d'occupation des ressources physiques), la technique de coordination de l'interférence dans le concept CoMP, la distance entre deux sites, etc. Une simulation de la variation de la marge d'interférence en fonction de la charge de la cellule a été élaborée en **[13]**, dont on a résumé les valeurs dans le tableau ci-dessous. On note qu'aucune technique pour combattre l'interférence entre cellule n'a été considérée dans la simulation (On raisonne sur le Worst Case).

Charge de la cellule (%)	IM_{dB}
35	1
40	1.3
50	1.8
60	2.4
70	2.9
80	3.3
90	3.7
100	4.2

Tableau 3.4 IM_{dB} en fonction de la charge de la cellule

1.1.4.4. Marge de planification

La marge de planification (PM) qui figure dans l'équation, est utilisée pour le calcul de l'affaiblissement maximum de parcours (MAPL). Elle n'est autre que la somme de toutes les marges de sécurité prises en compte. Elle est nécessaire pour équilibrer le bilan de liaison radio. Pour enfin aboutir à une valeur de MAPL, valable pour la planification.

$$\begin{cases} PM = IM + SM + BL \text{ ,Si couverture/deep indoor.} \\ PM = IM + SM + VL \text{ ,Si couverture incar.} \\ PM = IM + SM \quad \text{ ,Si couverture Outdoor} \end{cases}$$

Sensibilité (dB)

Pertesdu récepteurs (dB)

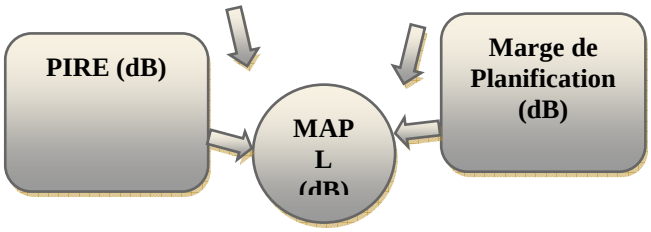


Figure 3.4 Inputs pour le calcul du MAPL

1.2. 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.

On fait recours à un modèle de propagation dans le but d'estimer la valeur de l'atténuation de parcours. Il n'est pas évident de mettre en place une seule équation faisant intervenir tous les facteurs, ce qui explique l'existence d'une multitude de modèles de prédiction de propagation dans le monde des télécommunications, dont on va citer quelques uns dans cette section. Ces modèles peuvent être théoriques ou empiriques (basés sur la collection d'une grande quantité de mesures pratiques pour approximer la réponse du canal de propagation radio).

1.2.1. Propagation en espace libre

L'affaiblissement de parcours en espace libre (Free Space) est la perte générée lorsque le signal traverse un milieu de propagation vide des obstacles (réflexions, diffractions, dispersions, etc.). Bien que ce modèle soit idéal, il peut être considéré comme étant le point de départ pour tout autre modèle. L'affaiblissement de parcours dans un espace libre est donné par :

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

Avec D, F ,C, et sont respectivement la distance parcourue, la fréquence et la célérité de la lumière.

1.2.2. Modèle COST-231 Walfisch-Ikegami

Ce modèle est utilisé pour les environnements urbains et sous-urbains. Il a été initialement conçu pour des fréquences inférieures à 2 GHz, mais il peut être étendu pour atteindre des fréquences jusqu'à 6 GHz. Selon ce modèle, l'expression du PathLoss peut s'écrire comme étant somme de trois termes d'affaiblissement élémentaire, comme suit :

$$L = L_0 + L_{rst} + L_{msd}$$

Avec

L_0 : Propagation en espace libre.	$L_0 = 32.4 + 20\ Log_{10}(d.F)$ d: distance en Km F: Fréquence en MHz
L_{rst}: Perte de diffraction du toit vers la rue.	$L_{rst}: -16.9 - 10\ log_{10}(w) + 10\ log_{10}(F) + 20\ log_{10}(h_m) + L_{ori}, si h_m < h_{roof}$ L_{rst}:0, sinon w: Largeur de la rue en m. F: Fréquence en MHz. h_m: Hauteur du mobile. h_{roof}: Hauteur du toit du bâtiment.

	L_{ori} : Facteur de correction prenant en compte l'orientation de la rue. $L_{ori} = -10 + 0.354\varphi \in [0, 35]$ $L_{ori} = 2.5 + 0.075(\varphi - 35), si\ \varphi \in [35, 55]$ $L_{ori} = 4.0 - 0.0114\ (\varphi - 35), si\ \varphi \in [55, 90]$ Hauteur du toit du bâtiment. Avec φest l'angle d'incidence du trajet radio par rapport à l'orientation de la rue.
L_{msd} : Perte par diffraction multimasques.	$L_{msd} = L_{bsh}, k_a, k_d, log_{10}(d) + k_f, log_{10}(F) - 9log_{10}(b)$ Avec $L_{bsh} = -18log_{10}\left(1 + \left(h_b - h_{roof}\right)\right), si h_b > h_{roof}$ $L_{bsh} = 0$, sinon h_b:Hauteur de station de base en m. k_a: 54, si $h_b > h_{roof}$ k_a: 0, sinon k_a: 18, si $h_b > h_{roof}$ k_a: $18 - 15\ .\ \left(h_b - h_{roof}\right)/h_{roof}$, sinon

Tableau 3.5 modèle COST-231 Walfisch-Ikegami

1.2.3. Modèle Okumura-Hata

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé, basé sur les mesures d'Okumura prises dans la région de Tokyo. Ce modèle prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement la nature de l'environnement en spécifiant son degré d'urbanisation (urbain, urbain dense, sous urbain, rural). L'affaiblissement selon ce modèle est donné par :

Urbain	$L_U = 69.55 + 26.16\ log_{10}(F) - 13.82\ log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55\ log_{10}(h_b)].log_{10}(d)$ Avec $a(h_m) = [1.1\ log_{10} - (F) - 0.7].h_m - [1.56\ log_{10}(F) - 0.8]$
Urbain dense	$L_{Ud} = 69.55 + 26.16\ log_{10}(F) - 13.82\ log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55\ log_{10}(h_b)].log_{10}(d)$ Avec $a(h_m) = 8.29.[\ log_{10}(1.54h_m)]^2 - 1.1, pour\ F \leq 400MHZ$ $a(h_m) = 3.2.[\ log_{10}(11.75h_m)]^2 - 4.9, pour\ F \geq 400MHZ$
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2.[log_{10}(F/28)]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78[log_{10}(F)]^2 - 18.33\ log_{10}(F) - a$ $a = 35.94$, si la zone est rurale quassi-ouverte. $a = 40.94$, si la zone est rurale ouverte

Tableau 3.6 Modèle Okumura-Hata

Avec

F Désigne la fréquence en $MHz \in [150, 1000]$.

h_b Désigne l'hauteur de la station de base en mètre $\in [30, 200]$.

d Désigne la distance Km $\in [1, 20]$.

1.2.4. Modèle COST-231 Hata

Compte tenu que le modèle Okumura-Hata opère uniquement pour une plage de fréquence inférieure à 1000 MHz, le groupe COST 231 a proposé de modifier ce modèle pour créer un autre opérant sur la bande 1500-2000 MHz dans les zones urbaines, puis l'ajuster, en ajoutant des termes correctifs pour tous les autres environnements (sous urbain, urbain dense et rural).

Urbain	$L_U = 46.3 + 33.9\ log_{10}(F) - 13.82\ log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55\ log_{10}(h_b)].log_{10}(d)$

	Avec $a(h_m) = [1.1\, log_{10} - (F) - 0.7].h_m - [1.56\, log_{10}(F) - 0.8]$
Urbain dense	$L_U = 46.3 + 33.9\ log_{10}(F) - 13.82\, log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55\, log_{10}(h_b)].log_{10}(d) + 3$ Avec $a(h_m) = [1.1\, log_{10}(F) - 07].\ h_m - [1.56\, log_{10}(F) - 0.8]$
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2.[log_{10}(F/28)]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78[log_{10}(F)]^2 - 18.33\, log_{10}(F) - a$ Avec $= 35.94$, si la zone est rurale quassi-ouverte. $a = 40.94$, si la zone est rurale ouverte

Tableau 3.7 Modèle COST 231 Hata

1.2.5. Modèle ErceigGreenstein

Le modèle ErceigGreenstein est un modèle empirique développé pour les applications sans fil large bande. Le groupe qui l'a développé, a remarqué que le modèle d'Okumura-Hata n'est pas convenable pour les zones boisées et montagneuses, c'est pour cette raison qu'ils ont crée un modèle valable pour trois différents types de terrain A, B et C (voir tableau 3.8).

$$L = 20\, Log_{10}\left(\frac{4\pi d_0 F_{Hz}}{c}\right) + 10\, y\, log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h$$

Avec

d_0= 100 mètres, d distance en mètres.

$y = a - b\, h_b + c/h_b$.

$X_f = 6\, log_{10}(F_{0MHz}/2000)$.

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

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

Type de	Description	a	b	c

terrain				
A	Montage avec une lourde densité d'arbres	4.6	0.0075	12.6
B	Vallonné avec une densité modérée d'arbres	4	0.0065	17.1
C	Terrain plat avec faible densité d'arbres	3.6	0.005	20

Tableau 3.8 Paramétrage des terrains pour le modèle Erceig-Greenstein

1.3. Calcul du nombre de site en se basant sur le bilan de liaison

Après avoir calculé l'affaiblissement de parcours maximum (MAPL) par l'établissement d'un bilan de liaison équilibré, 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 Rcell.

On va prendre un exemple pour bien comprendre le principe. On suppose qu'on est dans un environnement urbain, qu'on va y appliquer le modèle Okumura-Hata. Selon le tableau 3.6, on obtient :

$$MAPL = 69.5 + 26.16\, log_{10}(F) - 13.82\, log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55\, log_{10}(h_b)].\, log_{10}(R_{cell})$$

$$R_{cell} = 10^{\frac{MAPL - 69.55 - 26\, log_{10}(F) + 13.82\, log_{10}(h_b) + a(h_m)}{[44.9 - 6.55\, log_{10}(h_b)]}}$$

Une fois le rayon de la cellule Rcell est calculé (dans cet exemple le modèle choisi est Okumura-Hata, donc l'unité est le Km), on peut calculer la superficie de couverture de la cellule (appelée empreinte du site), qu'on note Scell. Cette dernière, dépend bien du nombre de secteurs par site, qu'on va noter n secteur (voir tableau 3.9).

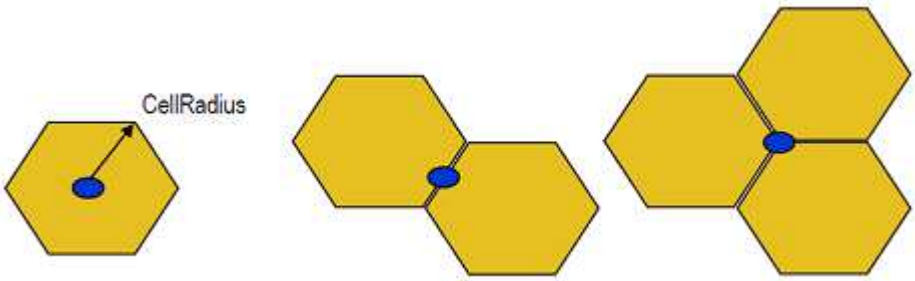


Figure 3.5 Site mona-sectorisé (à gauche), site bi-sectorisé (au milieu) et site tri-sectorisé (à droite)

Nombre de secteur par site	Empreinte

1	$S_{cell} = 2.6 \times R_{cell}^2$
2	$S_{cell} = 1.3 \times 2.6 R_{cell}^2$
3	$S_{cell} = 1.95 \times 2.6 \times R_{cell}^2$

Tableau 3.9 Empreinte du site en fonction du nombre de secteurs

Après la détermination de l'empreinte du site, et tout en disposant de la superficie totale de la zone de déploiement (notée s deploiment), on peut enfin aboutir au nombre de sites demandés pour la couverture, à l'aide la formule

$$N_{couverture} = E\left(\frac{S_{Déploiement}}{S_{cell}}\right) + 1$$

Il faut choisir N couverture le plus grand, pour s'assurer que les deux liaisons soient équilibrées et que le site soit balancé.

$$N_{couverture}^{DL} = E\left(\frac{S_{Déploiement}}{S_{cell}}\right) + 1$$

$$N_{couverture}^{UL} = E\left(\frac{S_{Déploiement}}{S_{Cell}^{DL}}\right) + 1$$

$$N_{couverture} = Max(N_{couverture}^{UL}, N_{couverture}^{DL})$$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé le principe de planification radio, particulièrement la phrase de dimensionnement de l'eNodeB et des interfaces X2 et S1. Le dimensionnement de l'eNodeB est un processus complexe, qui fait intervenrir deux composantes : couverture et processus de planification entier.

Chapitre 4 : RESULTAS LTE-ATOLL

Introduction

Le logiciel utilisé Atoll©, commercialisé par la société Forsk, est un logiciel professionnel à destination des opérateurs.

Il est utilisé pour le dimensionnement et la 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 travail que nous allons aborder permet de comprendre les problématiques réelles de déploiement de réseau mobile. Les problématiques abordées ici recouvrent les antennes, la propagation, la couverture radio, et l'architecture cellulaire.

I. Démarrage d'un projet Atoll

Lorsque vous voulez démarrer un nouveau projet, vous basez sur un modèle qui contient les données et la structure des dossiers nécessaires à la technologie que vous utilisez. Une fois que vous avez commencé votre nouveau projet Atoll, vous pouvez modifier les paramètres du réseau pour répondre à vos besoins particuliers. PluSsieurs modèles sont fournis avec Atoll : GPS GPRS EGPRS, CDMA200 1xRTT 1xEV-DO, microwave radio links, UMTS HSPA, WiMAX, and LTE.

Après avoir déployé un réseau, ATOLL permet de réaliser de multiples prédictions :

1- −Couverture par niveau de champ
2- −Couverture par émetteur
3- −Zone de recouvrement

1. Création d'un nouveau document Atoll à partir d'un modèle

Vous pouvez créer un nouveau document Atoll partir d'un modèle. Atoll a un modèle pour chaque technologie.

Chaque modèle fournit des données et une structure de données appropriée pour la technologie car les paramètres de radio disponibles diffèrent selon le type du projet.
Le modèle choisi pour notre projet est le modèle LTE ; il est utilisé pour modéliser la nouvelle génération (4G) des réseaux basés sur l'UTRAN LTE (Universal Terrestrial Access Network Long Term Evolution) dont les spécifications sont proposées par le 3GPP. Atoll-LTE est conforme strictement aux dernières spécifications 3GPP LTE, et il a été développé en collaboration avec les fabricants d'équipement marketleading. Atoll LTE est le premier et le plus complet outil de planification de réseau LTE disponible sur le marché.

Pour créer un nouveau document à partir d'un modèle:

- Sélectionnez **File> New> From a document template** puis **LTE**

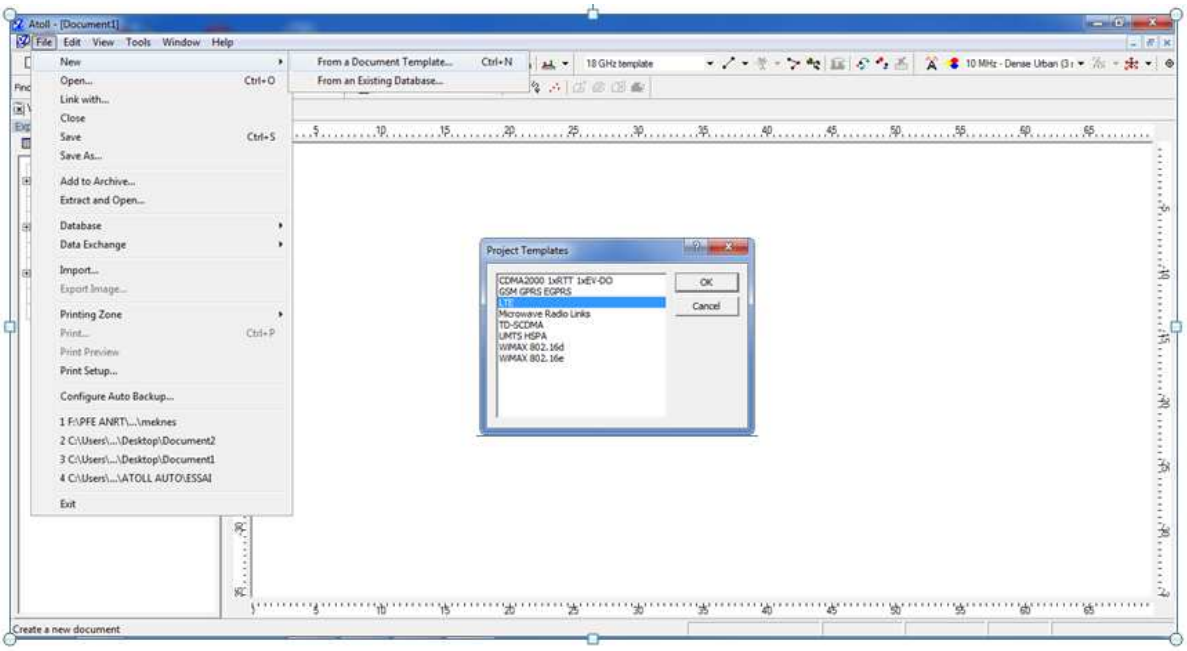


Figure 4.1 : nouveau document Atoll basé sur le modèle LTE

- **Réglage des paramètres de la zone :**
- Sélectionnez **Tools>Options>**

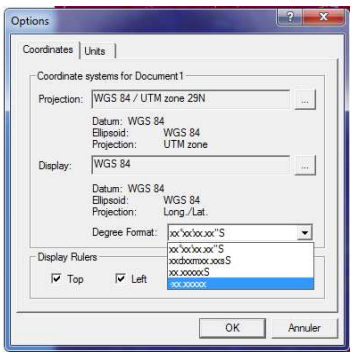


Figure 4.2 : réglage des paramètres de projection et de formats

Les paramètres saisies sont:

- Projection -> WGS 84 / UTM zone 29N
- Display-> WGS 84 (projection UTM sur le système géodésique WGS84)
- Degree format -> -xx xxxxx (indique le format de latitude et de longitude des site)

L'UTM est un type de projection conforme de la surface de la terre. C'est une projection cylindrique où l'axe du cylindre croise perpendiculairement l'axe des pôles de l'ellipsoïde terrestre au centre de l'ellipsoïde. C'est un système de référence géospatiale qui permet d'identifier tous les points de la terre.

- **Données Géographiques**

Plusieurs types de données géographiques sont utilisés dans un document d'Atoll. Par exemple: le modèle numérique de terrain (MNT), les classes de fouillis, les hauteurs de l'encombrement, les images numérisées (ex : des cartes routières ou des images satellites), des cartes de population, et les cartes de données de trafic.

Certains types de données, tels que les classes de fouillis, peuvent être utilisés pour donner des calculs plus réalistes. D'autres types tels que des images numérisées, sont utilisés pour créer un affichage plus réaliste de la région étudiée

Pour importer des données géographiques

→ Choisissez **Fichier> Importer**

→ Sélectionnez le fichier d'index et cliquez sur **Ouvrir**.

→ Cliquez sur **Importer**.

Dans notre projet, nous avons utilisé les données géographiques définis par le modèle numérique de terrain, nous importons les éléments suivants :

- Clutter classes

- Clutter heights
- Vectors

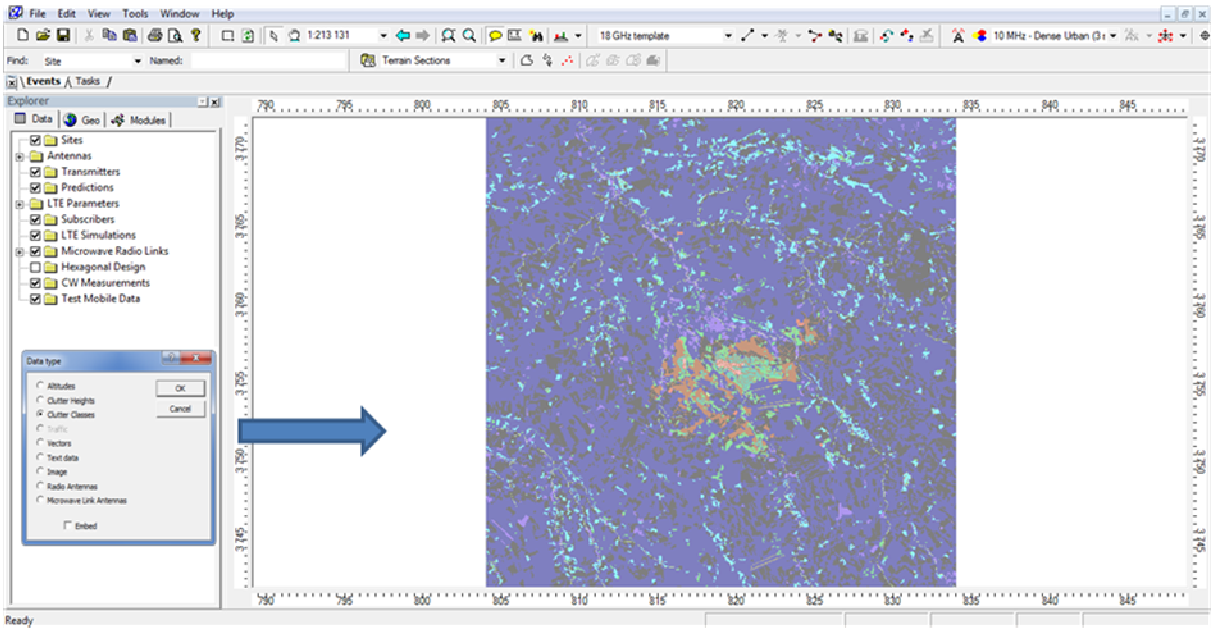


Figure 4.3 : Importation de clutter classes

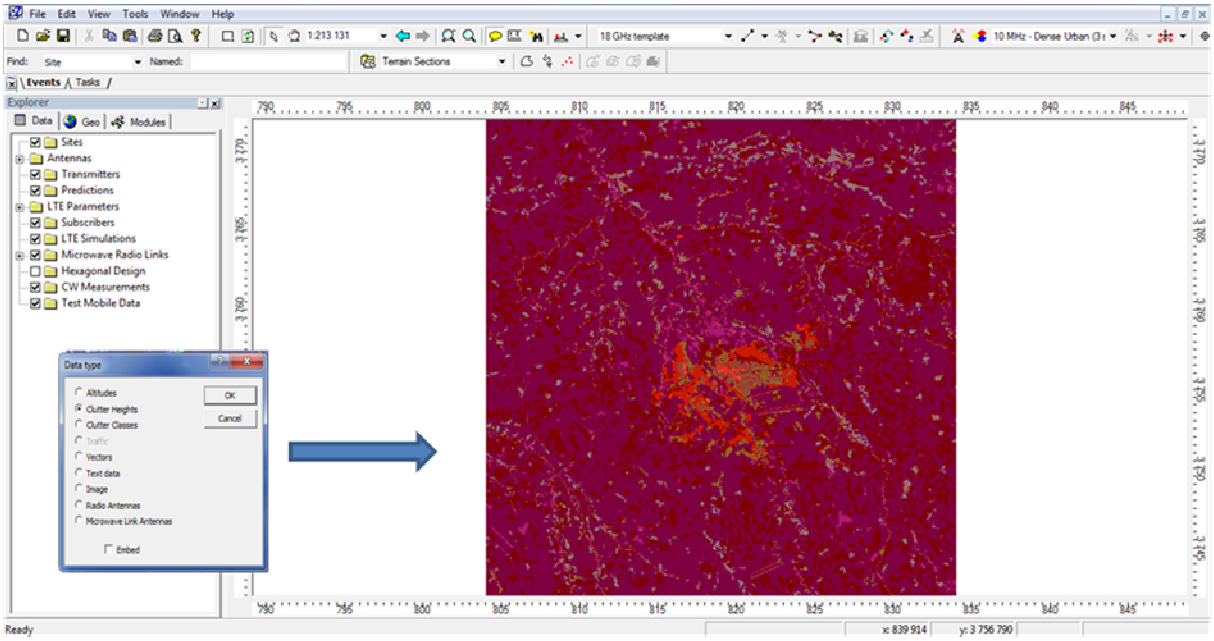


Figure 4.4 : importation de clutter Heights

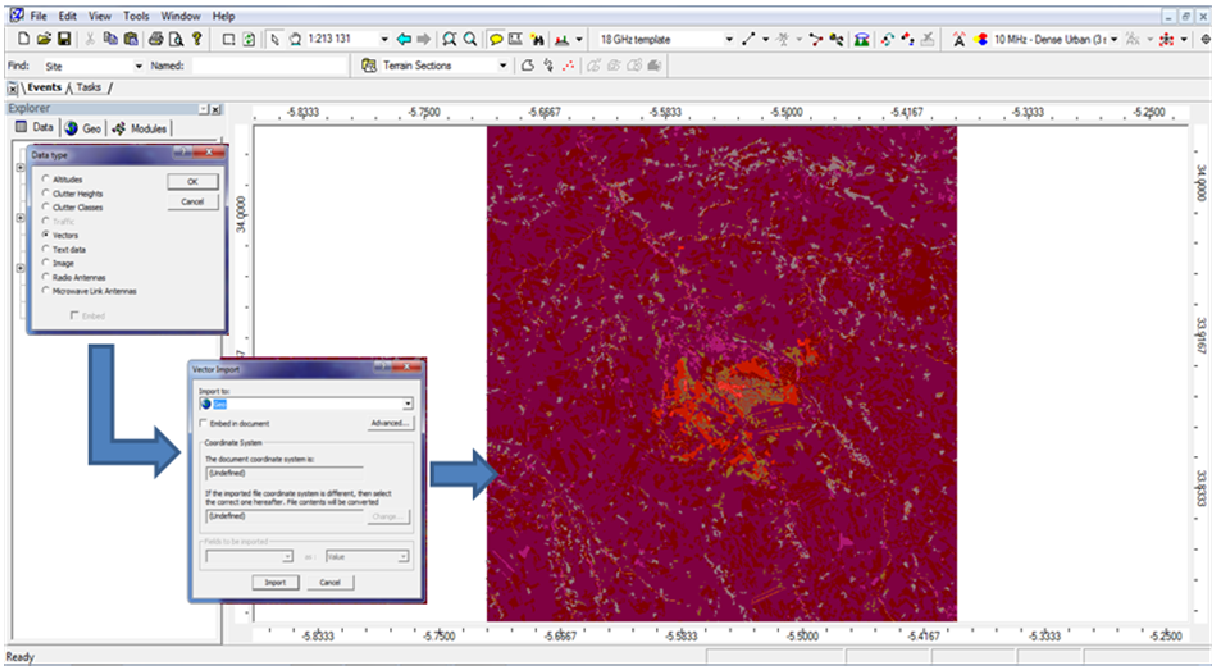


Figure 4.5 : Importation des vecteurs

II. Définition des paramètres radio

1. Création des sites

Dans Atoll, un site est défini comme un point géographique où nous devons ajouter des émetteurs et des cellules par la suite.

Pour créer un nouveau site:

- Cliquez sur l'onglet **Data** à partir de la fenêtre **Explorer**.
- Cliquez-droit sur le dossier « **Sites** ».
- Sélectionnez « **New** » dans le menu contextuel.

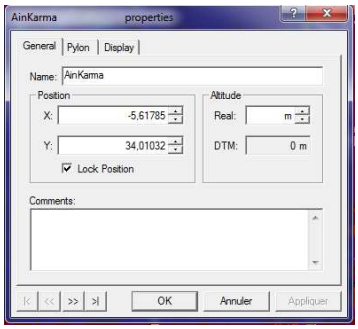


Figure 4.6: création d'un nouveau site

2. Création des émetteurs

Pour créer un nouveau émetteur:

→ Cliquez sur l'onglet **Data** de la fenêtre « **Explorer** »

→ Cliquez-droit sur le dossier « **Transmitters** ».

→ Sélectionnez « **New** » dans le menu contextuel. Puis remplissez les paramètres

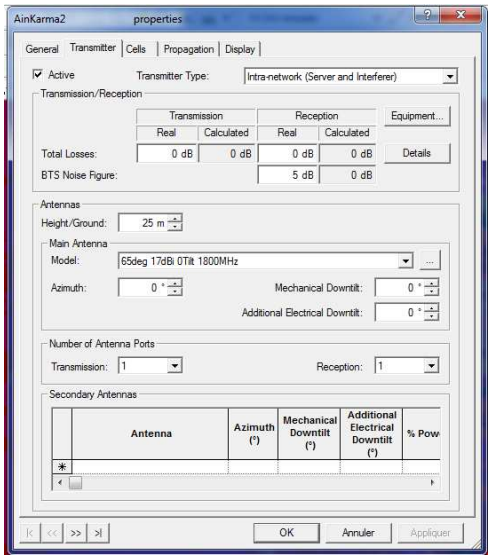


Figure 4.7: création d'un nouveau émetteur - onglet Émetteur

3. Création des cellulles

En Atoll, une cellule est définie comme un canal RF, avec toutes ses caractéristiques, sur un émetteur, Pour créer une cellule:

→ Cliquez sur l'onglet **Data** de la fenêtre **« Explorer** ».

→ Cliquez sur le bouton **Expand** (+) pour développer le dossier **Emetteurs**.

→ Cliquez à droite sur l'émetteur sur lequel vous voulez créer une cellule

→ Sélectionnez **Proprieties** dans le menu contextuel.

→ Sélectionnez l'onglet **Cells** puis activer la cellulle et entrez une valeur de puissance

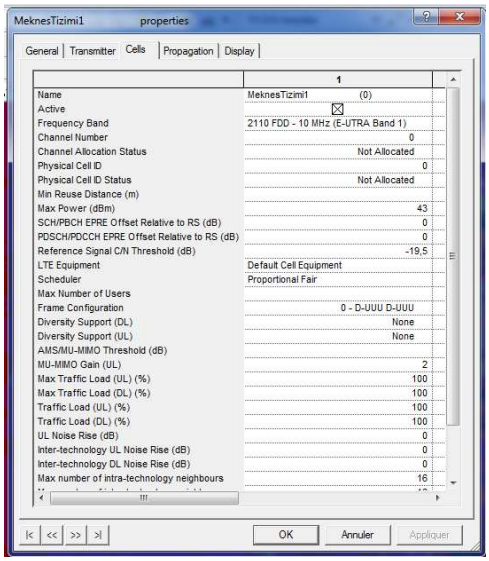


Figure 4.8: création d'un nouveau émetteur - onglet Cells

Tous les sites, les émetteurs et les cellules sont regroupés dans le tableau (voir annexe)

Les sites (⊙) et les émetteurs (➢) se positionnent sur la carte suivant (voir Figure 4.9)

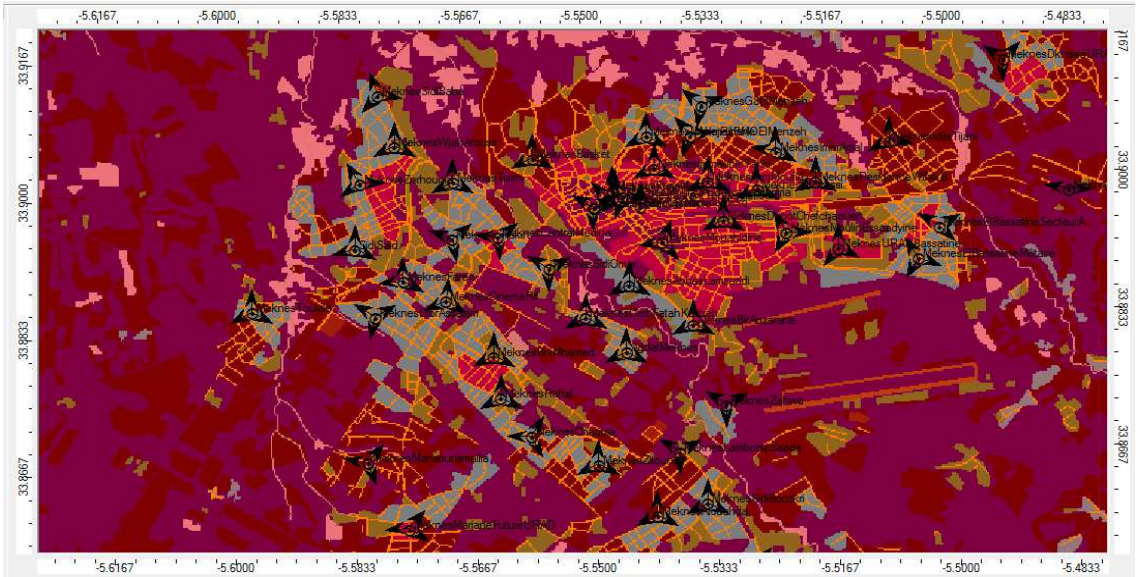


Figure 4.9: Position des sites et des émetteurs sur la carte

III. Planification du Réseau LTE

Dans la pratique, le déploiement d'un réseau GSM nécessite l'optimisation du placement des sites, sous les 2 contraintes de type radio et trafic. Il s'agit de tester, en fonction du type d'antenne, de sa puissance d'émission et de son orientation, la zone couverte par

l'émetteur. Une approche pas à pas permet progressivement de faire converger le réseau vers une bonne configuration. Le principe est le suivant:

- Répartir les émetteurs sur le terrain
- Etablir les zones de couverture, et les adapter en déplaçant les sites, en modifiant les puissances d'émission, en choisissant les orientations.
- Une fois la couverture assurée, il faut rechercher une répartition des fréquences en analysant les sites qui sont voisins.
- Il faut alors rechercher une répartition des fréquences entre les sites.
- Dans le cas où la planification n'arrive pas à converger, il faut alors densifier le réseau : soit rajouter des sites, soit remplacer des émetteurs omnidirectionnels par des émetteurs tri-sectoriels.

1. Etude de couvertures

Une fois les sites positionnés, il faut maintenant simuler le comportement du réseau. Pour cela, il faut effectuer un calcul de couverture radio. On s'intéressera plus particulièrement aux zones urbaines.

1.1. Paramétrage global des prédictions

Par un clic droit sur l'item **'prédictions'** du menu principal, accédez au menu **'propriétés'**, et réglez les 3 onglets 'prédictions', 'récepteur' et 'système'

La résolution, paramétrable dans l'onglet 'prédictions', permet de régler le pas des simulations. Un pas trop grossier vous fournira des résultats trop approximatifs, alors qu'un pas trop fin alourdira très fortement les temps de calcul.

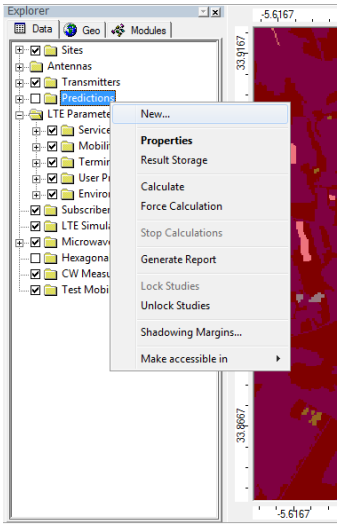
1.2. Prédictions de couvertures

Deux types de prévisions de couverture LTE sont disponibles dans Atoll: prévisions de couverture utilisés pour analyser le niveau de signal, et des prédictions de couverture utilisés pour analyser la qualité du signal.

Prévisions de couverture d'analyse de signaux efficaces peuvent être utilisés pour analyser les différents signaux (signaux de référence, SCH / PBCH, PDSCH / PDCCH) sur la liaison descendante, ainsi que sur la liaison montante une fois que les gains et les pertes utilisateur de gamme ont été envisagées. Ces prévisions de couverture ne dépendent pas de l'état de charge du réseau.

Utiliser les prévisions de couverture de qualité du signal, vous pouvez étudier la zone de couverture en terme d'efficacité de service et de la capacité de chaque cellule de réseau. Ces prévisions de couverture dépendent de l'interférence dans le réseau et les conditions de charge de cellule. Pour cette raison, la charge du réseau doit être définie afin de calculer ces prévisions de couverture.

Par un clic droit sur l'item **'prédictions'** du menu principal, vous pouvez lancer une nouvelle prédiction en cliquant sur l'item **'nouveau'** qui vous ouvre le menu suivant :



Nous allons étudier 3 types de prédiction.

- **Couverture par niveau de signal :**

Le principal défi pour les opérateurs est d'assurer, malgré la difficulté liée au terrain, une bonne couverture deep indoor dans les zones denses en habitations. Pour se faire plusieurs paramètres liés aux émetteurs vont permettre d'atteindre nos objectifs

Le tilt : qui peut être soit électrique, soit mécanique. Il permet d'ajuster l'inclinaison du lobe principal de l'émetteur par rapport à la verticale

L'azimut : il permet d'ajuster l'orientation de l'antenne sur un plan horizontale pour mieux cibler la zone à couvrir.

La hauteur des émetteurs : en ajustant la hauteur des émetteurs on permet à l'onde de se propagé au delà des bâtiments voisins et donc éviter les effets « écran ».

Pour faire une prédiction de la couverture par niveau de signal, sélectionnez « **Coverage by signal level** » comme type et cliquez sur OK.

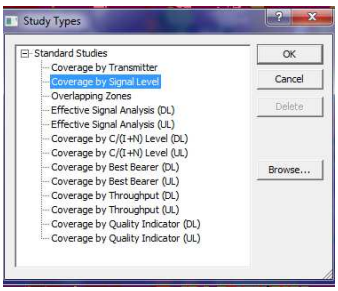


Figure 4.9: Création d'une nouvelle couverture par le niveau du signal

Dans l'onglet Général, modifiez le nom par défaut, la résolution, et le dossier de stockage pour la prédiction, et ajouter quelques commentaires.

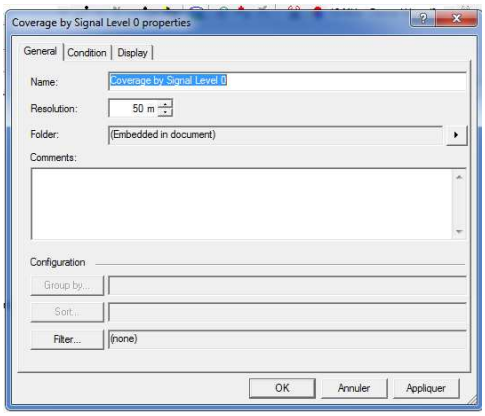


Figure 4.10 : paramètres général d'une prédiction de la couverture par le niveau du signal

Dans l'onglet Condition, nous définissons les signaux qui seront considérées pour chaque pixel (voir Figure 4.11)

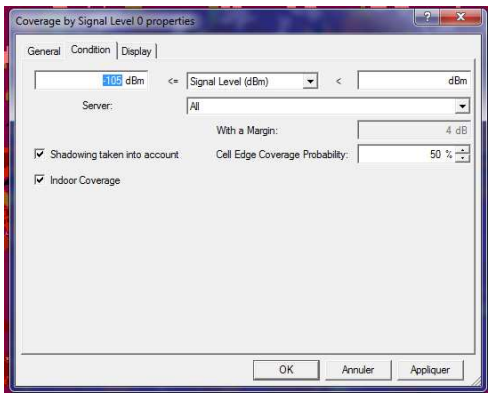


Figure 4.11 : paramètres de condition d'une prédiction de la couverture par le niveau du signal

Dans l'onglet **'Affichage'**, Nous choisissons d'afficher les résultats par meilleur niveau de signal, les résultats de prédiction de couverture seront organisés par chaque émetteur

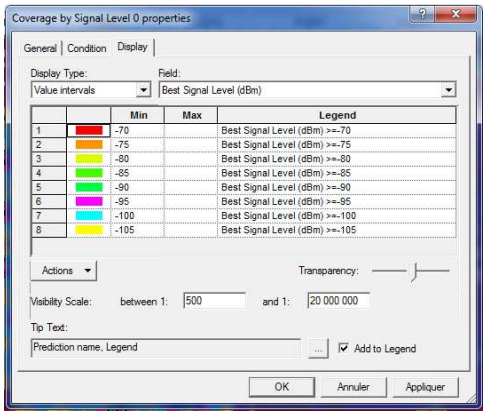


Figure 4.12 : Paramètres d'affichage d'une prédiction de la couverture par le niveau du signal

Pour calculer la couverture par niveau du signal nous procédons comme suit :

'Predictions >Coverage by signal level >Calculate'. Une fois Atoll a fini de calculer la prédiction de la couverture du niveau du signal, les résultats sont affichés sur la carte (voir Figure 4.13).

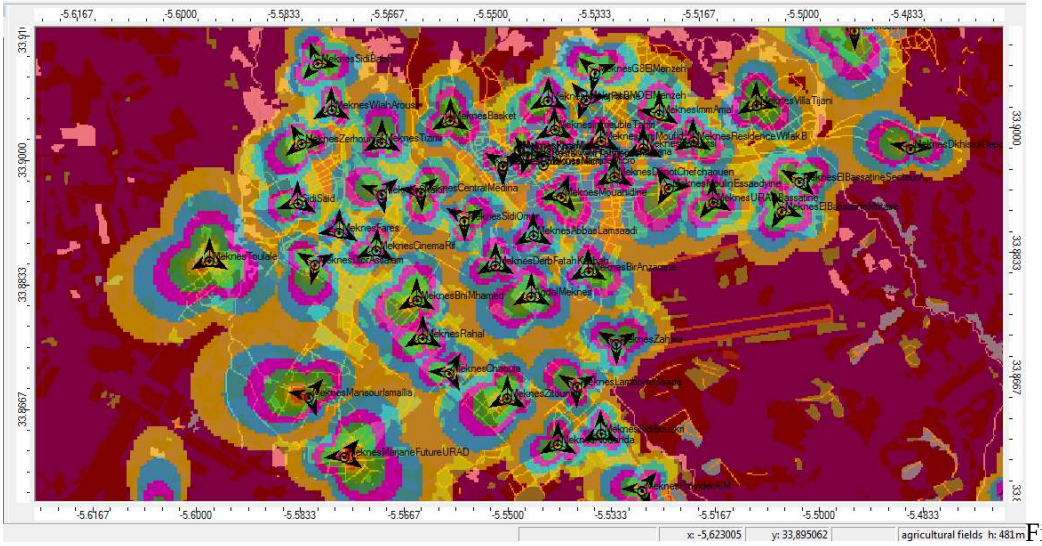


Figure 4.13: Résultats de prédiction de la couverture par le niveau de signal

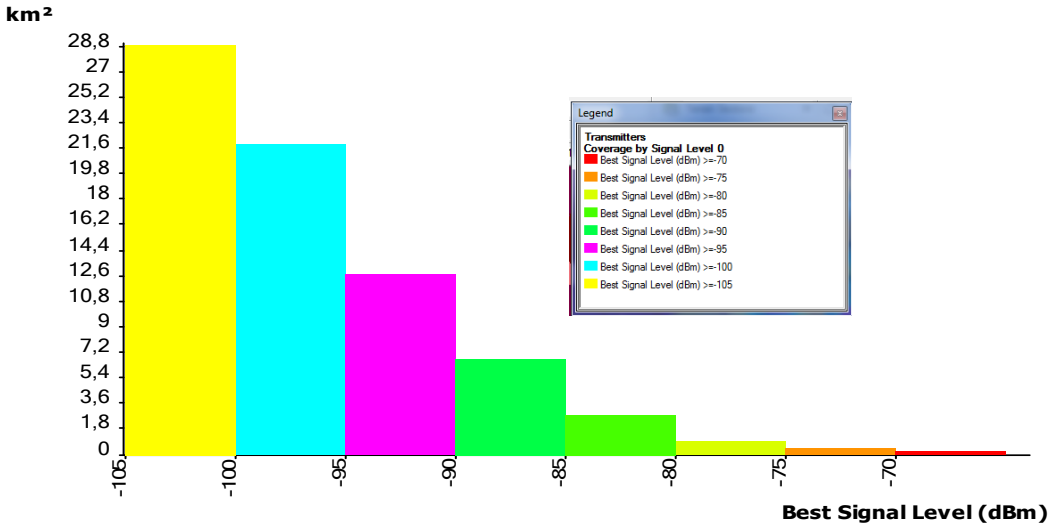


Figure 4.14: Histogramme de couverture par le niveau de signal

Dans les zones denses urbaines les mobiles ne peuvent capter que le signal à l'extérieur des bâtiments. En effet on a ajouté des femtocells pour résoudre ce problème

On suppose un seuil outdoor de -110 dBm et un niveau de champ avoisinant seuil deep indoor de -75 dBm

On constate aussi que les niveaux dans les zones non habitées sont trop élevés.

Les résultats de simulation sur la carte sont bons et grâce à l'optimisation on voit que l'on respecte bien le seuil deep indoor dans les zones d'habitation denses.

- **Prédiction de couverture par émetteur.**

Cette prédiction permet d'avoir une vue globale de toutes les cellules du réseau qui sera très utile pour cibler les émetteurs inutiles.

Pour faire une prédiction de la couverture par l'émetteur sélectionnez '**Coverage by Transmitter** comme type et cliquez sur OK.

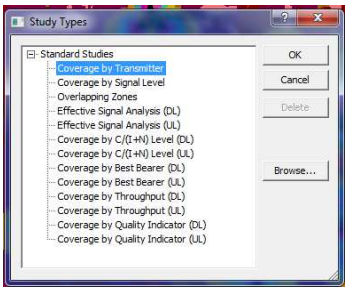


Figure 4.15: Création d'une prédiction de couverture par émetteur

Dans l'onglet Général, modifiez le nom par défaut, la résolution, et le dossier de stockage pour la prédiction, et ajouter quelques commentaires.

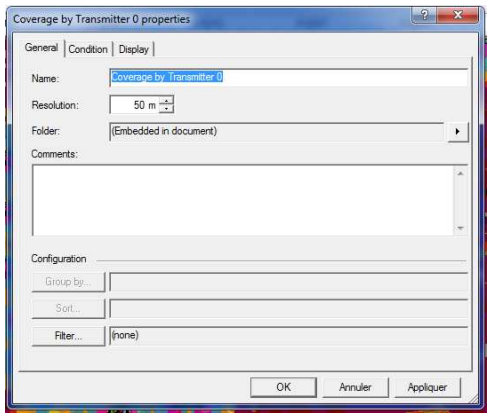


Figure 4.16 : paramètres général d'une prédiction de couverture par émetteur

Dans l'onglet Condition, nous définissons les signaux qui seront considérées pour chaque pixel (voir Figure 4.17)

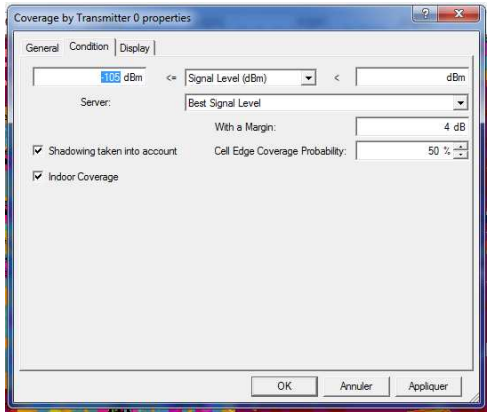


Figure 4.17: paramètres de condition d'une prédiction de la couverture par émetteur

Pour une prédiction de couverture par émetteur, le type d'affichage "**Discrete Values**" basé sur le champ "émetteur" est sélectionné par défaut. Chaque zone de couverture est alors affichée avec la même couleur que celle qui est définie pour chaque émetteur.

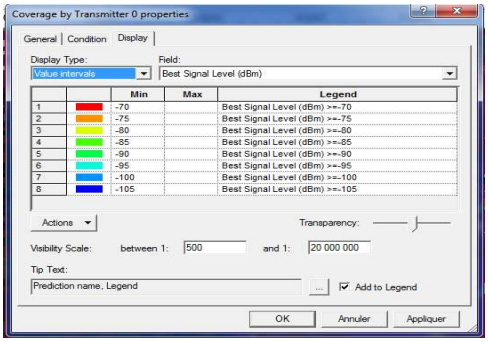


Figure 4.18 : paramètres d'affichage d'une prédiction de la couverture par émetteur

Pour calculer la couverture par émetteur, cliquez sur **Predictions >Coverage by Transmitter >Calculate**. Une fois Atoll a fini de calculer la prédiction de la couverture du niveau du signal, les résultats sont affichés sur la carte (voir Figure).

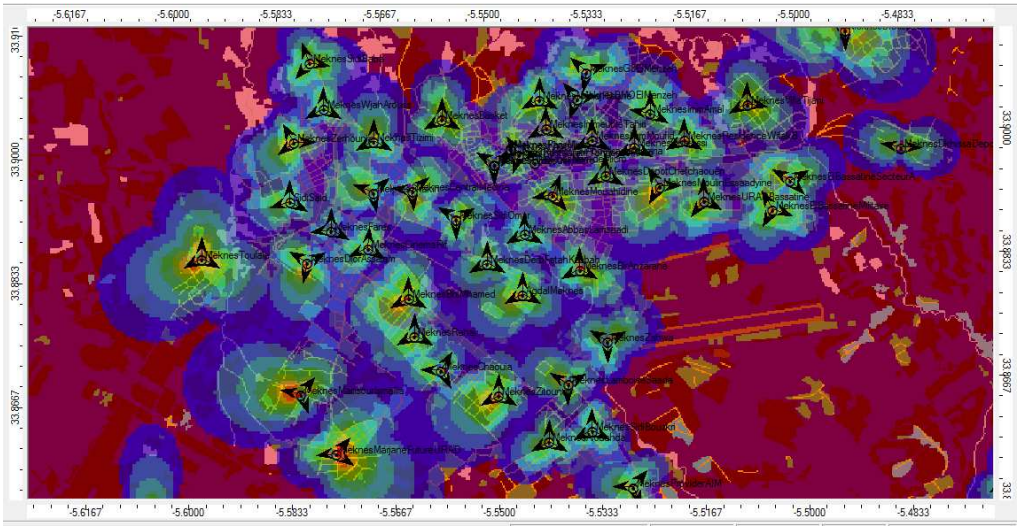


Figure 4.19: Résultats de prédiction de couverture par émetteur

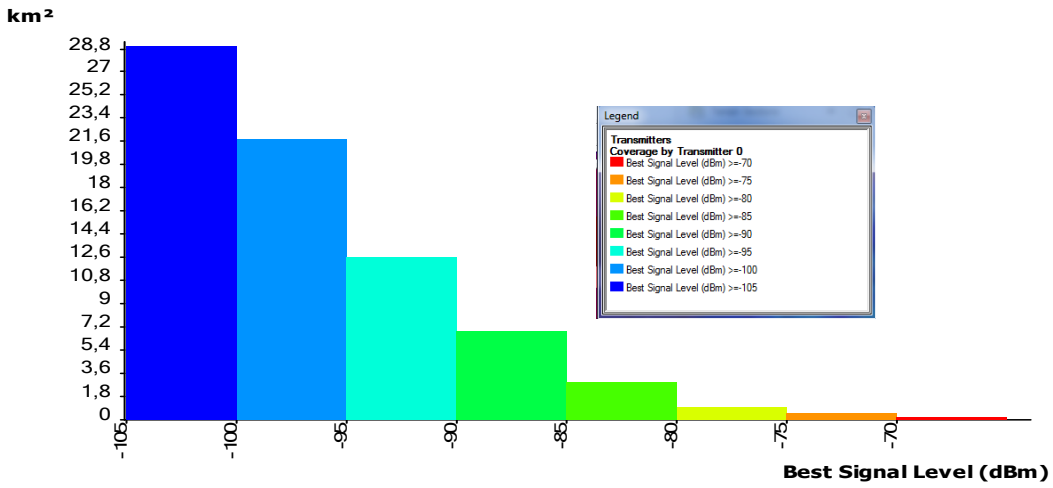


Figure 4.20: Histogramme de couverture par émetteur

On constate sur cette carte qu'en réalité on est loin des schémas hexagonaux calculés en théorie, en effet la hauteur des infrastructures du terrain est le paramètre le plus contraignant quand il s'agit de déployer un réseau cellulaire, d'où l'importance de l'étape d'optimisation du réseau.

- **calcul des zones de chevauchement**

  Les zones de chevauchement sont composées de pixels qui sont, pour un état défini, couverte par le signal d'au moins de deux émetteurs.

Le résultat donne une carte de recouvrement qui nous permet de distinguer les zones ou le mobile sera couvert par un ou plusieurs émetteurs. Autrement dis ces zones correspondent à l'endroit ou s'effectuent les handovers et pour simplifier la procédure de sélection de cellules il est impératif de limiter la couverture à 3 serveurs maximums.

Pour faire une prédiction de la couverture sur les zones qui se chevauchent, sélectionnez '**Overlapping zones**' et cliquez sur OK.

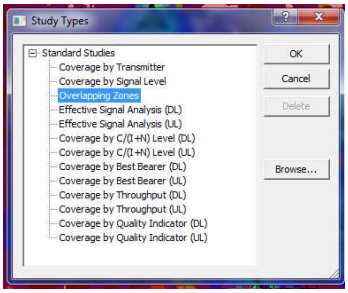


Figure 4.21: prédiction de la couverture sur les zones de chevauchement

Dans l'onglet Général, vous pouvez modifier le nom par défaut, la résolution, et le dossier de stockage pour la prédiction, et ajouter quelques commentaires.

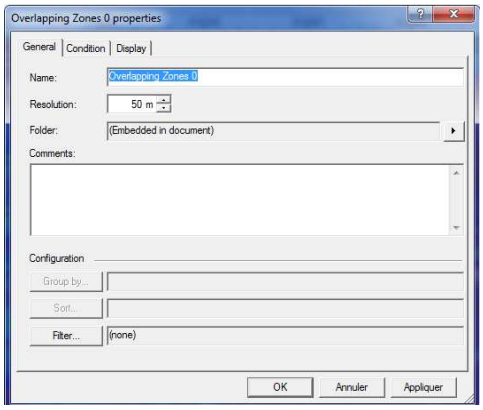


Figure 4.21 : paramètres général d'une prédiction de la couverture sur les zones de chevauchement

Dans l'onglet Condition, vous pouvez définir les signaux qui seront considérées pour chaque pixel.

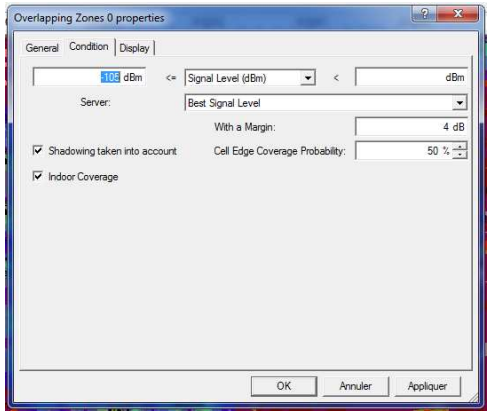


Figure 4.22: paramètres de condition d'une prédiction de la couverture sur les zones de chevauchement

Pour une prédiction de la couverture sur les zones de chevauchement, le type d'affichage "**Value intervals"** basé sur le nombre des serveurs sélectionné par défaut. Chaque zone de recouvrement sera alors affichée dans une couleur correspondant au nombre de serveurs reçus par pixel.

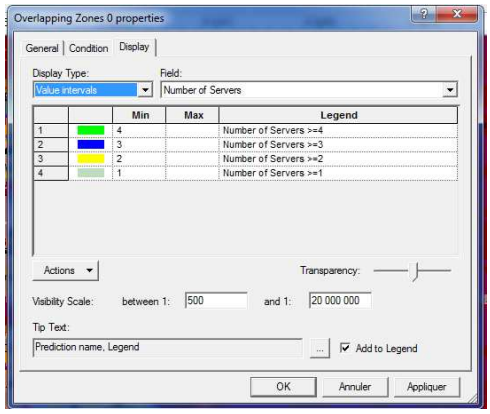


Figure 4.23: paramètres d'affichage d'une prédiction de la couverture sur les zones de chevauchement

Cliquez sur **Predictions >Coverage Transmitter >Calculate** pour calculer la couverture par émetteur.

Une fois Atoll a fini de calculer la prédiction de la couverture du niveau du signal, nous avons procédé pour une optimisation des sites nous a permis de supprimer les zones ou l'on dépassé une couverture de 3 serveurs simultanément.

Les résultats de simulation est la suivante :

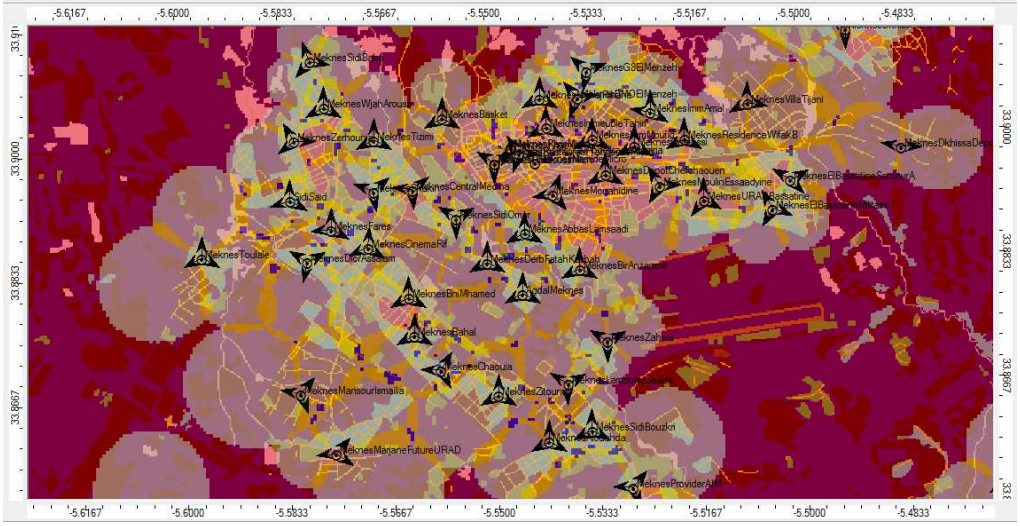


Figure 4.24: Carte de recouvrement

La carte est parfaite et ne présente aucune anomalie. Le réseau supportera les handovers entre chaque cellule qui le compose

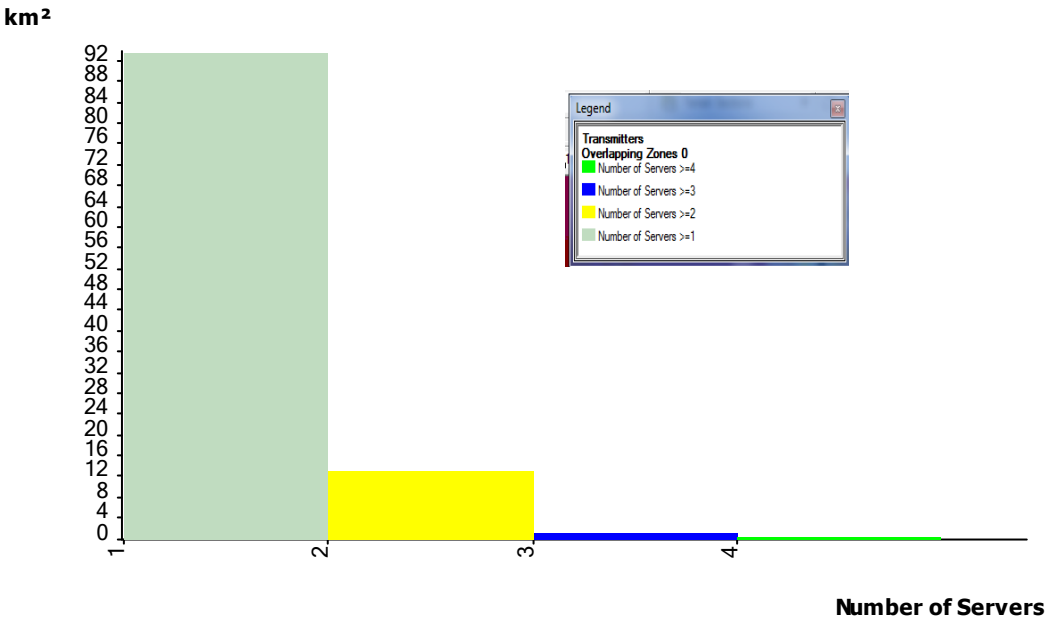


Figure 4.25: Histogramme de couverture par les zones de chevauchement

Apparemment la totalité de la zone est couverte par un seul serveur. En bordure de cellule on a deux, ou trois serveurs ce qui correspond aux zones d'intersection des cellules.

- **Modélisation** de **Services**

Les différents services offerts aux utilisateurs peuvent être soit « vocale » ou « données ».

Pour créer un service:

→ Cliquez sur l'onglet **Data** de la fenêtre **Explorer**.

→ Cliquez sur le bouton **Expand** (+) pour développer le dossier **LTE Parameters**.

→ Faites un clic droit sur le dossier **Services**.

→ Sélectionnez **New** dans le menu contextuel. Le dialogue **Service New Element Proprieties** s'affiche.

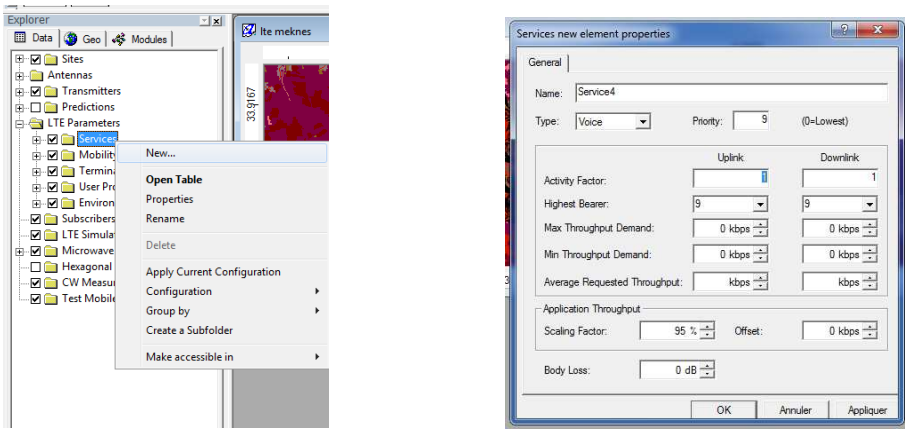


Figure 4.26 : création d'un nouveau service

Vous pouvez modifier les champs dans l'onglet **Général** pour définir le nouveau service. Certains champs dépendent du type de service que vous choisissez. Vous pouvez modifier les paramètres suivants.

Et voila un tableau récapitulatif de tous les services offert par le LTE

me	Priority (0=lowest)	type	Bearer (DL)	Bearer (UL)	Max Throughput Demand (DL) (Kbps)	Max Throughput Demand (UL) (Kbps)	Min Throughput Demand (DL) (Kbps)	Min Throughput Demand (UL) (Kbps	Requested average uplink rate (kbps	Requested average downlink rate (kbps)	Body Loss (dB)	Throughput Scale Factor	Throughput Offset (kbps)	uplink factor	downlink activity factor

									)						
› wnlo	0	dat a	15	15	1000	100	0	0	10	10	0	95	0		
leo ıfere ng	2	voi ce	15	15	64	64	64	64	64	64	0	95	0	0.5	0.5
›	3	voi ce	15	15	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	3	95	0	0.6	0.6
:b ›wsin	1	dat a	15	15	128	64	64	32	32	64	0	95	0		

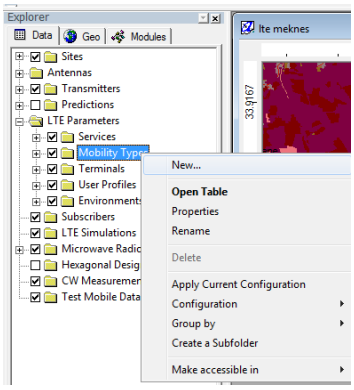
Tableau 4.1 : les services offert par le LTE

- **Modélisation de Types de mobilité**

Dans LTE, des informations sur la mobilité du récepteur est nécessaire pour déterminer quel seuil de sélection de porteuse et de la qualité de service à utiliser de l'équipement LTE mentionné dans le terminal ou cellule.

Pour créer ou modifier un type de mobilité:

1. Cliquez sur l'onglet **Data** de la fenêtre **Explorer**.
2. Cliquez sur le bouton Expand (+) pour développer le dossier **LTE Paramèters**.
3. Cliquez-droit sur le dossier **Mobility Types**.
4. Sélectionnez **New** dans le menu contextuel. Le dialogue **Mobility Types New element Proprieties** s'affiche.



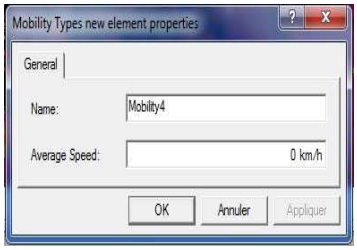


Figure 4.27: création d'un nouveau type de mobilité

Tableau récapitulatif des types de mobilité du réseau LTE

Name	Average Speed(km/h)
50 km/h	**50**
90 km/h	**90**
Fixed	**0**
Pedestrian	**3**

Tableau 4.2 : types de mobilité du réseau LTE

2. Planification des voisins

Vous pouvez définir les voisins pour chaque cellule manuellement, ou vous pouvez laisser Atoll les attribuer automatiquement, sur la base des paramètres que vous définissez. Lors de l'allocation des voisins, la cellule à laquelle vous allouez les voisins est considérée comme une cellule de référence. Les cellules qui remplissent les conditions pour être voisins sont considérées comme des voisins possibles.

Dans notre projet nous choisissons une attribution automatique des voisins. Dans ce cas Atoll alloue des voisins sur la base des paramètres saisis dans le dialogue '**allocations automatique des voisins'.**

Cliquez-droit sur le dossier **Transmitters** puis sélectionnez **cells> Neighbours>Automatic Allocation** dans le menu contextuel.

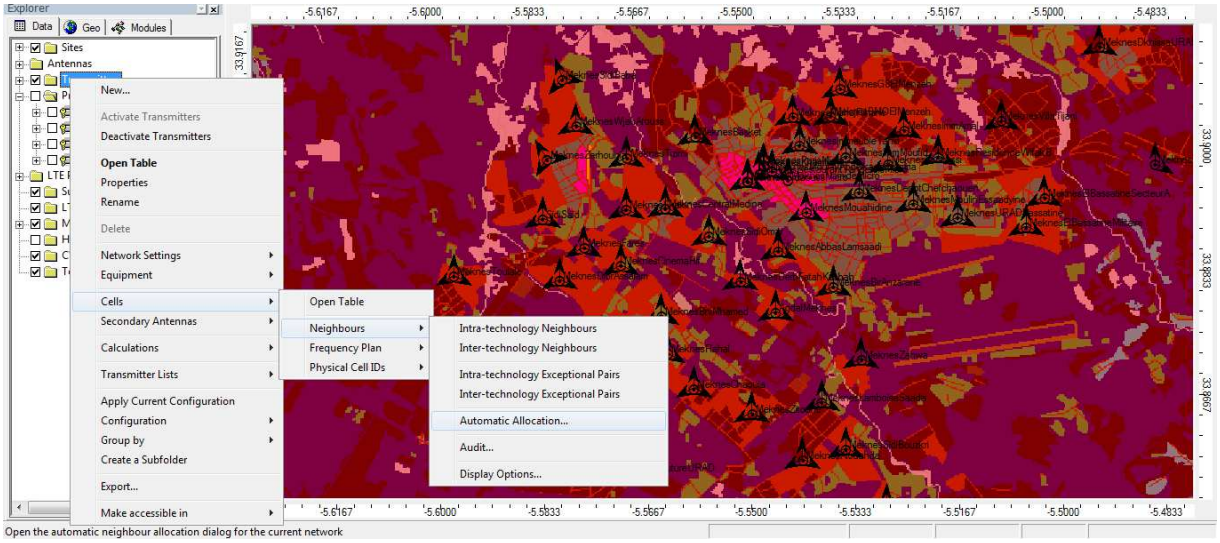


Figure 4.29 : allocation automatique des voisins

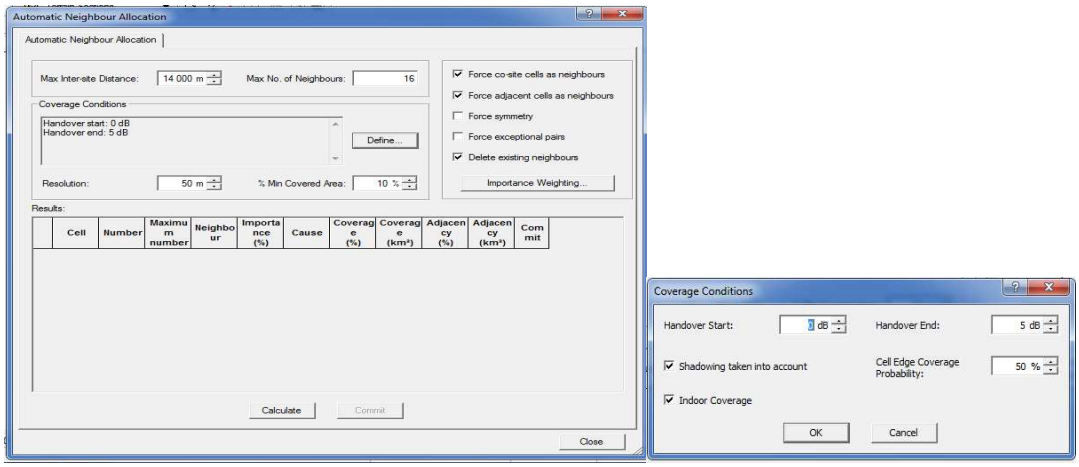


Figure 4.30 : Paramètres d'allocation des voisins

Cliquez sur **Define** pour modifier les conditions de couverture puis sur **calculate**

Une fois Atoll fini ses calculs il présente les résultats dans un tableau comme montre la figure suivante :

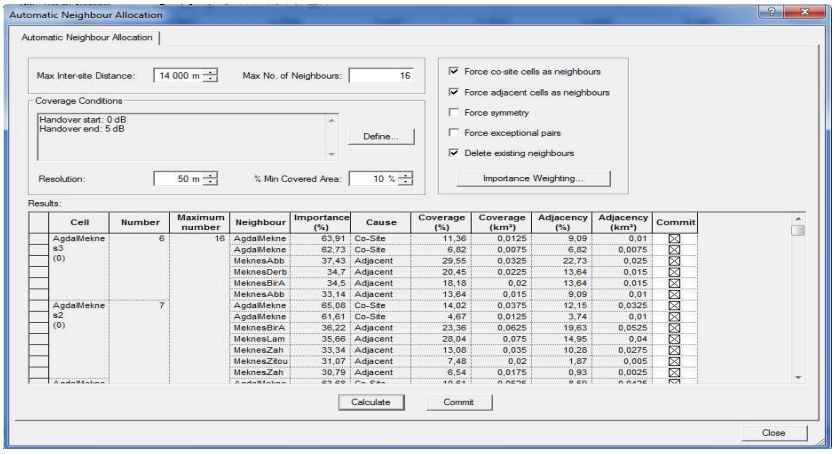


Figure 4.31 : Résultats d'allocation des voisins

Le tableau qui contient toutes les cellules références et leurs visions (Voir le tableau dans annexe)

3. Planification de fréquences

Allocation automatique de fréquence : les canaux radio utilisés sont automatiquement choisis par en fonction des interférences dans l'environnement et des fréquences utilisées par les autres cellules radio qui l'entourent.

Vous pouvez attribuer des fréquences aux cellules manuellement ou utiliser l'outil de

planification automatique de fréquences AFP (Automatic Frequency Plannig) de telle sorte que l'interférence dans le réseau global est réduite au minimum.

Attribution des fréquences

L'AFP tient compte des paramètres prédéfinis par exemple : matrices d'interférences, de la distance minimale de réutilisation, et des contraintes imposées par les voisins.

L'AFP vous permet donc d'attribuer automatiquement les fréquences aux cellules dans le réseau actuel.

Cliquez-droit sur le dossier **Transmitters**, puis sélectionnez **Cells> Plan de fréquences> Attribution automatique**.

Définissez les paramètres sur le dialogue d'attribution des fréquences puis cliquez sur '**calculate**' pour démarrer le processus d'attribution des fréquences

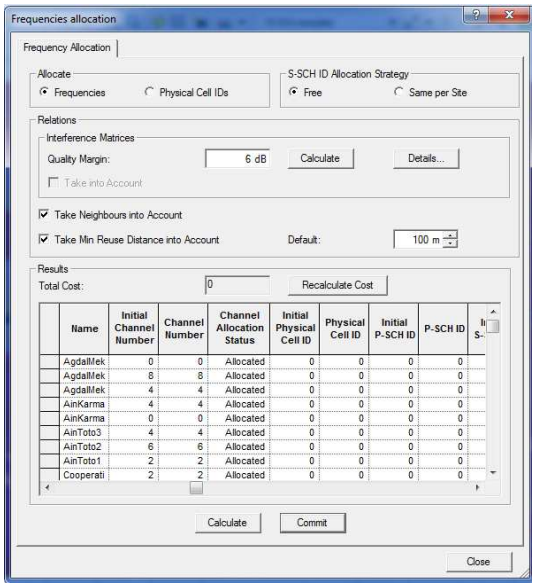


Figure 4.32 : allocation automatique de fréquences

Une fois Atoll termine l'attribution des fréquences. Les résultats sont représentés sous forme d'un tableau (Voir annexe)

L'attribution des fréquences apparait aussi sur la carte en valeurs discret ; chaque couleur désigne un numéro de canal et les transmetteurs s'affichent par leur numéro de canal en changeant ses couleurs (voir Figure 4.33)

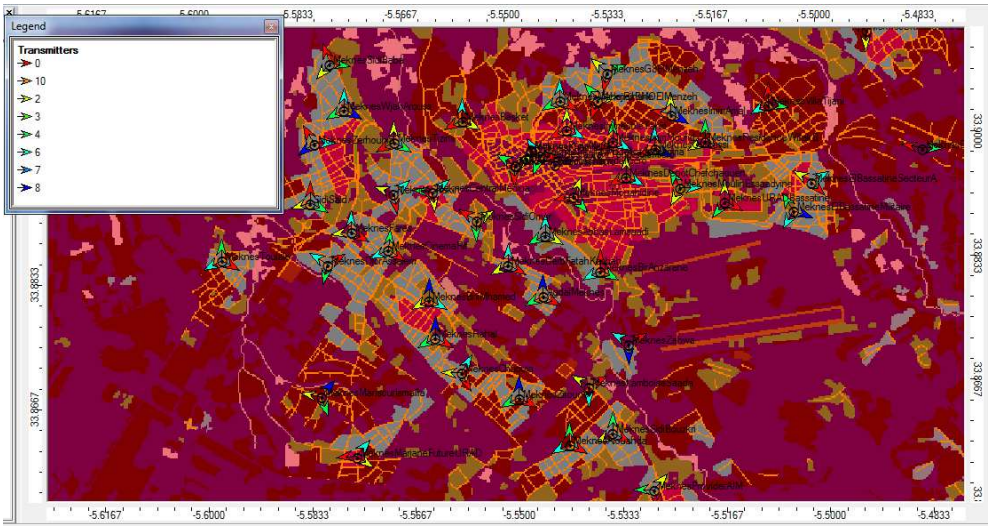


Figure 4.33 : Visualisation des fréquences en numéro de canal sur la carte

4. Planification des identifiants cellulaires physique

Dans LTE, 504 ID de cellules physiques sont disponibles, numérotés de 0 à 503. Il y a autant de séquences pseudo-aléatoires défini dans les spécifications 3GPP. ID de cellules physiques sont regroupés en 168 groupes d'identification de cellules uniques (appelé S-SCH IDs Atoll), chaque groupe contenant 3 identités uniques (appelé P-SCH ID dans Atoll). Un ID S-SCH est donc définie de manière unique par un certain nombre dans la plage de 0 à 167, et un identifiant P-SCH est définie par un certain nombre dans la plage de 0 à 2. La référence de chaque cellule
transmettre des signaux d'une séquence pseudo-aléatoire correspondant à l'ID de cellule physique de la cellule. Le S-SCH et P-SCH sont transmis par le centre de six blocs de fréquences indépendantes des largeurs de canaux utilisés par les cellules. Mobiles synchroniser
il fréquence et le temps de transmission et de réception en écoutant d'abord à la P-SCH. Une fois qu'ils savent que le P-SCH ID de la cellule, ils écoutent la S-SCH de la cellule dans le but de connaître la S-SCH ID. La combinaison de ces deux identifiants donne l'ID de cellule physique et la séquence pseudo-aléatoire associée qui est transmise sur les signaux de référence de liaison descendante.
Une fois que l'ID de cellule physique et la séquence pseudo-aléatoire associée sont connus, la cellule est reconnue par le mobile sur la base des signaux de référence reçus.

- ***Attribution des identifiants cellulaires physiques***

Atoll peut assigner automatiquement un ID de cellule physique pour les cellules d'un réseau LTE selon des paramètres définis. Par exemple, il prend en compte la stratégie choisie S-SCH allocation (libre ou même par site), la distance minimum de réutilisation, et tout contraintes imposées par des voisins.

L'algorithme de répartition permet de répartir automatiquement les ID de cellule physique aux cellules dans le réseau actuel. Vous pouvez choisir entre deux stratégies d'allocation pour l'ID S-SCH

• Gratuit: L'attribution d'ID de cellule physique ne sera limitée par l'ID P-SCH alloué aux cellules voisines. S-SCH ID ne sera pas nécessairement la même pour toutes les cellules d'un site.

• Même par site: Cette stratégie attribue les ID de cellule physique aux cellules de telle sorte que le même S-SCH ID est attribué à tous les cellules d'un site.

Pour affecter automatiquement les ID de cellule physique:

Cliquez-droit sur le dossier **Transmitters** puis sélectionnez **Cells> identifiants cellulaires physique> Allocation automatique.**

Cliquez sur Calculer. Atoll commence le processus d'attribution des identifiants des cellules physiques.

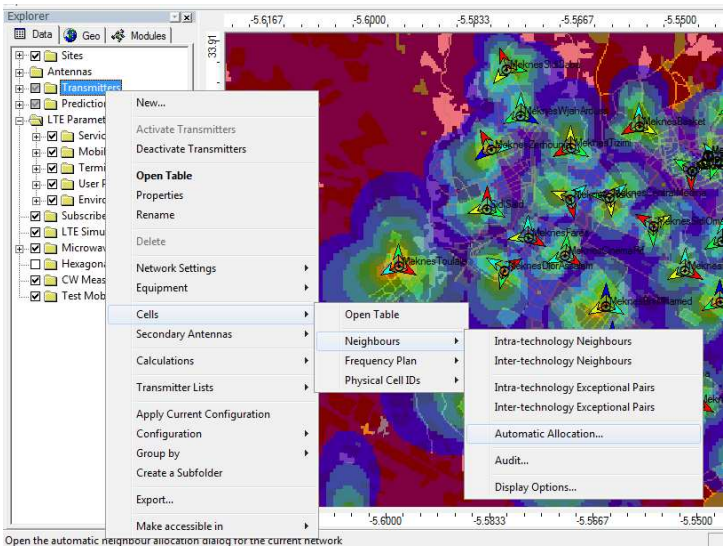


Figure 4.34 : allocation automatique des ID de cellules physiques

Une fois Atoll a terminé l'allocation ID de cellules physiques, les résultats sont

représentés sous forme d'un tableau (Voir annexe)

Conclusion :

L'outil « Atoll », consiste à une solution robuste pour la planification dans l'E-UTRAN. Il permet la lecture des modèles numériques du terrain, la sélection des emplacements des sites, le paramétrage des sites et l'élaboration des cartes de prédiction de couverture et de qualité dans la zone géographique de déploiement.

Conclusion général :

L'objectif principal de ce projet est de planifier et dimensionner la technologie LTE dans le réseau d'accès déjà existé. Un outil évolutif qui fournit une solution efficace, qui suit l'évolution rapide du standard 3GPP LTE et qui tient compte des nouvelles technologies introduites, telles que MIMO, CoMP et l'agrégation de porteuses, etc.

Pour cela, nous avons étudié dans le premier chapitre le réseau LTE, les innovations apportées par rapport LTE et les concepts de bases hérités de LTE, notamment l'interface air et la couche physique.

La deuxième partie a été consacrée pour la planification détaillé d'une solution de dimensionnement des eNodeB orienté couverture et orienté capacité, de dimensionnement de l'interface X2 et de l'interface S1. Ce processus est caractérisé par son complexité et comprend plusieurs tâches, principalement l'établissement du bilan de liaison radio, le choix d'un modèle de propagation adéquat pour le dimensionnement de couverture,

l'établissement d'un modèle de trafic et le calcul de la capacité de la cellule pour le dimensionnement de capacité.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté l'outil « Atoll » pour la mise en oeuvre de la solution étudiée dans la région de MEKNES, son architecture globale, ses interfaces et ses fonctionnalités.

Ce projet était l'occasion pour approfondir mes connaissances sur les réseaux mobiles de la quatrième génération, LTE/LTE-Advanced, ces derniers constituent la solution la plus recherchée par les opérateurs télécoms pour remédier au compromis QoS – coût, face aux exigences des consommateurs envers des débits de données plus élevés et des tarifs réduits.

Nous avons aussi étudié l'impact des nouvelles technologies dans le processus de planification, et nous avons constaté que leurs effets sont beaucoup plus clairs dans la phase de pré-planification. Nous avons remarqué aussi, que la dualité couverture-capacité est primordiale dans la phase de dimensionnement. Enfin, l'opérateur doit se rendre compte de l'intérêt de la phase de dimensionnement, pour éviter des coûts supplémentaires d'optimisation pouvant apparaître lors du démarrage de l'exploitation et pour s'assurer de la convergence rapide vers les exigences de QoSpré-établis.

L'outil « Atoll », dans sa version V 2.0.8, consiste à une solution robuste pour la planification dans l'E-UTRAN, qui ne couvre que le processus de pré-planification et de dimensionnement. Il permet la lecture des modèles numériques du terrain, la sélection des emplacements des sites, le paramétrage des sites et l'élaboration des cartes de prédiction de couverture et de qualité dans la zone géographique de déploiement.

BIBLIOGRAPHIE

- Ouvrages numérique :

[1].Harri Holma and Antti TOSKALA : Nokia simense Networks, Finland
"WCDMA for UMTS-HPA evolution and LTE ".4eme edition 2007 par John Wiley Sons , ltd , Chichester,West Sussex,UK.
ISBN : 9780-470-31933-8.

[2].Harri HOLMA and Antti TOSKALA: Nokia siemense Networks, Finland
"LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Bsed RadioAccess" 1ere edition 2009 par John Wiley Sons, Ltd,Chichester, West Sussex,UK .

ISBN 9780470994016

[3].Erik DAHLAMAN , Steven PARKVALL, John SKOLD et Per BIMING Ericson ,Suéde
“3G Evolution – HSPA LTE For Mobile Broadband “, 1ere edition 2007 par
Acadimic press :imprimerie de Elsevier ,UK.
ISBN : 9780123725332.

[4]_ Stefania SESIA ST-NXP Wireless/ETSI.France,Issam TOUFIK ST-NXP Wireless ,France
“LTE – the UMTS long term Evolution : From Theory to Practice” 1ére edition 2009 par John Wiley Sons, Ltd,Chichester, West Sussex,UK .ISBN
978-0-470-05976-0

[5].Pierre LESCUYER et Thierry LUCIDARME : Alcatel-lucent,France
“Evolved Packet system (EPS) – The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS”
Edition 2008, par John Wiley Sons, Ltd,Chichester, West Sussex,UK .ISBN
978-0-470-05976-0

[6]. Harri HOLMA and Antti TOSKALA: Nokia siemense Networks, Finland
“LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Bsed Radio Access” 1ere edition 2009 par John Wiley Sons, Ltd,Chichester, West Sussex,UK .
ISBN 978-0-470-99401-6

[7].Farooq KHAN : Technoligy director , Samsung Telecom
R&D Center,Dallas ,USA
“LTE for 4G Mobile Broadband: Air interface Technologies and Performance”, edition 2009 Cambridge University Press , New York.
eBook ISBN -13: 978-0-511-51666-5.

[8].K.FAZEL Ericsson GnbH , et S.KAISER DOKOMO Communications Laboratories Europe GmbH , Germany :
“ Multi Carrier and Spread Spectrum Systems from OFDM and MC-CDI to LTE and WIMAX “ 2éme edition 2009 par John Wiley Sons, Ltd,Chichester, West Sussex ,UK .
ISBN 978-0-470-99821-2.

[9].David Mc MAHON
“MATLAB Demystifled “ edition 2007 , par Mc Craw-Hill
Camparies United States of Amirica . DIO : 10.1036/0071485511.

[10].C.GESSNER : Rohde & Scharz ,Germany
“ UMTS long terme Evolution (LTE) Technology introduction ‘’
Edition Mars 2007 . par ROHDE & Schwarz GmbH & Co.
Munchen . Germany .
Application Note 1 MA 1111-2E.

[11].Moray RUMNEY: Lead Technologist , Agilent Technologies , USA
“ 3GPP LTE : Introducing single – Carrier FDMA “ édité le 1ére janvier 2008
Agilent Technologies , USA. Measurement Journal : 5989-7898 EN.

[12].3GPP TS 36.133 version 9.3.0 Release 9 (2010-04) :
“ LTE , Evolved Universel Terrestrial Radio Access (E-UTRA) ;Requirements for support of radio resource management “
[13].3GPP TR 25.913 version 7.3.0/9.0.0 Release 7/9 ,2006-03/2009-12
“Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)
[14].3GPP TS 36.302 version 8.1.0 Release 8 (2009-03); “Evolved Universel Terrestrial Radio Access (E-UTRA) ; Services provided by the physical Layer
Journeaux , papiers et publication :
[15] .P.-J Bouvet,M.Hélard ,Member , IEEE et V. le Nir France Telecom R&D :
“ Low complexity iterative receiver for linear Precoded OFDM “ Cesson – Sévigné , France.
[16] .Ronald CHANG , Zhifeng TAO ,J inyon ZHANG ,C-C .Jay KUO :
Mitsubishi Electric Reserch Laboratories
“ A Groph Approch to Dynmic Fractional Frequency Reuse (FTR) in Multi –cell OFDMA Networks “, TR 2009-037 ,july 2009 ,Cambridge , Massachustts , USA.
[17] .M.Sternad , T.Ottoson , A.Ahlen and A. Svenson :
“Attaining both Coverage and High Spectral Efficiency with Adaptive OFDM Dowlinks “ . IEEE Vehiculer Technology conference VTC 2003-Fall ,Orland ,Florida , OCT.2003
[18].3GPP LTE Advanced “ EURASIP Journal un wireless communications and Net working 2009 ,rédacteur en chef ; Luc VANDENDROPRE , Université cathodique de Louvain , Belguim ,édité par Hindawi Publishing Corporation
[19] “ charting the course for Mobile Broadband Heading Towards High Performance All _IP with LTE/SAE “ Nokia Siemens Networks white paper 2008 ; Order _No . C401-00143_wP_2007-3-EN
[20] “MIMO transmission Schemes for LTE and HPSA Networks “ juin 2009
[21] ” UMTS Evolution from 3G PP Release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE “ juillet 2007
[22] “ EDGE , HPSA LTE : The mobile BroandBand and Advantage Septembre 2007

Sites web :
http://www.eventheslix.com/lte-turorials.html
http://www.nomor.de/uploads /wk/ac/wkacm9cv-99VSx6TBCKzwQ/LTE Protocol_Staok.jpg
http://www.2.rohde-schwar.com/file10948/1MA1111_2Epdf
http://www.cosmoc.org/free tutorials/rohdel/LTE_tutoriale/index.html
http://www.lteuniversity.com/
http://www.3gamericas.org/
http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36-serieshtml
Autres :
[23] .Mérouane DEBBAH , Thése de Doctorat en Sciences :Traitement du Signale . » Procédurs Linéaires pour les transmissions OFDM sans fil « .
[24] .Antoine STEPHAN , Thése de Doctorat en Sciences Electronique

« Ressource Allocation Stratégies and linear Precoded OFDM Optimization for Ulra_widband communications « Soutenue le 15 Decembre 2008 à L'institut National des Sciences Appliqées de Rennes .

[25] Merouane DEBBAH : Chaire Alcatel-lucent en radio flexible ,SUPELEC , GIF SURYETTE , France

Article Intitulé : « OFDM « une bréve introduction aux principes de L'OFDM (Orthogonale Frequency Division Multiplexing).

[26] Mei CHENFEI et Zhang VOLIANG .Université de Sciences et Technologiques Lille

Projet bibliographyque « LTE : long terme Evolution « soutenue le 04 fevrier 2008

[27] Freescale .''Overvieu of the 3GPP long Term Evolution Physical Layer '' edition 2007

[28] Thomas ZEMEN : forschungszentrum telekomunication wein , Vienne Tchéque '' OFDAMA /SC-FDMA Basics for 3GPP LTE (E-UTRA) '', April 2008

[29] Discussion de Huawei Soft Frequency Reuse scheme for UTRA LTE 3GPP TS RAN WG1 Meeting ,Athens G reece, 9-13 Mai

[30] Abdul Basit SAYED ,Thése de Masters en sciences et technologie '' Dimensioning of LTE Networks

Description of Models and Tools, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP long term Evolution radio interface à lUniversite de Téchnologie de Helsinké , Février 200 Espoo ,Finland