

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

UNIVERSITE MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
Département D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'étude
De MASTER ACADEMIQUE**
Spécialité : **Réseaux et Télécommunication**

Filière: Génie Electrique

Thème :

Dimensionnement de transmission radio sur réseau IP

Présenté par :

DJEBALA Massinissa

GRIM Mokrane

Dirigé par :

Mr. LAZRI

Année Universitaire: 2015/2016

Remerciements

Nous remercions le bon dieu qui nous a donné la force et le courage pour élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur LAZRI pour son aide consistant et ses conseils judicieux.

Nous profitons de cette opportunité pour exprimer nos remerciements à Monsieur AKROUR KAMEL pour ses remarques objectives et surtout pour sa gentillesse permanente.

On adresse nos remerciements aux membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

« Louange à Dieu, le seul et unique »

Je dédie ce modeste travail à tous ceux que j'aime ainsi que ceux qui m'aiment.

Massinissa.

Dédicaces

« Louange à **DIEU**, le seul et unique »

Je dédie ce mémoire :

À mes très chers **parents** qui m'ont prodigué avec amour et patience leur précieux réconfort dans le long périple de mon cursus d'étude.

À mes chers frères, cousins.

À toute ma **famille** et à tous mes **amis** qui m'ont aidé de près ou de loin.

À l'ensemble de mes enseignants qui m'ont nourri de leurs savoirs et de leurs expériences.

Mokrane.

Glossaire

3G : third generation

3GPP : 3rd Generation Partnership Project

4G : fourth generations

BCCH : Broadcast Control Channel

DL : Downlink

EDGE : Enhanced Data rate for GSM Evolution

EPC : Evolved Packet Core

EPS : Evolved Packet System

E-UTRAN : Evolved Umts Terrestrial Radio Access Network

FDD : Frequency Division Duplex

FDMA : Frequency Division Multiple Access

GPRS : Global Packet Radio Service

GSM : Global System for Mobile communication

HSDPA : High Speed Downlink Packet Access

HSPA+ : High Speed Packet Access+

IP : Internet Protocol

LTE : Long Term Evolution

MMS : Multimedia Message Service

MME : Mobility Management Entity

MIMO : Multiple Input Multiple Output

OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access

QAM : Quadratic Amplitude Modulation

Glossaire

QOS : Quality Of Service

QPSK : Quadratic Phase Shift Keying

SMS : Short Message Service

SC-FDMA : Single Carrier- Frequency Division Multiple Access

TDD : Time division Duplex

TDMA : Time Division Multiple Access

UE : User Equipement

Liste des figures

Figure 1 : Représentation de faisceau hertzien en visibilité directe et en transhorizon	2
Figure 2 : Evolution des différentes techniques radio mobile.....	4
Figure 3 : Évolution des systèmes cellulaires de 3G vers 4G.....	5
Figure 4 : Architecture générale du réseau LTE	7
Figure 5 : Architecture E-UTRAN.....	8
Figure 6 : Architecture globale EPC (Evolved Packet Core).....	9
Figure 7 : le principe de la technique OFDMA.....	12
Figure 8 : le principe de la technique SC-FDMA	12
Figure 9 : La structure de la trame en mode FDD.....	13
Figure 10 : La structure de la trame en mode TDD	13
Figure 11 : Le bloc de ressource PRB.....	14
Figure 12 : Le mappage des canaux de la technologie LTE	15
Figure 13 : Evolution de la technologie LTE.....	16
Figure 14 : Brouillages dus à l'utilisation d'une fréquence pour un sens unique	18
Figure 15 : Brouillages dus à l'utilisation d'une fréquence pour les deux sens dans une station relais	18
Figure 16 : Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle a -3 dB	20
Figure 17 : LOS (Line Of Sight)	21
Figure 18 : Détermination des ellipsoïdes de Fresnel	22
Figure 19 : La courbure de la terre affecte la visibilité directe	23
Figure 20 : Eléments impliqués dans le bilan de liaison	25
Figure 21 : Démarche générale à suivre pour l'étude d'une liaison FH	27
Figure 22 : Les étapes de planification du réseau radio LTE.....	28
Figure 23 : Les entrées pour le calcul de MAPL.....	34
Figure 24: Site mono-sectoriel, site bi-sectoriel, site tri-sectoriel.....	38
Figure 25: Fenêtre du travail	42

Figure 26: Etape de création du nouveau projet.....	43
Figure 27 : Les différentes fonctions du logiciel RND	43
Figure 28 : Le calcul du nombre de sites	45
Figure 29 : Interface de démarrage	46
Figure 30 : Création du projet, importation de la carte et choix des coordonnées.....	47
Figure 31 : Limitation de la zone à planifier	47
Figure 32 : Implantation de site.....	48
Figure 33: Exemple d'un site mal positionné.....	48
Figure 34 : Emplacement correct du site.....	49
Figure 35 : Prédiction de couverture par niveau de champ.....	49
Figure 36 : Résultat de prédiction	50
Figure 37 : Résultat de l'optimisation 1	51
Figure 38 : L'amélioration de la qualité du signal	53
Figure 39 : Implantation de la liaison FH	53
Figure 40 : Les paramètres de la liaison FH.....	54
Figure 41 : Vérification du dégagement de la zone de Fresnel.....	54
Figure 42 : Vérification du dégagement de la zone de Fresnel après l'augmentation de la hauteur des antennes	55
Figure 43 : L'augmentation de la fréquence	55
Figure 44 : Vérification du dégagement de la zone de Fresnel après l'augmentation de la fréquence	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison entre la 2G et la 3G	4
Tableau 2 : Les paramètres pour le calcul de PIRE	31
Tableau 3 : Le modèle Okumura-Hata	36
Tableau 4 : Empreinte du site en fonction de nombre de secteurs.	38
Tableau 5 : Les différents paramètres d'entrée	44
Tableau 6 : La valeur du rayon de la cellule selon le signal de référence.....	45

SOMMAIRE

Introduction générale	1
CHAPITRE I : Généralité sur les faisceaux hertzien et la technologie LTE	
I. Introduction	2
II. Les faisceaux hertziens.....	2
II.1. Définition	2
II.2. Utilisation.....	3
II.3. Avantages.....	3
II.4. Inconvénients	3
III. Les réseaux cellulaires	3
III.1. Historique des réseaux cellulaires.....	3
III.2. Evolution du réseau 3G vers 4G	4
IV. La quatrième génération des téléphonies mobiles LTE	6
IV.1. Définition	6
IV.2. Architecture du réseau LTE	7
IV.2.1. Le réseau d'accée (E-UTRAN).....	7
IV.2.2. Le réseau cœur EPC.....	8
V. Les caractéristiquesfondamentales du réseau LTE	10
V.1. Le débit	10
V.2. Latence	11
V.2.1. Latence du plan contrôle	11
V.2.2. Latence du plan usager.....	11
V.3. La mobilité	11
V.4. L'agilité de fréquence	11
V.5. Les techniques d'accès.....	11
V.5.1. La technique OFDMA	11
V.5.2. La technique SC-FDMA	12
V.6. La technique MIMO (Multipl Input Multipl Output)	12
V.7. La structure de la trame LTE	13
V.7.1. La structure de la trame en mode FDD	13
V.7.2. La structure de la trame en modeTDD.....	13

V.8.	Le bolc de ressources pour la technologie LTE.....	14
V.9.	Les canaux	14
V.10.	Coexistence interconnexion avec le réseau 3G.....	15
V.11.	Evolution de la technologie LTE	15
VI.	Conclusion	16
CHAPITRE II :Dimensionnement des faisceaux hertzien et l'interface radio du réseau LTE		
I.	Introduction	17
II.	Dimensionnement du faisceau hertzien.....	17
II.1.	Le choix de la fréquence	17
II.2.	Les canaux de transmission	18
II.3.	Le choix de la modulation.....	19
II.4.	Le choix des équipements	20
II.5.	Le choix des antennes	20
II.6.	Le choix du support	20
II.7.	Etude de la faisabilité technique	21
II.7.1.	Les faisceaux hertziens : des liens à visibilité directe.....	21
II.7.2.	Le dégagement d'ellipsoïde de Fresnel.....	22
II.7.3.	Tenir compte de la courbure de la terre (Earth Bulge)	23
II.8.	Le bilan de la liaison faisceau hertzien	24
II.8.1.	Les différents éléments impliqués dans le calcule du bilan de la liaison.....	25
II.8.2.	Expression de la puissance reçue	25
II.9.	La dimarche à suivre	27
III.	Dimensionnement et planification de de l'interface radio du réseau LTE.....	28
IV.	Dimensionnement de l'E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network).....	29
IV.1.	Dimensionnement orienté couverture	29
IV.1.1.	Bilan de liaison radio	29
IV.1.2.	Modèle de propagation radio	35
IV.1.3.	Le rayon de la cellule	37
IV.1.4.	le calcule de nombre de site demandés	37
IV.2.	Dimensionnement orienté capacité	39
IV.2.1	Dimensionnement orienté capacité pour l'Uplink	39
IV.2.2.	Dimensionnement orienté capacité pour Downlink.....	40

IV.2.3. Nombre de sites demandés.....	41
V. Conclusion.....	41

CHAPITRE III :Dimensionnement et planification de l’interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l’aide des logiciels RND et Atoll

I. Introduction	42
II. Dimensionnement de l’interface radio du réseau LTE sous RND	42
II.1. Présentation du logiciel RND (Radio Network Dimensioning).....	42
II.2. Configuration du logiciel RND.....	43
II.2.1. Création d’un projet LTE.....	43
II.2.2. Introduire les valeurs pour les paramètre d’entrée	44
II.2.3. Calcul du rayon de la cellule.....	45
II.2.4. Le nombre de sites	45
III. Planification de l’intrface radio du réseau LTE sous Atoll.....	46
II.2. Présentation du logiciel Atoll.....	46
II.2.1. Configuration du logiciel Atoll.....	46
II.3. Phase de prédiction	49
II.4. ACP (Automatic Cell Planner)	50
II.5. Optimistion par modification des paramètres d’antenne	52
IV. Implantation d’une liaison FH dans le réseau d’accès LTE.....	53
IV.1. Implantation de la liaison FH sous Atoll	53
V. Conclusion.....	56
Conclusion générale et perspective	57

Bibliographie

Glossaire

Annexe 1

Introduction générale

Pendant la dernière décennie, le domaine des télécommunications a connu de très grandes évolutions notamment dans la nouvelle gamme de service qui a écarté les services classiques et qui a changé d'une façon remarquable le comportement et les préférences des clients, surtout avec l'émergence des nouvelles applications comme les jeux en lignes, TV mobile, partage des fichiers, Web 2.0 et l'interactive Streaming... Ainsi, l'opérateur se trouve dans une situation où il est obligé d'augmenter ses capacités (débit) et de réduire le coût par bit.

Ces nouvelles exigences du marché ont stimulé l'évolution des systèmes sans fil, notamment les systèmes faisceaux hertziens et les réseaux cellulaires, on parle ainsi du réseau LTE (Long Term Evolution)[3]. Ces deux systèmes ont été proposés pour répondre aux exigences des utilisateurs en matière de capacité, fiabilité, délai et disponibilité. C'est dans ce cadre que s'inscrit le problème de dimensionnement qui consiste à optimiser les coûts engendrés par l'installation et l'utilisation des deux systèmes. Un dimensionnement bien effectué, a pour but de déterminer les caractéristiques d'une installation lors de sa conception et aussi de réduire le temps de mise en marché, le coût des dépenses d'investissement ainsi que le coût des dépenses opérationnelles.

Au cours de ce travail, nous nous intéressons au dimensionnement de la liaison faisceau hertzien et l'interface radio de la technologie LTE d'une façon détaillée, c'est-à-dire, toutes les étapes de dimensionnement. Nous terminerons cette étude par une simulation d'un exemple de dimensionnement et de planification du réseau d'accès LTE et de la liaison FH à l'aide de deux logiciels RND (dimensionnement) et Atoll (planification) [4].

Ce travail est composé de trois chapitres, dans le premier chapitre, on commence par définir les faisceaux hertziens en citant leur domaine d'utilisation, les avantages et les inconvénients, ensuite on abordera le réseau 4G en passant par l'historique des différentes générations de la 2G jusqu'à la 4G, la migration de la 3G vers la 4G et l'architecture du réseau 4G. Le second chapitre sera consacré en premier lieu au dimensionnement des faisceaux hertziens qui nécessite l'établissement du bilan de liaison et le dégagement de la zone de Fresnel. En deuxième lieu, on entamera le dimensionnement de l'interface radio du réseau LTE qui comporte deux types de dimensionnement (orienté couverture et capacité). Enfin, le troisième chapitre sera consacré à la planification du réseau d'accès radio LTE et la liaison FH, en utilisant le logiciel de planification<<Atoll>>.

I. Introduction

Les réseaux des opérateurs téléphoniques ont été conçus initialement pour le trafic de la voix. Progressivement, la nature du trafic a évolué vers des services comme le multimédia et l'accès internet. Le déploiement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE a été anticipé par les opérateurs afin de mieux contrôler et de satisfaire les exigences des utilisateurs en termes de qualité de service. Dans ce chapitre, nous allons voir la définition des faisceaux hertziens, leur utilisation ainsi que les avantages et les inconvénients, ensuite nous allons nous intéresser à l'historique et à l'évolution des réseaux mobiles ainsi qu'à l'architecture du réseau 4G. Nous allons enfin clôturer ce chapitre par quelques caractéristiques fondamentales du réseau LTE.

II. Les faisceaux hertziens

II.1. Définition

Le faisceau hertzien est un système de transmission radioélectrique en hyperfréquence, il sert à transporter les données entre deux points fixes, ce qu'on appelle liaison point à point. Les stations successives peuvent être en visibilité directe ou au-delà de l'horizon (liaison transhorizon). Les faisceaux hertziens transhorizon utilisent la diffusion des ondes électromagnétiques dans la troposphère alors que les faisceaux hertziens en visibilité directe supposent un trajet entre antennes d'émission et de réception suffisamment dégagé de tout obstacle (liaison directe), cette liaison peut être unilatérale ou bilatérale. La figure ci-dessous montre les types de faisceaux hertziens.

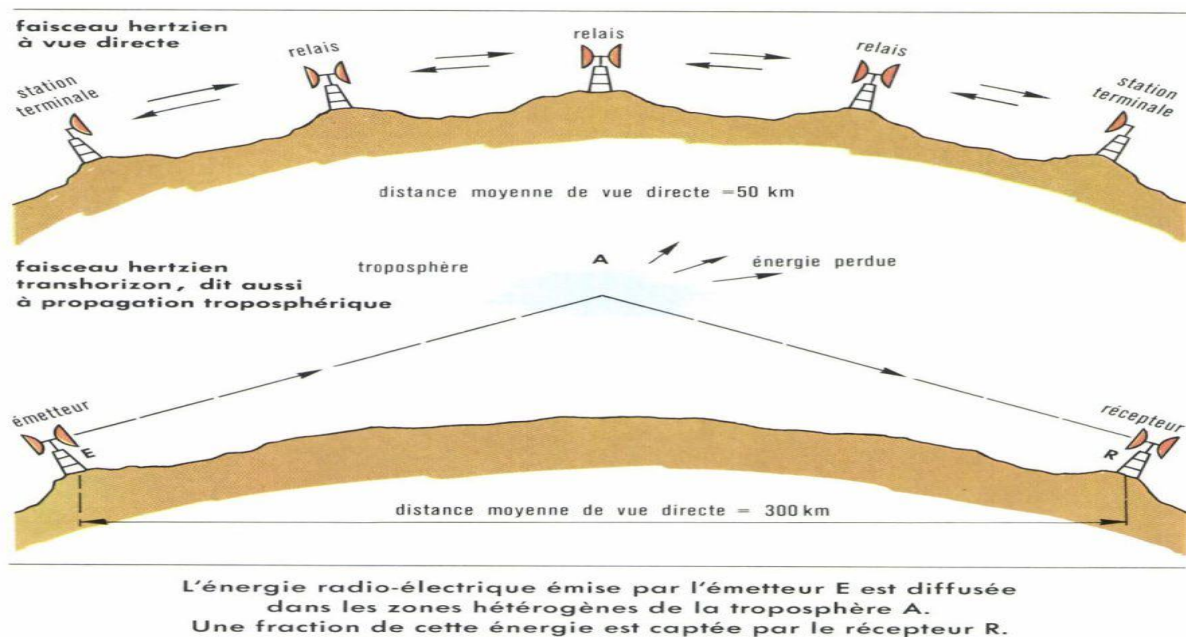


Figure 1 : Représentation de faisceau hertzien en visibilité directe et en transhorizon.

Remarque : Dans ce travail, on se limite à l'étude des faisceaux hertziens en visibilité directe, qui sont les plus répondus, ainsi qu'aux liaisons bilatérales.

II.2. Utilisation

Les faisceaux hertziens utilisent la liaison point à point en hyperfréquence pour la transmission des données. Ils permettent de minimiser la perte de puissance et la concentrer dans un sens bien précis à l'aide des antennes très directives, la bande de fréquences utilisée est comprise entre 1 à 40 GHz [1]. Elle dépend du débit et de la distance entre les deux points.

Les faisceaux hertziens sont utilisés dans différentes technologies, entre autres, les réseaux cellulaires : les liaisons entre les cellules voisines, le réseau cœur et la station de base pour la transmission des données et de la voix.

II.3. Avantages

- D'une infrastructure simple, les faisceaux hertziens permettent d'atteindre des sites difficiles d'accès (régions montagneuses).
- Le coût d'installation et de déploiement est faible.
- Très sécurisé.
- Débit élevé.

II.4. Inconvénients

- L'obligation de la visibilité entre les deux sites à interconnecter.
- La sensibilité à la perturbation atmosphérique (pluie, neige...).
- Le régénérateur de signal transmis est plus cher que le câble et la fibre optique.
- Exploitation sous licence, sur certaines fréquences.

III. Les réseaux cellulaires

III.1. Historique des différentes générations

Plusieurs générations ont connues une évolution rapide et remarquable, le développement des différentes techniques radio mobile n'a pas cessé d'accroître depuis plusieurs années, en apportant plusieurs avantages tels que, un débit exceptionnel et une bande passante plus large qui a permis d'augmenter le nombre d'utilisateur.

Chapitre I : Généralités sur les faisceaux hertziens et la technologie LTE

La figure ci-dessous montre les évolutions des différentes techniques radio mobile.

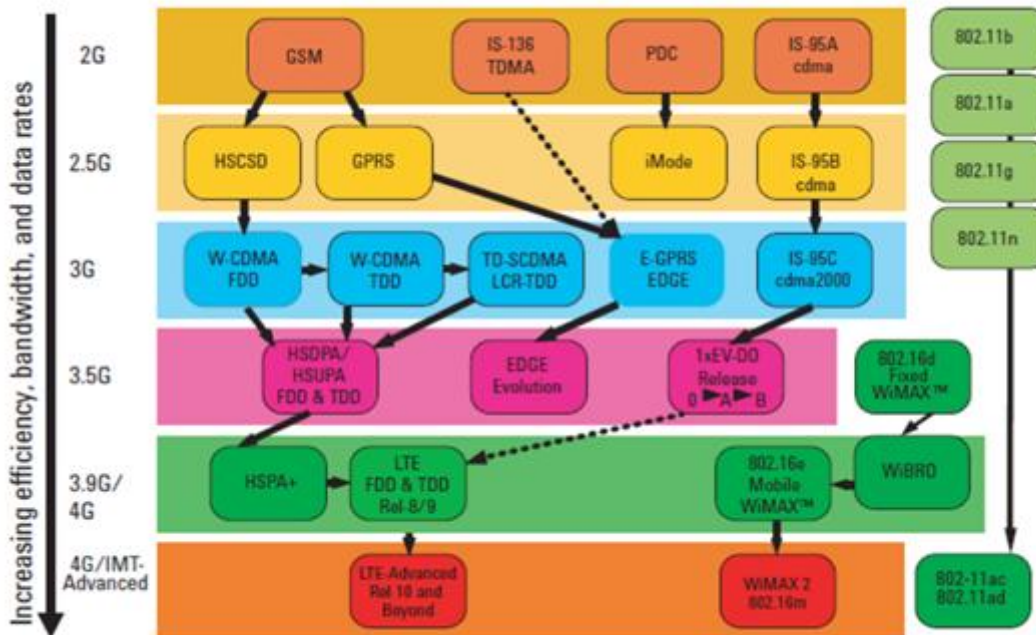


Figure 2 : Evolution des différentes techniques radio mobile.

Le tableau suivant montre une comparaison de la 2G jusqu'à 3G selon la norme 3GPP :

Technologie Caractéristiques	GSM	GPRS	EDGE	UMTS/WCDMA
Débit de données	9.6 kbps	171.2 kbps	384 kbps	2 Mbps
Modulation	GMSK	GMSK	GMSK 8PSK	QPSK
Méthode d'accès multiple	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	Direct Sequence CDMA
Bandes de fréquence (MHz)	Uplink 890-915 Downlink 935-960	Uplink 890-915 Downlink 935-960	Uplink 890-915 Downlink 935-960	Uplink 1920-1980 Downlink 2110-2170
Espace porteuses RF	200 KHz	200 KHz	200 KHz	5000 KHz
Intervalle entre trames	4.615 ms (8 Time Slots)	4.615 ms (8 Time Slots)	4.615 ms (8 Time Slots)	10 ms (16 Time Slots)

Tableau 1: Comparaison entre la 2G et la 3G.

III.2. Evolution du réseau 3G vers 4G

Le réseau 3G a considérablement évolué, en effet, l'UMTS a passé par différentes technologies vers LTE, ce qui est illustré dans la figure 3.

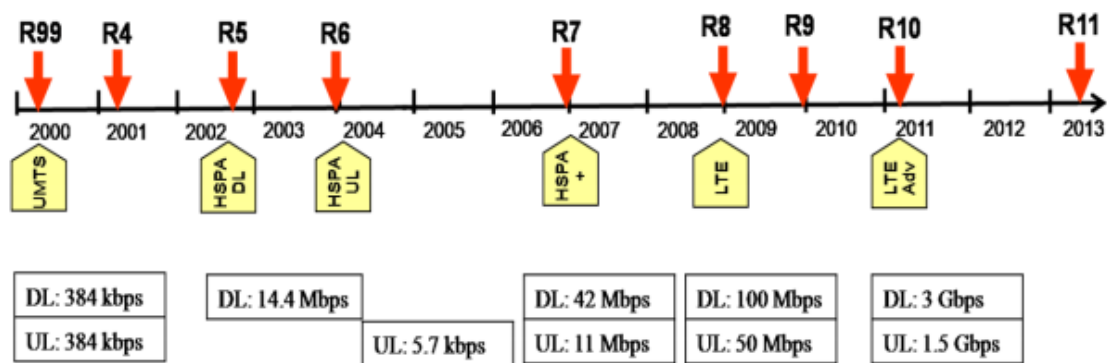


Figure 3 : Évolution des systèmes cellulaires de 3G vers 4G.

La technologie UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) connue aussi sous le nom Release 99, est limitée à un débit de 384 Kbps [2]. En tenant compte de cette limite et face aux autres technologies concurrentes tel que le WIMAX. Le standard de normalisation 3GPP (Third Generation Partnership Project) a décidé d'améliorer cette norme. Les améliorations sont citées ci-dessous :

- Le High Speed Downlink Packet Access (abrégé en HSDPA), est une amélioration radio du lien descendant avec un débit de 14.4 Mbps développée pour la téléphonie mobile (3.5G ou 3G+). Il offre des performances dix fois supérieures à la 3G (UMTS).
- Le standard HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), est une évolution de la performance radio du lien montant avec un débit de 5.8 Mbps, dont les spécifications ont été publiées par le 3GPP dans la « release 6 ». HSUPA est un complément de HSDPA pour la voie montante.
- HSPA+ (High Speed Packet Access+), est une évolution de la technologie HSPA. Cette technique est introduite en 2007, à partir de *Release 7*. Elle permet d'atteindre un débit de l'ordre de 42 Mbps en voie descendante et 11 Mbps en voie montante. Il apparaît comme une solution technologique permettant d'assurer la transition vers la technologie LTE (Long Term Evolution), qui permet d'atteindre un débit de 50 Mbits/s en lien montant et 100 Mbits/s en lien descendant. [3]

Remarque : Les modifications des spécifications approuvées par le standard 3GPP sont associées à une release. Une release est un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP, dans une période de temps donnée.

➤ Le 3GPP a défini onze releases entre 1998 et 2013 :

- **Release 97 :** définition du GPRS ;
- **Release 99 :** introduction de l'UMTS ;
- **Release 4 :** ajout de fonctionnalités au sein du réseau Cœur, notamment la séparation des couches média et contrôle pour le réseau cœur circuit ;
- **Release 5 :** introduction de l'évolution HSDPA pour réseau d'accès UMTS ;
- **Release 6 :** introduction de l'évolution HSUPA pour réseau d'accès UMTS ;
- **Release 7 :** introduction du HSPA+ et MIMO ;
- **Release 8 :** introduction des évolutions (HSPA+, CPC et DC-HSDPA) et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau Cœur EPC ;
- **Release 9 :** évolution du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec MIMO, introduction du DC-HSUPA, seconde release du LTE.

Les autres releases (10, 11, 12) sont des fonctionnalités et des évolutions introduites pour l'amélioration de la technologie LTE, par la suite on parlera de ces dernières releases.

IV. La quatrième génération des téléphones mobiles LTE

IV.1. Définition

La technologie LTE (long Term Evolution) est un réseau cellulaire destiné à la téléphonie mobile, cette technologie s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP, elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement aux autres technologies qui transportent la voix en mode circuit.

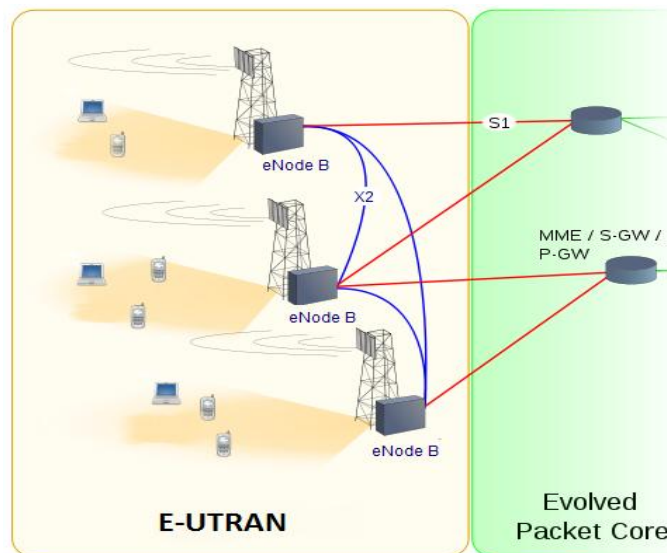


Figure 5 : Architecture E-UTRAN

Les eNodeBs assurent la transmission et la réception radio avec équipement utilisateur et aussi avec EPC, elles permettent aussi d'assurer la gestion des ressources radio, la compression des données, la sécurité de signalisation contre l'écoute, etc.

Elles sont constituées de deux interfaces :

- ✓ L'interface S1 : composée de S1-C (S1-Contrôle) qui est utilisée entre eNodeB et MME (mobility Management Entity), ainsi que de S1-U (S1-Usager) qui est situé entre eNodeB et S-GW (serving Gateway).
- ✓ L'interface X2 : utilisée entre les eNodeBs adjacents, elle permet de minimiser la perte des paquets lorsqu'un usager se déplace en mode ACTIF d'une eNodeB à l'autre en allouant des nouvelles ressources radio, cette interface permet donc au réseau de continuer d'envoyer les paquets vers l'ancienne eNodeB et grâce à cette interface l'ancienne eNodeB achemine les paquets vers la nouvelle eNodeB où se trouve l'abonné. Les interfaces S1, X2 sont réalisées par des liaisons cuivre, fibre optique et aussi par des liaisons faisceaux hertziennes.

IV.2.2. Le réseau cœur EPC

Le cœur du réseau LTE utilise des technologies IP (Full IP), tous les services offerts par le noyau de réseau LTE sont basés sur le protocole internet à savoir le transport de données, la

Chapitre I : Généralités sur les faisceaux hertziens et la technologie LTE

voix (VOIP), la signalisation et tous les services de téléphonie. Il permet aussi l'interconnexion via des routeurs avec eNodeBs.

L'utilisation du protocole IP de bout-en-bout dans le réseau cœur permet de réduire la latence pour l'accès internet et les appels vocaux LTE. La figure ci-dessous illustre l'architecture du réseau cœur avec les différents éléments.

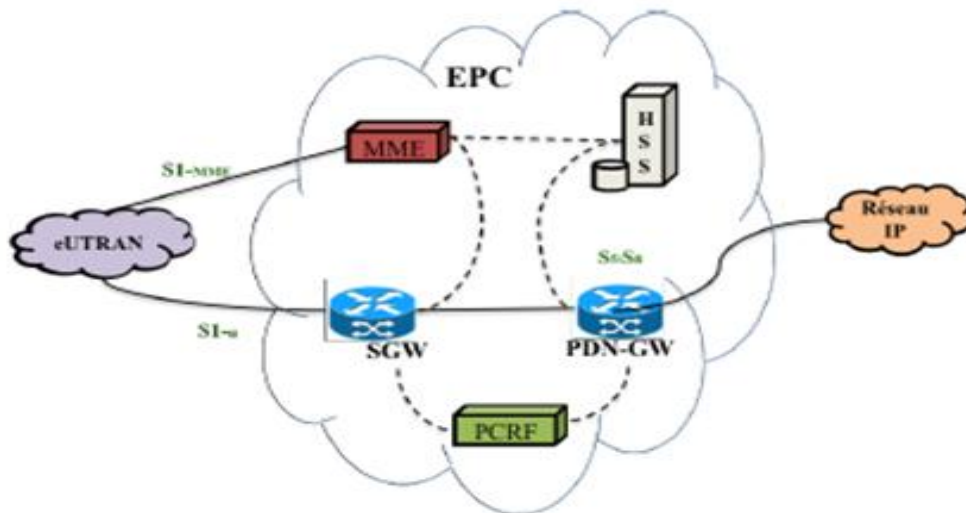


Figure 6 : Architecture globale EPC (Evolved Packet Core).

Le réseau cœur est constitué de cinq principales entités :

➤ L'entité MME (Mobility Management Entity)

MME assure plusieurs fonctions, parmi les basiques fonctionnalités la signalisation via des protocoles tels que EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS session Management) avec l'abonné pour assurer la joignabilité et la pagination. Il fournit des informations nécessaires à l'identification temporaire d'UE au moment de son authentification dans le réseau en se servant des informations provenant du HSS. Il permet de localiser l'utilisateur et de connaître l'état de son mobile (repos, connecté). Il assure aussi d'autres fonctions telles que le choix du S-GW (Serving Gateway) pour un UE, la gestion des sessions des utilisateurs authentifiés...

➤ L'entité HSS (Home Subscriber Server)

La base de données HSS est présentée comme une évolution d'HLR (Home Location Register), cette base stocke les informations d'abonnements pour le contrôle d'appels et la

gestion des sessions des UEs réalisés par le MME, elle contient aussi les informations d'authentification des utilisateurs pour leurs identifications, les informations de numérotation des utilisateurs ainsi que le profil de services auxquels ils se sont abonnés. Il stocke les informations de souscription pour les autres réseaux, comme le GSM, le GPRS, la 3G.

➤ **L'entité S-GW (Serving Gateway)**

La passerelle S-GW permet de connecter les réseaux LTE entre eux et à d'autres réseaux cellulaires (2G, 3G...), elle est capable de faire des transferts de données d'un relai à un autre. Elle assure également l'acheminement des données entre le réseau d'accès radio et la passerelle PDN GW. De plus, en cas d'échange entre des eNodeBs, elle sert de point d'ancrage qui relie les paquets à la nouvelle eNodeB.

➤ **L'entité PDN GW (Packet Data Network Gateway)**

Le réseau cœur de la technologie LTE contient une passerelle PGW qui assure la connexion de l'opérateur vers des réseaux externes tels que les réseaux IP, PSTN et les réseaux non 3GPP. L'entité PGW agit comme un routeur par défaut en acheminant les requêtes des utilisateurs et comme un pare-feu en filtrant leurs paquets, elle est responsable d'allocation d'adresses IP pour chaque usager et comptabilise les octets échangés dans la session de ce dernier pour des fins de facturation.

➤ **L'entité PCRF (Policy & Charging Rules Function)**

Le PCRF réalise deux fonctions essentielles : la première consiste en gestion de la qualité de service réclamée par le réseau en allouant les porteuses appropriées, la deuxième tâche concerne les règles de taxation que le PCRF fournit au PGW pour que ce dernier (PGW) puisse différencier les flux de données de service et les taxer de façon appropriée.

V. Les caractéristiques fondamentales du réseau LTE

La technologie LTE permet d'avoir des performances et une qualité de service très fiables, le but de cette technologie est d'améliorer le support des services de données en augmentant la capacité, le débit et de réduire la latence.

V.1. Le débit

Le réseau LTE offre un débit maximum de 50 Mbps en lien montant et de 100 Mbps en lien descendant pour une bande passante de 20 MHz.

V.2. Latence

V. 2.1. Latence du plan de contrôle

La latence du plan de contrôle est définie par le temps de transition entre un état repos de terminal mobile et un état connecté, l'objectif de la technologie LTE est d'améliorer cette latence par rapport à la technologie UMTS via un temps de transition inférieur à 100ms. [3]

V.2.2. Latence du plan usager

La latence du plan usager correspond au délai de transmission du paquet IP d'un utilisateur au sein du réseau d'accès radio. La technologie LTE vise une latence du plan usager inférieur à 5ms [3] dans une situation de non-charge du réseau et dans le cas des paquets de petite taille.

V.3. La mobilité

La mobilité, c'est la capacité à véhiculer dans des bonnes conditions le trafic donné, en termes de disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, taux de perte de paquets, etc. La technologie LTE vise à rester fonctionnel pour des UEs qui se déplacent à des vitesses élevées (jusqu'à 500 km/h) en fonction de la bande de fréquence.

V.4. L'agilité de fréquence

Il est possible dans la technologie LTE d'opérer avec des bandes de taille différente : 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20 MHz. Cette variété permet aux opérateurs de choisir une bande selon le débit demandé, l'opérateur peut atteindre un débit maximum en lien montant de 50 Mbps et 100 Mbps en lien descendant.

V.5. Les techniques d'accès

Pour une meilleure gestion des ressources radio (un débit plus important et une meilleure efficacité spectrale), la technologie LTE a défini deux techniques d'accès à savoir l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour la liaison descendante et SC-FDMA (Single Carrier Orthogonal Frequency Multiple Access) pour la liaison ascendante.

V.5.1. La technique OFDMA

La technique d'accès OFDMA permet de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses les signaux à transmettre sous forme des symboles OFDM, l'espacement entre sous-porteuses en LTE est fixé à 15 kHz [4]. L'utilisation de la technique OFDMA permet d'éviter les interférences

intra-symboles. Au sein du signal OFDM, il est possible de choisir entre trois types de modulation QPSK, 16QAM et 64QAM.

La figure ci-dessous illustre le principe de la technique d'accès OFDMA

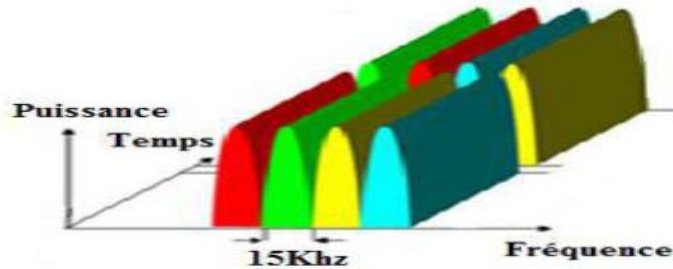


Figure 7 : Le principe de la technique OFDMA.

V.5.2. La technique SC-FDMA

Le principe de la technique SC-FDMA consiste à transmettre sur une même sous-porteuse les différents symboles en série.

La figure suivante montre le principe de cette technique.

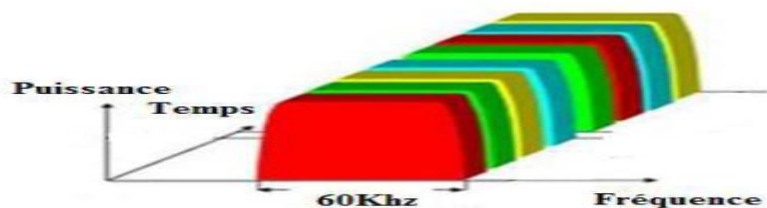


Figure 8 : Le principe de la technique SC-FDMA.

V.6. Technique MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Cette technique se base sur l'utilisation de plusieurs antennes en émission et en réception dans le but d'augmenter le débit et d'avoir une bonne couverture.

V.7. La structure de la trame LTE

La partie radio du réseau LTE utilise deux structures de trames, une structure du type 1 en mode FDD (Frequency Division Duplex) et une autre en mode TDD (Time Division Duplex).

V.7.1. La structure de la trame en mode FDD

La trame utilisée dans le réseau d'accès radio pour le mode FDD a une taille de 10 ms, cette période est divisée en 10 intervalles de temps de taille égale donc à 1ms. Chaque sous-trame (sub-frame) est divisée aussi en deux intervalles de temps consécutifs de taille 0.5 ms (time-slot).

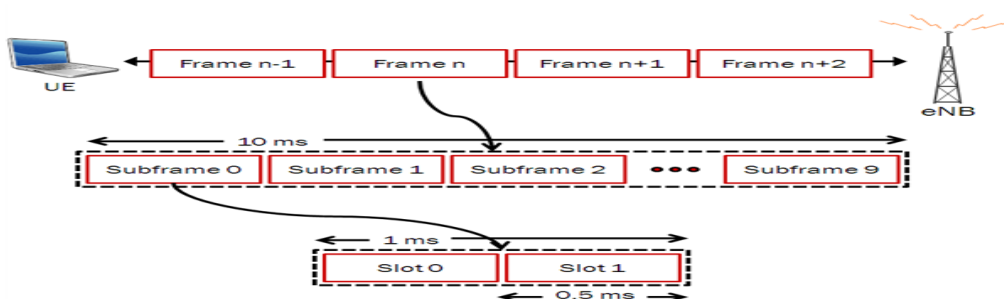


Figure 9 : La structure de la trame en mode FDD.

V.7.2. La structure de la trame en mode TDD

La taille de la trame TDD est de 10 ms, cette trame est divisée en deux demi-trames de taille 5ms. Chaque demi-trame contient 5 sous-trames de 1 ms comme la montre la figure ci-dessous. Chaque sous-trame est définie comme un intervalle de temps de taille 0.5ms, les sous-trames spéciales comprennent 3 catégories DwPTS (Downlink Pilot Timeslot), GP (GuardPeriod), UpPTS (UplinkPilotTimeslot) de taille 1 ms.

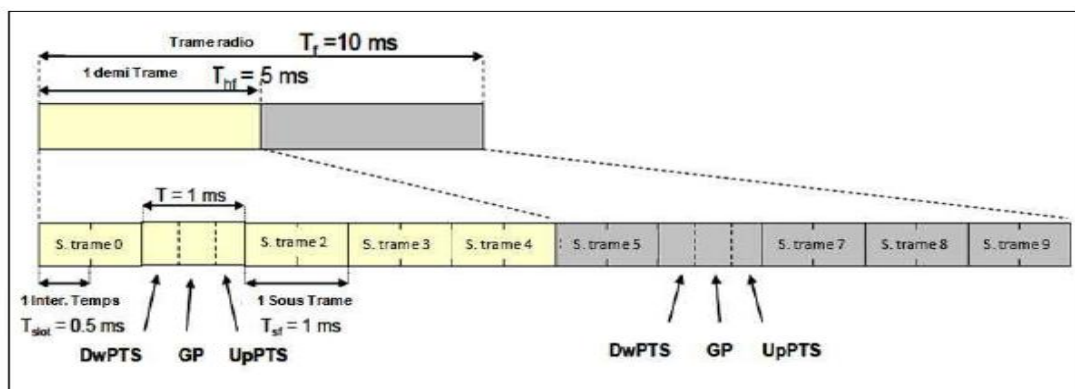


Figure 10 : Structure de la trame en mode TDD.

V.8. Le bloc de ressources pour la technologie LTE

Le bloc de ressources (PRB) est constitué en domaine fréquentiel de 12 sous-porteuses, chacune de largeur 15 kHz, en tout 180 kHz. En domaine temporel, un slot de 0.5 ms contient 7 symboles pour chaque sous-porteuse donc en tout on aura 84 symboles pour un bloc de ressources. Un logement est de 0,5 ms peut contenir N blocs de ressources [$6 < N < 110$] en fonction de l'allocation de bande passante et la disponibilité des ressources.

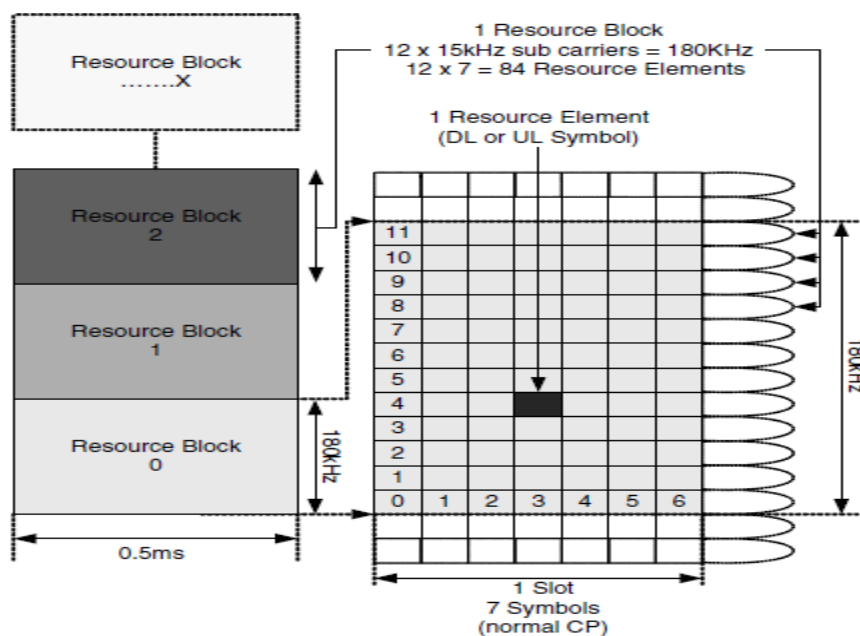


Figure 11 : Les blocs de ressource PRB.

V.9. Les canaux

Les canaux utilisés dans la partie radio (E-UTRAN) du réseau LTE permettent d'identifier les types de données transportées sur cette interface, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission et d'adapter cette partie radio aux grand nombre d'applications utilisées. On distingue trois classes de canaux pour les deux liaisons (montante et descendante) : les canaux physiques, les canaux de transport et les canaux logiques.

- Canaux physiques : transportent les données utilisateur et les messages de contrôle.
- Canaux de transport : fournissent les informations de transfert à la Medium Access Control (MAC) et aux couches supérieures.
- Canaux logiques : fournissent des services au niveau de la couche MAC à l'intérieur de la structure protocolaire de la LTE.

➤ Les différents canaux sont présentés dans l'annexe 1.

La figure ci-dessous montre ces trois types de canaux :

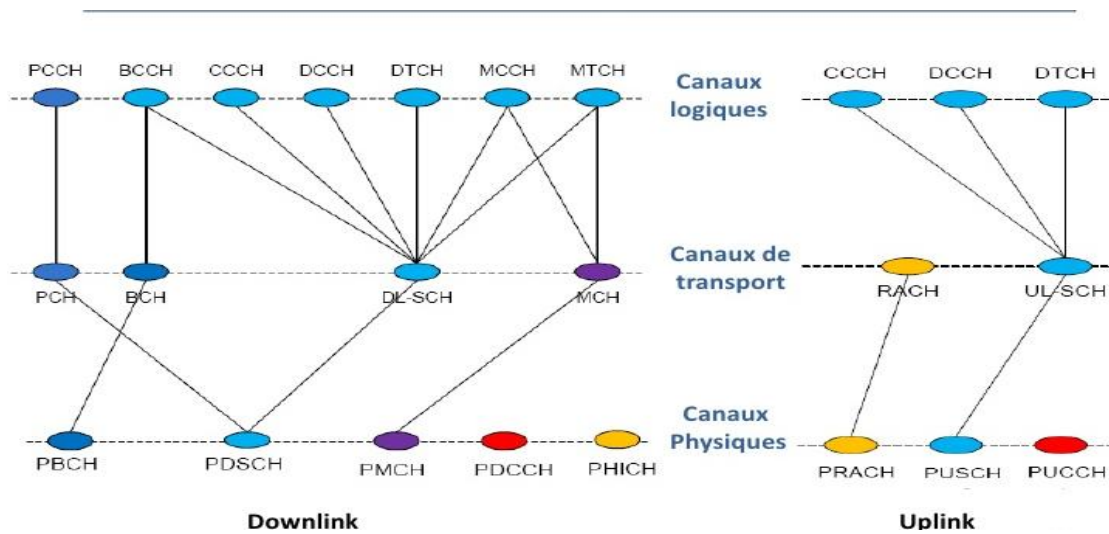


Figure 12 : Le mappage des canaux de la technologie LTE.

V.10. Coexistence et interconnexion avec le réseau 3G

La technique du handover entre E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) et celle d'UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) doit être réalisée en moins de 300ms pour les services temps réels et 500ms pour les services non-temps réels [4].

V.11. Evolution de la technologie LTE

L'introduction de la technologie LTE a commencé à la Release 8 de 3GPP. Le réseau LTE a continué à se développer et les améliorations apportées à partir de la Release 10 sont regroupées sous le terme LTE-Advanced. La LTE-Advanced sera capable de fournir à l'utilisateur une connexion IP avec des débits supérieurs à 1 Gb/s. [4]

La figure 13 représente les évolutions de la LTE :

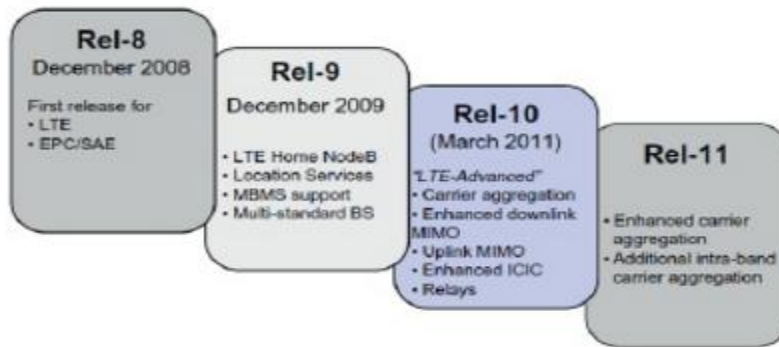


Figure 13 : Evolution de la technologie LTE.

VI. Conclusion

Une bonne connaissance des communications sans fil permet aux opérateurs de bien gérer les ressources, de faciliter l'évolution de leur réseau en intégrant des techniques plus performantes. Dans ce chapitre, nous avons donné une définition générale des faisceaux hertziens, le domaine de leurs utilisations, ainsi que leurs avantages et inconvénients, ensuite nous avons présenté l'évolution des réseaux cellulaires, une introduction de la norme LTE en précisant son architecture d'une façon détaillée et enfin nous avons clôturé cette partie par la présentation des caractéristiques fondamentales de cette norme tout en précisant ses évolutions.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

I. Introduction

Après une introduction générale sur les faisceaux hertziens et la technologie du réseau 4G LTE, nous entamons dans le présent chapitre le dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE. Nous commençons par cerner les données indispensables au processus de dimensionnement des deux systèmes, ensuite nous allons introduire les calculs mathématiques nécessaires au dimensionnement.

II. Dimensionnement du faisceau hertzien

Avant de déployer une liaison émetteur/récepteur pour les systèmes radio, il est nécessaire de faire un ensemble de mesures afin que le récepteur puisse recevoir l'information convenablement. Dans cette partie, nous allons procéder au dimensionnement du faisceau hertzien. Pour réussir à établir la liaison de ce dernier, il faut vérifier la visibilité, prendre en considération les perturbations atmosphériques, choisir une bande de fréquence, une modulation et une puissance pour interconnecter les deux points. En effet, tous ces critères sont dépendants du débit souhaité par les clients, le matériel disponible et l'emplacement géographique des deux sites.

II.1. Le choix de la fréquence

Le choix de la fréquence est essentiel dans les liaisons faisceaux hertziens, puisque la fréquence est proportionnelle à la longueur d'onde, ce que montre l'équation (1). En effet, la longueur d'onde joue un rôle capital dans les faisceaux hertziens.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

λ : la longueur d'onde en (m),

c : la vitesse de la lumière en (m/s),

f : la fréquence en (Hz).

Dans ce système, on utilise des hyperfréquences de 1GHz à 40GHz afin qu'on puisse utiliser des antennes très directives et augmenter la capacité de transmission. Le choix de la fréquence revient :

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

- à la distance entre les deux points,
- au débit souhaité,
- au dégagement de tout obstacle physique et atmosphérique.

II.2. Les canaux de transmission

Dans les transmissions bilatérales, il faut au moins deux canaux pour transmettre un signal sur un trajet donné et chaque canal a sa propre fréquence. L'utilisation de ces canaux demande, cependant, une bonne gestion afin d'éviter d'avoir des brouillages (figures 14 et 15).

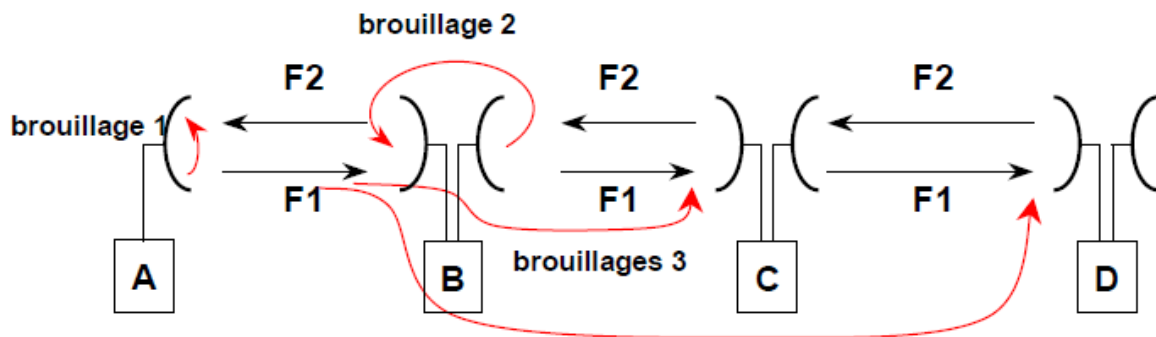


Figure 14 : Brouillages dus à l'utilisation d'une fréquence pour un sens unique.

- ⇒ **Brouillage 1** : Le niveau fort F1 perturbe la réception du niveau faible F2 (filtrage insuffisant).
- ⇒ **Brouillage 2** : Le niveau fort F1 perturbe la réception du niveau faible F1 (lobe arrière de l'antenne).
- ⇒ **Brouillage 3** : Le niveau faible F1 perturbe la réception du niveau faible F1 (résistance aux brouilleurs co-canaux).

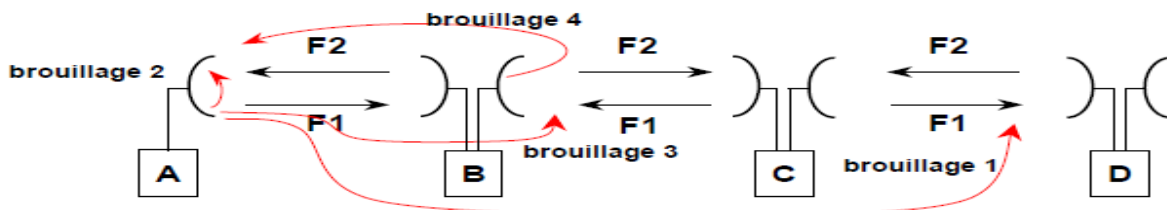


Figure 15 : Brouillages dus à l'utilisation d'une fréquence pour les deux sens dans une station relais.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

- ⇒ **Brouillage 1** : Brouillage de la réception en D par l'émission en A.
- ⇒ **Brouillage 2** : Le niveau fort F1 perturbe la réception du niveau faible F2.
- ⇒ **Brouillage 3** : Le niveau faible F1 perturbe la réception de l'autre niveau faible F1.
- ⇒ **Brouillage 4** : Brouillage émis en B par le lobe arrière de l'antenne.

Cependant pour réduire les brouillages, il faut :

- ✓ utiliser la polarisation verticale et horizontale, et si on a plusieurs canaux pour l'émission et la réception, on fait la polarisation verticale pour les canaux pairs et horizontale pour les canaux impairs.
- ✓ faire le croisement des fréquences et le changement de polarisation dans le cas où la liaison contient des stations-relais.

II.3. Le choix de la modulation

L'onde électromagnétique est un signal sinusoïdal de haute fréquence, la plupart des signaux à transmettre sur les faisceaux hertziens sont analogiques (audio, vidéo, données), c'est-à-dire des signaux qui utilisent des fréquences basses et des longueurs d'onde grandes. Leur transmission directe sur le support (transmission en bande de base) cause donc un problème majeur : la longueur des antennes sera grande et peut atteindre des kilomètres. Pour pallier ce problème, on fait varier les paramètres de la porteuse pour moduler le signal. Les FHs utilisent les différents types de modulations tels que QPSK, 8-PSK, 4-QAM, 16-QAM... Le choix du type de modulation dépend des exigences des clients en termes de débit d'informations à transmettre. L'utilisation d'une largeur de bande élevée, permet d'augmenter l'efficacité spectrale et aussi le nombre d'états de la modulation, ce qui signifie une augmentation de la capacité du système. Généralement, les FHs utilisent la modulation QAM, l'accent serait donc mis sur le choix du nombre d'états de la modulation.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

II.4. Choix des équipements

Le choix des équipements dépend du débit souhaité par les abonnés, de la fréquence utilisée. Pour les faisceaux hertziens, on utilise trois types des hiérarchies numériques PDH, SDH et IP.

Ces trois hiérarchies génèrent des trames des débits différents transportés par les faisceaux hertziens.

II.5. Le choix des antennes

Les faisceaux hertziens utilisent la gamme des antennes directives. Ce type d'antennes a la particularité de focaliser la puissance dans une direction privilégiée. Une antenne parabolique permet de réfléchir les ondes et de concentrer toute l'énergie dans une direction privilégiée en limitant ainsi la dispersion de l'énergie radioélectrique.

Les principaux paramètres de choix d'une antenne FH sont sa fréquence et son gain qui est corrélé avec le diamètre. Le gain augmente avec la direction de propagation et l'angle de couverture diminue.

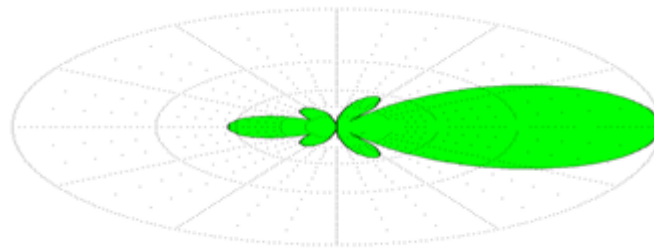


Figure 16 : Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle à -3 dB.

II.6. Choix du support

Le support choisi dépend du type, du nombre, de la hauteur des antennes qu'il abritera et aussi des restrictions sur la hauteur de ces supports par rapport à des infrastructures comme l'aéroport.

Le choix du support se porte aussi sur la vitesse du vent dans une zone donnée. Si, par exemple, une région connaît une haute pression de vent et/ou le nombre d'antennes nécessaires à mettre dans ce support dépasse quatre, il faut opter pour un support lourd capable de résister ou utiliser

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

des antennes à grilles dont le principe fondamental est de contourner la force du vent au lieu de lui résister.

II.7. Etude de la faisabilité technique

II.7.1. Les faisceaux hertziens : des liens à visibilité directe...

Pour que la liaison faisceau hertzienne fonctionne correctement, la visibilité directe entre les deux points doit être dégagée de tout obstacle physique (bâtiments, arbres, toits de construction...) et aussi de tout obstacle topographique (collines, montagnes, etc.). La ligne de vue (LOS) permet de repérer les deux points de la liaison grâce à une paire de jumelles, mais en cas de présence d'obstacles, elle n'est plus suffisante pour dire que les deux points sont en visibilité directe, parce qu'on ne peut pas apercevoir l'impact des obstacles vu que la longueur d'onde du visible est nettement inférieure à celle de la radio et aussi l'onde radio ne se propage pas selon un sens privilégié mais disperse dans toutes les directions.

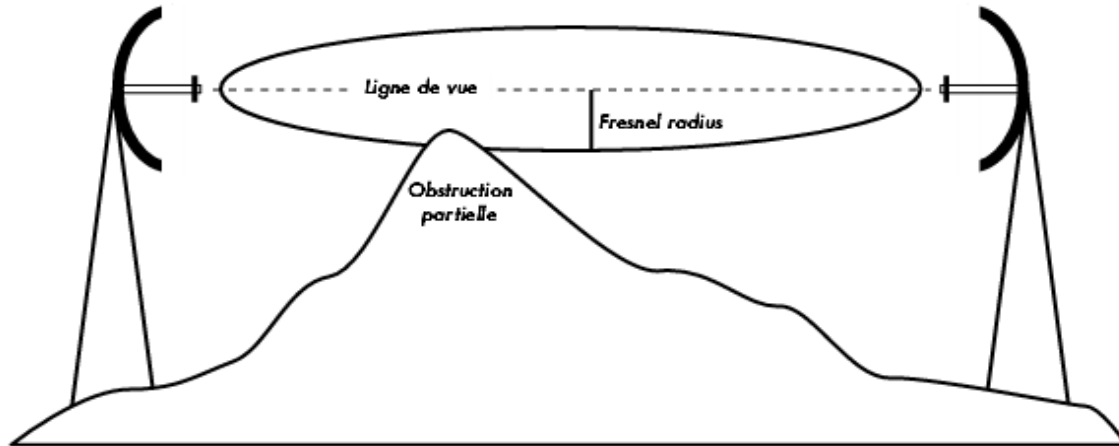


Figure 17 : Ligne de vue (Line Of Sight).

L'étape suivante est la vérification de la première zone de Fresnel, puisque c'est à base de cette zone qu'on peut communiquer entre deux points.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

II.7.2. Le dégagement d'ellipsoïde de Fresnel

Pour l'établissement d'une liaison FH, le souci majeur que rencontrent les ingénieurs est l'étude des zones de Fresnel. L'étude de ces zones porte sur le calcul du rayon de l'ellipsoïde pour assurer une communication entre émetteur et récepteur similaire à celle de l'espace libre.

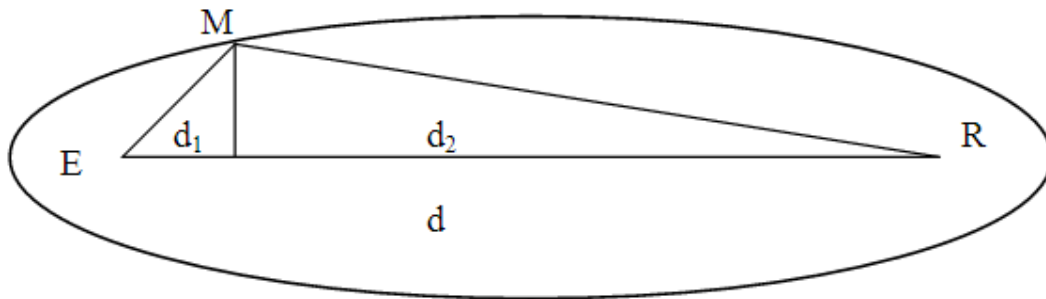


Figure 18 : Détermination des ellipsoïdes de Fresnel.

L'équation de l'ellipsoïde de Fresnel est comme suit :

$$EM+MR=ER+\frac{n\lambda}{2} \quad \text{avec } n=1,2,\dots \quad (2)$$

Ces ellipsoïdes sont de trois dimensions de rayon d'ordre n (r_n). Les valeurs de n définissent une famille d'ellipsoïde.

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} = 17,32 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad (3)$$

n : nombre entier qui caractérise l'ellipsoïde considéré,

r_n : rayon d'ordre n en m,

d1 : distance entre l'émetteur et le point r en km,

d2 : distance entre le récepteur et le point r en km,

f : fréquence en GHz.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

L'ellipsoïde le plus intéressant est le premier (n=1), puisqu'il délimite la région de l'espace où passe la plus grande partie de l'énergie et donc la région qui a moins d'obstacles par rapport à d'autre ellipsoïde, il permet donc de définir la propagation en visibilité. Dans le cas où il y a la présence d'un obstacle, il suffit de dégager 60% [5] du premier ellipsoïde de Fresnel pour que le niveau du signal reçu soit égal à celui de l'espace libre. Pour cela, il est nécessaire de calculer r_{\min} qui est la distance minimale entre la ligne de visibilité et l'obstacle.

$$r_{\min} = 0,6 \cdot 17,32 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad (4)$$

Cette équation est valable dans le cas où la distance est petite, la courbure de la Terre n'est pas prise en considération. Mais dans les longs bonds cette courbe va influencer sur la visibilité.

II.7.3. Tenir compte de la courbure de la Terre (Earth Bulge)

A partir des distances de 11.2 km [6], l'effet de la courbure de la Terre sera significative c'est-à-dire elle affecte la visibilité directe entre les deux points, par conséquent il faut en tenir compte.

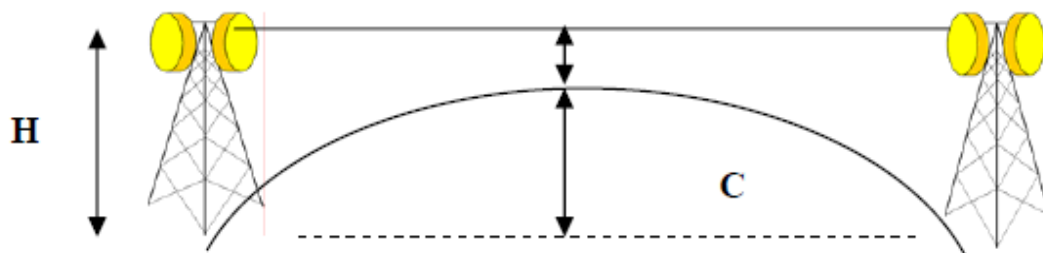


Figure 19 : La courbure de la Terre affecte la visibilité directe.

L'effet de la courbure de la Terre est démontré par l'équation suivante :

$$C = \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot k \cdot R_0} \quad (5)$$

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

d_1, d_2 : Les distances séparant chaque extrémité de l'obstacle en km,

k : Le coefficient de réfraction égal à 4/3,

R_0 : Le rayon de la Terre pris à 6370 en km.

La hauteur des antennes :

$$H_{\text{ant}} = 17,32 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} + C + h_{\text{obstacle}} \quad (6)$$

La hauteur minimale des antennes :

$$H_{\text{ant min}} = 0,6 \cdot 17,32 \cdot \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} + C + h_{\text{obstacle}} \quad (7)$$

Tenir compte de la poussée des arbres

En cas de présence d'arbres au dessous de l'ellipsoïde de Fresnel, il convient de tenir compte de leur poussée future, et ce, en ajoutant au minimum 3 m [6] à la hauteur de l'antenne.

Des solutions pour dégager la zone de Fresnel

Dans le cas où la zone de Fresnel n'est pas dégagée suffisamment, on va suivre par ordre les solutions suivantes :

- L'augmentation de la fréquence,
- L'augmentation de la hauteur de l'antenne,
- Le changement de parcours,
- L'utilisation des stations-relais.

II.8. Le bilan de la liaison faisceau hertzien

Avant de dimensionner un système de radiocommunication, il est nécessaire d'effectuer le calcul du bilan de liaison qui permet d'évaluer la marge de système, c'est-à-dire, déterminer si le niveau de puissance reçue par le récepteur sera suffisante pour que la liaison fonctionne correctement. Avant d'entamer cette phase, il faut d'abord fixer un taux d'erreur binaire qui varie de 10^{-3} à 10^{-6} [1] pour fixer le seuil de réception.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

II.8.1. Les différents éléments impliqués dans le calcul du bilan de la liaison

Dans le cas général, ces éléments sont :

- ⇒ **Emetteur** : Il est caractérisé par sa puissance émise, exprimée en dBm.
- ⇒ **Liaison émetteur- antenne émission** : elle est généralement réalisée en câble coaxial ou guide d'onde, exprimée en dB.
- ⇒ **Antenne émission** : Elle est caractérisée par son gain d'antenne, exprimé en dBi.
- ⇒ **Distance d** : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. Elle est caractérisée par son atténuation L_p (atténuation en espace libre et les autres atténuations dues aux conditions climatiques et atmosphériques), exprimée en km.
- ⇒ **Antenne réception** : Elle est caractérisée par son gain d'antenne, exprimé en dBi.
- ⇒ **Liaison antenne réception- récepteur** : comme la liaison émetteur-antenne émission, elle est exprimée en dB.
- ⇒ **Récepteur** : Le paramètre qui nous intéresse ici est PR, puissance reçue par le récepteur, elle est généralement exprimée en dBm.

La figure suivante montre ces différents éléments impliqués dans la liaison.

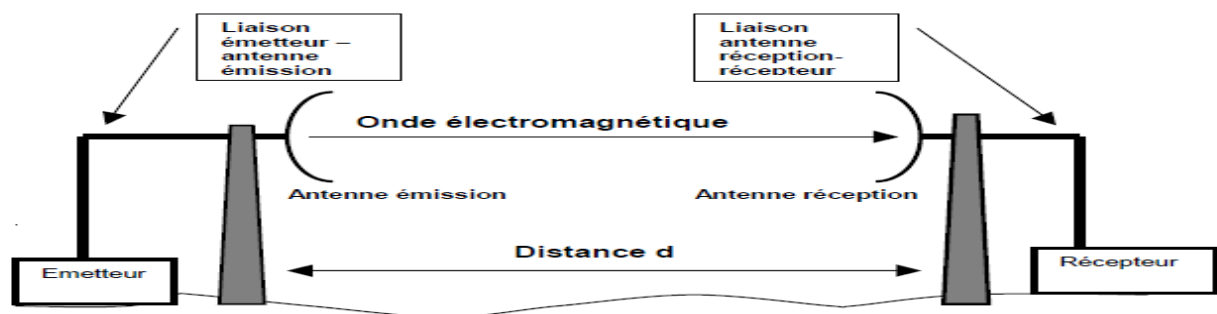


Figure 20 : Eléments impliqués dans le bilan de la liaison.

II.8.2. Expression de la puissance reçue

Pour déterminer la puissance reçue (PR) par le récepteur, il suffit en partant de PE de retrancher toutes les sources d'atténuation du signal et d'ajouter les gains d'antenne.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

La puissance reçue au niveau du récepteur est évaluée grâce à la formule suivante :

$$p_r = p_e + G_e - L_1 + G_r - L_2 - L_p \quad (8)$$

Pe : puissance d'émission,

Ge : gain de l'antenne d'émission,

Li : regroupe les pertes, dans le câble (feeder, guide d'ondes) et les connecteurs,

Gr : gain de l'antenne de réception,

Lp : atténuation totale incluant l'affaiblissement de parcours en espace libre et les autres atténuations dues aux conditions climatiques et atmosphériques.

$$L_p = L_{\text{espace libre}} + A \quad (9)$$

L'affaiblissement de parcours en espace libre est donné par l'équation de Friis

$$L_{\text{espace libre}} = 20 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) \quad (10)$$

d : La distance en Km,

λ : La longueur d'onde en m.

Les absorptions atmosphériques et pluviales :

L'onde électromagnétique pendant son parcours de l'émetteur au récepteur subit différents phénomènes, l'atténuation du signal à travers l'atmosphère due essentiellement aux gaz (O_2 , CO_2 , H_2O) et les hydrométéores (pluie, neige, grêle...) qui absorbent et dégradent le signal.

Contrairement à l'atténuation due aux gaz qui agit de façon permanente, celle due à la pluie n'est réellement notable que pendant moins de 1% du temps. [5]

La marge du système est obtenue de la manière suivante :

$$M = p_r - S_R \quad (11)$$

Avec **S_R** : représente la sensibilité d'un récepteur, c'est-à-dire, la puissance minimale au-dessous de laquelle la qualité de la liaison est dégradée.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

II.9. La démarche à suivre

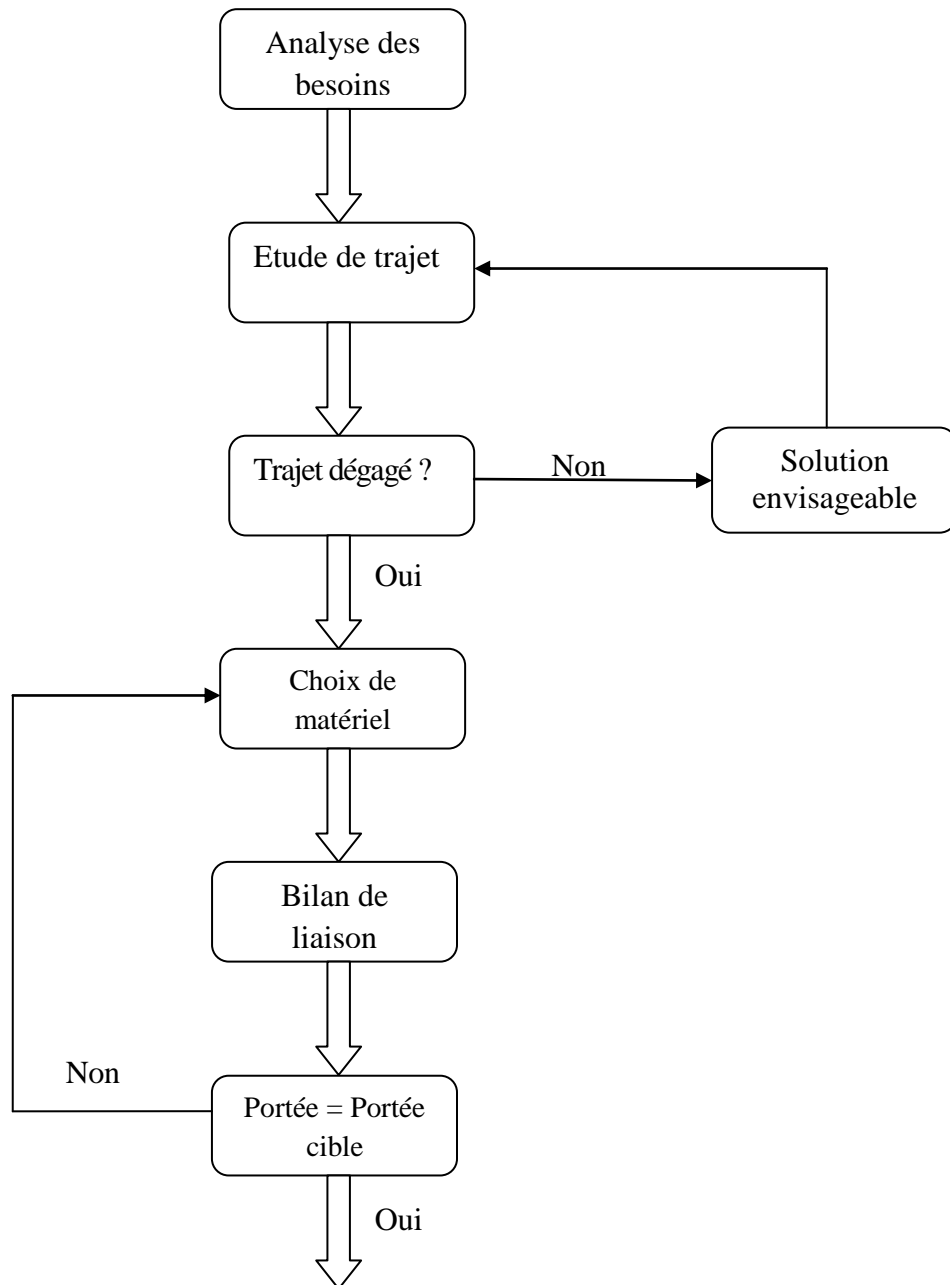


Figure 21 : Démarche générale à suivre pour l'étude d'une liaison FH.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

III. Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE

La planification du réseau LTE comme tout autre réseau cellulaire est un travail compliqué, elle comporte 4 grandes étapes (voir la figure 22). Sachant que chaque étape est reliée à l'autre, la sortie d'une étape fournit l'entrée de l'étape suivante (étapes consécutives). La planification de couverture et de capacité dans LTE se fait en une seule étape appelée dimensionnement. Le but du dimensionnement est de calculer le rayon de la cellule et d'estimer le nombre requis de stations de base radio ENodeB (Evolved Node B) nécessaires pour soutenir un trafic spécifié chargé dans une zone.

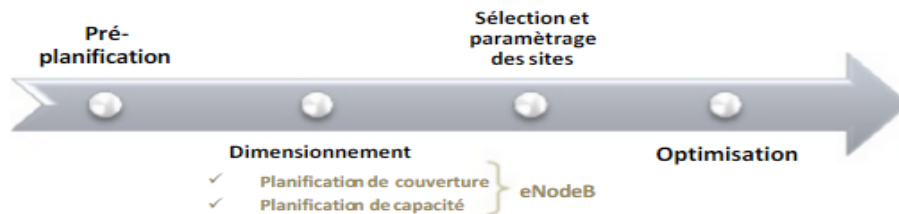


Figure 22 : Les étapes de planification du réseau radio LTE.

La planification comporte 4 étapes :

- **Pré-planification (pré-dimensionnement)**

Cette étape nécessite de collecter un grand nombre d'informations sur la zone à couvrir (superficie, information démographique, densité d'abonnés, taux de pénétration de la technologie LTE), les informations sur les utilisateurs (services demandés, services offerts). Il faut aussi collecter des informations détaillées sur la station de base avec tous les paramètres et les technologies utilisées (puissance d'antennes, gains, pertes, technologie MIMO...).

- **Dimensionnement orienté couverture et capacité**

Comme son nom l'indique, il consiste à satisfaire les contraintes de couverture et de capacité tout en minimisant les ressources exploitées.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

- **Planification détaillée**

Consiste à choisir les positions géographiques qui ne posent pas d'obstacle pour les sites, ainsi que les configurations des antennes (puissance, tilt, azimuth...) dans le but d'assurer une meilleure couverture et qualité.

- **Optimisation**

Cette phase permet d'améliorer les performances du réseau, pour assurer une bonne qualité de service et une meilleure couverture. Pour réaliser ces buts, il faut faire des modifications sur les paramètres d'antennes, si les résultats ne sont pas satisfaisants on procède au rajouter des sites.

IV. Dimensionnement de l'E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)

IV.1. Dimensionnement orienté couverture

L'objectif du dimensionnement orienté couverture est de calculer le rayon de la cellule qui permet d'estimer le nombre de sites nécessaires pour couvrir une zone d'étude.

Les étapes essentielles du dimensionnement de couverture sont :

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

IV.1.1. Bilan de liaison radio

La première étape à faire pour le dimensionnement du réseau d'accès radio, est d'établir le bilan de liaison RLB (Radio Link Budget) qui prend en compte : la puissance d'émission, les gains, les pertes d'antenne, les gains de diversité, les marges d'interférence... Le RLB permet de calculer

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

l'affaiblissement maximal de parcours MAPL (Maximum Allowable Pathloss). Le MAPL est calculé en fonction d'un modèle de propagation approprié pour déduire le rayon de la cellule.

On commence par l'expression de la puissance reçue :

$$\text{RxPower} = \text{TxPower} + \text{TxGains} - \text{TxLosses} + \text{RxGains} - \text{RxLosses} - \text{Bi} - \text{Pathloss} \quad (12)$$

Rxpower : La puissance reçue en dBm,

Txpower : La puissance émise en dBm,

TxGains : Ensemble des gains introduits au niveau d'émetteur en dBi,

TxLosses : Ensemble des pertes introduites au niveau d'émetteur en dBB,

RxGains : Ensemble des gains introduits au niveau de récepteur en dBi,

RxLosses : Ensemble des pertes introduites au niveau de récepteur en dB,

Bi : Marge de planification en dB,

Pathloss : Affaiblissement de parcours en dB.

A partir de l'équation (12), on déduit la perte de trajet :

$$\text{Pathloss} = \text{TxPower} + \text{TxGains} - \text{TxLosses} + \text{RxGains} - \text{RxLosses} - \text{Bi} - \text{RxPower} \quad (13)$$

Si on se place dans le cas d'un affaiblissement de parcours maximal, la puissance reçue correspond donc à la sensibilité du récepteur. L'équation (14) peut ainsi être écrite de cette manière :

$$\text{MAPL} = \text{PIRE} - \text{RefSens} - \text{RxLosses} - \text{Bi} \quad (14)$$

Nous allons maintenant traiter les paramètres de l'équation (14).

PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) : C'est la puissance rayonnée équivalente à une antenne isotrope, exprimée en dB.

$$\text{PIRE} = \text{TxPower} + \text{TxGains} - \text{TxLosses} \quad (15)$$

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

avec :

Paramètre	ENodeB	UE
TxPower	Puissance de l'émission de l'eNodeB au niveau du connecteur de l'antenne (43-49dBm).	Puissance d'émission de l'UE (dépend de la catégorie de l'UE)
$G_{Tx} = \sum_{i \in UE/eNodeB} G_i$	Ga: Gain de l'antenne de l'eNodeB, il dépend du constructeur. Gtx,d: Gain de diversité, dépend du nombre d'antennes à l'eNodeB et de la taille du motif de coopération (Mc).	Ga: Gain de l'antenne de l'UE, il dépend du constructeur. Gtx,d: Gain de diversité, dépend du nombre d'antennes à l'UE.
$L_{Tx} = \sum_{i \in UE/eNodeB} L_i$	L feeder Pertes des câbles d'alimentation entre l'eNodeB et le connecteur d'antenne : elle dépend de la longueur, type et fréquence du câble (1-6 dB). Lother : Autres pertes liées à l'eNodeB (exemple : connecteurs).	L body/ L head : Perte du corps humain, dépend de l'équipement de l'utilisateur (téléphone/clé USB/tablette). Lother : Autres pertes liées à l'UE.

Tableau 2 : Les paramètres pour le calcul de PIRE.

RefSens : désigne la sensibilité de référence du récepteur, elle correspond à la puissance minimale de réception au-dessous de laquelle il y a rupture du lien radio. Elle est donnée par la formule (16).

$$\text{RefSens} = 10 \log_{10}(K \cdot T \cdot B_{Rx}) + \text{SINR}_{req} + \text{NF} + \text{IM} + \text{RxGain} \quad (16)$$

K : Constante de Boltzmann ($1.388062 \cdot 10^{-23}$),

T : Température ambiante en (K),

B_{Rx} : La largeur de bande de réception,

SINR_{req} : La valeur de SINR requise au récepteur,

NF : RF Noise Figure (dB),

IM : Marge d'implémentation (dB),

RxGain : Gain de diversité de réception (dBi): dépend du type de récepteur et du nombre d'antennes.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

Calcul de la sensibilité du récepteur :

Le calcul de ce paramètre est très compliqué, il passe par plusieurs étapes. Nous allons commencer par le calcul du B_{Rx} et $SINR_{req}$.

Calcul de la largeur de bande de récepteur B_{Rx} .

$$B_{Rx} = N_{PRB,req} * BW_{PRB} = N_{PRB,req} * 12 * \Delta f = 180_{KHz} * N_{PRB} \quad (17)$$

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.

$\Delta f=15kHz$: désigne l'intervalle entre sous-porteuses.

Pour déterminer le nombre de blocs ressources (N_{PRB}), on doit d'abord fixer quelques paramètres :

- Débit d'information requis sur la bordure de la cellule : c'est le débit à procurer pour les utilisateurs situés sur les bordures de la cellule. On le note $R_{service}$ [bits/s].
- BLER (Block Error Rate) cible (%) : Le taux d'erreur par bloc à planifier sur les bordures de la cellule. On le note $BELR_{target}$.
- MCS index (Modulation & Coding Schema) : La technique de modulation et de codage optimal. L'index prend une valeur de 0 à 28. En effet, chaque MCS index doit se référer à une modulation ayant B bit/symbole et un codage de rendement R.
- Le Coût (System OverHead) (%) : il est noté SOH et présente le pourcentage des ressources consommées par le système parmi la totalité des ressources.

Après avoir fixé ces paramètres, on calcule le nombre de blocs ressources :

$$N_{PRB,req}^{XL} = E \left\{ \frac{10^{-3} * R_{service}^{XL} * (1 + SOH^{XL})}{(100\% - BELR_{target}^{XL}) * R^{XL} * b^{XL} * CP_i * 12} \right\} + 1 \quad (18)$$

Où, l'indice XL mentionne UL/DL, CP_i donne le nombre de RE par TTI et E [.] la partie entière.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

Détermination du SINR requis :

Le SINR traduit la performance du réseau, plus le système est performant plus la valeur de SINR requise est faible. Pour déduire la valeur, on recourt à l'approximation par la formule d'alpha-Shannon :

$$\eta = \eta_{BW} * \log_2(1 + \eta_{SINR} * SINR) \quad (19)$$

avec η , η_{BW} et η_{SINR} : représentent respectivement l'efficacité spectrale, l'efficacité de la bande et l'efficacité de SINR.

Le débit théorique maximal est donné par:

$$R = B_{RX} * \eta = B_{RX} * \eta_{BW} * \log_2(1 + \eta_{SINR} * SINR) \quad (20)$$

$$SINR = \frac{1}{\eta_{SINR}} * \left(2^{\frac{R}{B_{RX} * \eta_{BW}}} - 1 \right) \quad (21)$$

$$\text{On peut déduire : } SINR_{req} = 10 \log_{10}(SINR) \quad (22)$$

Calcul de la marge :

On ne peut calculer l'affaiblissement de trajet maximal sans passer par le calcul des marges de bruit, qui correspondent à l'environnement radio.

⇒ Marge de pénétration

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 (notée VL). [3]

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

⇒ Marge de shadowing

C'est l'effet masque, les variations du signal dues aux obstacles qui existent dans le milieu de propagation. Généralement, la marge de shadowing (notée SM) est fixée à 5.4 dB. [3]

⇒ Marge d'interférence

On trouve souvent ce phénomène dans les réseaux cellulaires, il est causé par rapport à la réutilisation de la fréquence, sa formule est donnée par :

$$IM_{db} = 10\log_{10} \left(\frac{SNR}{SINR} \right) = 10\log_{10} \left(\frac{I + N_h \cdot B_{Rx}}{N_h \cdot B_{Rx}} \right) \quad (23)$$

avec N_h , B_{Rx} et I : sont respectivement la densité du bruit thermique (db/hz), la largeur de bande de réception et le niveau d'interférence provenant des cellules adjacentes.

Remarque : La marge de planification n'est donc que la somme de toutes les marges citées auparavant.

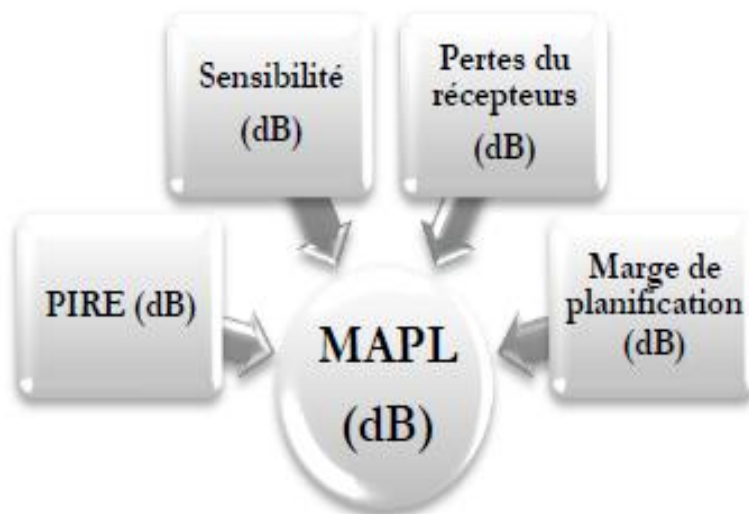


Figure 23 : Les entrées pour le calcul de MAPL.

Remarque : Pour tous les réseaux cellulaires, la liaison dans l'interface radio est bidirectionnelle, une liaison montante et une autre descendante, d'où il semble nécessaire d'établir un double bilan de liaison pour les deux voies.

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

IV.1.2. Modèle de propagation radio

Le modèle de propagation radio est utilisé pour caractériser la propagation de l'onde entre l'émetteur et le récepteur, il joue un rôle clé dans le bilan de liaison. Ces paramètres essentiels sont la bande de fréquences et le type de la zone à couvrir (urbain, urbain dense, rural...).

Nous distinguons deux types de modèles :

✓ **Modèle physique**

Le modèle physique est utilisé pour prédire la propagation de l'onde radio et le calcul de son trajet en tenant compte des phénomènes de diffraction et de la réflexion.

✓ **Modèle empirique**

Ce modèle est utilisé pour prédire l'impact d'un émetteur sur une zone de couverture en se basant sur une formule mathématique, elle dépend de plusieurs facteurs tels que la fréquence, les hauteurs d'antennes émettrices et réceptrices, type de terrain (urbain, suburbain, rural...), la distance parcourue et la densité et les caractéristiques des bâtiments, etc.

Ces modèles ne sont pas exacts à 100%, mais ils prédisent le comportement d'une façon approximative. La plupart des modèles sont extraits des mesures prises sur le terrain, Ces modèles sont caractérisés par les paramètres suivants : la fréquence, la hauteur de la station de base (H_b), la hauteur du terminal mobile (H_m) et la distance (d). Parmi les modèles les plus utilisés, on distingue Okumura-Hata et Cost-Hata.

Le modèle Okumura-Hata a la plage de validité suivante :

Fréquence : 150 MHz ... 1500 MHz,

Distance : 1 km ... 30 km,

Hauteur de l'antenne émettrice : 30 m ... 200 m,

Hauteur de l'antenne mobile : 1 m ... 10 m. [7]

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

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

Urbain	$L_u(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log(H_b)] \log(d)$ <p>avec : $a(H_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] * H_m - [1.56 \log(f) - 0.8]$</p>
Urbain dense	$L_u(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log(H_b)] \log(d)$ <p>avec</p> $\begin{cases} \text{pour } f \leq 200 \text{ Mhz} \\ a(H_m) = 8.29 * [\log(1.54 * H_m)]^2 - 1.1 \end{cases}$ <p>et</p> $\begin{cases} \text{pour } f \geq 400 \text{ Mhz} \\ a(H_m) = 3.2 * [\log(11.75 * H_m)]^2 - 4.97 \end{cases}$
Suburbain	$L_{su}(\text{db}) = L_u - 2 * [\log(\frac{f}{28})]^2 - 5.4$
Rural	$L_u(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log(H_b)] \log(d)$ <p>Si la zone est rurale quasi-ouverte.</p> $\begin{cases} \text{ouverte} \\ L_o(\text{db}) = L_u - 4.78 * [\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94 \end{cases}$ <p>Si la zone est rurale ouverte.</p> $\begin{cases} \text{ouverte} \\ L_o(\text{db}) = L_u - 4.78 * [\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \end{cases}$

Tableau 3 : Le modèle Okumura-Hata.

Le modèle COST 231-Hata a les mêmes conditions que le modèle d'Okumara-Hata sauf qu'il est développé pour étendre l'utilisation de ce modèle pour les bandes de 1500 à 2000 MHz [7].

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

L'affaiblissement selon ce modèle est donné par l'équation suivante :

$$L_b \text{ (dB)} = 46.5 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log(H_b)] \log(d) + C_m \quad (24)$$

$a(H_m)$ est défini selon l'équation de l'environnement urbain de modèle Okumura hata.

avec :

C_m est égal à 0 dB pour l'environnement rural, urbain et 3 dB pour environnement dense urbain.

IV.1.3. Le rayon de la cellule :

Après avoir calculé l'affaiblissement maximal de parcours (MAPL), nous pouvons calculer le rayon de la cellule en utilisant un modèle de propagation adéquat. En effet lorsque le MAPL est égal à sa valeur maximale, la distance parcourue est égale au rayon de la cellule.

Nous supposons qu'on est dans un environnement urbain, par exemple on va appliquer le modèle Okumura-Hata. Selon le tableau 3, on obtient :

$$\text{MAPL} = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(H_b) - a(H_m) + [44.9 - 6.55 \log(H_b)] \log(R_{\text{Cell}}) \quad (24)$$

$$R_{\text{Cell}} = 10^{\frac{\text{MAPL} - 69.55 - 26.16 \log(f) + 13.82 \log(H_b) + a(H_m)}{[44.9 - 6.55 \log(H_b)]}} \quad (25)$$

IV.1.4. Le Calcul du nombre de site demandés

Une fois la taille de la cellule est calculée, on peut calculer la superficie de couverture de la cellule appelée empreinte du site (S_{cell}), l'empreinte du site dépend du nombre de secteurs par site utilisés (N_{secteur}).

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

La figure ci-dessous montre les différents types du site :

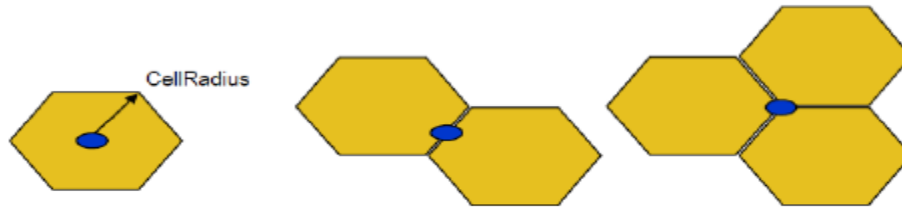


Figure 24 : Site mono-sectoriel, site bi-sectoriel, site tri-sectoriel.

Pour ces trois modèles hexagonaux de cellule, l'empreinte de site est calculée comme illustré dans le tableau ci-dessous :

Nombre de secteur par site(Nsecteur)	Empreinte(Scell)
Mono-sectoriel	$Scell = 2.6 * R_{cell}^2$
Bi-sectoriel	$Scell = 1.3 * 2.6 * R_{cell}^2$
Tri-sectoriel	$Scell = 1.95 * 2.6 * R_{cell}^2$

Tableau 4 : Empreinte du site en fonction de nombre de secteurs.

Après avoir calculé la superficie du site et de la zone d'étude ($S_{Déploiement}$), on peut enfin déterminer le nombre de sites nécessaires pour couvrir une zone d'étude pour les deux liaisons montante (UL) et descendante (DL) comme suit :

$$N_{Couverture}^{DL} = E\left(\frac{S_{Déploiement}}{S_{Cell}^{DL}}\right) + 1 \quad (26)$$

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

$$N_{Couverture}^{UL} = E\left(\frac{S_{Déploiement}}{S_{Cell}^{UL}}\right) + 1 \quad (27)$$

Ensuite, il faut choisir $N_{couverture}$ le plus grand, pour s'assurer que les deux liaisons soient équilibrées.

$$N_{couverture} = \text{MAX}(N_{Couverture}^{DL}, N_{Couverture}^{UL}) \quad (28)$$

IV.2. Dimensionnement orienté capacité

L'objectif de dimensionnement orienté capacité est de calculer le nombre de sites nécessaires pour que le réseau d'accès radio supporte le trafic transite par les abonnés situés dans la zone de déploiement, cette partie fait appel essentiellement à ces deux paramètres :

- ✓ La capacité de la cellule dans la liaison montante et descendante.
- ✓ Le volume de trafic généré par les abonnés de la zone de déploiement : déterminé à travers le nombre d'abonnés dans la zone et le trafic offert par abonné.

IV.2.1. Dimensionnement orienté capacité pour l'Uplink

Il faut tout d'abord estimer le besoin en capacité et pour cela on doit suivre les étapes suivantes :

- ✓ Analyser les entrées de trafic fournies par l'opérateur pour évaluer la demande de trafic (Nombre d'abonnés, les données, répartition géographique des abonnés dans la zone).
- ✓ Evaluer le débit de la cellule.

⇒ Trafic utilisateur :

$$Au = \frac{\text{durée d'appel} * \text{nombre d'appel} / \text{heure}}{60} \quad (29)$$

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

Calcul le nombre d'utilisateurs par cellule :

$$n_{u/c} = \frac{A_{tot}}{A_u} \quad (30)$$

avec A_{tot} : Représente le trafic total qu'on peut déterminer à l'aide de la table du trafic (Erlang B) : C'est la case qui correspond à la combinaison du nombre de canaux et le taux du blocage [3].

Le débit de la cellule

$$T_{cell} = n_{u/c} \times R_{avg,UL} \quad (31)$$

avec :

$$R_{avg,UL} = R_{RB} \times (n_{RB} - n_{pucch}) \text{ et } R_{RB} = \frac{R_{req}}{n_{RB}} \quad (32)$$

- n_{RB} : Nombre total de blocs de ressources de la bande passante,
- n_{pucch} : Nombre de blocs de ressources attribués aux de contrôle PUCCH,
- $R_{avg,UL}$: Le débit moyen de l'utilisateur moyen par cellule.

IV.2.2. Dimensionnement orienté capacité pour Downlink

Le calcul de dimensionnement orienté capacité pour DL est basé sur le paramètre SINR (rapport signal interférence et bruit), est calculé dans l'équation (22).

Débit de la cellule :

Le débit de l'utilisateur par cellule est réduit proportionnellement avec le nombre de blocs des ressources n_{RB} .

$$R_{avg,DL} = R_{RB,DL} \times n_{RB} \quad (33)$$

Le débit de la cellule est représenté par l'équation suivante :

$$T_{cell} = n_{u/c} \times R_{avg,DL} \quad (34)$$

Chapitre II : Dimensionnement des faisceaux hertziens et l'interface radio du réseau LTE

IV.2.3. Nombre de sites demandés :

Tout d'abord, il faut calculer la capacité du site (T_{site}) à partir de la capacité de la cellule (T_{cell}), on prend le cas de 3 cellules par site.

$$T_{\text{Site}} = T_{\text{Cell}} * 3 \quad (35)$$

L'utilisateur va entrer comme des inputs le nombre des abonnés et le débit moyen de chacun, afin de calculer le nombre des sites :

$$N_{\text{Site}} = \frac{T_{\text{user}}}{T_{\text{Site}}} * N_{\text{abonnés}} \quad (36)$$

avec :

$$N_{\text{abonnés}} = \left(\prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i) * (1 + \beta_i) \right) * d * \text{surface} \quad (37)$$

- d : la densité des abonnés par km^2 ,
- α_i : Augmentation de nombre des habitants,
- β_i : Données opérateurs, indique le taux de migration des abonnés,
- N = calcul fait pour N ans d'avance.

V. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le principe de dimensionnement pour les deux systèmes radio : faisceau hertzien et l'interface radio du réseau LTE. Le dimensionnement de ces systèmes est un processus complexe, qui fait intervenir différents paramètres. Ces derniers s'avèrent complémentaires et essentiels pour la robustesse du processus de planification entier. Le chapitre suivant est destiné au dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE de la région de Nord d'Alger à l'aide du logiciel RND et ATOLL respectivement.

I. Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons dimensionner et planifier le réseau d'accès radio à l'aide des logiciels RND et Atoll. On dimensionne d'abord la partie radio du réseau LTE sous le logiciel RND en expliquant toutes les étapes du dimensionnement, puis on passe à la planification dans Atoll en abordant les différents paramètres nécessaires à connaître pour le réseau à planifier. Nous allons clôturer ce chapitre par une implantation de la liaison FH.

II. Dimensionnement de l'interface radio du réseau LTE sous RND

Le dimensionnement du réseau d'accès LTE est un processus complexe. La couverture de la station de base, présente des limites causées par différents phénomènes qui perturbent les ondes propagées de la station mobile vers l'EnodeB ou bien celles émises de cette dernière n'arrivent pas avec une puissance suffisante détectable par UE. Le dimensionnement se fait de telle façon à garantir la couverture de la zone ciblée et à répondre aux exigences des clients. Pour assurer la couverture d'une zone donnée, il est nécessaire de calculer le rayon de la cellule et de déduire le nombre de sites.

II. 1. Présentation du logiciel RND (Radio Network Dimensioning)

RND est un logiciel utilisé par les planificateurs du réseau mobile dans le but de dimensionner les réseaux cellulaires GSM, UMTS et LTE. Il permet de faciliter la tâche et la précision des calculs. Dans ce travail, on va utiliser ce logiciel pour calculer le rayon de la cellule. La figure suivante illustre la fenêtre du travail dans l'outil RND.

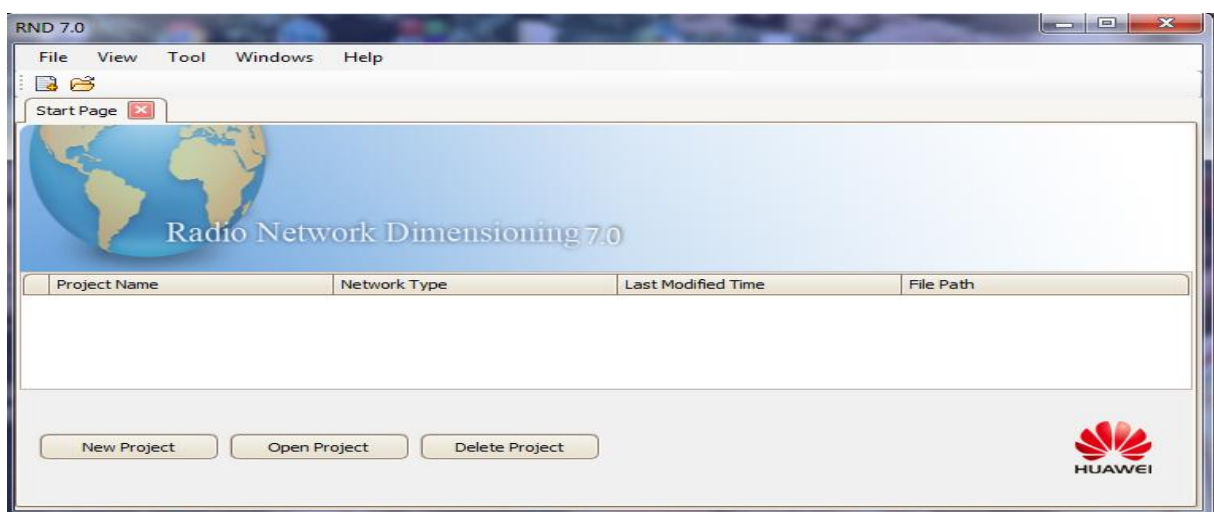


Figure 25 : Fenêtre du travail.

II.2. Configuration du logiciel RND

II.2.1. Création d'un projet LTE

Pour créer un nouveau projet sur RND, nous allons passer par les étapes suivantes :

File → New → à partir de la fenêtre New Project, on choisit la technologie LTE.

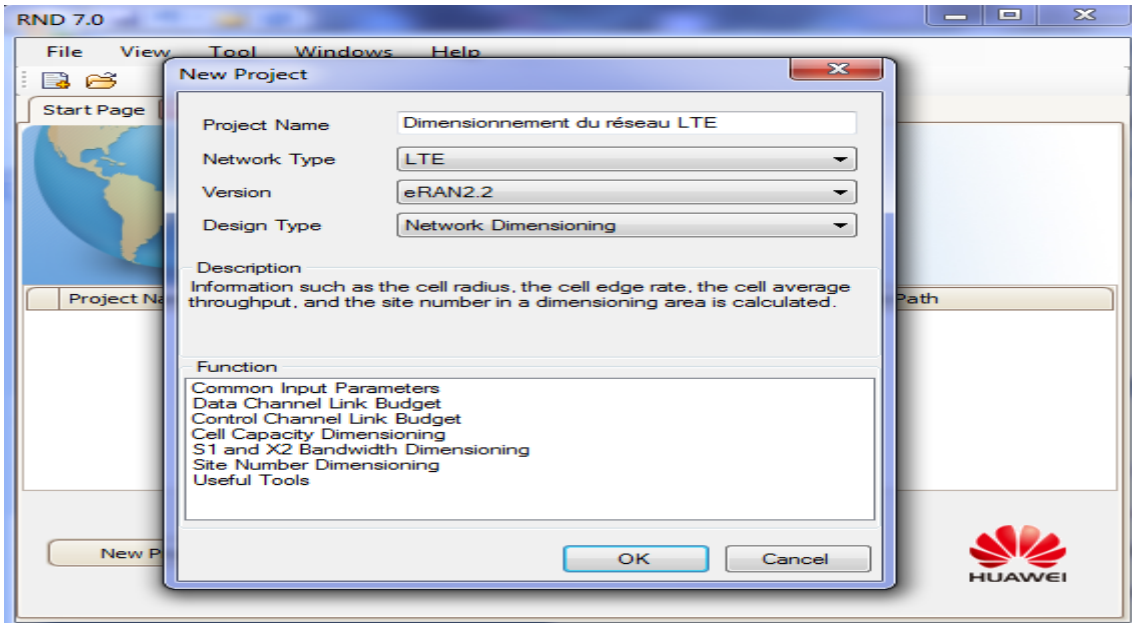


Figure 26 : Etape de création du nouveau projet.

Après avoir créé le projet, on obtiendra la figure ci-dessous :

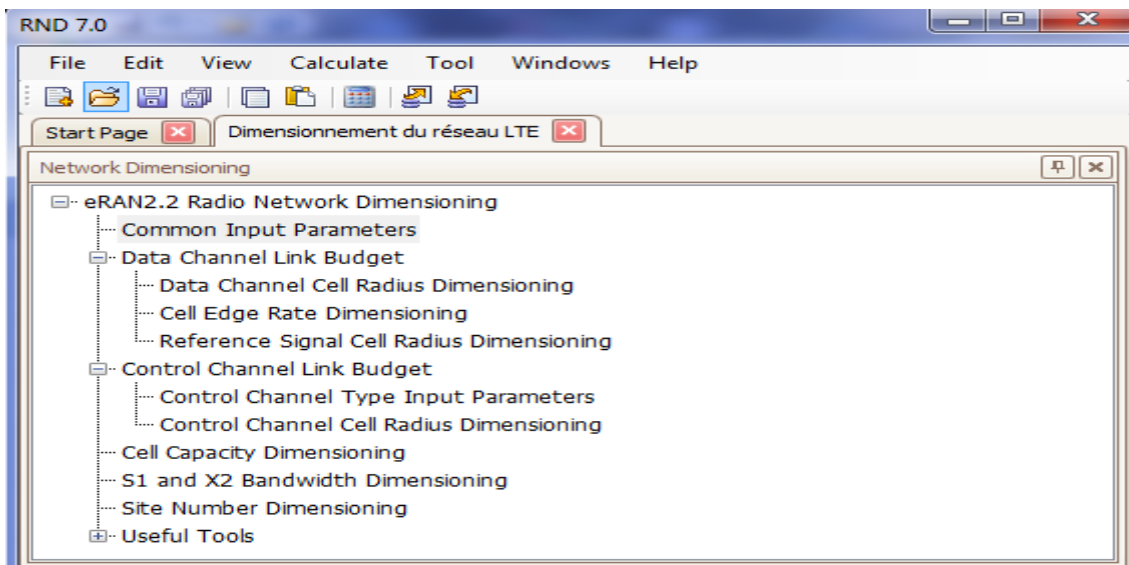


Figure 27 : Les différentes fonctions du logiciel RND.

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

Le logiciel RND contient plusieurs fonctions illustrées dans la figure ci-dessus. Parmi les fonctions qui nous intéressent, on cite :

- Paramètres d'entrée (Common Input Dimensioning),
- Dimensionnement du rayon de la cellule par rapport au signal de référence (Reference Signal Cell Radius Dimensioning),
- Nombre de site (Site Number Dimensioning).

II.2.2. Introduire les valeurs pour les paramètres d'entrée

Region		
Duplex Mode	FDD	
ICIC Switch	Close	
DL Power Control Parameter Pb	2	
Scenario		
Morphology	Dense Urban	
UL/DL	UL	DL
User Environment	Outdoor	
TMA Used	No	
Channel Model	ETU 3	
Frequency (MHz)	1800	
System Bandwidth (MHz)	10.0	
PUCCH Overhead (RB)	6	
PDCCH Overhead (Symbol)	3	
MIMO Scheme	1x2	2x2 SFBC
Target Load	90.00%	100.00%
Propagation Model	Cost231-Hata	
Area Coverage Probability	95.00%	
HHO Gain	3.61	
Service Type	VoIP 12.2	
Customized Parameters		
Shadow Fading Margin (dB)	Calculate	
UL Interference Margin (dB)	Calculate	
DL Interference Margin (dB)	Calculate	
UL SINR (dB)	Calculate	
DL SINR (dB)	Calculate	
UE and eNodeB Parameters		
UE/eNodeB	UE	eNodeB
Antenna Height (m)	1.50	25.00
Max Total Tx Power (dBm)	23.00	46.00
Noise Figure (dB)	7.00	2.30
Antenna Gain (dBi)	0.00	18.00
eNodeB Cable Loss (dB)	Calculate	4.02

Tableau 5 : Les différents paramètres d'entrée.

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

Le tableau ci-dessus représente les différents paramètres d'entrée qu'on utilise dans les deux liens montant UL et descendant DL. A l'aide de ces paramètres, on peut passer à la fonction Dimensionnement du rayon de la cellule par rapport au signal de référence.

II.2.3. Calcul du rayon de la cellule

Dans cette fonction, nous avons deux paramètres à introduire RS TX Power et RSRP pour calculer le rayon de la cellule. La figure ci-dessus montre la valeur du rayon de la cellule.

Reference Signal Cell Radius Dimensioning		
Morphology	Dense Urban	
RS TX Power (dBm)	15.00	
Outdoor RSRP (dBm)	-105.41	
Couple Loss (dB)	120.41	
UE/eNodeB Body Loss (dB)	3.00	0.00
UE/eNodeB Antenna Gain (dBi)	0.00	18.00
UE/eNodeB Cable Loss (dB)	0.00	4.02
Std.of Shadow Fading (dB)	10.00	
Area Coverage Probability	95.00%	
Shadow Fading Margin (dB)	7.96	
Path Loss (dB)	123.43	
UE/eNodeB Antenna Height (m)	1.50	25.00
Frequency (MHz)	1800	
Propagation Model	Cost231-Hata	
Cell Radius (km)	0.34	

Tableau 6 : La valeur du rayon de la cellule selon le signal de référence.

II.2.3. Le nombre de sites

Après avoir calculé le rayon de la cellule, on procède au calcul du nombre de sites nécessaires pour couvrir une zone à planifier.

City	Morphology	Cell Radius (km)	Sector Type	Coverage Area (km ²)	Dimensioning Margin	Number of Sites
Nord...	Dense U...	0.34	3 Sector	7.22	0.00 %	33

Figure 28 : Le calcul du nombre de sites.

Après avoir dimensionné le réseau d'accès radio LTE, on passe à l'étape de planification à l'aide du logiciel Atoll.

III. Planification de l'interface radio du réseau LTE sous Atoll

Nous allons utiliser, pour le test et la validation, l'outil Atoll avec lequel nous avons effectué la planification du réseau LTE. On va procéder à la définition des paramètres géographiques et radio de la zone à planifier. Nous allons faire alors le test du réseau dans une première étape pour passer ensuite à la phase d'optimisation dont le but essentiel est d'améliorer la couverture.

III.1. Présentation du logiciel Atoll

Atoll est un outil de planification radio flexible et évolutif multi-technologie qui soutient les opérateurs sans fil dans toute la durée du cycle de vie du réseau. Cet outil supporte les différents types de planification radio tel que GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, CDMA2000, LTE, WIFI et WIMAX. Il comporte plusieurs paramètres parmi lesquels on cite le type du modèle de propagation, la zone de couverture, les antennes, etc.



Figure 29 : Interface de démarrage.

III.2. Configuration du logiciel Atoll

Les étapes de configuration Atoll sont :

- La création d'un projet LTE ;
- Le choix du système de coordonnées (WG84 dans notre cas) ;
- L'importation de la carte d'Alger.

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

Après avoir créé le projet et importé la carte du Nord d'Alger, on aura cette figure :

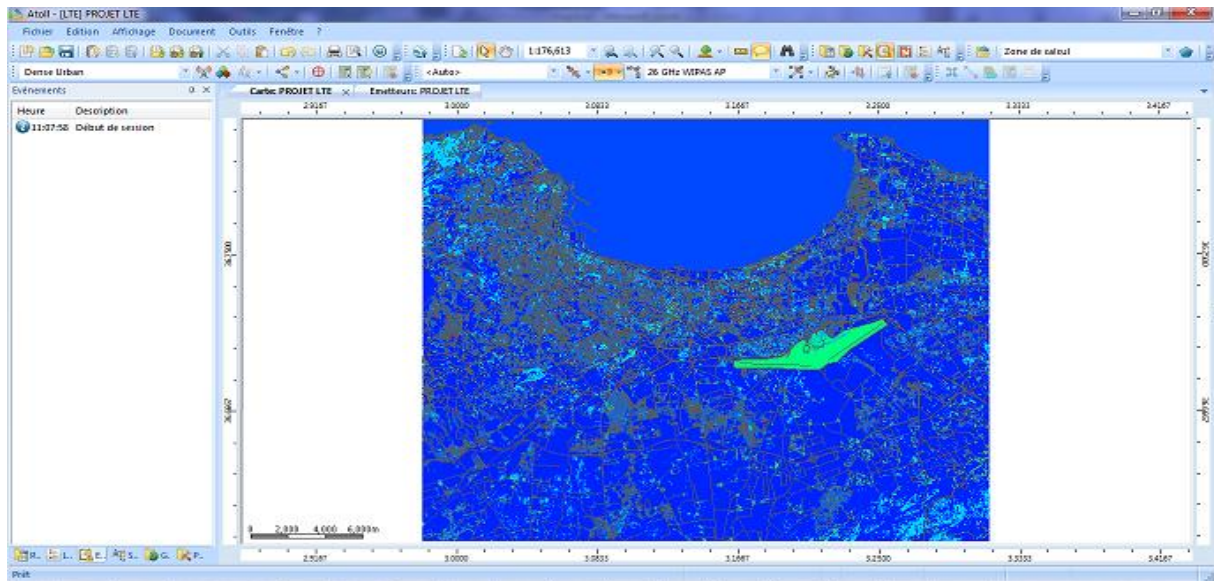


Figure 30 : Création du projet, importation de la carte et choix des coordonnées.

Nous limitons la zone sous forme polygonale par :

- **Computation zone** (en rouge) : utilisée pour définir la surface dans laquelle Atoll prend en considération les émetteurs actifs.
- **Focus zone** (en vert) : c'est la zone exacte à planifier, dans laquelle Atoll génère ses rapports et ses statistiques.

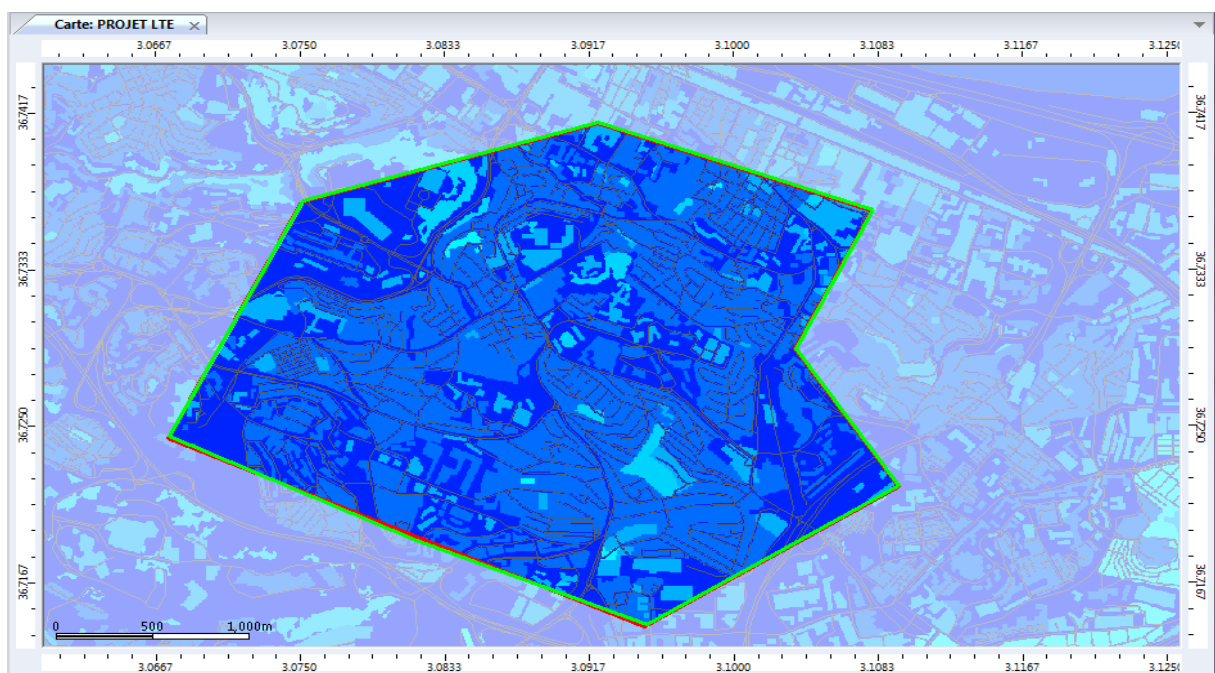


Figure 31 : Limitation de la zone à planifier.

Implantation des sites :

Après avoir introduire le rayon de la cellule, Atoll implante automatiquement les sites, les transmetteurs et les cellules.

- Site : défini par son nom, sa position géographique (altitude, longitude), sa hauteur et son nombre de secteurs,
- Transmetteur : défini par son nom, type et ses paramètres (azimut, tilt, puissance),
- Cellule : définie par sa forme (hexagonale), son rayon.

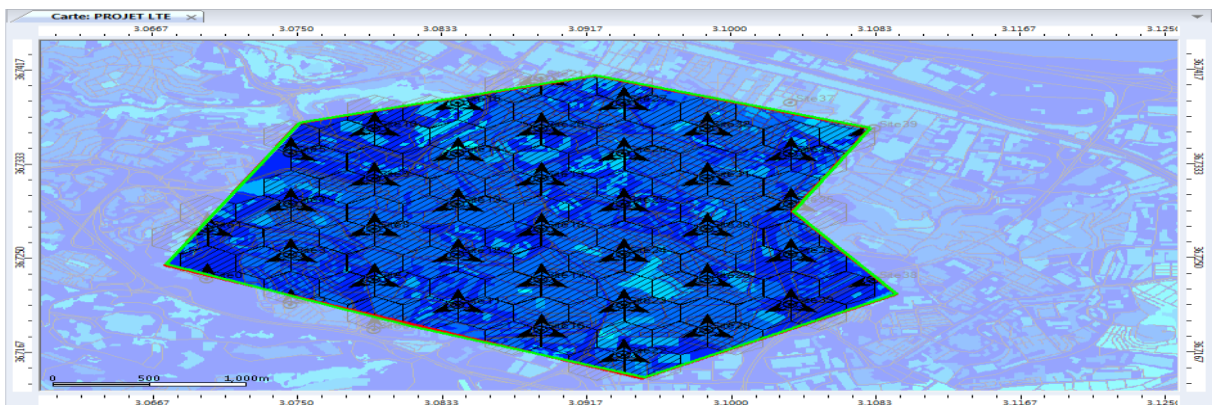


Figure 32 : Implantation de site.

Vérification de l'emplacement des sites :

Pour vérifier l'emplacement correct des sites, c'est-à-dire, s'ils ne sont pas mal positionnés (sur la route, dans un cours d'eau, à proximité d'un obstacle...), Atoll permet d'importer une carte en ligne afin de vérifier l'emplacement des émetteurs.

La figure 33 illustre, un exemple d'emplacement d'un site sur une route :



Figure 33 : Exemple d'un site mal positionné.

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

Ce site mal positionné est déplacé, dans ce cas, sur un immeuble avoisinant dans le but de corriger son mauvais emplacement.



Figure 34 : Emplacement correct du site.

Après avoir corrigé l'emplacement et activé les sites, on passe à l'étape de prédiction.

III.3. Phase de prédiction

La prédiction permet à tester la performance de notre réseau.

➤ Prédiction de couverture

Cette étape consiste à effectuer des prédictions sur la couverture et de déterminer le niveau de signal pour la zone d'intérêt.

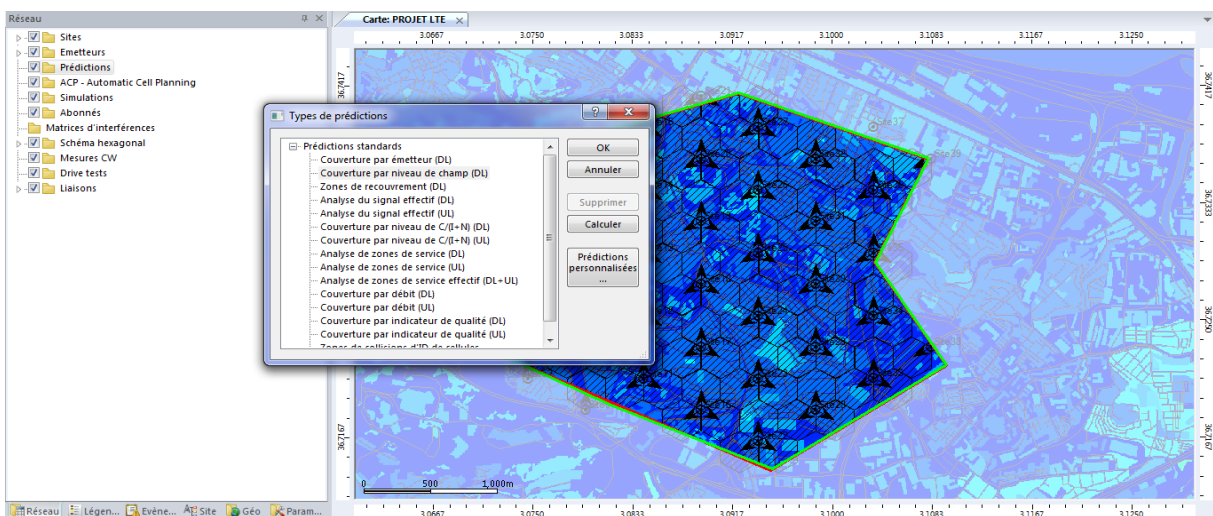


Figure 35 : Prédiction de couverture par niveau de champ.

Après avoir lancé le calcul de prédiction nous obtenons la figure ci-dessous :

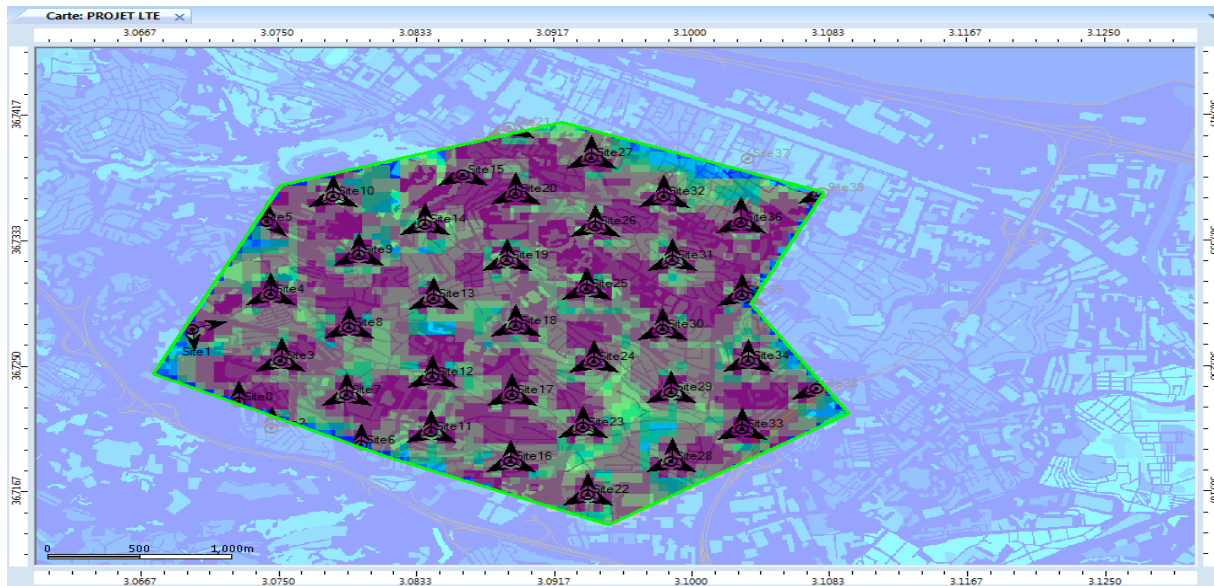


Figure 36 : Résultat de prédiction.

La figure ci-dessus, nous a permis de voir la répartition des champs sur la zone d'intérêt, mais cela ne permet pas de dire que la zone est bien couverte.

III.4. ACP (Automatic Cell Planner)

L'ACP (Automatic Cell Planner) est un outil de planification automatique qui permet aux opérateurs d'effectuer les tâches de conception et d'optimisation d'une application. Ainsi deux contraintes sont mises en jeu :

- Reference Signal Receive Power RSRP : c'est la mesure la plus basique réalisée par la couche physique du l'UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise par la station de base.
- Reference Signal Receive Quality (RSRQ) : Bien que le RSRP soit une mesure importante, il ne donne aucune information sur la qualité de la transmission. Le LTE s'appuie alors sur l'indicateur RSRQ.

Cette outil nous permet d'évaluer et d'optimiser la performance de couverture de la zone à planifier, selon les deux paramètres puissance (RSRP) et qualité de signal (RSRQ). Après avoir optimisé automatiquement notre réseau, on aura les résultats illustrés dans la figure (37).

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

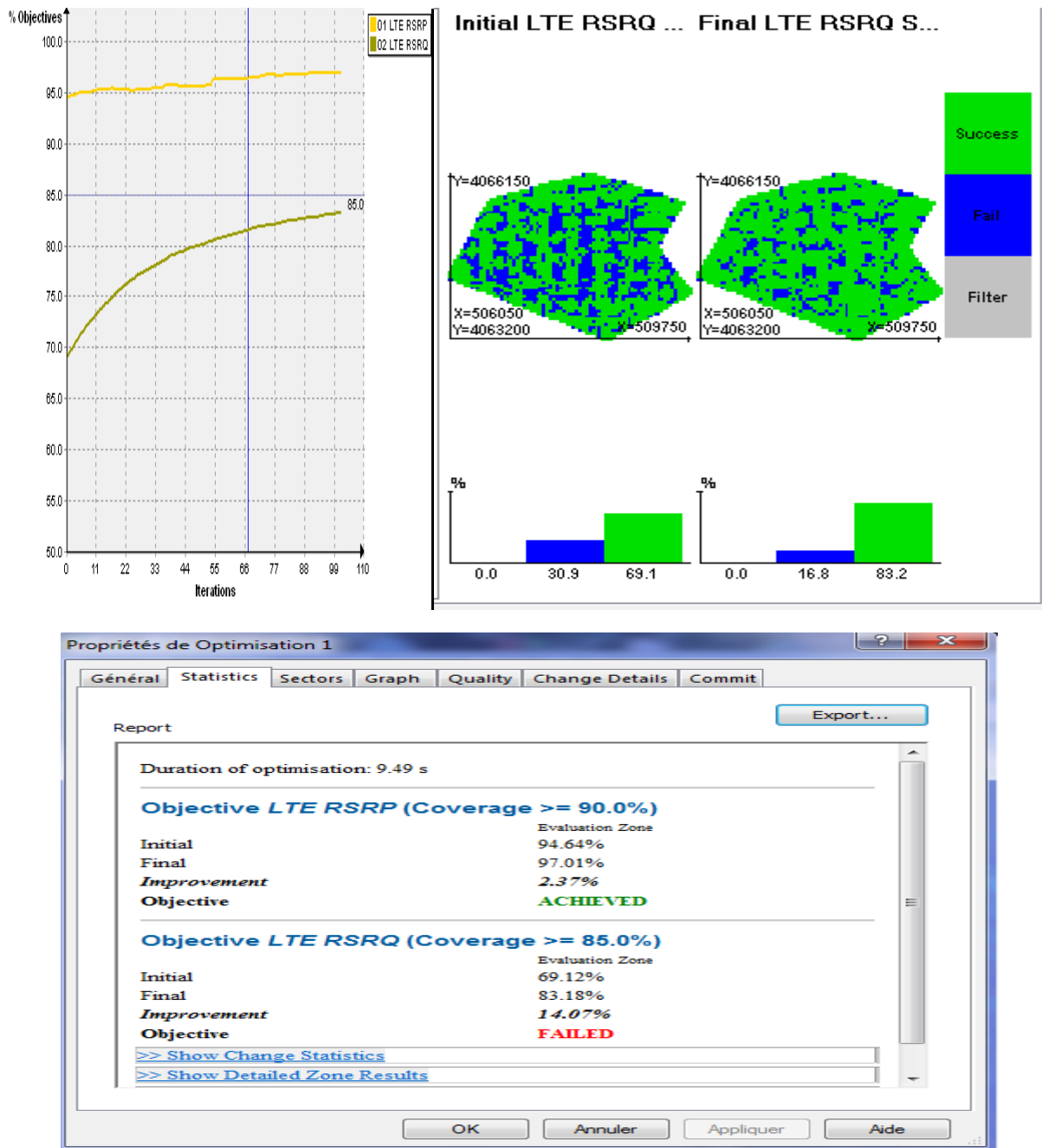


Figure 37 : Résultat de l'optimisation 1.

➤ Interprétation :

La figure ci-dessus reflète le niveau des deux signaux RSRP et RSRQ. Ainsi nous remarquons que le niveau du signal RSRP est optimal ; cependant, le niveau du signal RSRQ est médiocre. C'est la comparaison entre le niveau initial et le niveau final du signal RSRQ.

En effet, initialement le niveau de qualité est de l'ordre de 69,12% et après avoir effectué une optimisation (ACP) cette valeur atteint 83,18%. Mais, malgré l'optimisation automatique qui a été effectuée, le niveau de qualité reste insuffisant pour répondre aux exigences des clients

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

Du coup, une autre phase d'optimisation s'avère donc nécessaire afin d'améliorer la qualité de signal.

III.5. Optimisation par modification des paramètres d'antenne

Les paramètres d'antenne introduits sur Atoll sont :

L'azimut : est l'angle dans le plan horizontal entre la direction d'antenne et une direction de référence (Nord).

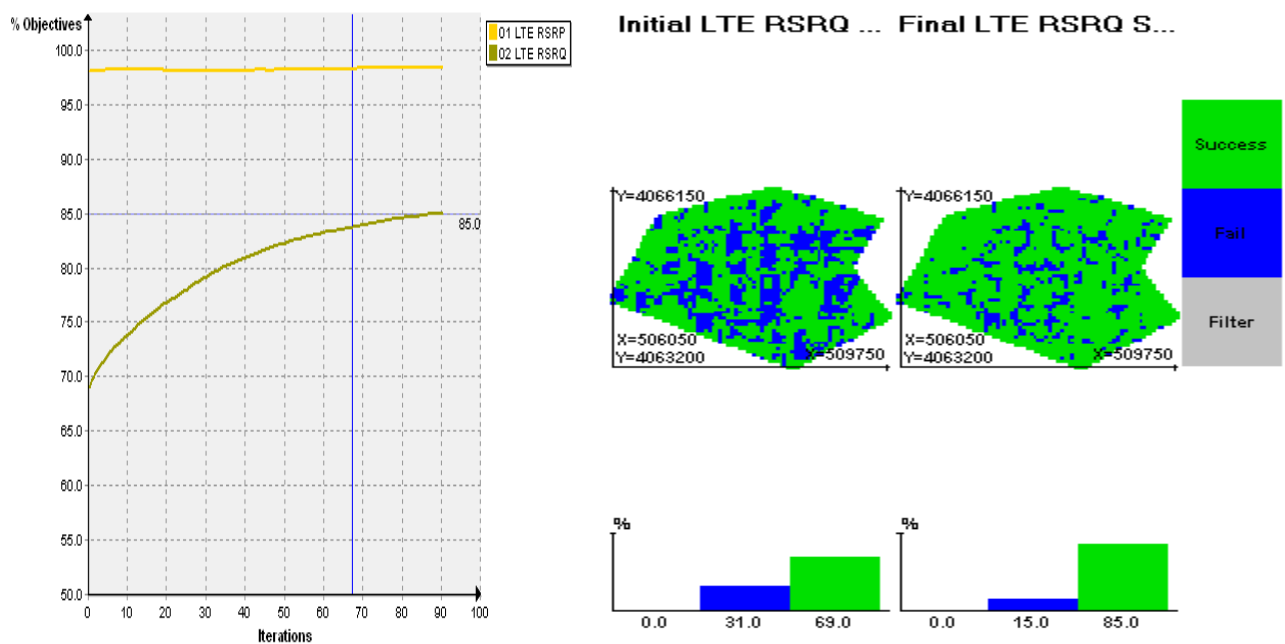
Le tilt : C'est une inclinaison mécanique ou électrique de l'antenne.

La puissance : La puissance émise par l'antenne.

Après avoir modifié les paramètres d'antenne :

- Azimut : valeur ajoutée de 0-60° à la valeur initiale,
- Tilt : valeur ajoutée de 0-5° à la valeur initiale,
- Puissance : augmentation de la valeur 43 à 70 dB.

La figure ci-dessous illustre l'amélioration de la qualité du signal.



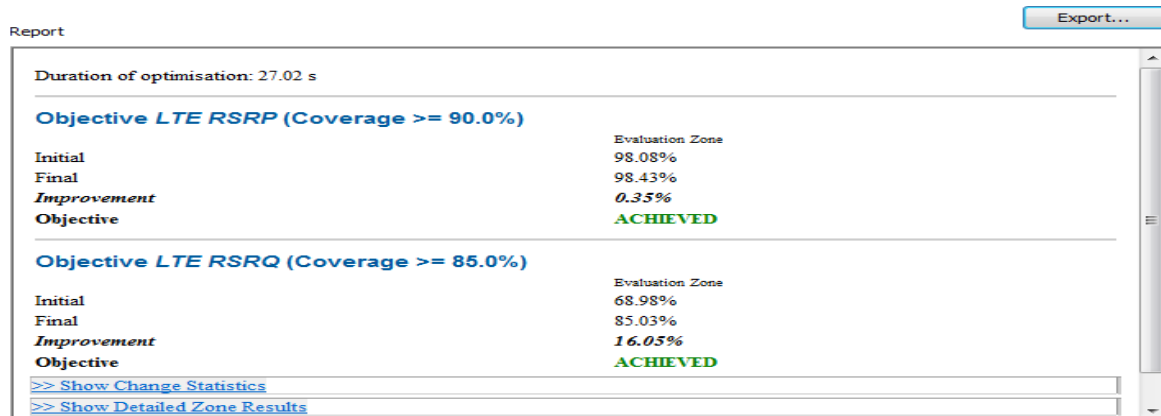


Figure 38 : L'amélioration de la qualité du signal.

➤ Interprétation :

On remarque, d'après la figure ci-dessus, que RSRQ s'est amélioré de 83,18% à 85,03%, on a aussi augmenté l'efficacité du RSRP de 97,01% à 98,43%. Ces résultats permettent d'avoir une bonne qualité de couverture.

Remarque : au cas où le RSRQ et le RSRP ne sont pas améliorés, on procède à l'ajout de sites.

IV. Implantation d'une liaison FH dans le réseau d'accès LTE

Les faisceaux hertziens sont utilisés dans différents domaines de télécommunication. Dans notre travail, nous allons utiliser la liaison FH pour l'interconnexion de deux cellules voisines.

IV. 1. Implantation de la liaison FH sous Atoll

Pour implanter la liaison FH sous Atoll, on clic sur l'icône nouvelle liaison, ensuite on relie les deux cellules à interconnecter. La figure ci-dessous illustre l'implantation de la liaison.

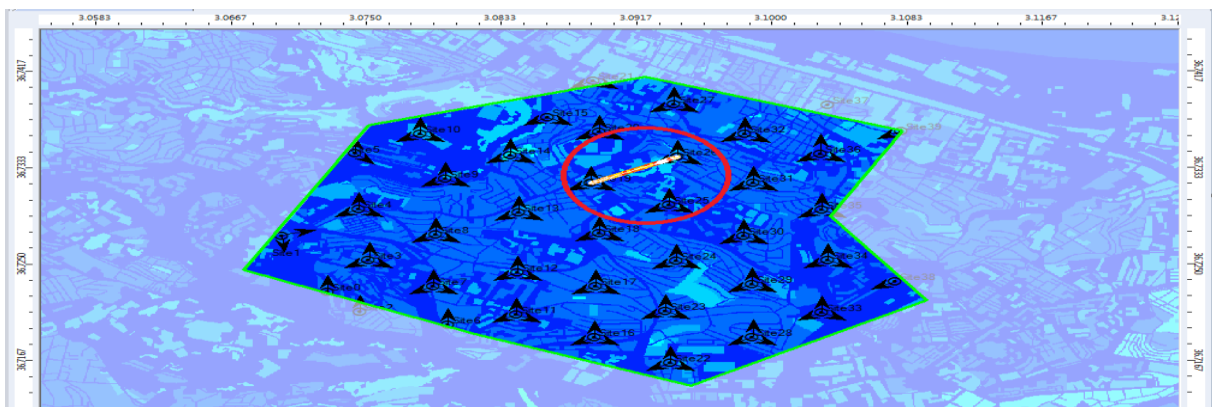


Figure 39 : Implantation de la liaison FH.

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

Introduire les paramètres de la liaison FH :

Les paramètres sont illustrés dans la figure ci-dessous :

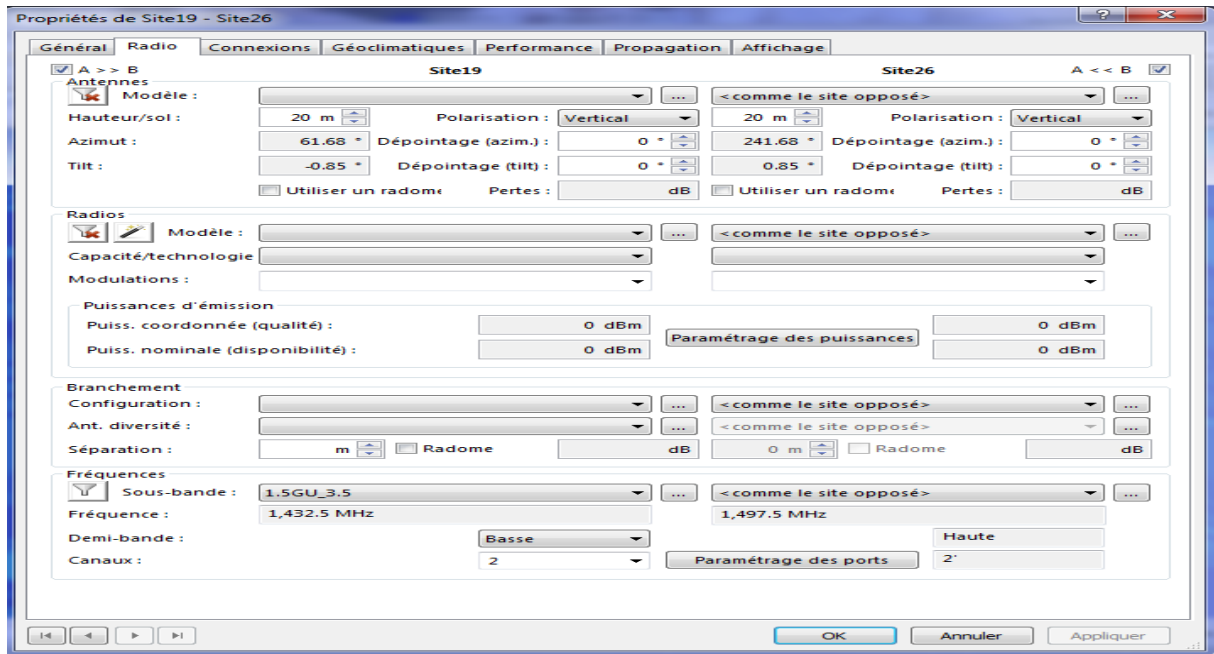


Figure 40 : Les paramètres de la liaison FH.

Après avoir introduire les paramètres de la liaison, on passe à la vérification de dégagement de la zone de Fresnel, la figure ci-dessous permet de visualiser la zone de Fresnel.

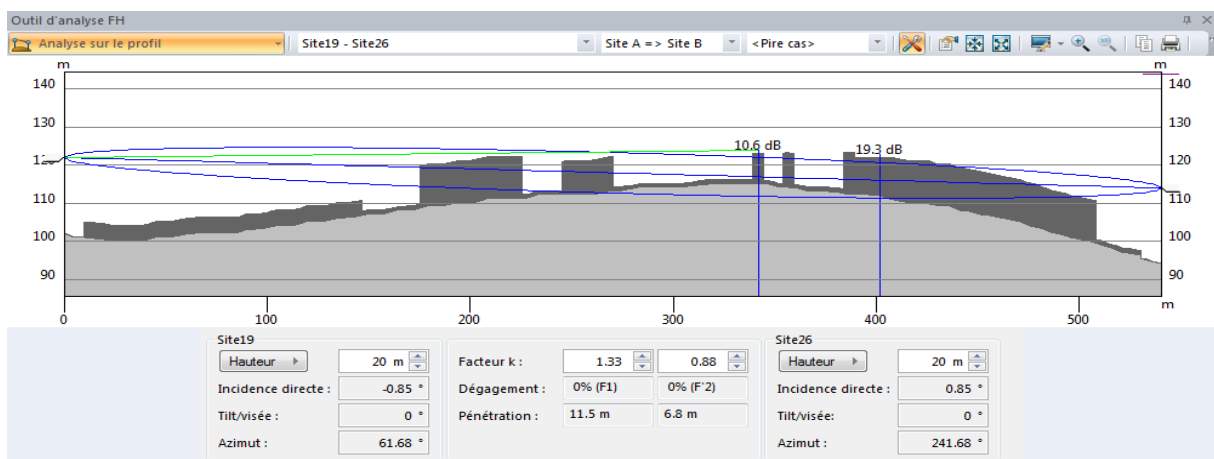


Figure 41 : Vérification du dégagement de la zone de Fresnel.

➤ Interprétation :

On remarque selon la figure ci-dessus, que la zone de Fresnel est au-dessous des obstacles (dégagement 0%), donc avec ces paramètres (Hauteur = 20m, fréquence = 1,4 GHz) on ne peut pas réaliser la liaison FH.

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

Les solutions proposées pour le dégagement de la zone de Fresnel, sont :

- L'augmentation de la hauteur de l'antenne,
- L'augmentation de la fréquence,
- L'utilisation des stations-relais.

L'augmentation de la hauteur des deux antennes :

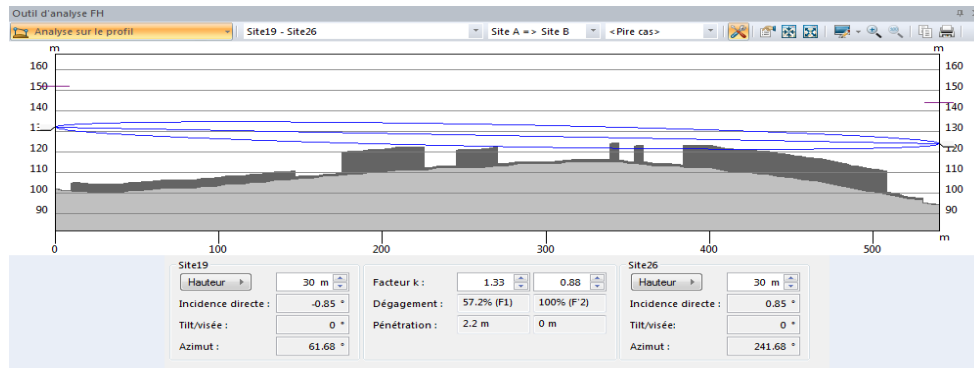


Figure 42 : Vérification de Dégagement de la zone de Fresnel après l'augmentation de la hauteur des antennes.

➤ Interprétation :

Après avoir augmenté la hauteur des antennes à 30m, on remarque une amélioration par rapport au résultat précédant, l'augmentation de 0% à 57,2%, mais reste insuffisant car, pour dire que la zone est suffisamment dégagée, on doit atteindre au moins la valeur 60%.

L'augmentation de la fréquence :

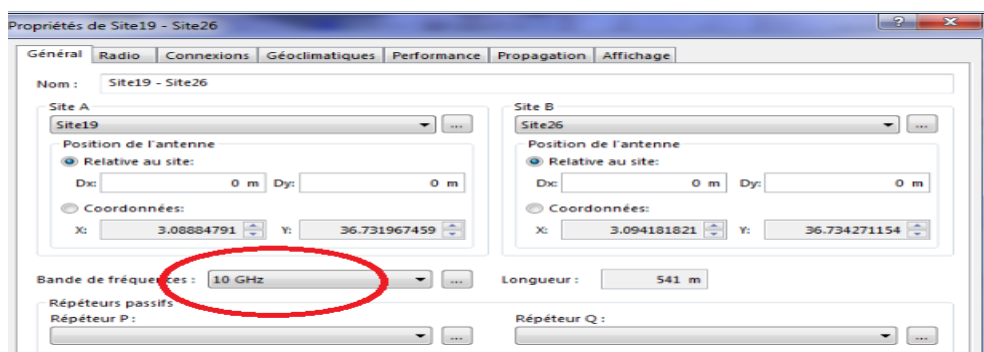


Figure 43 : L'augmentation de la fréquence.

Chapitre III : Dimensionnement et planification de l'interface radio du réseau LTE et la liaison FH à l'aide des logiciels RND et Atoll

Le résultat d'augmentation de la fréquence, est illustré sur la figure ci-dessous :



Figure 44 : Vérification de Dégagement de la zone de Fresnel après l'augmentation de la fréquence.

➤ Interprétation :

L'augmentation de la fréquence de 1,4 à 10 GHz a permis un dégagement 100% (parfait) de la zone de Fresnel. A partir de ce résultat, la liaison FH est établie.

V. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les étapes de dimensionnement et de planification d'une zone du Nord d'Alger d'une façon détaillée, puis, exposé des imprimes écran qui témoignent des différentes optimisations effectuées, en interprétant à chaque optimisation les résultats obtenus, puis nous avons implanté une liaison FH entre deux sites.

Conclusion générale et perspective

L'objectif principal de ce travail, est le dimensionnement et la planification des deux systèmes : faisceau hertzien et réseau d'accès LTE. Pour le faire, Nous avons commencé par une définition des faisceaux hertziens, de domaine d'utilisation, de leurs avantages et leurs inconvénients, ensuite nous avons introduit d'une manière générale la technologie Radio Mobile LTE, les innovations apportés par rapport aux technologies précédentes, les caractéristique de l'architecture LTE, les canaux radio ainsi que les exigences LTE et les QOS offerts.

Dans la deuxième partie on a établis un descriptif détaillé sur une solution de dimensionnement pour la liaison faisceau hertzien, en abordant toutes les étapes du processus de bilan de la liaison jusqu'au dégagement du premier ellipsoïde de Fresnel. Ensuite nous sommes passé au dimensionnement des eNodeB qui contient deux étapes essentiels, une orienté couverture et l'autre orienté capacité, cette partie est caractérisée par sa complexité et comprend plusieurs tâches, principalement l'établissement du bilan de la liaison radio, le choix d'un modèle de propagation adéquat pour le dimensionnement de couverture, le calcul de capacité de la cellule pour le dimensionnement orienté capacité.

Dans le troisième chapitre, nous avons effectué le dimensionnement et la planification du réseau 4G à l'aide du l'outil RND et Atoll avec une interprétation des étapes de simulation, des résultats de prédiction, et on a fait une implantation de la liaison FH entre deux sites pour le réseau d'accès LTE.

Les faisceaux hertziens et la technologie 4G constituent les solutions les plus recherchées par les opérateurs pour remédier au compromis QoS-coût, face aux exigences des consommateurs pour acquérir des débits de données plus élevés et des tarifs réduits. Ce travail nous a permis d'effectué un pas important envers la maîtrise des logiciels de dimensionnement et de planification des réseaux cellulaires en particulier, et ceci à contribué à l'enrichissement et à la consolidation de nos connaissances sur les réseaux sans fils en générale.

Ainsi nous estimons avoir atteint les principaux objectifs de notre projet, qui consistait à dimensionné et planifié uniquement la partie radio du réseau LTE. En perspective, nous préconisons d'étendre cette étude aux autres parties de ce réseau.

Annexe 1

Les canaux radios	Descriptions
Canaux logiques	
PCCH(Paging Control Channel)	Canal DownLink qui transfère les informations de paging aux terminaux dans une cellule.
BCCH (Broadcast Control Channel)	Canal DownLink, utilisé par le réseau pour le Broadcast des informations système de l'EUTRAN à l'ensemble des terminaux présents dans une cellule radio.
CCCH (Common Control Channel)	Utilisé pour la communication entre le terminal et l'E-UTRAN. Ce canal est typiquement utilisé dans les premières phases de l'établissement de communication.
DCCH (Dedicated Control Channel)	Canal point-à-point bidirectionnel qui supporte les informations de contrôle entre un terminal donné et le réseau.
DTCH (Dedicated Traffic Channel)	Canal bidirectionnel. Il peut supporter la transmission des données utilisateurs tel que la signalisation.
MCCH (Multicast Control Channel)	Utilisé pour la transmission des informations du réseau à plusieurs terminaux
MTCH (Multicast Traffic Channel)	Canal de données point-à-multipoint pour la transmission de trafic de données du réseau à un ou plusieurs terminaux.
Les canaux de transport	
BCH (Broadcast Channel)	Associé au canal logique BCCH
DL-SCH (Downlink Shared Channel)	Utilisé pour transporter le contrôle d'utilisateur ou le trafic data

Annexe 1

MCH (Multicast Channel)	Associé au MBMS pour le contrôle des informations de transport.
RACH (Random Access Channel)	qui est un canal de transport spécifique supportant un contrôle d'information limité. Il est utilisé durant les premières phases d'établissement de communication ou dans le cas du changement d'état.
UL-SCH (Uplink Shared Channel)	L'équivalent du DL-SCH en UpLink.
Les canaux physiques	
PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)	Transporte les données usager et la signalisation des couches hautes.
PDCCH (Physical Downlink Control Channel)	Transporte les assignations d'ordonnancement pour le lien montant.
PBCH (Physical Broadcast Channel)	Transporte les informations système.
PMCH (Physical Multicast Channel)	Transporte l'information Multicast/Broadcast.
PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)	Transporte les données utilisateur et la signalisation des couches hautes.
PUCCH (Physical Uplink Control Channel)	transporte les informations de contrôle, comprends les réponses ACK et NACK du terminal aux transmissions DownLink.
PRACH (Physical Random Access Channel)	qui transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux

Bibliographie

- [1] ZIMMER Baptiste, « INSTALLATION ET MISE EN SERVICE FAISCEAU HERTZIEN ALCATEL 9400UX », UNIVERSITE Nancy Brabois.
- [2] Abdul Basit Syed, « Dimensioning of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long term Evolution», TEKNILLINEN KORKEAKOULU TEKNISKA HÖGSKOLAN HILSINIK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,mémoire de fin d'étude master, 2009.
- [3] Yannick Bouguen, EricHarduin, François-Xavier Wolff, Préfce d'Alain Maloberti, « LTE et les réseaux 4G »,GroupeEyrolles, livre, 2012.
- [4] HarriHolma and AnttiToskala, « LTE FOR UMTS-OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access», WILEY, livre, 2009.
- [5] Enrique Fernandez, Marc Mathieu, avec la participation de Lucien Boithias, « LES FAISCEAUX HERTZIENS ANALOGIQUES ET NUMERIQUES», BORDAS et C.N.E.T.-E.N.S.T., livre, Paris, 1991.
- [6] Rim SAADI, «Mise à niveau de la méthodologie de dimensionnement de liens de transmissions Radio de bout en bout sur un réseau IP », ECOLE SUPERIEURE DES TELECOMMUNICATION DE TUNIS, Rapport de Projet de fin d'études, 2005/2006.
- [7] Hassen ben terdayet, Maher buiach, «Calibration des modèles de propagation pour les réseaux GSM, WCDMA, et LTE», Université de Tunisie, Projet de fin d'études, 2013.