

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA – Bejaia

Faculté de Technologie
Département Génie Electrique



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

MASTER

Présenté par

BOUMENIR Nabil

Filière : Télécommunication
Spécialité : Réseaux et Télécommunication

Thème

**Minimisation de l'énergie totale des stations de
base d'un réseau cellulaire (UMTS, LTE)**

Soutenu le : 03/07/2018

Devant le jury :

M. MEKHMOUKH
Mme. HAMZAOUI D
M. TOUNSI M
M. OUAMRI M.A

MCB
MCB
MCB
MCB

Examineur
Présidente
Promoteur
Co-Promoteur

Promotion 2017-2018

Remerciements

Au nom d'Allah le tout miséricordieux, le très miséricordieux.

Ce travail, ainsi accompli, n'aurait point pu arriver à terme, sans l'aide et le soutien et tout le guidage d'Allah, louange au tout miséricordieux; le Seigneur de l'univers. En second lieu, je tiens à remercier toute personne ayant aidé, de près ou de loin à l'achèvement de notre étude, et en particulier de notre période de fin d'étude et de ce projet. Je remercie en premier lieu, mes parents qui ne préservent aucun effort pour me voir escalader à pas sûrs la montagne du savoir, et dépasser tous les obstacles vers l'amélioration. Tout mot dit, je ne les remercierai jamais assez.

Je remercie mon promoteur, Mr Mohamed TOUNSI, pour m'avoir accompagné au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour l'aide et le soutien qu'il m'a apporté. Aussi, je remercie mon Co-promoteur Mr OUAMRI MOHAMED-AMINE qui a mis à ma disposition toutes les ressources nécessaires pour le bon déroulement de ce travail.

Je tiens aussi à présenter mes remerciements et ma gratitude à tous mes enseignants de l'Université A Mira de Béjaïa, qui m'ont toujours enrichi de leurs savoirs.

Enfin, je voudrais rendre hommage à toutes les personnes qui n'ont pas hésité à m'aider d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

A mes très chers parents

Respect, amour, reconnaissance, sont les moindres sentiments que je puisse vous témoigner. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, ma considération et ma grande admiration.

Que dieu vous garde.

A toute ma famille et à tous mes amis.

Sommaire

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE.....	1
INTRODUCTION GENERALE	0
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES RESEAUX	2
UMTS ET LTE	2
1. INTRODUCTION	2
2. HISTORIQUE SUR LES GENERATIONS DE TELEPHONIE MOBILES	2
3. LE RESEAU UMTS.....	4
3.1. Services UMTS.....	4
3.2 Architecture globale de l'UMTS	5
3.2.1 L'équipement Utilisateur (UE).....	6
3.2.1.1 L'équipement mobile (ME) :.....	6
3.2.1.2 L'USIM :	6
3.2.2 Réseau d'accès UTRAN.....	7
3.2.2.1 Le RNS (Radio Network sub-system).....	7
3.2.2.1.2 Le nœud B	8
3.2.3 Le réseau cœur	8
3.2.3.1 Le domaine à commutation de circuits.....	8
3.2.3.2 Le domaine à commutation de paquets	9
3.2.3.3 Les éléments commun aux domaines CS et PS.....	10
3.3 Méthodes d'accès radio : WCDMA	10
3.4 Allocation de spectre	11
4. LE RESEAU 4G LTE.....	11
4.1 LTE.....	11
4.2 Les caractéristiques du LTE.....	12
4.3 Architecture du réseau LTE	13
4.3.1 Le réseau cœur	14
4.3.2 E-UTRAN	15
4.4 La mobilité dans le réseau LTE.....	16
4.4.1 La procédure du Handover	17
4.4.2 La classification des handovers	18
4.5 Techniques d'accès	19
4.5.1 OFMD	19
4.5.2 OFDMA	20
4.5.3 SC-FDMA	21
4.6 Contrôle de puissance	22
4.6.1 Contrôle de puissance de la liaison descendante.....	22
4.6.2 Contrôle de puissance de la liaison montante	22
5. LA TECHNOLOGIE D'ANTENNES MULTIPLES.....	23
6. CONCLUSION.....	23

CHAPITRE 2 : PLANIFICATION D'UN RESEAU, OBJECTIFS ET CONTRAINTES	25
.....	
1. INTRODUCTION.....	25
2. PLANIFICATION D'UN RESEAU CELLULAIRE	25
2.1 <i>La pré-planification</i>	26
2.2 <i>Le dimensionnement</i>	26
2.2.1 Planification de couverture.....	26
2.2.2 Planification de capacité.....	26
2.3 <i>Sélection et paramétrage des sites</i>	27
2.4 <i>Optimisation</i>	27
3. LES PARAMETRES ANTENNAIRES.....	27
3.1 <i>Le tilt</i>	27
3.2 <i>L'azimut</i>	28
3.3 <i>Hauteur d'antenne</i>	28
3.4 <i>Puissance d'émission</i>	29
4. OBJECTIF ET CONTRAINTE	29
4.1 <i>Minimisation de l'énergie</i>	29
4.2 <i>Contrainte de la couverture</i>	30
5. MODELE DE PROPAGATION	30
5.1 <i>Le modèle d'Okumura Hata</i>	31
5.2 <i>Modèle de COST 231-Hata</i>	32
6. CONCLUSION	33
CHAPITRE 3 : ALGORITHME GENETIQUE.....	34
1. INTRODUCTION.....	34
2. LES ALGORITHMES GENETIQUES.....	34
3. POPULATION INITIALE.....	35
4. LA FONCTION D'EVALUATION	36
5. CROISEMENT.....	36
5.1 <i>Croisement à un point</i>	36
5.2 <i>Croisement à deux points</i>	37
6. MUTATION.....	38
7. SELECTION PAR TOURNOI.....	38
8. CONCLUSION.....	38
CHAPITRE 4 : SIMULATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	39
1. INTRODUCTION.....	39
2. PRESENTATION DU RESEAU	39
3. VARIATION DE L'ENERGIE EN FONCTION DE LA CAPACITE DU CLUSTER	40
4. COUVERTURE DU RESEAU	41
5. TAUX DE LA CONTRAINTE DU HANDOVER.....	43
6. REDUCTION DE L'ENERGIE PAR MINIMISATION DES STATIONS DE BASE.....	44
7. CONCLUSION.....	45
CONCLUSION GENERALE	46
Références bibliographiques	

Liste des abréviations

16QAM	16 Quadratic Amplitude Modulation.
1G	1ère Génération.
2G	2ème Génération.
3G	3ème Génération.
3GPP	3rd Generation Partnership Project.
4G	4ème Generation.
A	
AG	Algorithme Génétique
AMPS	Advanced Mobile Phone System.
AuC	Authentication Center.
B	
BoD	BandWidth on Demand.
BSC	Base Station Controller.
BSS	Base Station Subsystem.
BTS	Base Transceiver Station.
C	
CBC	Cell broadcast Center
CDMA	Code Division Multiple Access.
CN	Core Network.
CP	Cyclic Prefix.
CS	Circuit Switched.
D	
DCS-1800	Digital Communication System-1800.
DFT	Discret Fourier Transform.
DS-CDMA	Direct Sequence Code Division Multiple Access.
E	
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution.
EIR	Equipment Identity Register.
eNodeB	evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core.
EPS	Evolved Packet System.
ETSI	European Telecommunication Standards Institut.
ETWS	Earthquake and Tsunami Warning System.
E-UTRAN	Evolved-UTRAN.
F	
FDD	Frequency Division Duplexing.
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
FFT	Fourier Function Transform.
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunication System
G	
GGSN	Gateway GPRS Support Node.
GMSC	Gateway MSC.
GPRS	General Packet Radio Service.
GSM	Global System for Mobile communications.
H	

HLR	Home Location Register.
HSDPA	High Speed Downlink Pocket Access.
HSPA+	High Speed Pocket Access+.
HSPA	High Speed Pocket Access.
HSS	Home Subscriber Service
HSUPA	High Speed Uplink Pocket Access.

I

ICI	Inter-Carrier-Interference.
IDFT	Inverse Discret Fourier Transform.
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform.
Intra-RAT	intra- Radio Access Technology
IMEI	International Mobile station Equipment Identity.
IMT	International Mobile Telecommunication.
IMT-2000	Internarional Mobile Telecommunications for the year 2000
IP	Internet Protocol.
ISI	Inter-Symbol-Interference
IS-95	Interim Standard-95.

L

LA	Location Area.
LTE	Long Term Evolution.

M

MAC	Medium Access Control.
ME	Mobile Equipment.
MIMO	Multi input multi output.
MME	Mobility Management Entity.
MS	Mobile Station.
MSC	Mobile Switching Center.
MSISDN	Mobile Station International ISDN Number
MT	Mobile Termination.

N

NMT	Nordic Mobile Telephone.
NRT	No Real Time.
NSS	Network and Switching Subsystem.

O

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
OSI	Open Systems Interconnections.

P

PAPR	Peak to Average Power Ratio.
PCRF	Policy and Charging Rules Function.
PCS	Personal Communications Services
PDC	Personal Digital cellular.
PDN	Packet Data Network.
PGW	Packet data network Gateway.
PIN	Personal Identification Number
PS	Packet Switched.
PSTN	Public Switched Telephone Network.

Q

QoS Quality of Service.
QPSK Quadratic Phase Shift Keying.

R

RA Routing Area.
RNC Radio Network Controller.
RRC Radio Resource Control.
RSS Received Signal Strength

S

SC-FDMA Single Carrier-Frequency Division Multiple Access.
SF Spreading Factor.
SGSN Serving GPRS Support Node.
SGW Serving Gateway.
SIM Subscriber Identity Module.
SIMO Single Input Multiple Output.
SISO Single input Single output.
SMS Short Message Service.
SNR Signal Noise Ratio.

T

TD-CDMA Time Division-Code Division Multiple Access.
TDD Time Division Duplexing.
TDMA Time Division Multiple Access.

U

UE User Equipment.
UICC Universal Integrated Circuit Card
UMTS Universal Mobile Telecommunication System.
USIM Universal Subscriber Identity Module.
UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network.

V

VLR Visitor Location Register.

W

W-CDMA Wideband-CDMA.

Liste des figures

Figure 1.1 : Architecture globale de l'UMTS.....	5
Figure 1.2 : Architecture interne de l'UE.	6
Figure 1.3 : Architecture globale de l'UTRAN.....	7
Figure 1.4 : Architecture du réseau cœur.....	9
Figure 1.5 : Etalement par séquence directe.....	10
Figure 1.6 : Architecture du réseau LTE.....	14
Figure 1.7 : Architecture de l'E-UTRAN.	16
Figure 1.8 : Scénario procédure d'un handover.....	18
Figure 1.9 : Modulation OFDM.....	20
Figure 1.10 : Démodulation OFDM.	20
Figure 1.11 : Configuration MIMO 2x2.	23
Figure 2.1 : Consommation d'énergie d'un réseau cellulaire.	25
Figure 2.2 : Processus de planification	26
Figure 2.3 : Illustration du Tilt antenneaire.	28
Figure 2.4 : Illustration de l'azimut antenneaire.	28
Figure 3.1 : structure d'un chromosome.	34
Figure 3.2 : Exemple de croisement à un point.....	37
Figure 3.3 : Exemple de croisement à deux points.....	37
Figure 4.1 : Réseau à étudier.....	40
Figure 4.2 : Capacité en fonction de l'énergie.....	41
Figure 4.3 : Couverture après changement de la puissance.....	42
Figure 4.4 : Courbe de variation du taux de handover en fonction de la couverture.....	43

Figure 4.5 : Réseau avec distribution aléatoire de stations de base	44
Figure 4.6 : Emplacement des BSs après les 700 générations.....	45

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Les caractéristiques du réseau LTE.....	13
Tableau 4.1 : Les paramètres des stations.....	40
Tableau 4.2 : Les nouveaux paramètres des stations.....	42

Introduction générale

Au cours de la dernière décennie, il y a eu une croissance énorme du marché des réseaux cellulaires. Le nombre d'abonnés et la demande de trafic cellulaire ont augmenté de façon astronomique. Avec l'introduction des appareils Android et iPhone, l'utilisation et le succès des géants des réseaux sociaux tels que Facebook, la demande de trafic de données cellulaires a également augmenté de manière significative ces dernières années.

De ce fait, les opérateurs mobiles trouvent inévitable de répondre à ces nouvelles exigences, d'optimiser ses ressources ou de déployer une nouvelle technologie capable de répondre aux exigences des abonnés, avec une faible latence, une meilleure fiabilité, et une meilleure efficacité spectrale par rapport aux précédentes générations, tout en réduisant les coûts d'investissement.

Par conséquent, l'exploitation d'un réseau cellulaire énergétique est nécessaire plus que jamais pour réduire à la fois les dépenses opérationnelles et l'empreinte carbone de cette industrie. Dans un système cellulaire typique, les stations de base contribuent à pas moins de 50% de la consommation d'énergie de l'ensemble du réseau [1]. Ainsi, la réduction de l'énergie totale des stations de base peut réduire considérablement les coûts opérationnels et l'empreinte carbone. Cependant, les techniques visant à réduire la consommation énergétique peuvent entraîner des trous de couverture et des probabilités d'interruption plus élevées. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet de fin d'études, dont l'objectif est de minimiser la consommation énergétique des stations de base d'un réseau cellulaire tout en assurant une probabilité de couverture maximale.

Le présent rapport est organisé de la manière suivante : le premier chapitre donne une vue générale sur le réseau 3G UMTS ainsi que son successeur le réseau 4G LTE. Le deuxième chapitre est réservé d'une part, à la présentation des différentes étapes de la planification d'un réseau cellulaire et les paramètres qui y interviennent, et d'autre part à la définition de la fonction objective de cette étude. Le troisième chapitre donne un bref aperçu sur les concepts de base des algorithmes génétiques. Le dernier chapitre présente les résultats de nos simulations réalisées sous MATLAB ainsi que leurs interprétations. Nous terminons par une conclusion générale suivie des références bibliographiques utilisées.

Chapitre 1 :
Généralité sur les réseaux UMTS et LTE

Chapitre 1 : Généralité sur les réseaux

UMTS et LTE

1. Introduction

La troisième génération de réseaux mobiles (3G) regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial : l'UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 et déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord. Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches, notamment un schéma d'accès multiples à répartition par les codes (CDMA). Dans ce qui suit, nous nous concentrons sur l'UMTS, car c'est cette famille de technologies qui va donner naissance au LTE.

Le LTE a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS, lors d'un atelier organisé par le 3GPP appelé *Future Evolution Work Shop*. Cette évolution était alors destinée à maintenir la compétitivité de l'UMTS sur un horizon de dix ans et au-delà. Les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté au 3GPP en janvier 2005 avec une étude de faisabilité, qui s'est conclue en septembre 2006 avec la définition des grands principes de la technologie LTE. Les travaux sur cette technologie se sont déroulés jusqu'à décembre 2008, date où la première version des spécifications a été approuvée. Le LTE est ainsi défini dans la Release 8.

2. Historique sur les générations de téléphonie mobiles

Pendant les dernières décennies, le marché de la téléphonie mobile a connu une grande évolution surtout avec l'apparition des systèmes radio-mobiles cellulaires. Les premiers réseaux cellulaires ont été déployés aux Etats-Unis à partir de 1978 avec le système AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) et en Europe en 1981 avec le système NMT (*Nordic Mobile Telephone*). Ces réseaux, dits de première génération, utilisaient un système de transmission analogique et un multiplexage fréquentiel FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). La densité d'abonnés restait relativement faible et la mobilité était facile à gérer puisque les cellules étaient de grande taille. Une cellule radio est une zone géographique couverte par une antenne de transmission. Un utilisateur est alors en mesure de passer d'une cellule à une autre sans coupure de communication. Ce passage, appelé *Handover*, correspond à la fonction permettant au terminal de changer de cellule sans interruption. Les réseaux cellulaires de première génération

ont été les premiers à permettre à un utilisateur mobile d'utiliser un téléphone de façon continue, n'importe où dans la zone de service d'un opérateur.

Les réseaux cellulaires de deuxième génération ont été conçus au milieu des années 80. Ils utilisent une transmission numérique qui a l'avantage d'augmenter le débit grâce aux codes correcteurs d'erreurs. Le principal système de deuxième génération est le GSM (*Global System for Mobile communications*) qui est basé sur une technique d'accès FDMA/TDMA (*Frequency Division Multiple Access/Time Division Multiple Access*). Le GSM fonctionne dans la bande de fréquence de 900 MHz. Il existe d'autres systèmes de deuxième génération comme le DCS1800 (*Digital Cellular System 1800*) qui fonctionne dans la bande de fréquence de 1800 MHz. Aux Etats-Unis, le système utilisé est le PCS (*Personal Communications Services*) fonctionnant dans la bande de 1900 MHz. Au Japon, le système déployé est le PDC (*Personal Digital cellular*).

Jusqu'à la fin de l'année 1999, les services de la parole ont représenté la majorité du trafic dans les réseaux GSM. La transmission des données reste marginale et les débits ne peuvent pas dépasser 9,6 kbit/s. L'organisme de normalisation ETSI (*European Telecommunication Standards Institut*) a standardisé deux nouveaux services pour le GSM, le HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) et le GPRS (*General Packet Radio Service*). Dans le premier, le débit peut atteindre 64 kbit/s et dans le deuxième on peut atteindre des débits de l'ordre de 160 kbit/s pour la transmission des données. Une évolution de la norme GPRS a mené à un nouveau service appelé EDGE (*Enhanced Data rates for the GSM Evolution*) qui envisage des débits de transmission de l'ordre de 384 kbit/s.

En 1985, l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) a commencé ses études sur les réseaux FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunication System*), renommés IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications for the year 2000*) en 1993. De son côté, l'ETSI a commencé en 1990 ses études sur les réseaux mobiles pour l'Europe sous le nom de UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*). L'UMTS n'est qu'un élément de la famille IMT-2000 dite de troisième génération.

Les réseaux mobiles de troisième génération offrent des services de voix ainsi que des services de transmission des données jusqu'à 384 kbit/s avec une vitesse de déplacement de plus de 500 km/h, jusqu'à 512 kbit/s en extérieur urbain avec une vitesse de 120 km/h et jusqu'à 2 Mbit/s à moins de 10 km/h. Grâce aux débits élevés de cette génération, des services multimédia sophistiqués peuvent être fournis.

3. Le réseau UMTS

3.1. Services UMTS

La capacité la plus remarquable promise par UMTS est un débit de données élevé jusqu'à 2 Mbps. En fonction de ce que l'utilisateur final essaie de faire, diverses considérations doivent être prises, dont le débit de données est unique.

Les spécifications UMTS définissent quatre classes de service, dans lesquelles les services d'une classe donnée ont un ensemble commun de caractéristiques. Les classes de service sont les suivantes:

- **Services Conversationnels**

Elle est caractérisée par une faible tolérance de retard, une faible gigue (variation de délai) et une faible tolérance aux erreurs. L'exigence de débit de données peut être élevée ou faible, mais elle est généralement symétrique. En d'autres termes, le débit de données dans une direction sera similaire à celui dans l'autre sens. La voix, qui est très sensible aux délais, est une application conversationnelle typique, qui ne nécessite pas de débits de données très élevés. La vidéoconférence est également une application conversationnelle. Il a des exigences de délai similaires à la voix, mais est moins tolérant aux erreurs et nécessite généralement un débit de données plus élevé.

- **Services Interactifs**

Cela consiste en des transactions de type requête / réponse. Le trafic interactif se caractérise par une faible tolérance aux erreurs, mais avec une plus grande tolérance aux retards que les services conversationnels. La gigue (variation de délai) n'est pas un obstacle majeur aux services interactifs, à condition que le délai global ne devienne pas excessif. Les services interactifs peuvent nécessiter des débits de données faibles ou élevés en fonction du service en question, mais le débit de données n'est généralement significatif que dans une direction à la fois.

- **Services en Streaming**

Cela concerne les services unidirectionnels, utilisant des débits binaires faibles à élevés. Les services de diffusion en continu ont une tolérance d'erreur faible, mais ont généralement une tolérance élevée pour le retard et la gigue. C'est parce que l'application de réception tamponne généralement les données afin qu'elles puissent être jouées à l'utilisateur de manière

synchronisée. Le streaming audio et le streaming vidéo sont des applications de streaming classiques.

- **Services Background**

Cette classe est caractérisée par une contrainte de retard faible, voire nulle. Les exemples incluent la distribution de courrier électronique de serveur à serveur (par opposition à la récupération d'e-mails par l'utilisateur), les SMS et les rapports de performance / mesure. Les applications en arrière-plan nécessitent une livraison sans erreur. [2]

3.2 Architecture globale de l'UMTS

La conception du réseau UMTS repose sur une architecture flexible et modulaire. En théorie, une telle architecture n'est ni associée à une technologie d'accès radio unique ni à un ensemble de services prédéfini. L'idée derrière cette philosophie est double: garantir la compatibilité avec ses prédécesseurs 2G et avec d'autres systèmes 3G, et permettre aux opérateurs UMTS de faire évoluer leur réseau en fonction de leurs besoins pour le développement de nouveaux services, ainsi que des capacités supplémentaires.

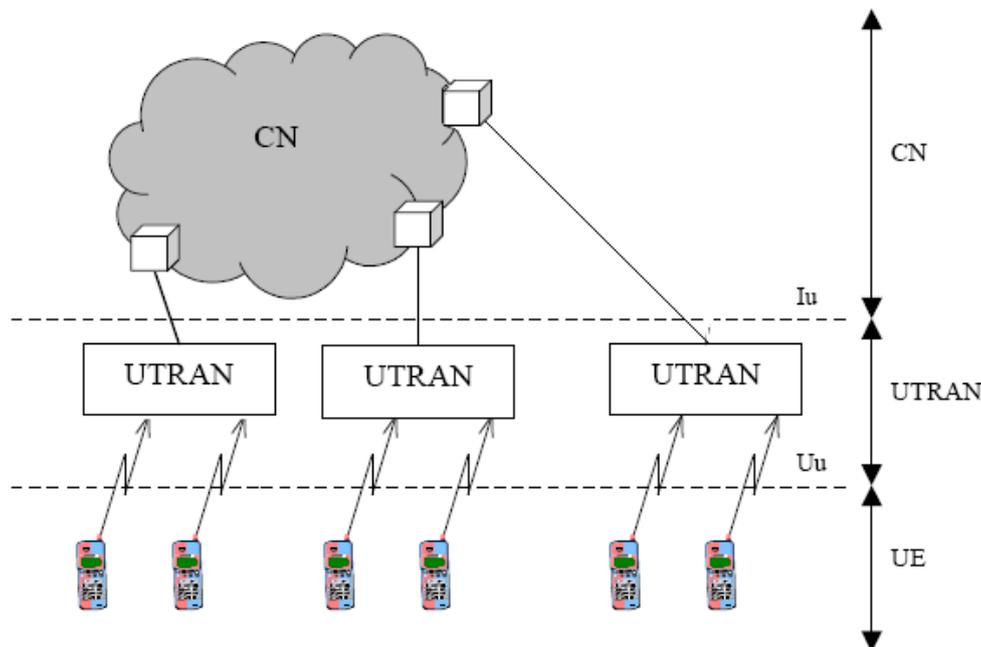


Figure 1.1 : Architecture globale de l'UMTS

L'architecture d'un réseau UMTS comprend un certain nombre d'entités physiques regroupées en domaines en fonction de leur fonction au sein du réseau. Trois domaines composent l'architecture d'un réseau UMTS (voir Figure 1.1): le domaine Equipement Utilisateur (*UE, User Equipment*), le domaine Réseau d'Accès Radio Terrestre (*UTRAN*) et le domaine Réseau Cœur (*CN, Core Network*). [3]

3.2.1 L'équipement Utilisateur (UE)

D'un point de vue fonctionnel, l'UE est composé de deux parties, l'équipement mobile (ME) et le module d'identité d'abonné universel (*USIM, Universal Subscriber Identity Module*). La figure 1.2 montre l'architecture interne de l'équipement utilisateur.

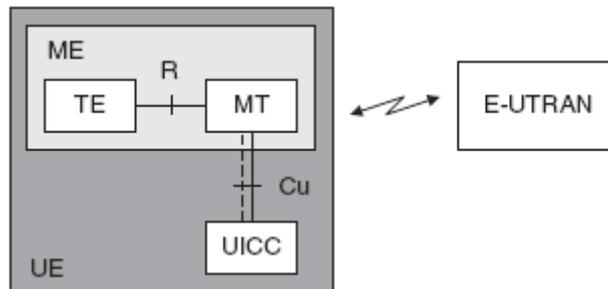


Figure 1.2 : Architecture interne de l'UE.

3.2.1.1 L'équipement mobile (ME) :

L'UE sans carte USIM / SIM insérée est appelé équipement mobile et comprend en outre une terminaison mobile (MT) et un équipement terminal (TE) :

- ✓ La terminaison mobile (*MT, Mobile Termination*) assure un transfert fiable des données et des messages de signalisation dans toute l'interface radio. Le codage / décodage de canal, la modulation RF et la retransmission de paquets sont des exemples des fonctions exécutées par la terminaison mobile.
- ✓ L'équipement terminal (*TE, Terminal Equipment*) est la partie de l'UE où les données utilisateur sont générées dans la liaison montante et traitées dans la liaison descendante. Les protocoles d'application tels que WAP / IP et les codecs vidéo / audio sont situés dans le TE.

3.2.1.2 L'USIM :

Bien que souvent appelé USIM-card, l'USIM est en fait une application qui réside sur la carte à puce UICC (*Universal Integrated Circuit Card*). Cette application permet l'accès aux services offerts par le réseau mobile. Les informations contenues dans l'USIM comprennent :

- Le numéro d'identification personnel (*PIN, Personal Identification Number*) qui permet d'associer l'UICC à un abonné donné, quel que soit le ME utiliser.
- Les langues préférées de l'utilisateur.
- Un ou plusieurs IMSI (s) et MSISDN (s).

- Les identités temporaires de l'utilisateur allouées par le réseau cœur lorsqu'il est connecté au domaine de circuit (TMSI) et au domaine de paquet (P-TMSI).
- Les clés pour les procédures de chiffrement et d'intégrité.
- Les codes pour activer les appels d'urgence.
- Les messages courts et des paramètres associés.
- Des informations de code d'embrouillage et de fréquence utilisées pour accélérer la sélection de cellules. [3]

3.2.2 Réseau d'accès UTRAN

Le réseau terrestre d'accès radio UTRAN assure le transport des flux entre l'équipement utilisateur et le réseau cœur. L'architecture globale de l'UTRAN est présentée dans la figure 1.3. Un réseau UTRAN est composé d'un ensemble de RNS (*Radio Network sub-system*) relié au réseau cœur à travers l'interface Iu.

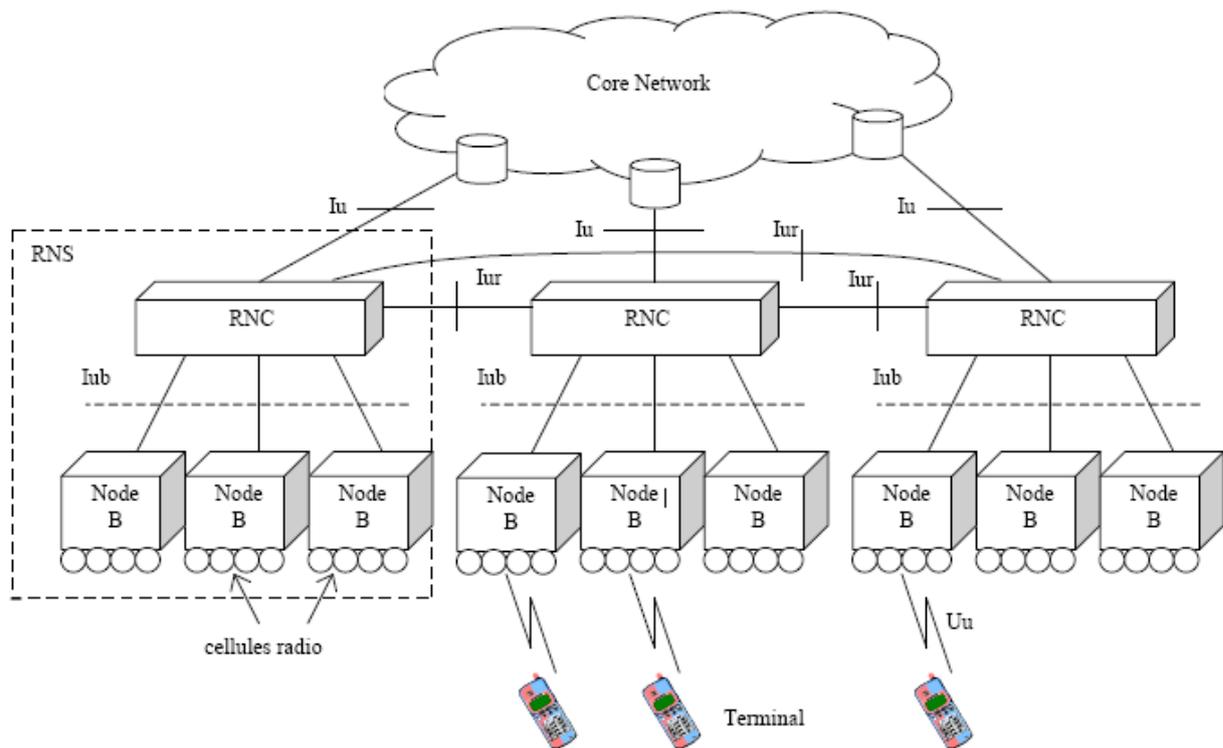


Figure 1.3 : Architecture globale de l'UTRAN

3.2.2.1 Le RNS (Radio Network sub-system)

C'est un sous-réseau constitué d'un seul RNC (*Radio Network Controller*) et de plusieurs Node B. Les Node B sont reliés entre eux par l'interface Iub et deux RNS sont reliés par l'interface Iur. Le RNS est connecté au réseau cœur par l'interface Iu. [4]

3.2.2.1.1 Le RNC (*Radio Network Controller*)

Le RNC a pour rôle de router les ressources radio entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS ainsi que contrôler et gérer les ressources radio de l'UTRAN (l'établissement, maintien et libération des canaux radio), il correspond logiquement au BSC (Base Station Controller) du réseau GSM. [5]

3.2.2.1.2 Le nœud B

Le nœud B est actif sur les couches OSI inférieures. Il est chargé de transmettre à la fois la signalisation et les données d'utilisateur destiné à l'UE par l'intermédiaire de l'interface radio, et de recevoir le trafic de l'UE et de le mettre "sur le réseau". Le nœud B est responsable de la modulation, la démodulation, l'étalement de spectre ainsi que de la génération de codes CDMA. De plus, le nœud B est impliqué dans le contrôle des ressources radio: il mesure la qualité des signaux reçus et met cette information à la disposition du RNC. Sur la base de ces mesures, le RNC peut décider d'attacher l'UE à une autre cellule. De plus, le nœud B est impliqué dans le contrôle de puissance afin de contrer l'effet de quasi loin, Plus l'antenne est éloignée, plus le signal doit être fort. Le nœud B mesure la puissance du signal entrant et indique à l'UE s'il doit s'ajuster. [6]

3.2.3 Le réseau cœur

L'architecture du réseau cœur, comme le montre la figure 1.4, est composée de trois parties, dont deux domaines :

- Le domaine à commutation de circuits (*CS, Circuit Switched*).
- Le domaine à commutation de paquets (*PS, Packet Switched*).
- Les éléments communs aux domaines CS et PS.

3.2.3.1 Le domaine à commutation de circuits

Ce domaine assure la connexion à un réseau RNIS (*Réseau Numérique à Intégration de Service*) et le réseau RTC (*Réseau Téléphonique Commuté*), il est composé de :

- Le MSC (*Mobile-services Switching Center*) est en charge d'établir la communication avec l'équipement utilisateur. Il a pour rôle de commuter les données.
- Le GMSC (*Gateway MSC*) est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté PSTN (*Public Switched Telephone Network*). Si un équipement usager

contacte un autre équipement depuis un réseau extérieur au réseau UMTS, la communication passe par le GMSC qui interroge le HLR pour récupérer les informations de l'utilisateur. Ensuite, il route la communication vers le MSC dont dépend l'utilisateur destinataire.

- Le VLR (*Visitor Location Register*) est une base de données, assez similaire à celle du HLR, attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR garde en mémoire l'identité temporaire de l'équipement usager dans le but d'empêcher l'interception de l'identité d'un usager. Le VLR est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique LA (*Location Area*).

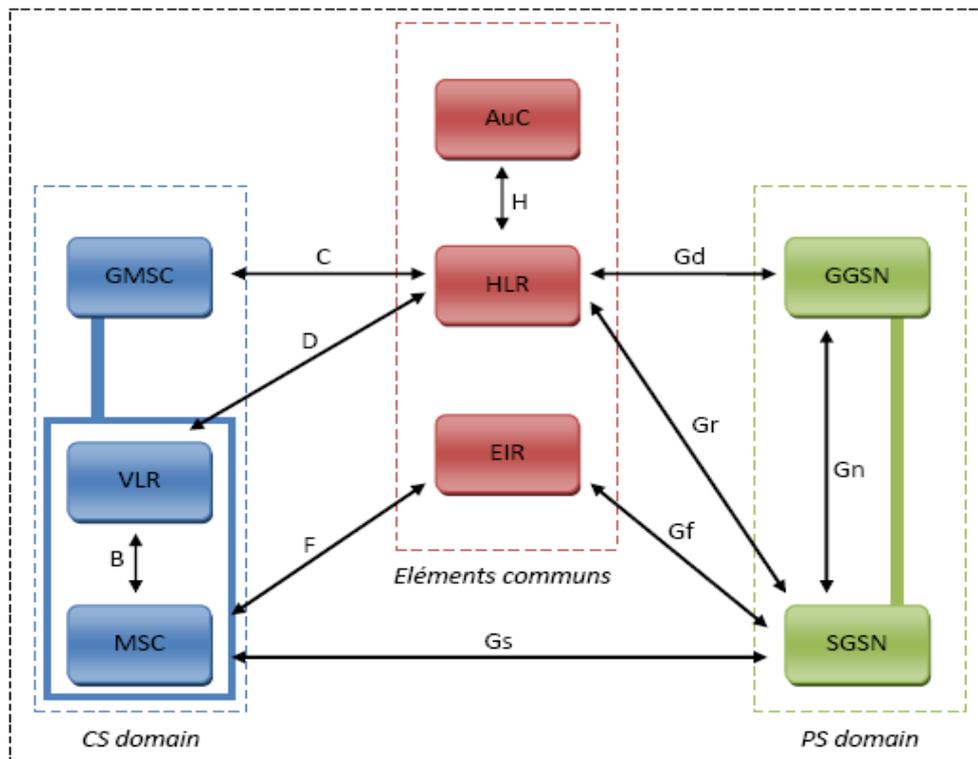


Figure 1.4 : Architecture du réseau cœur

3.2.3.2 Le domaine à commutation de paquets

Ce domaine assure le transfert des paquets vers le réseau IP, il est composé des éléments suivants :

- Le SGSN (*Serving GPRS Support Node*) joue le rôle d'un MSC/VLR pour le domaine de commutation de paquet, il assure principalement les procédures de routage et de transfert des données, de localisation et les procédures d'authentification.
- Le GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet.

3.2.3.3 Les éléments commun aux domaines CS et PS

Ce sont des éléments partagés par le domaine de commutation de paquet et le domaine de commutation de circuit, ces éléments sont :

- HLR (*Home Location Register*) est une base de données qui contient toutes les informations relatives aux abonnés. Pour chaque abonné le HLR mémorise ces informations de souscription, son identité IMSI (*International Mobile Station Identity*) et son numéro d'appel MSISDN (*Mobile Station International ISDN Number*)
- L'AuC (*Authentication Center*) est en charge de l'authentification de l'abonné, ainsi que du chiffrement de la communication
- L'EIR (*Equipment Identity Register*) est en charge de la gestion des vols des équipements usagers. [3]

3.3 Méthodes d'accès radio : WCDMA

L'UMTS utilise une méthode d'accès multiple à la ressource radio, basée sur le principe d'étalement de spectre, mise en œuvre en appliquant la technique d'accès WCDMA.

Le WCDMA est un mode d'accès multiple par répartition de code en utilisant une technique d'étalement par séquence directe (*DS-SS-CDMA, Direct Sequence Code Division Multiple Access*). Cela signifie que les bits correspondant aux données utilisateur sont étalés sur une large bande passante, en multipliant ces données utilisateur par une séquence pseudo aléatoire de bits appelées *chips* provenant des codes d'étalements CDMA comme illustrés dans la figure 1.5. Afin de pouvoir supporter des débits très élevés, jusqu'à 2Mbit/s, le WCDMA utilise des transmissions à facteur d'étalement variable et à multiples codes.

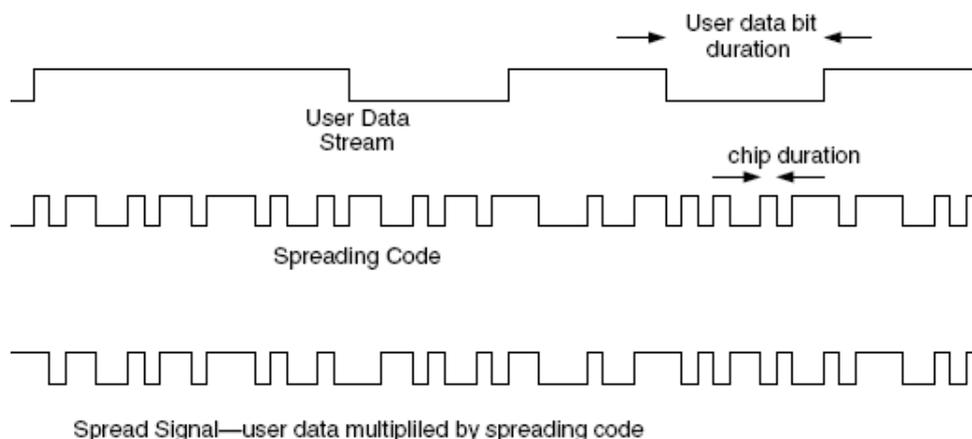


Figure 1.5 : Etalement par séquence directe

Le débit *chips*, débit binaire de la séquence de code, de 3.84Mc/s donne une bande passante par porteuse de l'ordre de 5 MHz. La large bande passante par porteuse de WCDMA permet de supporter des débits utilisateurs importants. Elle a en outre un impact bénéfique sur les performances du système. En fonction de licence qui a été lui attribuée, l'opérateur peut utiliser plusieurs porteuses pour augmenter la capacité de son réseau.

Le WCDMA permet de supporter des débits utilisateurs variables, en d'autre terme, il est possible de proposer aux utilisateurs de la bande passante à la demande *BoD (BandWidth on Demand)*. Une trame d'une durée de 10ms est attribuée à chaque utilisateur, durant laquelle le débit est constant, cependant, ce débit peut varier d'une trame à l'autre.

Le WCDMA possède deux modes de fonctionnement : le mode FDD (*Frequency division duplex*) et le mode TDD (*Time Division Duplex*). Dans le mode FDD, deux bandes passantes de 5MHz sont utilisées, l'une pour le sens montant (*Uplink*), l'autre pour le sens descendant (*DownLink*) alors que dans le mode TDD, une seule bande passante de 5Mhz est utilisée pour les deux sens, le sens montant et le sens descendant. [7]

3.4 Allocation de spectre

Avec l'option WCDMA FDD, les porteuses appariées à 5 MHz dans la liaison montante et la liaison descendante sont les suivantes: liaison montante 1920 MHz à 1980 MHz; liaison descendante 2110 MHz à 2170 MHz. Ainsi, pour le mode de fonctionnement FDD, une séparation de 190 MHz existe entre la liaison montante et la liaison descendante. Bien que 5 MHz soit l'espacement nominal des porteuses, il est possible d'espacer les porteuses de 4,4 MHz à 5 MHz par pas de 200 kHz. Ceci permet l'espacement qui pourrait être nécessaire pour éviter les interférences, en particulier si le prochain bloc de 5 MHz est alloué à un autre opérateur.

Pour l'option TDD, un certain nombre de fréquences ont été définies, notamment de 1900 MHz à 1920 MHz et de 2010 MHz à 2025 MHz. Bien sûr, avec TDD, une porteuse donnée est utilisée à la fois dans la liaison montante et dans la liaison descendante de sorte qu'il n'y a pas de séparation. [2]

4 Le réseau 4G LTE

4.1 LTE

Le LTE a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS, d'où son nom de *Long Term Evolution*, lors d'un atelier organisé par le 3GPP appelé *Future*

Evolution Workshop. Cette évolution était alors destinée à maintenir la compétitivité de l'UMTS sur un horizon de dix ans et au-delà. Les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté au 3GPP en janvier 2005 avec une étude de faisabilité, qui s'est conclue en septembre 2006 avec la définition des grands principes de la technologie LTE. Les travaux de spécification proprement dits se sont alors déroulés jusqu'à décembre 2008, date où la première version des spécifications a été approuvée. Le LTE est ainsi défini dans la Release 8 du 3GPP. Du fait du saut technologique qu'il représente par rapport au HSDPA, le LTE est considéré comme constituant une quatrième étape de l'évolution des réseaux d'accès mobiles, ou 4G. [8]

4.2 Les caractéristiques du LTE

Caractéristique	Description
Débit sur l'interface radio	L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s toute en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant, et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz
Flexibilité de la bande passante	Possible d'opérer avec une bande de taille différente avec les possibilités suivantes : 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz, pour les sens descendant et montant. L'intention est de permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.
Efficacité du spectre	Le LTE utilise une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens Descendant, et 2,5 bit/s/Hz pour le sens montant.
Méthode de duplexage	Le LTE utilise le FDD (<i>Frequency Division duplexing</i>) et le TDD (<i>Time Division Duplexing</i>)

Technologies d'accès	LTE utilise la technologie OFDMA (<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>) pour le Sens descendant, et SC-FDMA (<i>Single Carrier - Frequency Division Multiple Access</i>) pour le Sens montant.
Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G	Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms Pour les services non temps-réel. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre LTE et La 2G/3G est toujours possible.
Mobilité	La mobilité est assurée à des vitesses comprises entre 120et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer dans des conditions où l'utilisateur se déplace à grande vitesse.
Technologie d'antenne	LTE utilise la technologie d'antenne MIMO (<i>Multiple Input Multiple Output</i>)

Tableau 1.1 : Les caractéristiques du réseau LTE. [9]

4.3 Architecture du réseau LTE

Le LTE a été conçu pour prendre en charge uniquement les services à commutation de paquets, contrairement au modèle à commutation de circuits des systèmes cellulaires précédents. Il vise à fournir une connectivité IP (*Internet Protocol*) transparente entre l'équipement utilisateur (UE) et le réseau de données par paquets (PDN, *Packet Data Network*). La figure ci-dessous illustre l'architecture du réseau LTE, appelé EPS (*Evolved Packet System*). Il existe trois composants principaux, à savoir l'équipement utilisateur (UE), le réseau d'accès radio E-UTRAN (*Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network*) et le réseau cœur EPC (*Evolved Packet Core*).

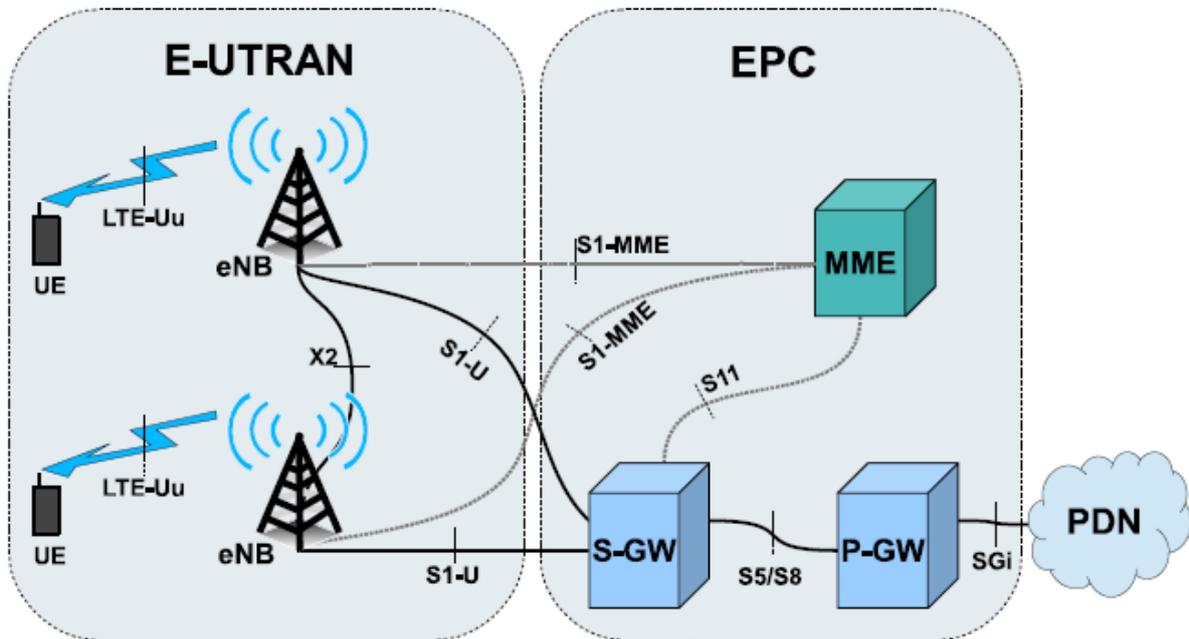


Figure 1.6 : Architecture du réseau LTE

4.3.1 Le réseau cœur

Le réseau cœur LTE s'appelle EPC (*Evolved packet Core*), la figure 1.6 montre les principaux composants de ce dernier qui sont décrit brièvement ci-dessous :

- **MME** (*mobility management entity*) l'entité de gestion de la mobilité (MME) contrôle le fonctionnement du mobile, en lui envoyant des messages de signalisation sur des questions telles que la sécurité et la gestion des flux de données qui ne sont pas liées aux communications radio. Un réseau type peut contenir une poignée de MMEs, chacune d'entre elles s'occupant d'une certaine région géographique. Chaque mobile est assigné à un seul MME, connu sous le nom de MME desservant (*servicing MME*), mais qui peut être modifié si le mobile se déplace suffisamment loin. Le MME contrôle également les autres éléments du réseau EPC, au moyen de messages de signalisation. Le MME est relié via l'interface S6 au HSS (*Home Subscriber Server*) qui supporte la base de données contenant toutes les informations d'abonnement de l'utilisateur.
- **P-GW** (*packet data network gateway*) est le point de contact de l'EPC avec le monde extérieur. Grâce à l'interface SGi, chaque passerelle PDN échange des données avec un ou plusieurs dispositifs externes ou réseaux de données par paquets, tels que les serveurs de l'opérateur, Internet ou le sous-système multimédia IP. Chaque mobile est affecté à une passerelle PDN par défaut lors de sa première mise sous tension, ultérieurement, un

mobile peut être assigné à une ou plusieurs passerelles PDN supplémentaires, s'il souhaite se connecter à des réseaux de données par paquets supplémentaires. Chaque passerelle PDN reste la même pendant toute la durée de la connexion de données.

- **S-GW** (*Serving gateway*) cette passerelle agit comme un routeur de haut niveau et transmet les données entre la station de base et la passerelle PDN. Un réseau typique peut contenir une poignée de passerelles de service, chacune s'occupant des mobiles dans une certaine région géographique. Chaque mobile est affecté à une passerelle de service unique, mais la passerelle S-GW peut être modifiée si le mobile se déplace suffisamment loin.

L'EPC a quelques autres composants qui ne sont pas montrés dans la figure 1.6. Tout d'abord, **CBC** (*Cell broadcast center*) était auparavant utilisé par l'UMTS. En LTE, l'équipement est réutilisé pour un service connu sous le nom de système d'alerte aux tremblements de terre et aux tsunamis (**ETWS**, *Earthquake and Tsunami Warning System*). Deuxièmement, le registre d'identité des équipements (**EIR**, *Equipment Identity Register*) a également été hérité de l'UMTS et liste les détails des mobiles perdus ou volés. Troisièmement, le **PCRF** (*Policy and Charging Rules Function*) responsable de la gestion et de la facturation de la qualité de service (QoS), et finalement le **HSS** (*Home Subscriber Service*), une base de données contenant des informations sur l'abonné. [10]

4.3.2 E-UTRAN

Le réseau d'accès radio (E-UTRAN) est illustré à la figure 1.7. L'E-UTRAN gère les communications radio entre le mobile et l'EPC et ne possède qu'un composant, le nœud B évolué (eNB, *evolved-NodeB*). Chaque eNB est une station de base qui contrôle les mobiles dans une ou plusieurs cellules. Un mobile communique avec une seule station de base et une cellule à la fois, de sorte qu'il n'y a pas d'équivalent de l'état du *soft handover* de l'UMTS.

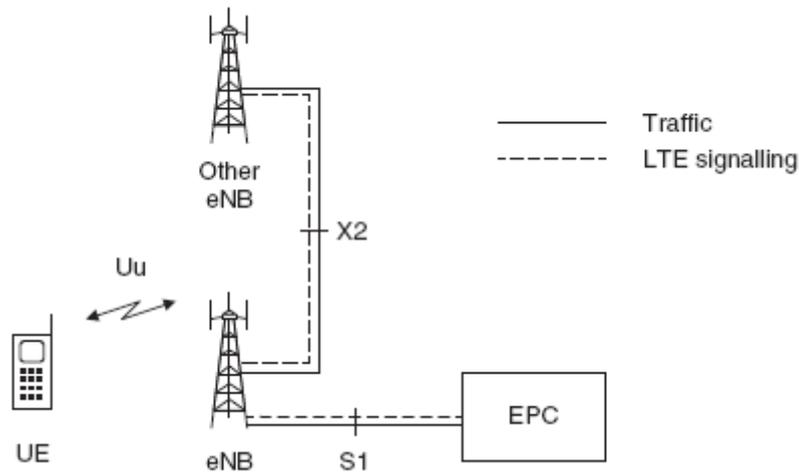


Figure 1.7 : Architecture de l'E-UTRAN.

L'eNB a deux fonctions. Tout d'abord, l'eNB envoie des transmissions radio à tous ses mobiles sur la liaison descendante et reçoit des transmissions de ceux-ci sur la liaison montante. Deuxièmement, l'eNB contrôle le fonctionnement de tous ses mobiles, en leur envoyant des messages de signalisation tels que des commandes de transfert qui se rapportent à ces transmissions radio. En réalisant ces fonctions, l'eNB combine les fonctions antérieures du nœud B et du RNC, afin de réduire la latence qui se produit lorsque le mobile échange des informations avec le réseau.

Chaque station de base est connectée à l'EPC au moyen de l'interface S1. Il peut également être connecté à des stations de base voisines par l'interface X2, qui est principalement utilisée pour la signalisation et l'acheminement des paquets pendant le handover. [10]

4.4 La mobilité dans le réseau LTE

Pour offrir une couverture omniprésente, il est essentiel de garantir que les utilisateurs de téléphones portables puissent accéder au service lorsqu'ils se déplacent dans la zone de couverture du réseau. Alors que l'interface radio LTE est optimisée pour prendre en charge des scénarios de mobilité de faible à moyenne, elle peut également prendre en charge les utilisateurs à très haute mobilité, jusqu'à 350Km/h.

En général, un UE peut être en mode inactif ou connecté, par rapport au réseau. Un UE inactif n'a aucun support de données associé à celui-ci. En d'autres termes, aucune ressource réseau / radio ne lui est allouée. L'emplacement d'un équipement utilisateur inutilisé n'est connu du système MME que dans un groupe contigu de cellules, appelé zone de suivi. Alors qu'un équipement d'utilisateur inactif n'est pas connecté à un eNB, il est nécessaire de sélectionner

une cellule appropriée et d'y camper. La procédure de sélection et de camping d'un UE passif sur une cellule est connue sous le nom de sélection de cellule (*Cell Selection*). Un équipement d'utilisateur inactif, alors qu'il campe sur une cellule, continue à surveiller d'autres cellules et peut décider de camper sur une autre cellule si les conditions radio changent, par exemple, en raison de la mobilité de l'UE. Ce processus est connu sous le nom de resélection de cellule (*Cell Reselection*).

Dans l'état connecté, un UE peut avoir besoin de passer à un autre eNB en raison de la dégradation de la puissance du signal reçu provenant de l'eNB à laquelle il est connecté, ce qui peut se produire en raison de la mobilité de l'utilisateur. Le processus d'un UE connecté en changeant son association d'un eNB à un autre est appelé *Handover*. En LTE, le processus handover est contrôlé par l'eNB. La gestion de la mobilité fait référence à la détermination d'une cellule appropriée pour le camping et d'un eNB approprié pour l'association, respectivement pour un UE en mode inactif et connecté, effectuant l'échange de signalisation requis et garantissant un retard minimal. [11]

4.4.1 La procédure du Handover

Un UE connecté surveille en permanence la puissance du signal de la cellule à laquelle il est connecté pour s'assurer que la qualité de la liaison est suffisamment bonne pour prendre en charge les exigences de qualité de service de ses sessions en cours. Chaque fois que la force du signal commence à se détériorer, l'UE est déclenché pour mesurer la puissance du signal des cellules voisines et passer à une cellule cible appropriée au moment opportun.

Pour illustrer la procédure du handover, nous considérons le scénario de la figure 1.8 où un UE passe de l'emplacement A dans la cellule 1 à l'emplacement B dans la cellule 2. Une puissance de signal reçu spécifique est suffisante pour obtenir une qualité de service minimum acceptable. Une puissance de signal plus faible ($+ \Delta$), représentée par *Handover Threshold* sur la figure, est choisie comme déclencheur pour initier des mesures de cellules voisines. Lorsque l'intensité du signal mesuré à partir de l'eNB de connexion devient inférieure au seuil de transfert, l'UE commence la mesure de la puissance du signal reçu à partir des nœuds voisins. Ces mesures de cellules voisines sont comparées, et la cellule la plus forte est choisie comme cible pour le handover. Pour assurer un handover réussi, le processus doit être achevé avant que la puissance du signal provenant de la cellule de connexion ne devienne inférieure au niveau minimum acceptable, sinon une défaillance de handover peut se produire en raison de la perte de connectivité radio. La figure 1.8 montre une situation dans laquelle le processus de handover

est achevé avant que le signal mesuré de la cellule 1 ne soit inférieur à la puissance de signal minimale acceptable, ce qui entraîne un succès handover. Ce scénario est représenté par Signal-1 tandis que le scénario de défaillance de handover est indiqué par Signal-2 dans la figure 1.8.

Le choix de Δ peut affecter la performance du handover de deux manières: si Δ est trop faible, il peut en résulter un handover tardif, augmentant le risque de défaillance de handover dû au manque de temps disponible pour compléter ce dernier, par contre si Δ est trop élevé, il peut causer une handover prématurée, ce qui peut aussi être inutile. [11]

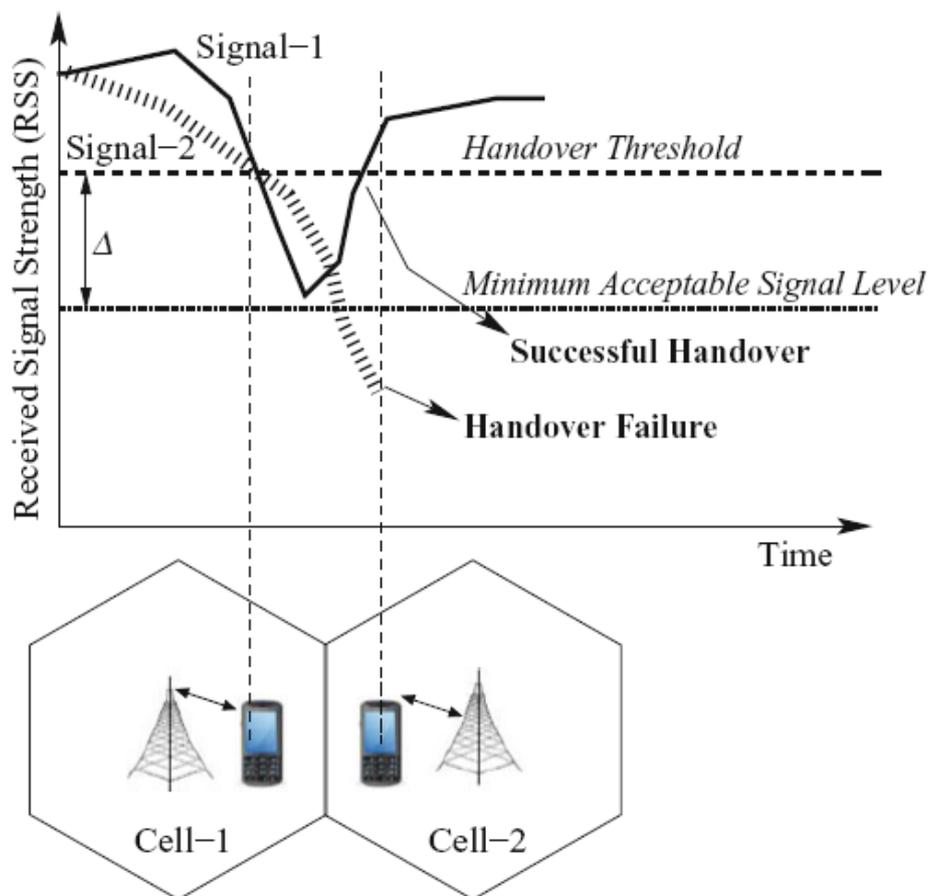


Figure 1.8 : Scénario procédure d'un handover

4.4.2 La classification des handovers

En fonction de la fréquence de fonctionnement et de la technologie d'accès radio déployée, les handovers peuvent être classifiés comme suit:

- **Intra-RAT** : intra- Radio Access Technology inclut tous les handovers qui sont effectués sur des cellules qui utilisent la même technologie d'accès radio:

- Intra-frequency : handover qui est effectué lorsque la fréquence porteuse de la cellule de connexion et celle des cellules cibles sont identiques est appelée handover intra-fréquence. Dans un scénario LTE spécifique, nous pouvons classer les handovers intra-fréquence de la manière suivante. Sur la base de l'interface de signalisation utilisée, il peut y avoir deux types de handover pour le cas Intra-LTE: *X2-handover* et *S1-handover*. Le X2-handover est utilisé pour les handovers *inter-eNB*, tandis que le S1-handover est déclenché uniquement lorsqu'il n'y a pas d'interface X2 entre les deux eNB ou que la configuration de l'eNB source ou cible est configuré pour effectuer un handover via l'interface S1.
 - Inter-frequency : le handover qui est effectué lorsque la fréquence porteuse de la cellule de connexion et celle des cellules cibles sont différentes est appelé *inter-frequency handover*.
- **Inter-RAT** : Les handover qui sont effectués sur des cellules utilisant différentes technologies d'accès radio (telles que LTE et UMTS) sont classés comme handovers inter-RAT. [11]

4.5 Techniques d'accès

Pour offrir des débits élevés le LTE emploie la technologie OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) dans le sens descendant (*Downlink*), et le SC-FDMA (*Single Carrier – Frequency Division Multiple Access*) dans le sens montant (*Uplink*).

4.5.1 OFDM

L'OFDM est probablement l'une des avancées les plus marquantes dans les technologies d'accès. Il facilite les taux de transmission plus élevés avec une complexité raisonnable d'égalisation et de détection. Cette transmission est obtenue en modulant un ensemble de sous-porteuses orthogonales à bande étroite. En particulier, un bloc OFDM est construit comme représenté sur la figure 1.9. La séquence de L symboles modulés, x_0, x_1, \dots, x_{L-1} , sont convertis en L flux parallèles avant de prendre la transformée de Fourier rapide inverse (IFFT, *Inverse Fast Fourier Transform*) de N points de chacun. La discordance possible entre L et N est surmontée par un remplissage nul des entrées $N-L$ restantes du bloc IFFT. Ensuite, les N sorties, s_0, s_1, \dots, s_{N-1} sont reconvertis en un flux en série avant d'ajouter le préfixe cyclique (CP, *Cyclic Prefix*). Finalement, le bloc OFDM résultant est converti en sa forme analogique avant de l'envoyer sur le canal.

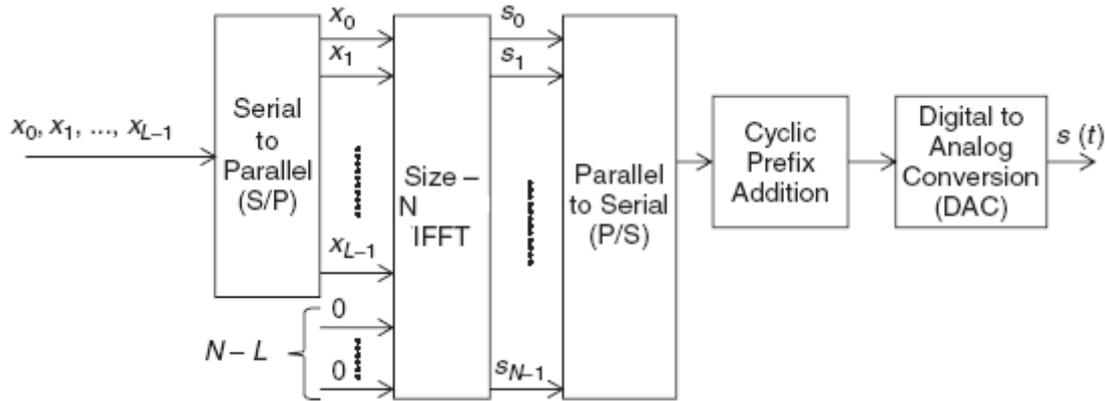


Figure 1.9 : Modulation OFDM

En utilisant cette architecture, un bloc OFDM peut résister à l'interférence inter-porteuse (ICI, *Inter-Carrier-Interference*) en employant des sous-porteuses orthogonales, c'est-à-dire en utilisant l'IFFT. Il est également capable d'atténuer la dispersion temporelle du canal en insérant le CP. En fait, l'insertion du CP est une technique largement utilisée pour créer une période dite de garde entre des symboles OFDM successifs. Le CP est simplement une répétition de la dernière partie du symbole OFDM. La longueur de cette répétition est suffisamment longue pour dépasser la dispersion des retards du canal, atténuant ainsi la dispersion des retards du canal provoquant l'interférence entre symboles (ISI, *Inter-Symbol-Interference*).

La démodulation OFDM inverse les processus susmentionnés. Après la conversion du signal reçu dans le domaine numérique, le CP est supprimé. Ensuite, le signal est converti en N flux de données parallèles avant d'effectuer une FFT N-point. Enfin, la séquence est renvoyée en série. Ces fonctionnalités sont illustrées à la figure 1.10.

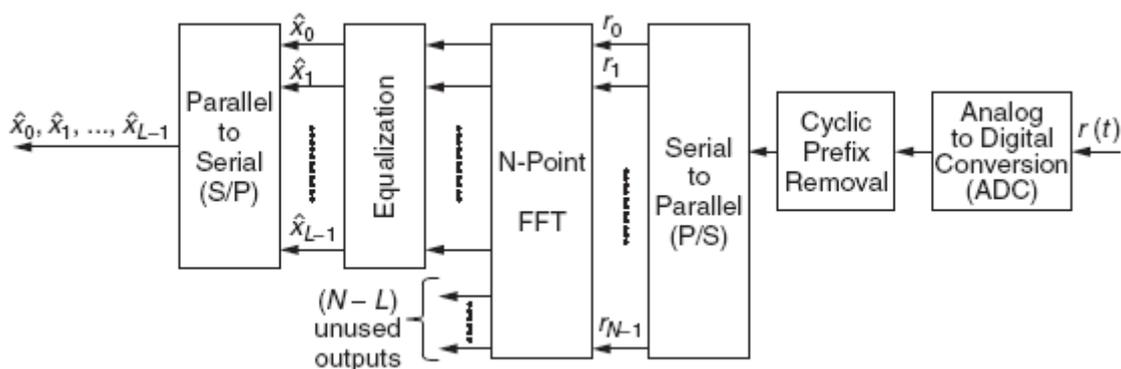


Figure 1.10 : Démodulation OFDM.

4.5.2 OFDMA

Dans OFDM, toutes les sous-porteuses sont assignées à un seul utilisateur. Par conséquent, pour que plusieurs utilisateurs communiquent avec la station de base, l'ensemble de sous-

porteuses est assigné à chacun d'eux selon un mode d'accès TDMA (*Time Division Multiple Access*). Alternativement, un mécanisme d'accès multiple basé sur OFDM, à savoir l'OFDMA, assigne des ensembles de sous-porteuses à différents utilisateurs. En particulier, la bande passante disponible totale est divisée en M ensembles, chacun consistant en L sous-porteuses. Par conséquent, un total de M utilisateurs peut communiquer simultanément avec la station de base.

Malgré la relative simplicité de l'OFDMA, il présente des avantages très intéressants. Probablement le plus important d'entre eux est son exploitation inhérente de la fréquence et des diversités multi-utilisateurs. La diversité de fréquence est exploitée en distribuant aléatoirement les sous-porteuses d'un seul utilisateur sur l'ensemble de la bande, réduisant ainsi la probabilité que toutes les sous-porteuses d'un seul utilisateur subissent une dégradation profonde. Une telle attribution est particulièrement le cas lorsque l'attribution d'une sous-porteuse distribuée est employée. D'autre part, la diversité multi-utilisateur est exploitée en affectant des ensembles contigus de sous-porteuses à des utilisateurs connaissant de bonnes conditions de canal.

Un autre avantage important de l'OFDMA est son attribution de bande passante adaptative inhérente. Puisque la bande passante de transmission est constituée d'un grand nombre de sous-porteuses orthogonales pouvant être activées et désactivées séparément; des bandes passantes de transmission plus larges, aussi élevées que 100 MHz, peuvent être facilement réalisées.

4.5.3 SC-FDMA

Parmi les nombreuses méthodes proposées et étudiées pour réduire le rapport entre la puissance moyenne et la puissance maximale du signal abrégé communément en PAPR (*Peak to Average PowerRatio*) de l'OFDM, SC-FDMA qui a été pratiquement adopté pour l'accès aux transmissions en voie montante dans les systèmes LTE.

Cette méthode d'accès multiple basée sur OFDM surmonte le problème du PAPR à travers l'ajout d'une transformée de Fourier discrète (DFT, *Discrete Fourier Transform*) qui réalise, en émission, une conversion du domaine temporel dans le domaine fréquentiel, ce pré-codage « lisse » la puissance du signal émis, et diminue les variations d'amplitude à haute fréquence. La transformation de Fourier discrète inverse (iDFT) est faite en réception. L'adoption du SC-FDMA améliore l'efficacité d'utilisation de la puissance des batteries de l'équipement utilisateur, prolongeant ainsi leur durée de vie.

4.6 Contrôle de puissance

Le contrôle de puissance se réfère au réglage des niveaux de puissance de sortie des émetteurs, des stations de base dans les liaisons descendantes et des stations mobiles dans la liaison montante, dans le but d'améliorer la capacité du système, la couverture et la qualité de l'utilisateur (débit ou qualité de la voix) et réduire la consommation d'énergie. Pour atteindre ces objectifs, les mécanismes de contrôle de puissance visent typiquement à maximiser la puissance reçue des signaux désirés, tout en limitant les interférences générées.

4.6.1 Contrôle de puissance de la liaison descendante

Dans la liaison descendante, une stratégie de contrôle de puissance simple et efficace, utilisée dans les concepts de système les plus récents, consiste à transmettre avec une puissance de sortie constante. Souvent, la puissance maximale de la station de base est utilisée. La puissance d'interférence générée est instantanément élevée, mais l'énergie d'interférence générée pour une quantité donnée de données transférées est minimisée en maximisant le débit de données, minimisant ainsi le temps de transmission, grâce à l'ordonnement et à l'adaptation de liaison. Le contrôle de la puissance de liaison montante LTE peut être considéré comme un moyen d'appliquer ce concept de liaison descendante dans le sens montant.

4.6.2 Contrôle de puissance de la liaison montante

Le LTE utilise SC-FDMA comme technologie d'accès radio dans la liaison montante. L'utilisation d'un schéma de transmission orthogonal élimine les interférences entre les utilisateurs dans la même cellule (*intra-cell interference*). Cependant, les performances du système sont encore limitées par les interférences inter cellules. La quantité d'interférence générée vers les cellules voisines dépend, entre autres choses, de la position du terminal mobile. Les terminaux proches des cellules voisines génèrent plus d'interférences que les terminaux éloignés. Pour un niveau de brouillage généré donné dans une cellule voisine, les terminaux éloignés de cette cellule peuvent donc transmettre avec une puissance supérieure à celle des terminaux proches de la cellule. De plus, il existe une corrélation entre être proche de la cellule de service et être loin des cellules voisines.

Toutes ces caractéristiques sont utilisées dans le contrôle de la puissance de liaison montante LTE. La liaison montante LTE orthogonale permet le multiplexage de terminaux avec une puissance de liaison montante reçue différente dans la même cellule.

Le contrôle de la puissance de liaison montante LTE est basé sur les deux mesures de la force du signal effectuées par le terminal lui-même (*open-loop power control*) ainsi que des mesures par la station de base, utilisées pour générer des commandes de contrôle de puissance d'émission qui sont ensuite renvoyées aux terminaux dans le cadre de la signalisation de commande de liaison descendante (*closed-loop power control*).

5. La technologie d'antennes multiples

L'une des principales technologies du système LTE est la technologie MIMO. Cette technique multiantennes peut être utilisée pour améliorer les performances du système, notamment une capacité système améliorée (plus d'utilisateurs par cellule) et une couverture améliorée (possibilité de cellules plus volumineuses), ainsi qu'un service amélioré, par exemple, des débits plus élevés par utilisateur.

Le principe de base du multiplexage spatial consiste à envoyer des signaux provenant de deux antennes différentes ou plus avec des flux de données différents et des moyens de traitement de signal dans le récepteur séparant les flux de données, augmentant ainsi les débits. Lors du précodage, les signaux transmis par les différentes antennes sont pondérés afin de maximiser le rapport signal sur bruit reçu. La figure 1.11 illustre plusieurs antennes à la fois à l'émetteur et au récepteur, c'est une configuration d'antenne 2×2 .

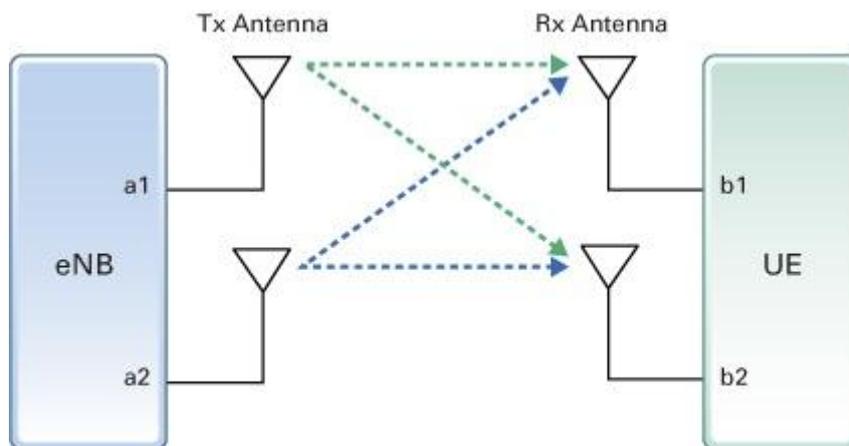


Figure 1.11 : Configuration MIMO 2x2.

6. Conclusion

L'augmentation rapide de l'utilisation d'internet pour fournir toutes sortes de services, a commencé en même temps que les systèmes mobiles 3G et ce qui a mené à la prochaine étape

qui est la 4G LTE qui utilise un système tout IP. Cette évolution a été rendue possible par l'avancement technologique dans les domaines de l'électronique et des télécommunications.

Ce chapitre a consisté en une vue globale des réseaux 3G/UMTS et 4G/LTE, dans laquelle différents aspects de ces deux générations ont été présentés, à savoir leurs architectures et leurs techniques d'accès.

Chapitre 2 :

Planification d'un réseau, Objectifs et contraintes

Chapitre 2 : Planification d'un réseau, Objectifs et contraintes

1. Introduction

Le besoin de réseaux sans fil économes en énergie a attiré beaucoup d'attention et met l'accent sur la nécessité de réduire les dépenses d'exploitation et l'utilisation de l'énergie de l'infrastructure de télécommunications. De plus, il est largement connu que les stations de base consomment une quantité importante d'énergie (supérieure à 50%) dans un réseau cellulaire (voir la **figure 2.1**) [1], ce qui nécessite une optimisation de la consommation énergétique des stations de base.

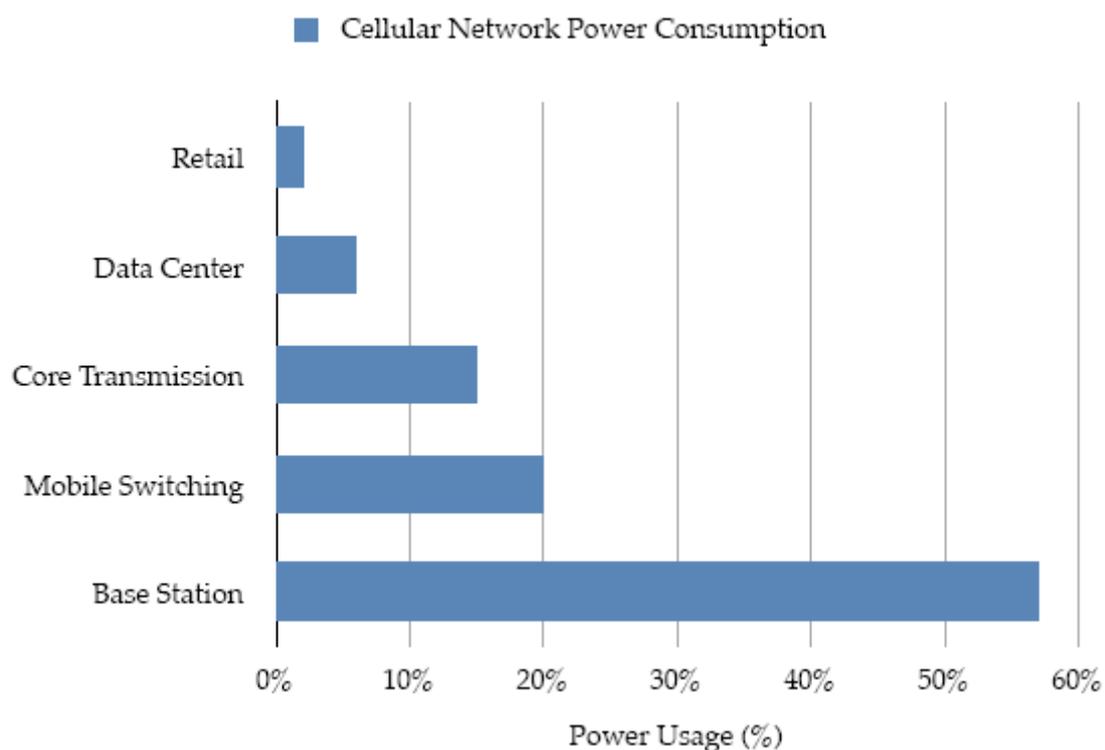


Figure 2.1 : Consommation d'énergie d'un réseau cellulaire.

2. Planification d'un réseau cellulaire

La planification d'un réseau cellulaire est un processus très délicat et le résultat conditionne le succès de l'opérateur. En effet un réseau mal planifié se traduit par une qualité d'appels médiocres, un taux de perte d'appels important et un taux de blocage élevé. Le processus de planification peut se résumer en quatre étapes, ce dernier est illustré dans la figure ci-dessous.

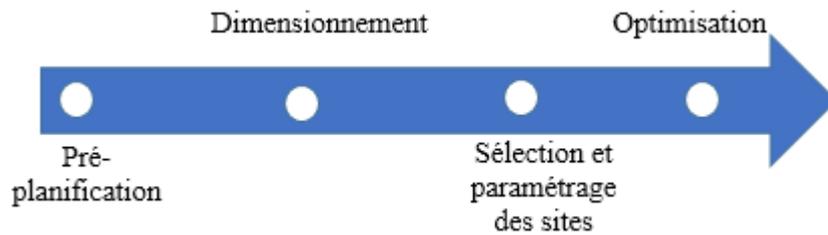


Figure 2.2 : Processus de planification

2.1 La pré-planification

La pré-planification est faite par des investigations dont les fruits décrivent la zone de déploiement et nous fournissent des informations détaillées sur l'eNodeB et l'UE à savoir:

- Des informations sur la zone de déploiement (superficie, informations géographiques et démographiques, densité d'abonnés).
- Informations relatives aux abonnés de la zone (services demandés, trafic offert, etc.)
- Catalogue des sites : identifier les lieux pour placer les eNodeB.

2.2 Le dimensionnement

Les principaux objectifs du dimensionnement sont de définir le bilan de puissance, la couverture, la capacité et d'estimer le nombre de sites, ainsi que l'estimation du trafic supporté par site.

2.2.1 Planification de couverture

C'est une étape très importante dans la conception d'un réseau cellulaire. Il s'avère donc nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Or, pour couvrir une surface donnée, nous devons estimer la distance maximale entre un émetteur et un récepteur tout en maintenant les performances dans les conditions de propagation. Nous aboutissons au rayon de la cellule à couvrir, fournissant ainsi une approximation sur le nombre total de sites pour éviter les coupures de communication. Cette approximation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité.

2.2.2 Planification de capacité

La validation de la taille des cellules et du nombre de sites obtenus par l'analyse de couverture ne se fera qu'après une analyse de capacité. Cette dernière vérifie si le système peut supporter la charge demandée sinon on procèdera à rajouter de nouveaux sites.

2.3 Sélection et paramétrage des sites

Désigne les positions géographiques convenables des sites, ainsi que les configurations exigées comme : Configuration des paramètres d'antenne, paramètres des sites, paramètres des transmetteurs, paramètres des cellules et fréquences choisies.

2.4 Optimisation

Visé à garder les exigences de la QoS prédéfinies, en comparant les résultats obtenus de deux dimensionnements.

3. Les paramètres antennaires

Lors de la planification des réseaux cellulaires, le paramétrage antennaire pour chaque site intervient comme étant une tâche essentielle qui doit satisfaire les utilisateurs en termes de qualité de services. Dans la suite de ce travail, le type d'antenne en fonction de son diagramme de rayonnement (omnidirectionnel), le tilt, l'azimut et la hauteur des antennes doivent être fixés pour pouvoir étudier correctement l'influence de la puissance antennaire sur la consommation énergétique ainsi la couverture du réseau.

3.1 Le tilt

Le tilt d'antenne est l'angle formé entre le faisceau principal de l'antenne et le plan horizontal. Ce paramètre a un impact considérable sur les caractéristiques du réseau (couverture, interférences). Le tilt est mesuré en degrés, il peut être ajusté de deux manières différentes : électriquement ou mécaniquement.

Le tilt mécanique c'est par rapport au plan horizontal qui permet d'ajuster l'angle physique. Or, le tilt électrique permet de modifier le diagramme de rayonnement en ajustant la radiation de l'antenne.

La valeur 0° du tilt indique que la direction du faisceau principal est parallèle au sol et se pointe vers l'horizon. Ceci est illustré dans la figure ci-dessous.

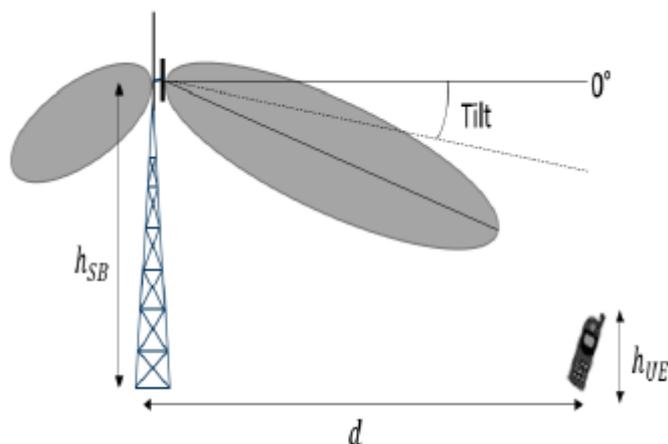


Figure 2.3 : Illustration du Tilt antennaire.

3.2 L'azimut

L'azimut est la direction principale de l'antenne par rapport au nord géographique, exprimé en degrés. Il est très nécessaire pour le calcul de la puissance émise en sortie de l'antenne dans toutes les directions. Étant donné que le type d'antennes qui sera utilisé dans la suite de notre étude est omnidirectionnel, la valeur de l'azimut lors des simulations est considérée nulle. La figure ci-dessous illustre un exemple des valeurs des azimuts sur un site tri-sectorisé.

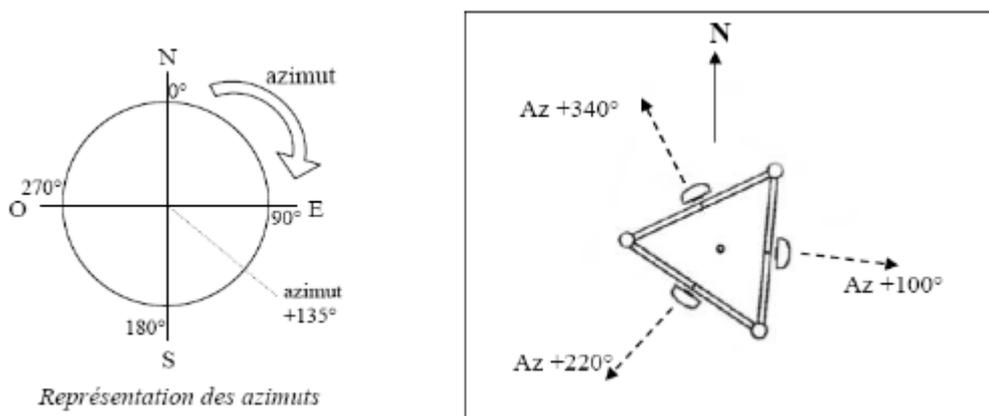


Figure 2.4 : Illustration de l'azimut antennaire.

3.3 Hauteur d'antenne

La hauteur de l'antenne a un effet énorme sur les performances du réseau cellulaire. Une position d'antenne trop faible a de mauvaises probabilités de couverture, par conséquent, pour obtenir une bonne couverture la densité du site doit être augmentée. Par contre, les positions hautes d'antenne offrent une bonne couverture et une capacité réduite. Afin de repérer la surface

des cellules dans différentes zones, c'est pendant la phase de dimensionnement que la hauteur d'antenne moyenne doit être définie.

3.4 Puissance d'émission

Les puissances d'émissions radio varient de faible à forte puissance, elles permettent de couvrir un territoire de plus ou moins grand dimension. Le nombre de récepteurs pouvant capter un signal dépend de la qualité de l'antenne réceptrice et la puissance de l'émetteur.

La puissance d'émission dans le sens descendant est contrôlée et fournie par la station de base, elle est souvent exprimée en décibel par milliwatt (dBm) et elle est définie dans l'intervalle allant de 25 à 55 dBm.

4. Objectif et contrainte

Cette étude se concentre sur les stations de base d'un réseau cellulaire en raison de leur consommation d'énergie élevée. Le but de cette étude est de réduire la consommation énergétique des stations de base d'un réseau cellulaire et cela en réduisant la puissance de transmission. Un algorithme génétique est développé pour trouver la puissance de transmission minimale et optimale à fin de réduire la consommation énergétique et satisfaire la contrainte de couverture.

4.1 Minimisation de l'énergie

Les stations de base dans les systèmes cellulaires souffrent de grandes inefficacités énergétiques, les équipements de télécommunication sont couplés à des composants non critiques qui lui fournissent le support opérationnel. L'énergie est gaspillée pour le fonctionnement de l'équipement non critique (refroidissement) et par des équipements électroniques et de télécommunications inefficaces (amplificateurs de puissance, unités de traitement du signal, etc.).

La fonction objectif de cette étude est formulée pour optimiser l'énergie totale (E) utilisée par les stations de base d'un réseau cellulaire, elle a pour expression : [12]

$$E = \min \left[\sum_{i \in S} m_i^{-1} \left(a_i p_i / G_{Ti} \right) L_i \right] \quad \text{Watts} \quad (2.1)$$

Avec:

- m_i : l'efficacité énergétique de la station de base

- a_i : l'état de la station de base, allumée ($x_i=1$) ou éteinte ($x_i=0$)
- p_i : représente la puissance d'émission de la station de base qui est comprise entre 20 et 55 watts.
- G_{Ti} : Gain de l'antenne d'émission qui est égale à 18 dBi
- L_i : les pertes de câbles, égale à l'unité.

4.2 Contrainte de la couverture

La configuration du réseau doit satisfaire à une contrainte, c'est-à-dire que la couverture aux points de réception doit être égale ou supérieure à celle imposée par les services de réseau, en d'autre terme, La force du signal reçu (*RSS, Received Signal Strength*) calculé aux points de test doit être supérieur à un seuil, plus ce dernier est faible plus le système est performant.

La mesure de la force du signal est difficile à forger arbitrairement et elle est fortement corrélée à l'emplacement des émetteurs. En outre, la mesure de la fiabilité du signal réel du réseau au niveau des émetteurs dépend principalement du modèle de propagation qui permet de calculé la résistance du signal. Les valeurs du RSS sont mesurées en dBm et ont des valeurs négatives typiques comprises entre 0 dBm ET -110 dBm. Il faut garder toujours à l'esprit que le RSS ne diminue pas de la manière linéaire lorsque la distance augmente et qu'elle est affectée par de nombreux facteurs y compris la puissance de transmission, les pertes de diagramme vertical. Dans cette étude, la mesure de la force du champ est basée sur l'utilisation du model COST 231-Hata. L'équation suivante donne le calcul de la force du signal reçu par chaque point de test :

$$FS = P_t + G_T - L - PL - AVDL \quad (2.2)$$

Avec P_t est la puissance de transmission, G_T , L représente le gain d'antenne et les pertes des câbles respectivement. PL est le model de propagation de Cost Hata calculé par l'équation (2.8). $AVDL$ sont les pertes de diagramme vertical de l'antenne [12].

5. Modèle de propagation

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

- La fréquence de l'onde.
- La distance parcourue par l'onde.

- Les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception.
- Le type de terrain.
- caractéristique et densité des bâtiments.

On fait recours à un modèle de propagation dans le but d'estimer la valeur de l'atténuation de parcours. Puisque plusieurs modèles de propagation ont été définis, nous allons présenter quelques modèles qui ont été mis en place dans le domaine des télécommunications sachant que ces modèles ne peuvent pas prédire le comportement 100% exacte de la liaison radio, mais ils prédisent le comportement le plus probable. Ils sont utilisés pour prédire le rayon de la cellule à partir de la perte de trajet maximale autorisée.

5.1 Le modèle d'Okumura Hata

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé, basé sur les mesures d'Okumura prises dans la région de Tokyo. Il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (urbain, urbain dense, sous urbain, rural).

- Pour un environnement urbain, l'affaiblissement de parcours (Path Loss) a pour expression :

$$L_U = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(hb) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) \quad (2.3)$$

Tel que :

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10}(F) - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10}(F) - 0.8) \quad (2.4)$$

Avec :

- h_b : Hauteur de la station de base, comprise entre 30 et 300m
- h_m : Hauteur de la station mobile, comprise entre 1 et 20m
- d : Distance entre le mobile et la station de base (m)
- F : Fréquence comprise entre 150 MHz et 1500MHz

- Pour un environnement urbain dense, l'expression de l'affaiblissement de parcours s'écrit :

$$L_{ud}=69.55+26.16\log_{10}(F)-13.82\log_{10}(h_b)-a(h_m)+(44.9-6.55\log_{10}(h_b))\log_{10}(d) \quad (2.5)$$

Tel que :

$$(h_m)=8.29*[(\log_{10}(1.54h_m)]^2-1.1 \text{ Pour } F \leq 400 \text{ MHz}$$

$$(h_m)=3.2*[(\log_{10}(11.75h_m)]_2-4.9 \text{ Pour } F \geq 400 \text{ MHz}$$

- Pour un environnement sous urbain, les pertes ont pour expression :

$$L_{SU}=L_U-2[\log_{10}(F/28)^2]-5.4 \quad (2.6)$$

- Pour un environnement rural, les pertes ont pour expression :

$$L_R=L_U-4.78[\log_{10}(F)]^2+18.33\log_{10}(F)-\alpha \quad (2.7)$$

Avec :

- $\alpha=35.94$, pour un environnement quasi-ouvert
- $\alpha=40.94$, pour un environnement ouvert

5.2 Modèle de COST 231-Hata

Le modèle de COST 231-Hata a les mêmes conditions que le modèle d'Okumura Hata, sauf qu'il est développé pour étendre l'utilisation de ce modèle pour les bandes de 1500 à 2000 Mhz L'affaiblissement de parcours (Path Loss) est donné par l'expression suivante :

- Pour un environnement urbain :

$$L_U=46.3+33.9\log_{10}(F)-13.82\log_{10}(h_b)-a(h_m)+(44.9-6.55\log_{10}(h_b))\log_{10}(d) \quad (2.8)$$

Tel que :

$$(h_m)=(1.1\log_{10}(F)-0.7)h_m-(1.56\log_{10}(F)-0.8) \quad (2.9)$$

Avec :

- d : Distance entre le mobile et la station de base (m)

- F : Fréquence de transmission (MHz)
- h_b : Hauteur de la station de base (m)
- h_m : Hauteur de la station mobile (m)

- Pour un environnement urbain dense :

$$L_{Ud} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.5 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) + 3 \quad (2.10)$$

Tel que :

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10}(F) - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10}(F) - 0.8) \quad (2.11)$$

- Pour un environnement sous urbain :

$$L_{SU} = L_U - 2[\log_{10}(F/28)]^2 - 5.4 \quad (2.12)$$

- Pour un environnement rural :

$$L_R = L_U - 4.78[\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha \quad (2.13)$$

Avec :

- $\alpha = 35.94$, pour un environnement quasi-ouvert
- $\alpha = 40.94$, pour un environnement ouvert

6. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes de planification d'un réseau cellulaire, ainsi que les paramètres antennaires d'une station de base qui interviennent lors du processus de planification.

Nous avons défini également, la fonction objective de cette étude qui a pour but de réduire la consommation énergétique des stations de bases d'un réseau cellulaire. Nous avons aussi définie la contrainte de couverture qui s'oppose à notre objectif

Chapitre 3 :
Algorithme Génétique

Chapitre 3 : Algorithme Génétique

1. Introduction

L'algorithme génétique (AG) est une technique algorithmique inspirée de la nature pour les problèmes d'optimisation basée sur les principes de l'évolution naturelle. Les individus avec un meilleur gène survivent dans le processus d'évolution, sinon éliminés. Après l'élimination, les survivants s'accouplent et portent leur progéniture. Les descendants héritent des gènes de leurs parents, qui sont les mêmes que leurs parents ou mieux encore. L'évolution de la population initiale est affectée par différents opérateurs tels que la sélection, la mutation et le croisement. À la fin du processus, le meilleur individu dans la population sera la solution du problème d'optimisation.

2. Les algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques ont été mis au point par John Holland de l'université du Michigan aux États-Unis dans les années. Ils ont été ensuite raffinés par De Jong et popularisés par Goldberg et Holland [13]. Le principe des algorithmes génétiques est de simuler le processus d'évolution des espèces dans leur milieu naturel, en s'inspirant des théories de l'évolution proposées par Charles Darwin.

L'évolution des espèces vivantes repose sur les lois de survie ou bien ce qu'on appelle la sélection naturelle. Selon ces lois, seuls les individus les mieux adaptés ont une longévité suffisante pour générer une descendance (se reproduire). En revanche, les individus peu adaptés ont une tendance à disparaître.

Dans ce contexte, un individu est identifié par un ensemble de données ou gènes appelé chromosomes (Figure 3.1). La reproduction se fait par une recombinaison de chromosomes de deux individus primaires, donnant ainsi naissance à des individus enfants ayant une empreinte génétique héritée des parents.

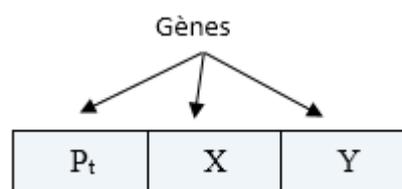


Figure 3.1 : structure d'un chromosome.

En fait, le code génétique des enfants peut contenir des gènes inexistantes chez les parents. Ce phénomène génétique s'appelle « la mutation ». Il permet des changements dans la morphologie des espèces, toujours dans le sens d'une meilleure adaptation au milieu naturel.

Le principe de fonctionnement des algorithmes génétiques est extrêmement simple. On part d'un ensemble initial d'individus nommé « population initiale » générée le plus souvent d'une manière aléatoire. Ensuite, on évalue la performance de chaque individu. L'application des trois opérateurs génétiques de « sélection, croisement et mutation » permet de créer un nouvel ensemble d'individus appelé « population enfant ». Cette population est évaluée à son tour pour indiquer la performance de chacun de ses individus. Cette connaissance permet de décider lesquels des individus enfants méritent de remplacer certains parents. La nouvelle population obtenue, appelée « population parente », constitue la population parente de la nouvelle génération. Si les critères d'arrêt sont vérifiés, on considère la ou les solutions obtenues comme satisfaisantes, autrement, on recommence le cycle jusqu'à satisfaction de ces critères.

Le plus souvent, l'algorithme est arrêté au bout d'un nombre d'itérations (générations) fixé a priori.

3. Population initiale

Dans cette phase, les algorithmes génétiques génèrent une population initiale qui représente son premier espace de travail et qui servira de base pour les générations futures. Cette population est un sous-ensemble de tout l'espace des solutions.

La population initiale est généralement générée aléatoirement. Néanmoins, pour des problèmes fortement contraints, la population initiale peut-être générée par des heuristiques dédiées aux problèmes traités. Cependant, cette technique peut faire converger trop rapidement la recherche vers un optimum local.

Le problème principal dans cette étape est le choix de la taille de la population. Ce choix est très important, car il détermine la diversité de l'espace de recherche. En effet, si la taille de la population est trop petite, il y aura une convergence prématurée, car l'algorithme n'a pas un grand échantillon de l'espace de recherche. Par contre, une population trop grande induit un temps de calcul important, il faut donc trouver le bon compromis [14].

4. La fonction d'évaluation

La fonction d'évaluation nommée « fonction de fitness » prend en argument l'individu et lui attribue une valeur numérique (fitness), qui est supposée proportionnelle à la qualité de l'individu. Cette fonction doit guider l'algorithme vers l'optimum en réalisant implicitement une pression de sélection dans cette direction. En effet, l'efficacité d'un AG s'appuie pour une grande part, sur la qualité de cette fonction. La mise au point d'une bonne fonction doit respecter plusieurs critères qui se rapportent à sa complexité et à la satisfaction des contraintes du problème.

La fonction d'évaluation peut-être soit mono critère, comme dans notre cas, ou multicritère, une fonction d'évaluation mono critère signifie que la fonction dépend d'une seule fonction objective. La définition de la fonction fitness, dans ce cas, ne pose généralement pas de problème, car c'est une optimisation simple à résoudre.

5. Croisement

Le croisement a pour but de produire une nouvelle génération d'individus en recombinant les individus. En effet, le croisement est l'opérateur de l'algorithme génétique qui permet le plus souvent d'explorer l'espace de recherche et se rapprocher de l'optimum d'une fonction en combinant les gènes des différents individus. Bien qu'il soit aléatoire, cet échange d'informations entre les individus offre aux algorithmes génétiques une part de leur puissance : quelquefois, de "bons" gènes d'un parent viennent remplacer les "mauvais" gènes d'un autre et créent des fils mieux adaptés que leurs parents [15].

Le croisement est appliqué à la population avec une probabilité constante. Pour chaque couple, on applique le croisement pour générer deux descendants. Cela consiste, en général, à couper en un ou plusieurs points générés aléatoirement, deux individus et à échanger les parties situées entre ces points. Selon la littérature, plusieurs opérateurs de croisement sont proposés, nous citons les plus utilisés dans le paragraphe suivant.

5.1 Croisement à un point

Pour effectuer ce type de croisement, on tire aléatoirement une position inter-gènes de coupure (aux mêmes endroits pour les deux parents) et on échange ensuite les deux sous-chaînes de chacun des chromosomes ce qui produit deux enfants Fils1 et Fils2 (Figure 3.1).

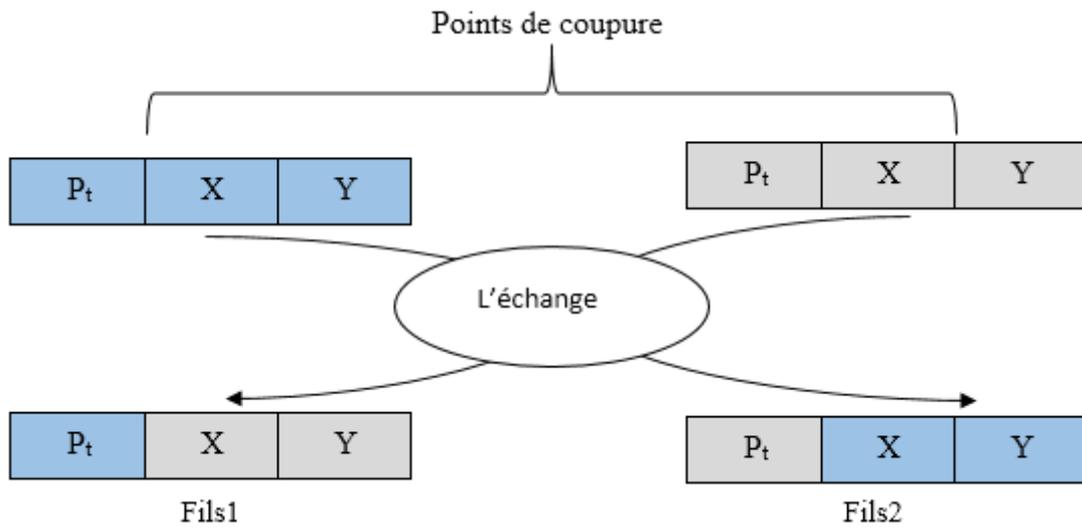


Figure 3.2 : Exemple de croisement à un point

5.2 Croisement à deux points

Pour effectuer ce type de croisement, on tire aléatoirement deux positions de coupure au niveau des deux parents. On échange ensuite un segment sur deux. La figure 3.2 illustre l'application de ce genre de croisement.

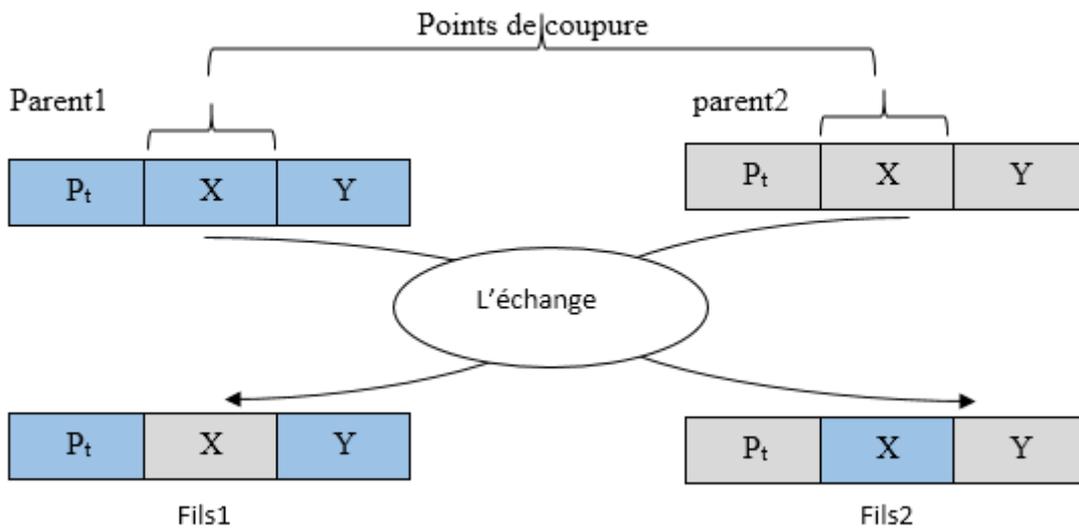


Figure 3.3 : Exemple de croisement à deux points

6. Mutation

Contrairement au croisement qui est un opérateur d'exploitation, la mutation est principalement un opérateur d'exploration et de diversification de l'espace de recherche. Son principal rôle est d'effectuer une recherche locale et/ou éviter une stagnation autour d'optimums locaux. Après plusieurs générations, la population tend à s'uniformiser et une mutation réussie peut créer des solutions complètement aléatoires, conduisant à des solutions "inexplorées" qui ne peuvent être atteintes via l'opération de croisement. Le principe de l'opérateur de mutation consiste à modifier aléatoirement, avec une certaine probabilité, la valeur d'un gène d'un chromosome.

Malgré l'aspect marginal de la mutation, sa probabilité est en général assez faible (de l'ordre de 1%), elle garantit que chaque point de l'espace de recherche peut être atteint. Cet opérateur est donc d'une grande importance [16].

7. Sélection par tournoi

Elle consiste à choisir aléatoirement k individus (le nombre de participants à un tournoi) et à les confronter entre eux au moyen de la fonction d'évaluation, et de sélectionner ensuite le meilleur parmi eux. On répète ce processus autant de fois de manière à obtenir tous les individus de la population qui serviront de parents. Il est tout à fait possible que certains individus participent à plusieurs tournois. S'ils gagnent plusieurs fois, ils auront donc le droit d'être copiés plusieurs fois dans la génération, ce qui favorisera la pérennité de leurs gènes [16].

8. Conclusion

Ce chapitre présente les fonctions nécessaires à la compréhension des algorithmes génétiques, il expose les différentes étapes qui constituent les algorithmes génétiques : génération de la population initiale, croisement, mutation et enfin sélection par tournoi.

Chapitre 4 :
Simulation et interprétation des résultats

Chapitre 4 : Simulation et interprétation des résultats

1. Introduction

Dans les réseaux d'accès sans-fil, l'un des défis les plus récents est la réduction de la consommation d'énergie du réseau, tout en préservant la qualité de service perçue par les utilisateurs finaux. Par conséquent, nous formulons un problème d'optimisation mono-objectif dont le but est la minimisation d'énergie des stations de base. La minimisation de la puissance est réalisée en ajustant le mode de fonctionnement des stations de base (BS) du réseau d'un niveau élevé de puissance d'émission vers un niveau d'émission plus faible.

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats de simulation de notre cas basé sur un algorithme génétique.

2. Présentation du réseau

Durant notre simulation on a considéré l'architecture réseau (figure 4.1) portant sur une surface de 8km par 8km qui veut dire 64Km². Le motif qu'on a choisi est un motif à 7 cellules chaque cellule contient une station de base centrée au milieu en rouge, chacune d'elles dispose d'une antenne omnidirectionnelle et des utilisateurs (mobiles) en vert distribués aléatoirement sur la surface. Ces UE sont mis pour calculer le taux de couverture, d'interférences, et du Handover. Chaque station de base est caractérisée par ses paramètres antennaires, puissance de transmission, hauteur, Tilt. Vu qu'on a utilisé une antenne omnidirectionnelle l'azimut est nul. L'objectif est de minimiser l'énergie totale du réseau.

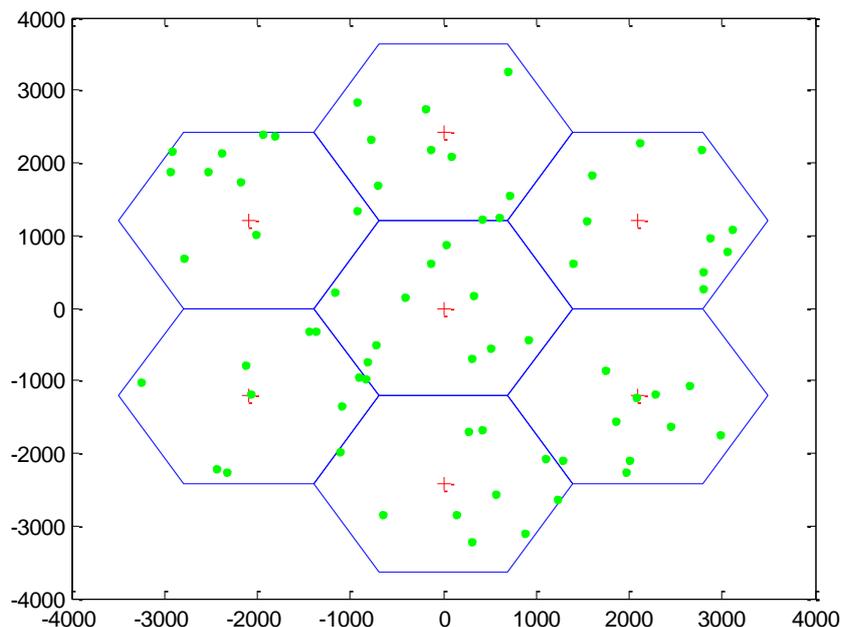


Figure 4.1 : Réseau à étudier.

Les différents paramètres des stations de base sont cités ci-dessus.

Station de base	Puissance de transmission (dBm)	Hauteur (mètre)	Tilt
BS 1	40	25	-7
BS 2	25	15	-7
BS 3	30	21	-4
BS 4	35	30	-8
BS 5	40	17	-7
BS 6	45	15	-3
BS 7	50	32	-15

Tableau 4.1 : Les paramètres des stations.

3. Variation de l'énergie en fonction de la capacité du cluster

La Figure ci-dessous montre implicitement l'existence d'un compromis entre la capacité et la consommation énergétique. En effet plus la consommation énergétique est grande plus la capacité est grande c'est-à-dire que l'algorithme génétique à trouver les bon paramètres (puissance) pour minimiser l'énergie toute en assurant une bonne capacité dans le réseau

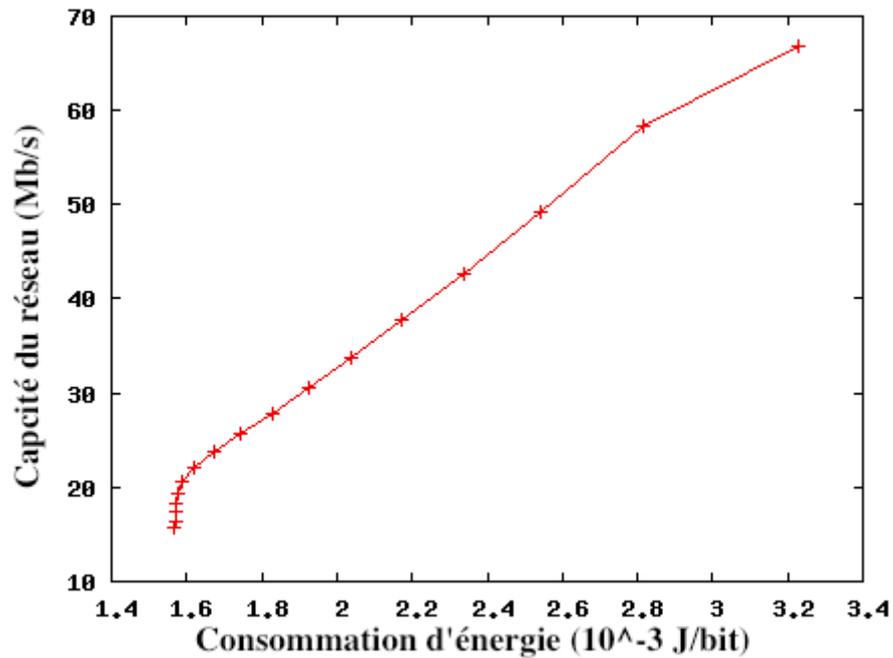


Figure 4.2 : Capacité en fonction de l'énergie.

4. Couverture du réseau

La consommation énergétique du réseau est survenue grâce à la réduction des puissances de transmission des stations de base. Mais cette réduction peut influencer sur la couverture. Cependant, l'algorithme génétique prend en considération le taux de couverture comme contrainte. A la fin de la génération, le taux de couverture de chaque station de base est donné dans la figure 4.3. Notant que la population initiale qui subira une mutation et croisement est de taille de 300 individus.

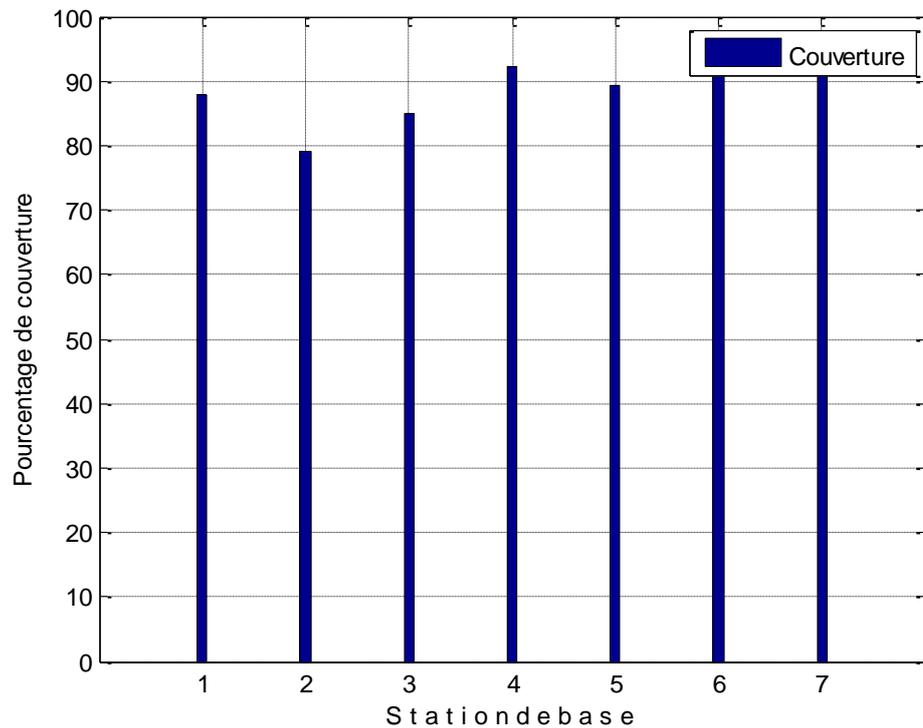


Figure 4.3 : Couverture après changement de la puissance.

D'après le graphe obtenu on remarque que le taux de couverture est élevé dont il est supérieur à 80% dans pratiquement toutes les BS. Cela revient au bon choix des paramètres antennaires, la puissance d'émission est réduite et elle influence le plus sur notre couverture.

Le tableau ci-dessous donne les nouvelles valeurs de puissance à la dernière génération

Station de base	Puissance de transmission (dBm)	Hauteur (mètre)	Tilt
BS 1	38	25	-7
BS 2	26	15	-7
BS 3	28	21	-4
BS 4	30	30	-8
BS 5	41	17	-7
BS 6	36	15	-3
BS 7	46	32	-15

Tableau 4.2 : Les nouveaux paramètres des stations.

5. Taux de la contrainte du Handover

L'autre contrainte qui devrait être respectée est la contrainte de handover. En effet, réduire la puissance revient à réduire l'intensité du signal au niveau des utilisateurs et au niveau de la zone overlap ce qui peut influencer sur la mobilité intercellulaire. A la fin des itérations de l'algorithme génétique, nous avons essayé de prendre le taux du handover en fonction de la couverture. Les résultats obtenus sont satisfaisants et sont donnés par la figure 4.4.

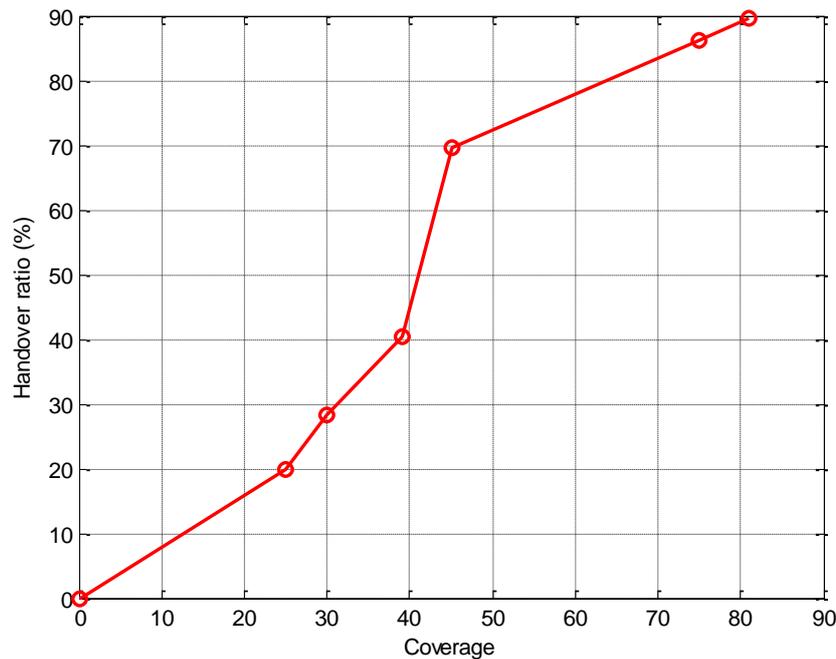


Figure 4.4 : Courbe de variation du taux de handover en fonction de la couverture

Selon la courbe on remarque qu'il y'a une relation proportionnelle entre le taux du handover et la couverture, ainsi arrivant à un certain taux de couverture le handover augmente aussi vite qu'avant. Quand le taux de couverture est maximal qui est de 81%, le handover l'est aussi atteindra un taux de 89%.

Comme le taux de réussite du handover est un indicateur clé de la performance du réseau, il est essentiel que cette procédure se passe aussi vite et aussi efficacement que possible.

La valeur obtenue du taux du handover reste une valeur trop faible à cause de la réduction de la puissance. Pour mieux avoir une bonne valeur de cette contrainte, il est préférable d'ajuster les valeurs d'autres paramètres antenne à savoir le tilt.

6. Réduction de l'énergie par minimisation des stations de base

Une autre manière de réduire la consommation énergétique est de minimiser le nombre de stations de base déployé dans la surface du réseau. Considérons un ensemble de stations de bases déployé sur une surface d'étude comme le montre la figure 4.5.

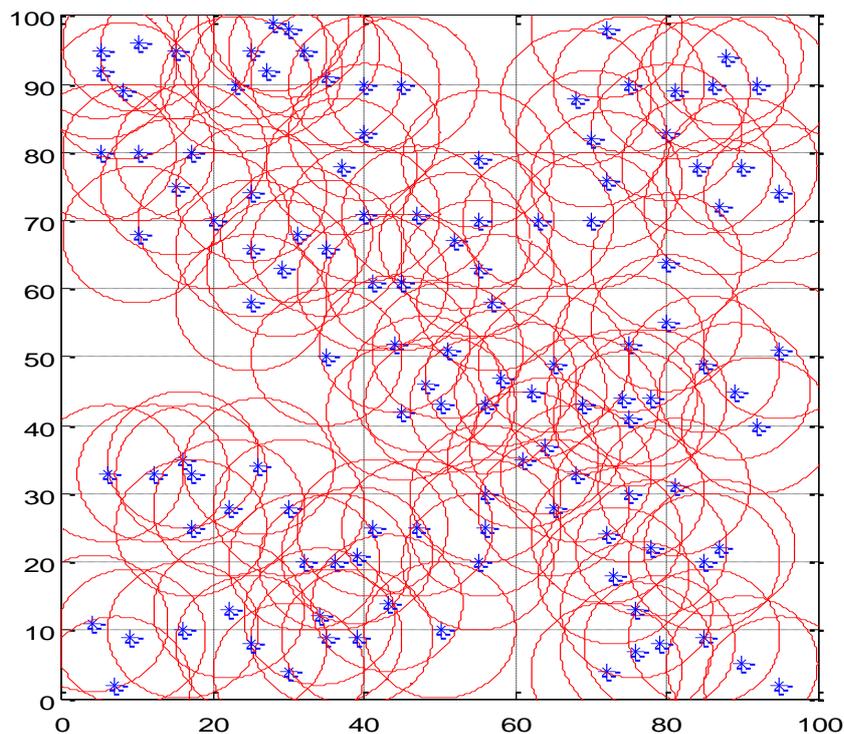


Figure 4.5 : Réseau avec distribution aléatoire de stations de base

L'algorithme génétique que nous proposons ici modifie non seulement la puissance de transmission mais aussi il cherche l'emplacement adéquat des stations de base. Cependant, à la fin de la génération nous avons obtenu le résultat donné dans la figure 4.6. on voit clairement que le nombre de stations de base est réduit et que les positions de stations de base sont données d'une manière uniforme sur toute la surface d'étude c'est à dire que la couverture portera sur toute la surface

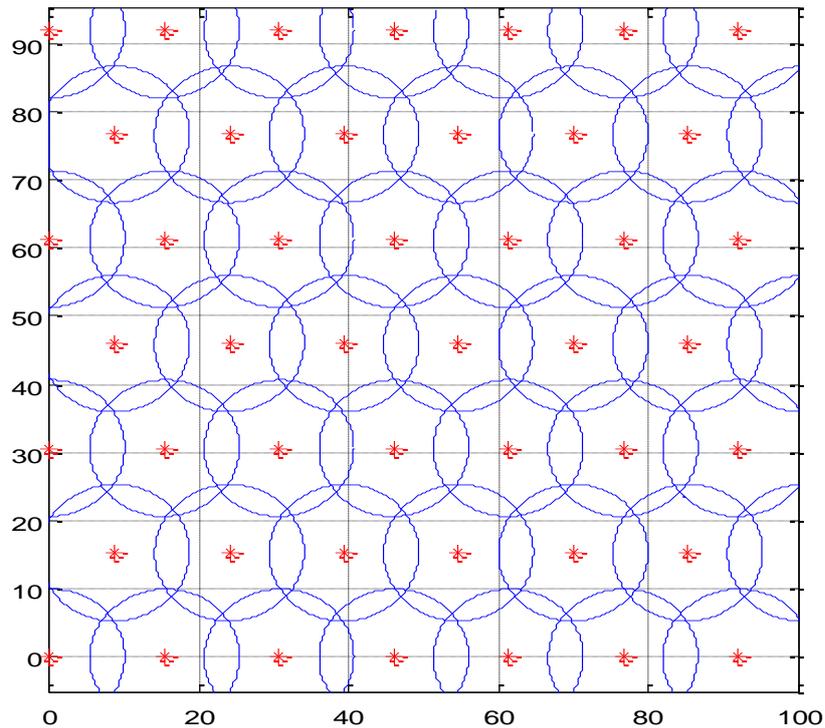


Figure 4.6 : Emplacement des BSs après les 700 générations

7. Conclusion

Plusieurs travaux dans la littérature s'intéressent au problème d'amélioration de la capacité du réseau ou de la minimisation de la consommation énergétique pour les réseaux radio multi saut. L'étude conjointe de ces deux problèmes n'est pas bien approfondie. Dans ce chapitre, nous avons appliqué notre algorithme génétique afin d'améliorer les performances d'un réseau tout en minimisant la puissance représentatif dans un chromosome. La réduction de cette puissance nous conduit à une minimisation de l'énergie comme le montre les résultats de notre investigation. D'autre part, Dans ce travail, un outil de planification d'optimisation basé sur les algorithmes génétiques est développé pour estimer la configuration des stations de base d'un réseau cellulaire pour être en conformité avec la définition de réseau vert. La solution fournie par l'algorithme proposé a effectivement réduit le nombre d'antennes utilisées et ajusté la puissance de transmission pour chaque antenne, ce qui a abouti à une amélioration significative de la topologie. Le système proposé est un compromis entre la qualité de service caractérisée comme probabilité de couverture et le réseau efficace en énergie.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre travail était de minimiser la consommation énergétique des stations de base d'un réseau cellulaire tout en assurant une probabilité de couverture maximale sur la base d'un algorithme.

Pour y parvenir, nous avons effectué une étude sur les deux réseaux UMTS et LTE où nous avons mis en évidence leurs caractéristiques, leurs architectures et leurs spécifications techniques.

Par la suite, nous avons expliqué le processus de planification, et nous avons défini également, la fonction objective de cette étude.

Un algorithme génétique, outil de résolution du problème, est appliqué afin d'améliorer les performances d'un réseau tout en minimisant la puissance représentatif dans un chromosome.

Les résultats de cette étude indiquent que l'application de l'algorithme génétique précédemment cité nous a permis d'atteindre, à un certain degré, l'objectif initialement fixé, qui était de minimiser la consommation énergétique d'une station de base d'un réseau cellulaire. Le système proposé est un compromis entre la qualité de service caractérisée comme probabilité de couverture et le réseau efficace en énergie.

En perspective, il est intéressant de d'entreprendre d'autres études plus conséquentes et plus approfondies pour cerner le problème.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] T. H. S. M.Reza, «Green Radio: Radio Techniques to Enable Energy-Efficient Wireless Networks,» IEEE Communications Magazine, 2011.
- [2] P. D. C. Clint Smith, 3G Wireless Networks, The McGraw-Hill Companies, 2002.
- [3] M. T. Javier Sanchez, UMTS, france: Hermès Science/Lavoisier, 2004.
- [4] R. MAKKE, «Qualité de Service et Performances des Protocoles de Transport dans l'UTRAN,» l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, paris, 2003.
- [5] A. T. Harri Holma, WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, Angleterre: John Wiley & Sons, 2004.
- [6] C. Kappler, UMTS Networks and Beyond, Chichester : John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- [7] A. Morkpokpo, «UMTS,» Université de lomé, 2016.
- [8] Y. E. f.-x. wolf, LTE et les réseaux 4G, Groupe Eyrolles,, 2012.
- [9] A. ABDELGHANI, «IMPACT DES INTERFÉRENCES DE LA COUCHE PHYSIQUE SUR LA COUCHE MAC DANS LA TECHNOLOGIE L TE,» Université du Québec à Trois-Rivières, QUÉBEC, 2011.
- [10] C. Cox, AN INTRODUCTION TO LTE, 2e éd., John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [11] A. K. Akhtar.N, «Mobility Management in LTE Heterogeneous Networks,» Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2017.
- [12] O. M. Amine, «Optimal Base Station Planning Using Genetic Algorithm for LTE Network,» Université de Bejaia, 2017.
- [13] D.E.Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley Longman Publishing, 1989.
- [14] T. Chaari, «Un algorithme génétique pour l'ordonnancement robuste: application au problème du flow shop hybride,» Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2010.
- [15] M. I. Aouad, «Conception d'Algorithmes Hybrides pour l'Optimisation de l'Energie Mémoire dans les Systèmes Embarqués et de Fonctions Multimodales,» université Henri Poincaré – Nancy 1, 2011.
- [16] S. E. Merzouk, «Problème de dimensionnement de lots et de livraisons : application au cas d'une chaîne logistique,» l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard et de l'Université de Franche-Comté, 2007.

Résumé

Face à la croissance énorme du marché des réseaux cellulaires et aux nouvelles exigences des abonnés, les opérateurs mobiles trouvent inévitable d'optimiser ses ressources ou de déployer une nouvelle technologie avec une faible latence, une meilleure fiabilité, et une meilleure efficacité spectrale par rapport aux précédentes générations, tout en réduisant les coûts d'investissement. Par conséquent, l'exploitation d'un réseau cellulaire énergétique est nécessaire plus que jamais pour réduire à la fois les dépenses opérationnelles et l'empreinte carbone de cette industrie. Cependant, les techniques visant à réduire la consommation énergétique peuvent entraîner des trous de couverture et des probabilités d'interruption plus élevées. Pour ces raisons, la présente étude vise à minimiser la consommation énergétique des stations de base d'un réseau cellulaire tout en assurant une probabilité de couverture maximale. Pour ce faire nous avons développé un algorithme génétique et réalisé une simulation sous MATLAB. Cet algorithme est développé pour trouver la puissance de transmission minimale et optimale afin de réduire la consommation énergétique et satisfaire la contrainte de couverture. La solution fournie par l'algorithme proposé a effectivement réduit le nombre d'antennes utilisées et ajusté la puissance de transmission pour chaque antenne, ce qui a abouti à une amélioration significative de la topologie.

Mots clés : Algorithme génétique, Puissance de transmission, Réseaux cellulaires, Stations de bases

Abstract

Given the huge growth of the cellular network market and new subscriber requirements, mobile operators find it inevitable to optimize their resources or deploy a new technology with low latency, reliability, and spectral efficiency over previous generations while reducing investment costs. As a result, operating an energy cellular network is needed more than ever to reduce both the operational expenses and the carbon footprint of this industry. However, techniques to reduce energy consumption can lead to higher coverage holes and interrupt probabilities. For these reasons, the present study aims to minimize the energy consumption of the base stations of a cellular network while ensuring a maximum probability of coverage. To do this we developed a genetic algorithm and performed a simulation under MATLAB. This algorithm is developed to find the minimum and optimal transmission power in order to reduce energy consumption and satisfy the coverage constraint. The solution provided by the proposed algorithm effectively reduced the number of antennas used and adjusted the transmit power for each antenna, which resulted in a significant improvement in the topology.

Key words: Base stations, Cellular networks, Genetic algorithm, Transmission power.