

**UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES FÈS
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE**



PROJET DE FIN D'ÉTUDES

**MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES
SYSTÈMES INTELLIGENTS & RÉSEAUX**

ÉTUDE DE LA CAPACITÉ DES RÉSEAUX LTE

LIEU DE STAGE: LABORATOIRE SIGNAUX SYSTÈMES ET COMPOSANTES (LSSC)

RÉALISÉ PAR : ZUBEIRI IMAN

SOUTENU LE: 18/06/2014

ENCADRÉ PAR :

MME. MRABTI FATIHA

MR. BEN ABBOU RACHID

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

PR. MRABTI FATIHA

PR. BEN ABBOU RACHID

PR. BENABBOU ABDRAHIM

PR. ABBAD KHALID

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2013-2014

Dédicaces

A ma famille et amis....

Remerciements

Au terme de ce projet, je tiens à exprimer mes profonds remerciements à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Je voudrais tout d'abord exprimer toute ma gratitude à Madame MRABTI Fatiha, Professeur à la faculté des sciences et technique de Fès, pour avoir dirigé et encadré ce travail. Je lui suis très reconnaissante pour ses conseils constants, ses encouragements et ses enseignements qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Mes sincères remerciements à Monsieur BALBOUL Younes, Doctorant au sein du laboratoire Signaux Systèmes et Composants pour son aide bien précieux, et aussi à tous les membres du laboratoire.

Je remercie également Monsieur Ben Abbou Rachid, mon professeur et mon deuxième encadrant, et tous les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail, c'est un vrai honneur.

Pour finir, je remercie mes parents et toute ma famille pour leur soutien durant mes années d'études et durant toute mon existence.

Résumé

La quatrième génération des réseaux mobiles 4G, débute avec l'apparition de LTE, qui est une évolution à long terme de la norme UMTS. Cette nouvelle évolution a donné naissance à plusieurs types de services, avec une meilleure qualité de service, des hauts débits et une capacité élevée.

La notion de capacité a changé avec l'arrivée de LTE, et dépend désormais de plusieurs facteurs et paramètres. Dans cette étude nous avons cité les technologies qui ont contribué à l'augmentation de la capacité comme : l'introduction de l'OFDM le MIMO, codage et modulation adaptative AMR...

Nous avons étudié la capacité du réseau LTE dans deux scénarios différents le premier dans un milieu urbain et le deuxième dans un milieu dense urbain, pour voir l'impacte du changement de paramètres tel que l'augmentation du nombre d'utilisateurs et l'utilisation des systèmes MIMO.

Mots clés: 4G, LTE, capacité, OFDM, MIMO, AMR, milieu urbain, milieu dense urbain, l'augmentation du nombre d'utilisateurs.

Abstract

The fourth generation of mobile networks 4G, begins with the LTE, which is a long-term evolution of the UMTS. This new development has given rise to many types of services, with a better quality of service, high speed and high capacity.

The concept of capacity has changed with the arrival of LTE, and it's depends now of many factors and parameters. In this study we mentioned technologies that have contributed to the increase of the capacity like the introduction of OFDM MIMO, adaptive modulation and coding AMR.

We studied the LTE network capacity in two scenarios, the first in an urban area and the second in a dense urban area, to see the impact of parameter changes, such as increasing the number of users and the use of MIMO systems.

Key words: 4G, LTE, capacity, OFDM, MIMO, AMR, urban, dense urban environment, increasing the number of users, MIMO.

Table des Matières

| | |
|--|----|
| Introduction générale | 12 |
| Présentation du laboratoire d'accueil..... | 15 |
| Chapitre I: Evolution vers LTE..... | 17 |
| I. 3 rd Generation Partnership Project | 18 |
| II. Long Term Evolution..... | 21 |
| 1. Les spécifications de LTE..... | 21 |
| 2. Architecture LTE/SAE..... | 23 |
| 2.1. Réseau d'accès | 23 |
| 2.2. Réseau cœur | 23 |
| Chapitre II : L'étude de la capacité dans le réseau LTE | 25 |
| I. L'état d'art de la capacité dans le réseau LTE | 26 |
| 1. Capacité en nombre d'utilisateurs | 26 |
| II. Les technologies qui ont permis l'augmentation de la capacité cellulaire | 27 |
| 1. La technologie d'accès: OFDMA, SC-FDMA..... | 27 |
| 1.1. Concept de bloc de ressources | 27 |
| 1.2. L'OFDM, OFDMA, SC-FDMA | 27 |
| 2. La technologie MIMO..... | 28 |
| 3. La technique du Modulation et codage adaptatifs..... | 29 |
| 4. La technologie SON : Le Self-Organizing Network..... | 29 |
| 4.1. L'auto-configuration | 30 |
| 4.2. L'auto-optimisation..... | 30 |
| 5. La technique d'agrégations de porteuses | 30 |
| 6. La technique du Coordinated Multi Point operation: CoMP | 31 |
| 7. La technologie des Réseaux Hétérogène: HetNet | 32 |

| | |
|---|----|
| 8.Utilisation des petites cellules | 33 |
| III.Etude de la capacité d'un réseau LTE : 3GPP case 1 et UIT «macrocellulaire urbain»... | 33 |
| 1.Première expérience: Evaluation de l'efficacité spectrale crête..... | 33 |
| 2.Deuxième expérience : Evaluation de la capacité d'appels voix sur IP..... | 34 |
| Chapitre III : Simulations..... | 35 |
| I.Description du Logiciel Atoll | 36 |
| 1.Planification d'un réseau LTE..... | 36 |
| 1.1. Pré-planification..... | 36 |
| 1.2. Planification | 37 |
| 1.3. Vérification | 37 |
| 1.4. Optimisation..... | 37 |
| II. Simulations..... | 38 |
| 1.Planification du réseau LTE dans un milieu urbain et dense urbain | 38 |
| 1.1.Paramètres de simulation pour la planification d'un réseau LTE dans un milieu urbain | 38 |
| 1.2.Paramètres de simulation pour la planification d'un réseau LTE dans un milieu dense urbain..... | 39 |
| 2.Impacte de l'augmentation du nombre d'utilisateurs sur la capacité | 44 |
| 2.1.Etude de la capacité dans le milieu urbain | 44 |
| 2.2.Etude de la capacité dans le milieu dense urbain | 48 |
| 3.Impacte de l'utilisation des systèmes MIMO sur la capacité..... | 52 |
| 3.1.Utilisation des terminaux MIMO | 52 |
| 3.2.Utilisation des Antennes MIMO 2X4 | 55 |
| 4.Synthèse | 56 |
| Conclusion générale..... | 58 |
| Références..... | 59 |

Liste des Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Evolution des technologies du GSM à HSPA+ | 20 |
| Tableau 2: Résultats de simulation 3GPP case 1 | 34 |
| Tableau 3:Résultats de simulation de UIT «Macrocellulaire Urbain» | 34 |
| Tableau 4: Parametre de similation Réseau LTE milieu urbain | 38 |
| Tableau 5: Parametre de similation Réseau LTE milieu dense urbain | 39 |
| Tableau 6: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de10 user | 45 |
| Tableau 7: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 20 users | 46 |
| Tableau 8: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 30 user | 47 |
| Tableau 9: Conditions de simulation pour un milieu dense urbain cas de 10 users | 49 |
| Tableau 10: Conditions de simulation pour un milieu dense urbain cas de 20users | 50 |
| Tableau 11: Conditions de simulation pour un milieu dense urbain cas de 30users | 51 |
| Tableau 12: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 30 users avec terminal MIMO | 53 |
| Tableau 13: Conditions de simulation pour un milieu dense urbain cas de 30 users avec terminal MIMO | 54 |
| Tableau 14: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 30 users avec des eNodeB MIMO (2X4)..... | 55 |

Liste des Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Structure du laboratoire signaux systèmes et composants | 15 |
| Figure 2: Les groupes membres du TSG | 18 |
| Figure 3: Tableau des releases 3gpp du 1999 à 2013 avec les principales améliorations | 19 |
| Figure 4: Comparaison entre l'architecture UMTS et LTE | 20 |
| Figure 5 : Le taux de l'efficacité spectrale des technologie du GSM à LTE | 22 |
| Figure 6: Architecture Réseaux LTE/SAE | 23 |
| Figure 7: Bloc de ressources | 27 |
| Figure 8: Différence entre OFDMA et SC-FDMA | 28 |
| Figure 9: Type d'antennes | 28 |
| Figure 10: Modulation LTE | 29 |
| Figure 11: Aggrégation de porteuse | 31 |
| Figure 12: Exemple de CoMP | 31 |
| Figure 13: Exemple d'un HetNet avec des cellules larges et des petites cellules | 32 |
| Figure 14: Les Petites Cellules | 33 |
| Figure 15: processus de planification | 36 |
| Figure 16: Dessin Hexagonale du milieu urbain sur une echelle de 400m | 40 |
| Figure 17: Dessin Hexagonale du milieu dense urbain sur une echelle de 200m | 40 |
| Figure 18: Configuration d'antennes pour l e milieu urbain | 41 |
| Figure 19: Configuration d'antennes pour le milieu dense urbain | 41 |
| Figure 20: Génération de dix utilisateurs (VoIP) dans l e milieu urbain | 42 |
| Figure 21: Génération de dix utilisateurs (VoIP) dans l e milieu dense urbain | 43 |
| Figure 22: Plan de couverture des émetteurs dans le milieu urbain | 43 |
| Figure 23: Plan de couverture des émetteurs dans le milieu dense urbain | 44 |
| Figure 24 : La DCF de la capacité effective d'une cellule dans un milieu urbain avec un seul utilisateur | 45 |

| | |
|--|----|
| Figure 25: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu urbain cas de 10 user/cellule | 46 |
| Figure 26: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu urbain cas de 20 user/cellule | 47 |
| Figure 27: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu urbain cas de 30 user/cellule | 48 |
| Figure 28: La DCF de la capacité effective d'une cellule dans un milieu dense urbain avec un seul utilisateur | 49 |
| Figure 29: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 10 users | 50 |
| Figure 30: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 20 users | 51 |
| Figure 31: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 30 users | 52 |
| Figure 32: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu urbain cas de 30 users 53 | 53 |
| Figure 33: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 30 users | 54 |
| Figure 34: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 30 users avec des eNodeB MIMO (4X2)..... | 55 |
| Figure 35: Histogramme des interferences pour le milieu urbain en cas de 10 users..... | 56 |
| Figure 36: Histogramme des interferences pour le milieu dense urbain en cas de 10 users.... | 57 |

Liste des abréviations

| | |
|---|--|
| 2G: Deuxième Generations | HSS: Home Subscriber Server |
| 3GPP: 3 rd Generation Partnership Project | KPI : Vérifier les indicateurs de performance |
| 3G: 3eme Génération | LTE: Long Term Evolution |
| 4G: Quatrième Génération | MCS: Modulation & Coding Schema |
| AMC: Adaptive Modulation & Coding | MME: Mobility Management Entity |
| BER Bit Error Rate | PCRF: Policy Charging Rules Function |
| CA: Carrier Aggregation | PGW: Packet Data Network Gateway |
| CC: Component Carrier | QAM: Quadrature Amplitude Modulation |
| CP: Cyclic Prefix | Qos: Quality of servise |
| CRS: Cell Reference Signal | QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying |
| CoMP: Coordinated Multi Point operation | SAE: System Architecture Evolution |
| CQI: Channel Quality information | SC-FDMA: Single-career frequency division multiple access |
| DCF: Fonction de distribution cumulative | SGW: Serving Gateway |
| EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution | SMS: Short Message System |
| ETSI: European Télécommunications Standards Institute | SNR: Rapport signal sur bruit |
| EPC: Evolved Packet Core | SON: Self Organising Network |
| EPS Evolved Packet System | MIMO: Multiple Input Multiple Output |
| E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network | OMC: Operation and Maintenance Center |
| FDD: Frequency Division Duplex | OFDM: Orthogonal frequency division multiplexing |
| FRF: Facteur de Réutilisation de Fréquence | OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access |
| GSM: Global system for Mobile | PCG: Project Coordination Group |
| GPRS: General Packet Radio Service | TSG: Technical Spécification Groups |
| HetNet: Heterogeneous Network | UMTS: Universal Mobile Telecommunications System |
| HSPA: High Speed Packet Access | UIT: Union internationale des télécommunications |
| HSDPA: High Speed Downlink Packet Access | UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access Network |
| HSUPA: High Speed Uplink Packet Access | |
| HSPA: High Speed Packet Access | |

Introduction générale

La téléphonie mobile a suivi diverses phases d'évolution liée au progrès. Actuellement, l'avancée technologique ne semble plus avoir de limite, ainsi ce ne sont plus les progrès qui dictent l'évolution des technologies mais le marché, c'est à dire la demande du public.

Les systèmes de la deuxième génération, avec l'introduction du système numérique TDMA (Time Division Multiple Access) faisaient découvrir de nouveaux services comme le SMS (Short Message System), et l'accès aux réseaux en cas de mobilité.

Avec l'arrivée de l'UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), un standard 3GPP (3rd Generation Partnership Project), le système de téléphonie mobile de la 3^{ème} génération, la vision des opérateurs a changé, son but était d'offrir un accès haut débit afin d'introduire le multimédia sur les terminaux mobiles, et aussi d'augmenter la capacité des cellules pour pouvoir supporter un nombre plus important d'utilisateurs.

D'autres évolution ont vue le jour afin d'augmenter le débit en data, tel que le HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), le HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) et leur combinaison le HSPA (High Speed Packet Access), et enfin le HSPA+ (High Speed Packet Access plus). Mais elles ont montré leurs limites en termes de capacité, d'où vient la nécessité de définir une nouvelle norme qui est la LTE (Long Terme Evolution).

Pour les opérateurs, LTE implique la modification du réseau cœur et des émetteurs radio et aussi le développement des terminaux mobiles adaptés, le nouveau réseau cœur

s'appelle SAE (System Architecture Evolution), et le nouveau réseau d'accès s'appelle LTE (Long Term Evolution), l'ensemble sous un projet qui s'appelle EPS (Evolved Packet System).

LTE (Long Term Evolution of 3G) un projet aussi mené par le 3GPP, il permet d'atteindre des débits théoriques de l'ordre de 50Mbps en lien montant et de 100Mbps en lien descendant, à partager entre les utilisateurs mobiles d'une même cellule, avec une très grande portée, un nombre d'appels par cellule supérieur à celui des évolutions précédentes, une latence plus faible, et une capacité plus élevée.

La capacité dans LTE ne se limite pas seulement au nombre de communications téléphoniques, qui peuvent être maintenues simultanément par une même cellule, mais elle se matérialise par le nombre d'utilisateurs pouvant être connectés simultanément et par le débit total maximal pouvant être écoulé par une cellule fortement chargée. Elle dépend aussi de plusieurs facteurs : tel le type de milieu (urbaine, dense urbaine, rurale...), le type de service à offrir (VoIP, téléchargement de fichier, vidéo streaming...) et aussi des technologies utilisées (technologie d'antennes, technologie d'accès...).

Donc, une étude de la capacité est nécessaire, en tenant compte de ces paramètres, afin d'optimiser le fonctionnement de ce réseau.

Dans notre étude la première étape à faire consiste à planifier, avec le logiciel professionnel de planification Atoll, deux réseaux LTE, le premier dans un milieu urbain et le deuxième dans un milieu dense urbain.

La deuxième étape consiste à changer les paramètres, on a changé le nombre d'utilisateur pour augmenter la densité, ensuite on a utilisé le système MIMO, et vu l'impacte de ces changements sur la capacité dans les deux milieux.

Ce travail est divisé en trois chapitres, le premier chapitre est consacré à l'évolution de l'UMTS vers LTE, avec une description de ce dernier.

Le deuxième chapitre est consacré à l'état d'art de la capacité dans LTE, et à la présentation des avancées technologiques clé qui ont contribué à l'amélioration de la capacité.

Enfin, le troisième chapitre porte la simulation de la capacité dans les deux milieux urbain et dense urbain, et établit une synthèse sur l'impact des différents paramètres, nombre d'utilisateurs et type d'antenne sur la capacité.

Présentation du laboratoire d'accueil

Ce projet de fin d'étude a été effectué dans le laboratoire Signaux Systèmes et Composants (LSSC) du département génie électrique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès. Ce laboratoire a été créé en 1996, il est composé de quatre équipes de recherche qui développent les thèmes suivants (Figure 1):

Equipe 1: Signaux systèmes et télécommunication

- ✓ Localisation de ressources en radiocommunication mobile.
- ✓ Formation à distance: E-Learning.
- ✓ Intelligence artificielle: Réseaux de neurones & algorithmes génétiques.
- ✓ Robotique.

Equipe 2: Composants et microélectronique

- ✓ Technologie des composants électroniques, optiques et des capteurs.
- ✓ Composants à base de semi-conducteur, de faibles dimensionnalités - nano structures.
- ✓ Modélisation, caractérisations et tests de fiabilité.
- ✓ CAO des circuits intégrés et description par VHDL.
- ✓ Conception d'IP pour la compression et le traitement d'images statiques et dynamiques (JPEG, JPEG 2000,...).
- ✓ La compatibilité électromagnétique dans les circuits intégrés.

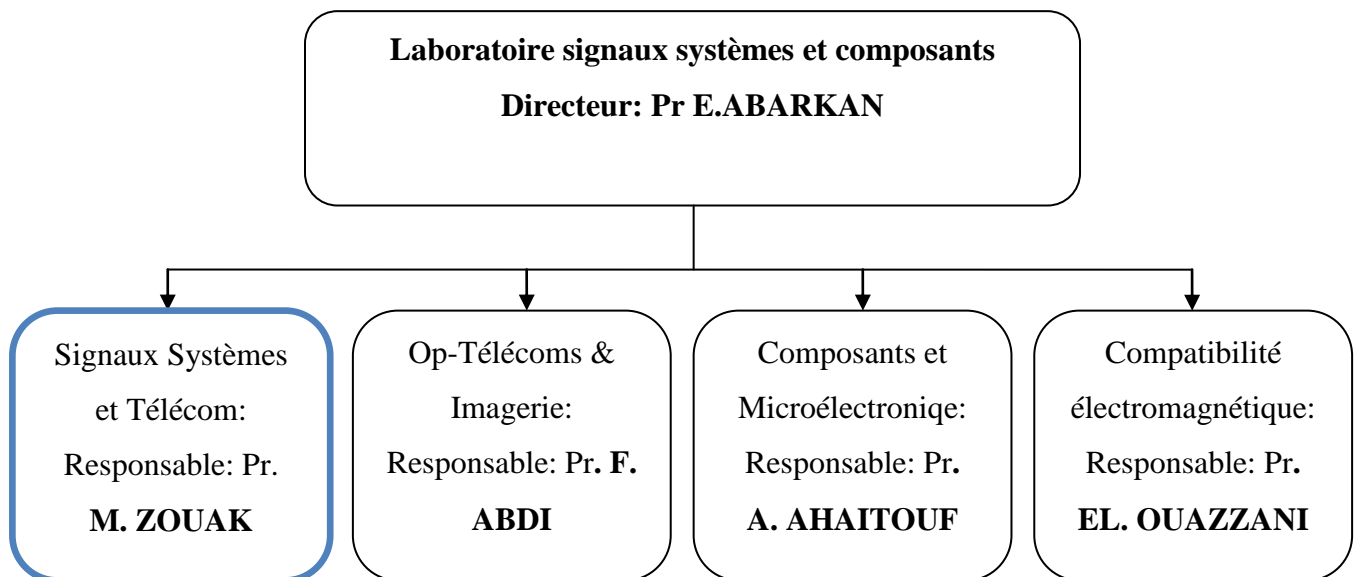


Figure 1: Structure du laboratoire signaux systèmes et composants

Equipe 3: OP télécoms et Imagerie

- ✓ Etude des composants avancés pour les télécommunications et le traitement de l'information
- ✓ Imagerie

Equipe 4: Compatibilité Electromagnétique– électronique- Hyperfréquence

- ✓ Etude des antennes des circuits rapides et Compatibilité Electromagnétique.

Chapitre I

Evolution vers LTE

LTE (Long Term Evolution of UMTS) un projet mené par le consortium 3GPP, c'est une évolution à long terme de l'UMTS. Il permet d'atteindre des débits théoriques de 100Mbps, avec une très grande portée, un grand nombre d'appels simultanés, une faible latence, et une capacité élevée.

I. 3rd Generation Partnership Project

Le 3GPP (3rd Génération Partnership Project) est un consortium créé en 1998 à l'initiative de l'ETSI (European Télécommunications Standards Institute), il a pour objectif la définition des spécifications qui permettent l'interfonctionnement d'équipements de constructeurs différents, et le développement des systèmes suivant:

Le GSM (Globe System For Mobile), GPRS (General Packet Radio Service), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), et LTE (Long Term Evolution).

Le 3GPP est composé d'un groupe de coordination le PCG (Project Coordination Group), qui est responsable de la gestion des délais pour s'assurer que les spécifications 3GPP sont produites en temps opportun. Et de plusieurs groupes de spécifications techniques les TSG (Technical Spécification Groups), qui s'occupent chacun du développement d'une norme spécifique (Figure 2).

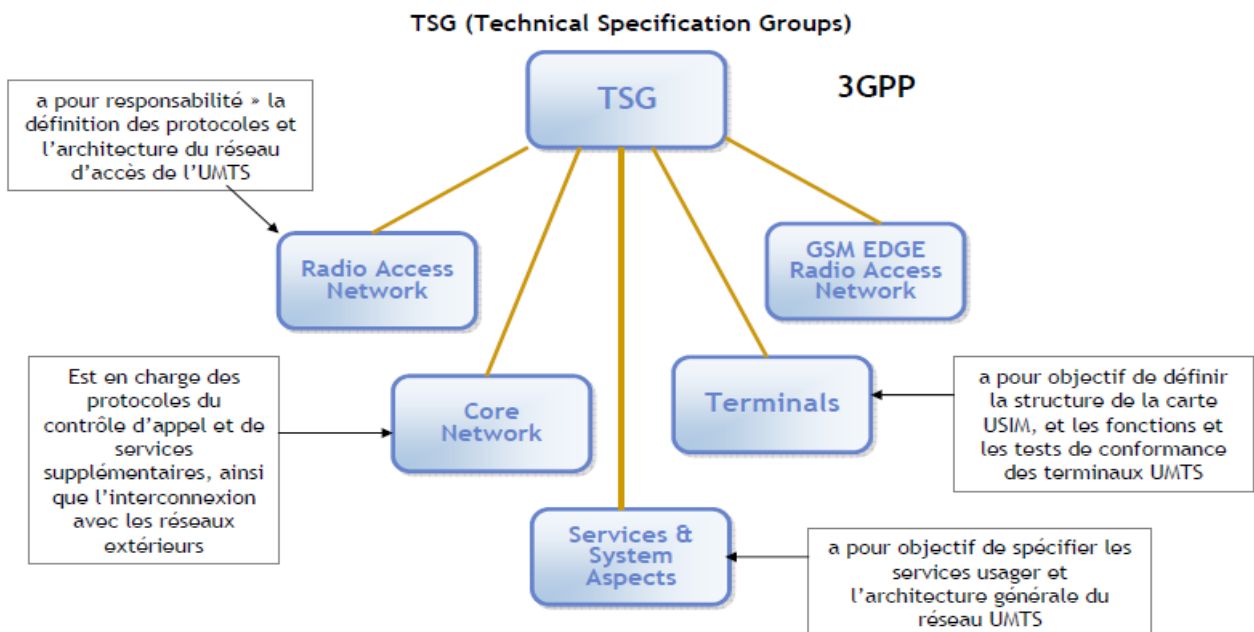



Figure 2: Les groupes membres du TSG

Les modifications et les spécifications approuvées par les TSG sont associées à une Release. Cette dernière correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme, dans une période de temps donnée. Le 3GPP a défini plusieurs Releases entre 1997 et 2013 (Figure 3).



| Release | Stage 3: Core specs complete | Main feature of Release |
|---------|------------------------------|---|
| Rel-99 | March 2000 | UMTS 3.84 Mcps (W-CDMA FDD & TDD) |
| Rel-4 | March 2001 | 1.28 Mcps TDD (aka TD-SCDMA) |
| Rel-5 | June 2002 | HSDPA |
| Rel-6 | March 2005 | HSUPA (E-DCH) |
| Rel-7 | Dec 2007 | HSPA+ (64QAM DL, MIMO, 16QAM UL). LTE & SAE Feasibility Study, Edge Evolution |
| Rel-8 | Dec 2008 | LTE Work item – OFDMA air interface SAE Work item – New IP core network UMTS Femtocells, Dual Carrier HSDPA |
| Rel-9 | Dec 2009 | Multi-standard Radio (MSR), Dual Carrier HSUPA, Dual Band HSDPA, SON, LTE Femtocells (HeNB) LTE-Advanced feasibility study, MBSFN |
| Rel-10 | March 2011 | LTE-Advanced (4G) work item, CoMP Study Four carrier HSDPA |
| Rel-11 | Sept 2012 | CoMP, eDL MIMO, eCA, MIMO OTA, HSUPA TxD & 64QAM MIMO, HSDPA 8C & 4x4 MIMO, MB MSR |
| Rel-12 | March 2013 stage 1 | New carrier type, LTE-Direct, Active Antenna Systems |

Figure 3: Tableau des releases 3gpp du 1999 à 2013 avec les principales améliorations

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) Release 99, est un réseau mobile de troisième génération capable d'offrir des bénéfices significatifs à l'utilisateur en terme de services à valeur ajoutée, tels que l'accès Internet, le téléchargement de fichiers ou alors la visiophonie, mais limité à un débit maximal de 384 Kbits/s dans les sens montant et descendant.

Ce dernier connaît des évolutions concernant le passage d'une commutation circuit à une commutation par paquets, à partir de la release 5, avec l'apparition du HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) qui a permis l'augmenter du débit sur le lien descendant.

Puis est arrivé le HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pour augmenter le débit sur le lien montant et enfin le HSPA (High Speed Packet Access) et HSPA+ (High Speed Uplink Packet Access+) Ces évolutions ont offertes aux utilisateurs des débits plus élevé en voie descendante et montante, ainsi qu'une latence plus réduite. (Tableau 1).

| | GSM/GPRS/EDGE | UMTS Release 99 | HSPA | HSPA+Release 8 |
|--|---------------|-----------------|------------|---|
| Débit maximal UL | 118kbps | 384kbps | 5,8Mbps | 11,5Mbps |
| Débit maximal DL | 236kbps | 384kbps | 14,4Mbps | 42Mbps |
| Latence | 300ms | 250ms | 70ms | 30ms |
| Largeur de canal | 200KHz | 5MHz | 5MHz | 5MHz Avec possibilité de canaux simultanés |
| Technique d'accès multiples | FDMA/TDMA | CDMA | CDMA/TDMA | CDMA/TDMA |
| Modulation DL | GMSK | QPSK | QPSK,16QAM | QPSK,16QAM,64QAM |
| Modulation UL | 8PSK | BPSK | BPSK, QPSK | BPSK,QPSK ;16QAM |
| Bande de fréquences usuelles(MHz) | 900/1800 | 900/2100 | 900/2100 | 900/2100 |

Tableau 1 : Evolution des technologies du GSM à HSPA+

Succédant UMTS et ces évolutions, LTE (Long Terme Evolution) apparait comme une rupture technique avec une nouvelle interface radio et une nouvelle architecture réseau (Figure 4).

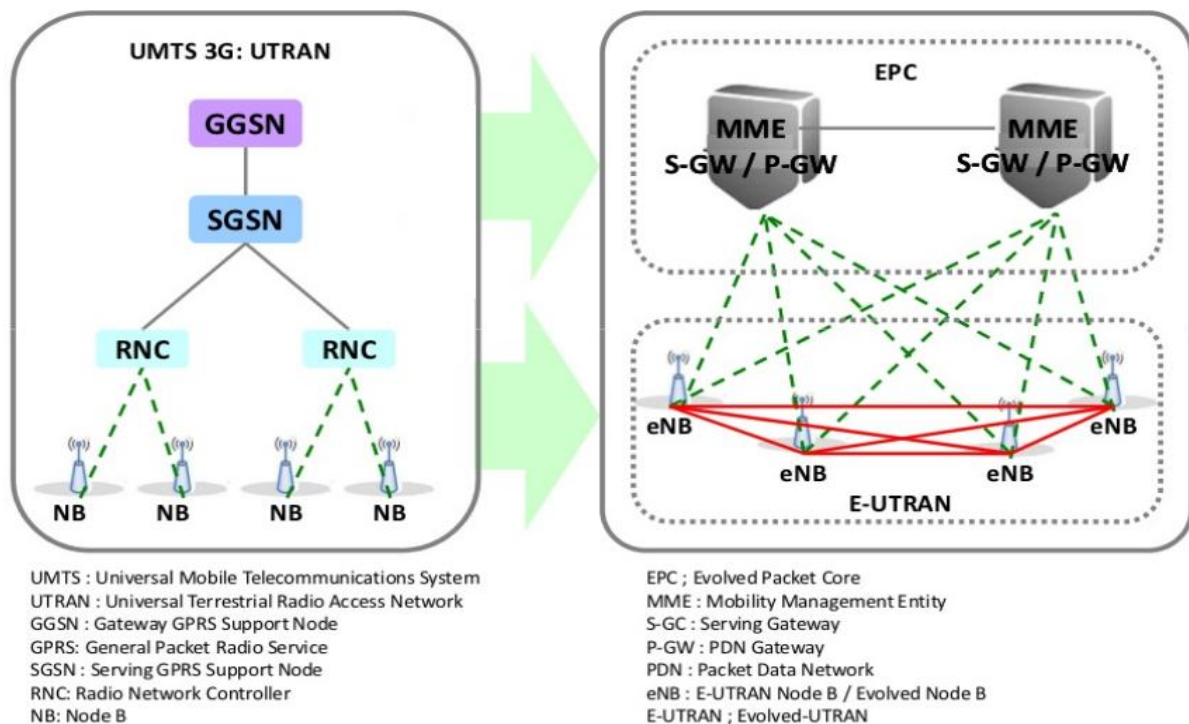


Figure 4: Comparaison entre l'architecture UMTS et LTE

II. Long Term Evolution

LTE (Long Terme Evolution) a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS, lors d'un atelier organisé par le 3GPP. Cette évolution était destinée à maintenir la compétitivité de l'UMTS sur un horizon de dix ans et au-delà [1].

Les travaux sur cette nouvelle norme ont débuté 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 [2]. Et les travaux de spécification se sont déroulés jusqu'à décembre 2008, Le LTE est ainsi défini dans la Release 8.

La première étape de la normalisation de LTE consista à définir les exigences [3] et les spécifications que ce dernier doit satisfaire.

1. Les spécifications de LTE

- ✓ **Les débits:** Les exigences pour la technologie LTE ont porté également sur des gains de débit en comparaison avec le HSPA (Tableau 1).
 - 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
 - 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz.

- ✓ **Haute efficacité spectrale:** Le système compte parmi ses objectifs l'accroissement de l'efficacité spectrale cellulaire (le flux binaire par Hz. Soit le débit divisé par la bande passante du canal de transmission en bit/s/Hz/cellule), en sens descendant, l'efficacité spectrale doit être trois à quatre fois supérieure à celle offerte par le HSPA (Figure 5) au sein d'un réseau chargé, et deux à trois fois supérieure en sens montant.

- ✓ **Mobilité :** Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE (Equipement Usager) se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h).

✓ **Une faible latence:**

- Latence du plan de contrôle (le temps nécessaire pour établir une connexion et accéder au service) L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS (Tableau 1), via un temps de transition inférieur à 100 ms.
- Latence du plan usager (le délai de transmission d'un paquet au sein du réseau une fois la connexion établie) Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms

✓ **Flexibilité dans l'usage de la bande:** six possibilités de 1.4 à 20 Mhz permettant de s'adapter au besoin de bande passante.

✓ **Contrôle de la Qualité de service:** LTE propose neuf classes de QoS permettant une différenciation du profil de services de chaque usager (joueur en ligne, consultation internet, VPN, vidéo sur demande...).

✓ **Une architecture simplifier:** éléments de réseau peut nombreux (Figure 4)

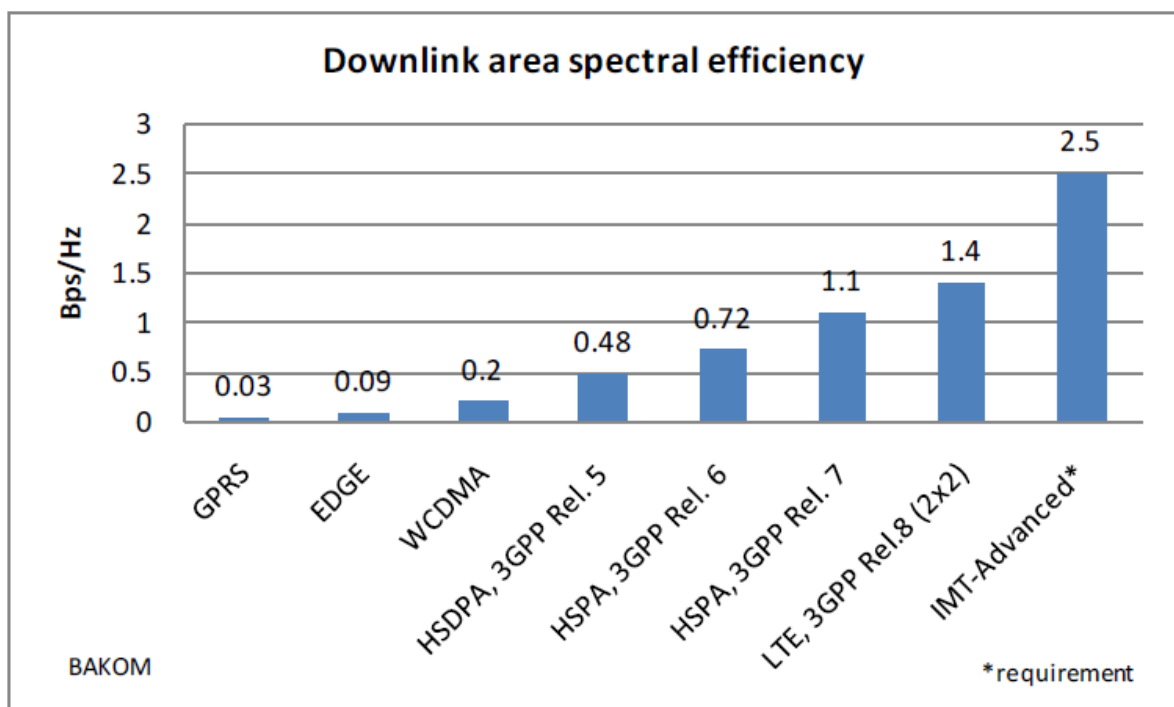


Figure 5 : Le taux de l'efficacité spectrale des technologie du GSM à LTE

2. Architecture LTE/SAE

Le 3GPP a défini une nouvelle architecture [5] [6] [7] pour LTE, qui implique la modification du réseau cœur et des émetteurs radio, et le développement des terminaux mobiles adaptés. Le nouveau réseau EPS (Evolved Packet System), est constitué d'un réseau d'accès LTE (Long Term Evolution) et d'un réseau cœur SAE (System Architecture Evolution).

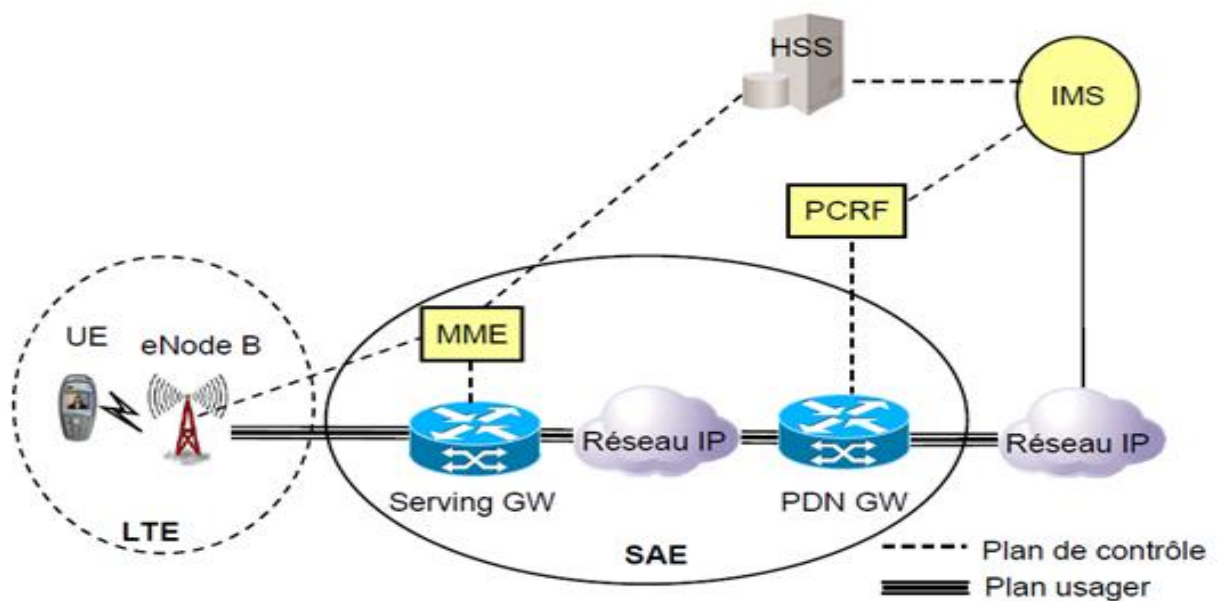


Figure 6: Architecture Réseaux LTE/SAE

2.1. Réseau d'accès

Le réseau d'accès LTE (Figure 6) contient des eNodeB, qui assurent l'échange radio avec l'E-UTRAN et l'équipement usager.

A la différence de la 3G (Figure 4), les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur SGW. Les eNodeB sont reliés par une interface X2, qui leur permet d'échanger des informations de signalisations. L'eNodeB est relié au cœur du réseau à travers l'interface S1.

2.2. Réseau cœur

Le réseau cœur SAE (Figure 6) est constitué des éléments suivants qui sont connectés via un réseau tous IP.

Chapitre I: Evolution vers LTE

- ✓ **MME** (Mobility Manager Entity) : Est responsable de localiser l'utilisateur, de connaître son état et de gérer les procédures d'authentification, et la mobilité.
- ✓ **SGW** (Serving Gateway) : Est responsable du transfert d'un relais à un autre, il gère tout l'aspect handover et effectue le transfert vers un réseau 2G ou 3G.
- ✓ **PGW** (Packet Data Network Gateway) : Est la passerelle vers les réseaux externes. Il est responsable du routage, en assignant une adresse IP au mobile au moment de l'attachement au réseau. C'est aussi un point pour faire le filtrage des données.
- ✓ **HSS** (Subscriber Home) : Il contient le profil de l'abonné pour les réseaux 2G, 3G, LTE.
- ✓ **PCRF** (Policy Charging Rules Function): Il fournit au PGW les règles de taxation nécessaires pour différencier les flux de données et de les taxer d'une façon convenable.

Chapitre II

L'étude de la capacité dans le réseau
LTE

Avec l'explosion du trafic et l'accroissement du progrès technologique les réseaux encourage de nouveaux types d'usages tels que la visiophonie, vidéo streaming... Ces nouveaux usages, incitent une utilisation plus intensive des réseaux.

D'où les besoins de capacité vont croissant, et la technologie se doit d'évoluer constamment pour les satisfaire.

I. L'état d'art de la capacité dans le réseau LTE

Avant l'arrivée de LTE, la capacité du réseau se traduisait par le nombre maximal de communications téléphoniques pouvant être maintenues simultanément par une même cellule.

Désormais avec la normalisation de LTE, la capacité se matérialise par le nombre d'utilisateurs pouvant être connectés simultanément. Et se caractérise par le débit total maximal pouvant être écoulé par une cellule fortement chargée.

1. Capacité en nombre d'utilisateurs

La capacité d'une cellule est la valeur moyenne des débits dans un scénario impliquant plusieurs UE (User Equipment) actifs, pouvant être servis simultanément avec un débit donné. Elle dépend de plusieurs paramètres comme, le type de milieu à planifier (urbaine, dense urbaine, rurale...), le nombre d'utilisateur connecté dans la même cellule, le type de service (VoIP, Le téléchargement de fichier, vidéo streaming...), et aussi des technologies utilisées (technologie d'antennes, technologie d'accès,...). Elle est conditionnée par l'efficacité spectrale du système.

On définit l'efficacité spectrale cellulaire comme étant le nombre de bits par seconde (en bit/s/Hz), de même, l'efficacité spectrale en bordure de cellule (en bit/s/Hz) qui caractérise le débit pouvant être offert à un UE en mauvaises conditions radio.

Le réseau LTE doit supporter simultanément un large nombre d'utilisateur par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures [3].

Pour Accroître la capacité du réseau, il faut faire une gestion intelligente des ressources spectrales disponibles, plusieurs techniques et technologies ont été mises au point.

II. Les technologies qui ont permis l'augmentation de la capacité cellulaire

1. La technologie d'accès: OFDMA, SC-FDMA

1.1. Concept de bloc de ressources

Le bloc de ressource est le plus petit élément qui constitue les ressources physiques en LTE, c'est une grille, composé d'éléments de ressource RE. Il est formé de 12 sous porteuses, largeurs de chacune est de 15KHz (Figure 7)

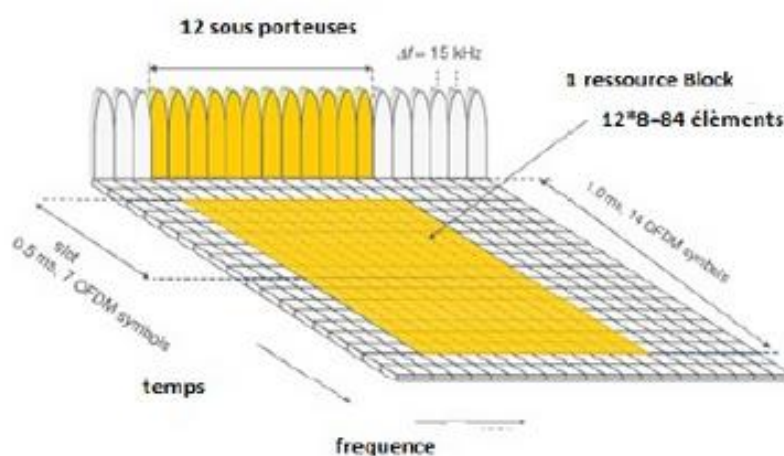


Figure 7: Bloc de ressources

1.2. L'OFDM, OFDMA, SC-FDMA

Le principe de l'OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) consiste à répartir le signal numérique sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales, avec l'ajout d'un préfixe cyclique entre symboles OFDM pour éviter leurs interférences.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est la technologie d'accès multiple par rapport OFDM, elle est utilisée en LTE dans la liaison descendante.

Pour la voie montante, LTE utilise une dérivée appelée SC-FDMA. En OFDMA, les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse, alors qu'en SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées (Figure 8).

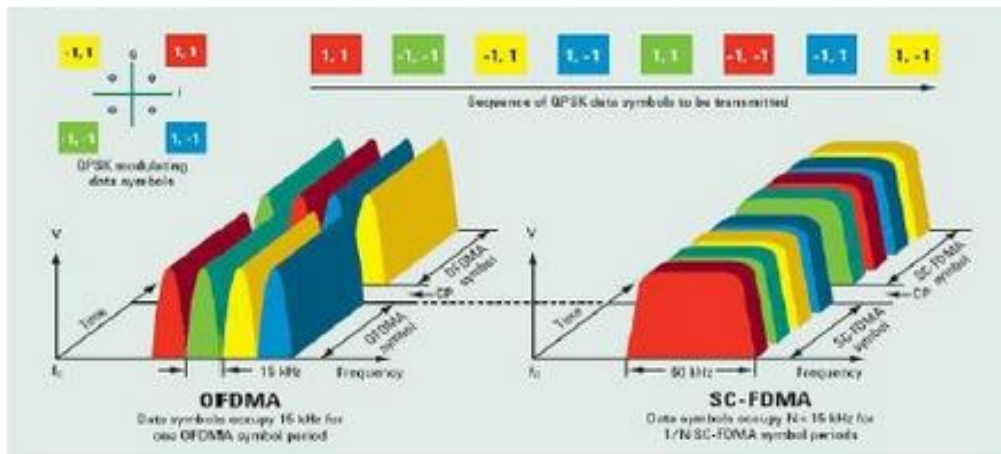


Figure 8: Différence entre OFDMA et SC-FDMA

2. La technologie MIMO

Les MIMO (Multiple Input Multiple Output), se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes du côté de l'émetteur et du côté du récepteur (figure 9). La mise en place d'une telle structure permet à LTE d'atteindre des hauts débits et une grande capacité.

Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

- ✓ **Diversité d'espace** : Diversité d'antenne.
- ✓ **Diversité fréquentielle** : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.
- ✓ **Diversité temporelle** : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal

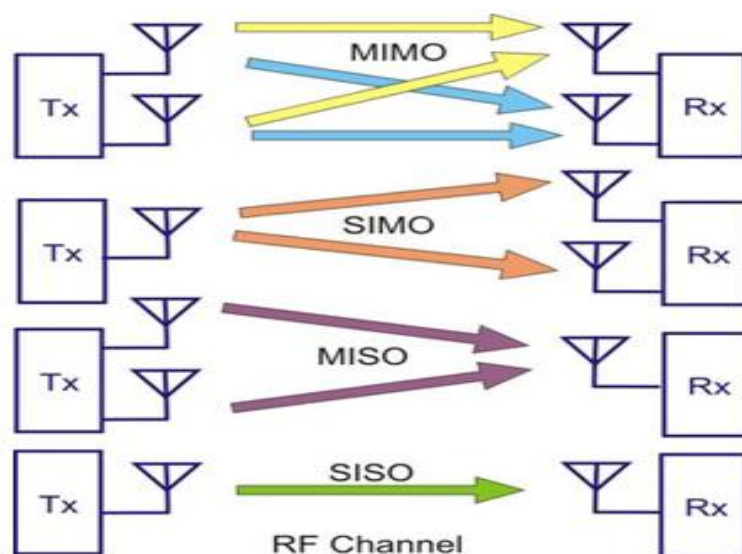


Figure 9: Type d'antennes

3. La technique du Modulation et codage adaptatifs

La modulation et le codage adaptatifs AMC (Adaptive Modulation & Coding), est une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal.

Pour les transmissions DownLink en LTE, l'UE envoie le feedback de CQI (Channel Quality Information) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation & Coding Schema), un schéma de modulation et de codage qui maximise l'efficacité spectrale tout en gardant le BER (taux d'erreurs par bloc) inférieur à un certain seuil. Le type de modulation pris en charge par LTE est: QPSK, 16QAM, 64QAM (Figure 10)

Les modulations (64QAM-16QAM) offrent des débits plus élevés et une haute efficacité spectrale.

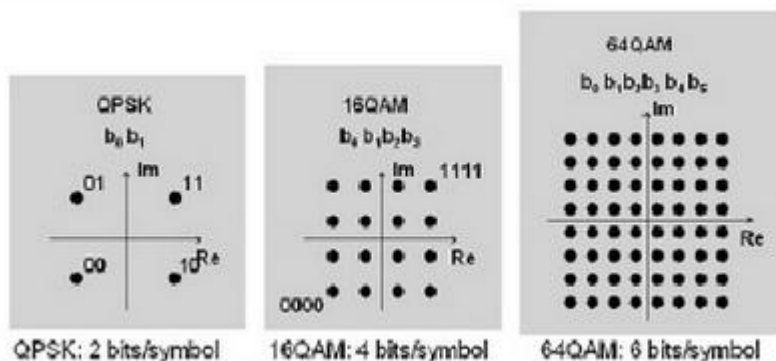


Figure 10: Modulation LTE

4. La technologie SON : Le Self-Organizing Network

Dans les réseaux cellulaires 2G et 3G, de nombreux paramètres du réseau sont configurés manuellement, par exemple la planification, la mise en service... Cette configuration est efficace et fiable pour l'exploitation du réseau mais son coût est très élevé pour les opérateurs. En plus, ces interventions manuelles sont souvent sources d'erreurs et relativement lentes.

Le 3GPP a élaboré la technologie SON (Self Organizing Networks) dans la norme LTE dans le but de permettre une auto-configuration des équipements. Elle permet un déploiement rapide des nouvelles stations de bases dans le réseau, sans nécessiter l'intervention des

spécialistes pour modifier les équipements préexistants. Améliorant ainsi la capacité et les performances du réseau tout en réduisant les coûts et les délais.

4.1. L'auto-configuration

L'auto-configuration a pour but de réduire les coûts de l'intervention humaine en introduisant des fonctionnalités "plug & play" dans les eNodeB. Elle comprend toutes les tâches nécessaires pour automatiser le déploiement et la mise en service du réseau ainsi que la configuration des paramètres.

Lors de la première mise sous-tension le eNodeB doit détecter la liaison de transport et établit une connexion avec les éléments du réseau cœur, télécharger et mettre à jour la version du logiciel correspondant, configurer les paramètres initiaux, et les relations de voisinage et enfin effectuer un auto-test et se mettre en mode opérationnel [9].

4.2. L'auto-optimisation

Le SON automatise les tâches en effectuant des mesures sur les équipements de réseau, il détecte les problèmes de qualité de service, identifie la cause, et prend automatiquement des mesures correctives sur la base de la statistiques de mesures de performance de l'OMC (Operation and Maintenance Center). Cette optimisation autonome permet de traiter plus rapidement les problèmes et d'améliorer la capacité et les performances du réseau [9].

5. La technique d'agrégations de porteuses

Dans le but d'augmenter la capacité et atteindre des débits plus élevés le besoin d'avoir une bande spectrale plus large s'avère indispensable. Dans les Releases 8 et 9 LTE supporte une largeur de bande qui s'étend jusqu'à 20 MHz.

La solution apportée dans les releases 11 et 12 est d'introduire une extension de la bande passante, du canal, jusqu'à 100MHz, tout en gardant la compatibilité avec les autres releases. Dans le concept d'agrégation de porteuses CA (Carrier Aggregation) la bande de 100MHz est constituée d'un ensemble de bandes élémentaires de largeur adéquate au canal en LTE Rel-8, ces bandes sont nommées CC (Component Carrier) (Figure 11)

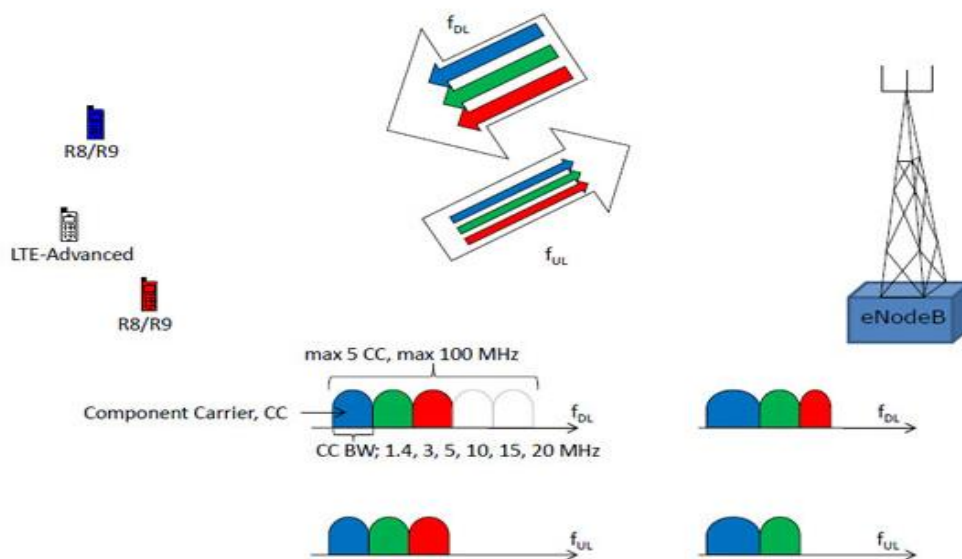


Figure 11: Agrégation de porteuse

6. La technique du Coordinated Multi Point operation: CoMP

Pour maximiser la capacité de la cellulaire, les mêmes ressources spectrales doivent être employées dans chaque cellule. Par conséquent, ce plan de fréquence défavorise les utilisateurs situés sur les bordures de la cellule, car il engendre une dégradation de leurs performances à cause des interférences provenant des cellules adjacentes, ce phénomène est appelé l'interférence entre cellules ICI (Inter Cell Interference)

La coordination entre les cellules, (ICI coordination), est une solution pertinente pour ce genre de problème, dans le sens où les cellules négocient entre elles l'exploitation des ressources partagées dans un but commun, qui consiste à réduire le niveau d'interférence global dans la zone de coopération, et améliorer ainsi les performances sur les bordures de la cellule, tout en réduisant la complexité du système, essentiellement du côté UE (Figure 12).

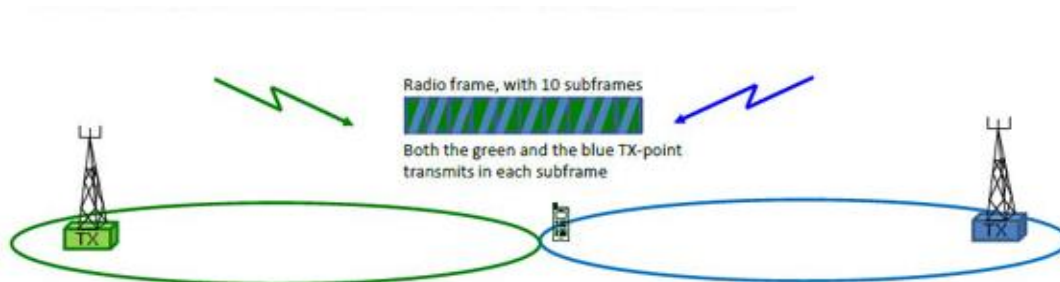


Figure 12: Exemple de CoMP

7. La technologie des Réseaux Hétérogène: HetNet

Les réseaux hétérogènes, HetNet (Heterogeneous Network) correspondent à une technique de déploiement multicouches c'est à dire, plusieurs techniques d'accès, plusieurs formats de cellules, plusieurs types de couverture sont mis en œuvre dans la même zone de déploiement.

L'idée est donc de déployer plusieurs formats de cellules (Figure 13) dans la même zone, pour garantir à la fois :

- ✓ Une capacité élevée : en mettant en place une couche hotspot composés de plusieurs cellules à tailles réduites (pico/femto) et des nœuds relais, ces derniers sont moins coûteuses, faciles à installer et elles permettent en plus d'assurer la couverture à l'intérieur des bâtiments (bureaux, maisons, etc.)
- ✓ Une bonne couverture : en utilisant une macro cellule capable d'étendre la couverture dans la zone entière. Un utilisateur peut se connecter à un réseau de type HetNet selon la technologie qui répond le plus à son besoin : ad hoc, Wifi, etc.

HetNet est constitué d'une station macro qui coopère avec plusieurs petites cellules de tailles réduites d'une façon transparente dans le but d'augmenter la capacité et la couverture.

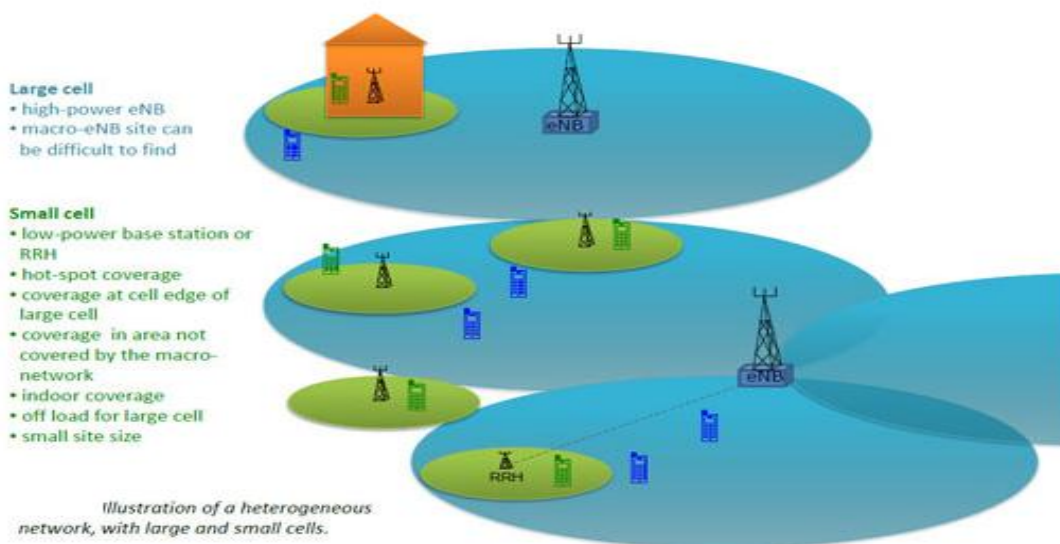


Figure 13:Exemple d'un HetNet avec des cellules larges et des petites cellules

8. Utilisation des petites cellules

Les petites cellules sont déployées à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments, afin de fournir aux abonnés la couverture LTE et la capacité dont ils ont besoin, dans des zones urbaines denses ou lors d'événements populaires en plein air.

L'utilisation des petites cellules (Figure 14) donne aux opérateurs la possibilité de renforcer la couverture et la capacité dans des zones à forte densité (les centres commerciaux, les stades et les quartiers très fréquentés...)

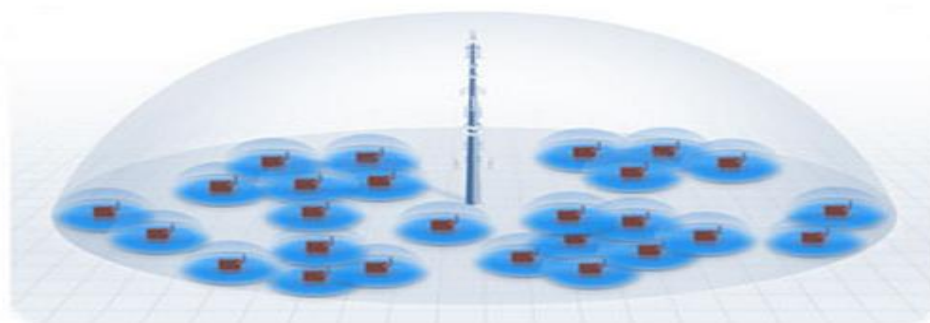


Figure 14: Les Petites Cellules

III. Etude de la capacité d'un réseau LTE : 3GPP case 1 et UIT «macrocellulaire urbain»

Le 3GPP a mené une étude de vérification des performances de LTE à l'issue de son étude de faisabilité [4].

1. Première expérience: Evaluation de l'efficacité spectrale crête

Les spécifications du scénario 3GPP case 1 [10], correspondent à un scénario représentant à un déploiement dense urbain, dans la bande 2 GHz. Les sites utilisés sont trisectorisés et espacés de 500 m, le nombre d'UE est fixé à 10 par cellule, ces derniers utilisent un modèle de trafic dit full buffer, il correspond à des UE ayant toujours des données à transmettre en voie montante ou à recevoir en voie descendante, et se déplacent à l'intérieur de bâtiments avec une vitesse de 3 km/h.

Les résultats sont obtenus pour différentes configurations d’antennes (Tableau 2), en voie montante et en voie descendante, pour les modes FDD (Frequency Division Duplex) et TDD (Time Division Duplex).

| Voie | Configuration D’antenne | Efficacité spectrale cellulaire (bit/s/Hz/cellule) | | Efficacité spectrale cellulaire (bit/s/Hz/UE) | |
|------|-------------------------|--|------|---|-------|
| | | FDD | TDD | FDD | TDD |
| DL | 2X2 | 2.23 | 2.17 | 0.079 | 0.083 |
| | 4X2 | 2.53 | 2.52 | 0.100 | 0.096 |
| | 4X4 | 3.41 | 3.28 | 0.143 | 0.154 |
| UL | 1X2 | 1.33 | 1.24 | 0.047 | 0.045 |
| | 1X4 | 2.00 | 1.83 | 0.075 | 0.064 |

Tableau 2: Résultats de simulation 3GPP case 1

Les antennes simulées ici sont des antennes de même polarisation séparées d’une demi-longueur d’onde, qui favorisent le beamforming (et donc la performance en bordure de cellule).

2. Deuxième expérience : Evaluation de la capacité d’appels voix sur IP

Un autre cas a été adapté, le «UIT- macrocellulaire urbain», (Union internationale des télécommunications) « macrocellulaire urbain» [11], il représente un scénario de déploiement dense urbain selon les mêmes caractéristiques que celles du 3GPP case 1, à la différence que les UE se déplacent dans des véhicules à une vitesse de 30 km/h. Pour tester la capacité d’appels voix, appelée en LTE capacité voix sur IP (VoIP), qui se caractérise par le nombre maximal d’utilisateurs pouvant passer des appels voix simultanément sur une cellule.

| Capacité VoIP (nombre d’UE/cellule/MHz) | |
|---|-----|
| FDD | TDD |
| 69 | 67 |

Tableau 3:Résultats de simulation de UIT «macrocellulaire urbain»

Sur une bande de 10 MHz, une cellule LTE correspondant au scénario indiqué pourra donc écouler 690 appels voix simultanés en FDD et 670 en TDD. Ces chiffres supposent bien sûr qu’aucun autre trafic n’est présent sur la cellule.

Chapitre III

Simulations

Vu que la notion de la capacité a changer et dépende désormais de plusieurs paramètres, dans nos simulations on va planifier deux réseaux LTE dans deux milieux différents (le milieu urbain et le milieu dense urbain) avec le logiciel de planification professionnel Atoll, puis on va varier les paramètres tel que l'augmentation du nombre d'utilisateurs et l'utilisation des antennes MIMO et voire leur impacte sur la capacité.

I. Description du Logiciel Atoll

Atoll est un outil de dimensionnement et de planification des réseaux cellulaires qui peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux (du design à l'expansion et l'optimisation). Le logiciel exploite différentes données en entrée, il permet de choisir le type de réseau à dimensionner (GSM 900, UMTS, ou alors LTE), qui paramètre différemment en fonction de la technologie choisie, ainsi on peut définir le modèle de propagation, le type d'antenne, et les caractéristiques du site...

Et enfin après avoir planifié le réseau, l'outil ATOLL permet de réaliser de multiples prédictions, par exemple : couverture par niveau de champ, couverture par émetteur et étude du trafic, prédiction de la capacité de la cellule.

1. Planification d'un réseau LTE

La planification du réseau est une étape primordiale, du coup elle doit être bien développée. Les étapes à suivre lors de planification (figure 15).

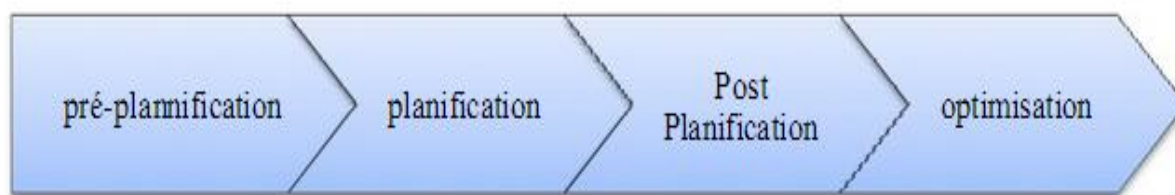


Figure 15: processus de planification

1.1. Pré-planification

C'est la première phase qui consiste à préparer la planification réelle du réseau, on doit collecter des informations sur la région (mode de vie, les heures d'occupation...).

Dans l'outil Atoll, la pré-planification consiste à la définition des éléments suivants:

- ✓ Cartes topographique
- ✓ La zone géographique à planifier
- ✓ Les informations de l'abonné, le nombre d'utilisateurs
- ✓ Les services attendus

1.2. Planification

Suite à la première phase «pré-planification» on trouve la deuxième phase «planification», qui sert à trouver les meilleurs emplacements pour les eNodeBs dont le but d'avoir une bonne couverture.

Dans Atoll, la sortie de la phase de planification est la couverture finale et détaillée et le plan de capacité et du débit.

1.3. Vérification

C'est la phase qui suit l'installation du site, qui a pour but d'assurer un fonctionnement optimal du réseau, elle consiste à faire des réglages de paramètres pour corriger les erreurs qui auraient pu survenir lors de l'installation et aussi faire des Test Drive qui est une méthode d'essai pour vérifier la fonctionnalité du réseau soit en couverture capacité et exigences de qualité.

1.4. Optimisation

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

II. Simulations

1. Planification du réseau LTE dans un milieu urbain et dense urbain

1.1. Paramètres de simulation pour la planification d'un réseau LTE dans un milieu urbain

Le Modèle simuler prend en compte les caractéristiques définies pour le milieu urbain: le modèle de propagation doit être adapté pour le milieu urbain, ainsi que la puissance de l'antenne, et la séparation inter sites.

| Paramètres | |
|------------------------------------|---|
| Nombre de cellules | 21cellules (système 3 secteurs Hexagones) |
| Distance entre les cellules | 500 m |
| Fréquence centrale | 2.10Ghz |
| Bande utilisé | 20Mhz |
| Modèle du Pathloss (Milieu Urbain) | Modèle COST-HATA |
| Puissance de la station de base | 43dBm |
| Configuration de l'antenne | Kathrein Inclinaison Electrique de 17 degré nTX =2 et nRX=2 |
| Ordonnanceur | Round Robin |

Tableau 4: Parametre de similation Réseau LTE milieu urbain

Le modèle de propagation permet d'estimer la valeur de l'atténuation de trajet. On distingue plusieurs types de modèles:

- ✓ Modèles empiriques: c'est une formule mathématique utilisée pour permettre prédire l'impact d'un émetteur sur une certaine zone de réception.
- ✓ Modèles physiques: prédisent la propagation des ondes radio et calculent les trajets des ondes radio en tenant compte des phénomènes de réflexion et diffraction.

Pour nos simulations on a choisir des modèles de propagation empirique. Ainsi qu'une bande de fréquence de 20Mhz pour bénéficier d'une capacité de 100Mbps par cellule.

1.2. Paramètres de simulation pour la planification d'un réseau LTE dans un milieu dense urbain

Le Modèle simuler prend en compte les caractéristiques définit pour le milieu dense urbain: le modèle de propagation doit être adaptée pour le milieu urbain, ainsi que la puissance de l'antenne, et la séparation inter sites.

| Paramètres | |
|--|--|
| Nombre de cellules | 21cellules (système 3 secteurs Hexagones) |
| Distance entre les cellules | 200 m |
| Fréquence centrale | 2.10Ghz |
| Bande utilisé | 20Mhz |
| Modèle du Pathloss (Milieu Dense Urbain) | Modèle COST-231 |
| Puissance de la station de base | 43dBm |
| Configuration de l'antenne | Kathrein Inclinaison Electrique de 8 degré nTX =2 et nRX=2 |
| Ordonnanceur | Round Robin |

Tableau 5: Parametre de similation Réseau LTE milieu dense urbain

La première étape à faire dans la planification du réseau, est le dessin du motif hexagonal, dans notre cas on va placer sept eNodeB Trisectorisées ce qui vas nous un motif de 21 cellules pour le milieu urbain (Figure 16), les eNodeB sont séparées entre elles avec une distance de 500m.

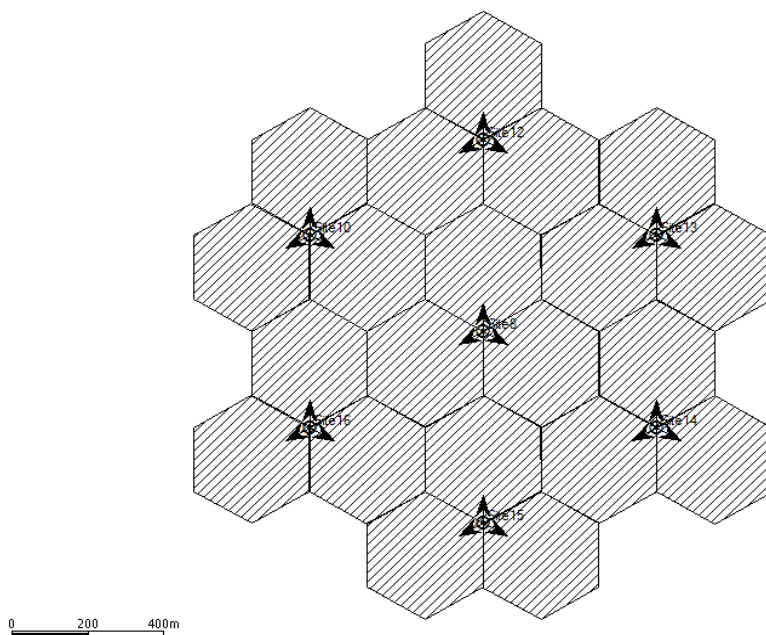


Figure 16: Dessin Hexagonale du milieu urbain sur une echelle de 400m

Pour le milieu dense urbain on aussi placé un motif hexagonal de 21 cellule obtenu par sept eNodeB Trisectorisées, les eNodeB sont séparées entre elles avec une distance de 200m (Figure 17).

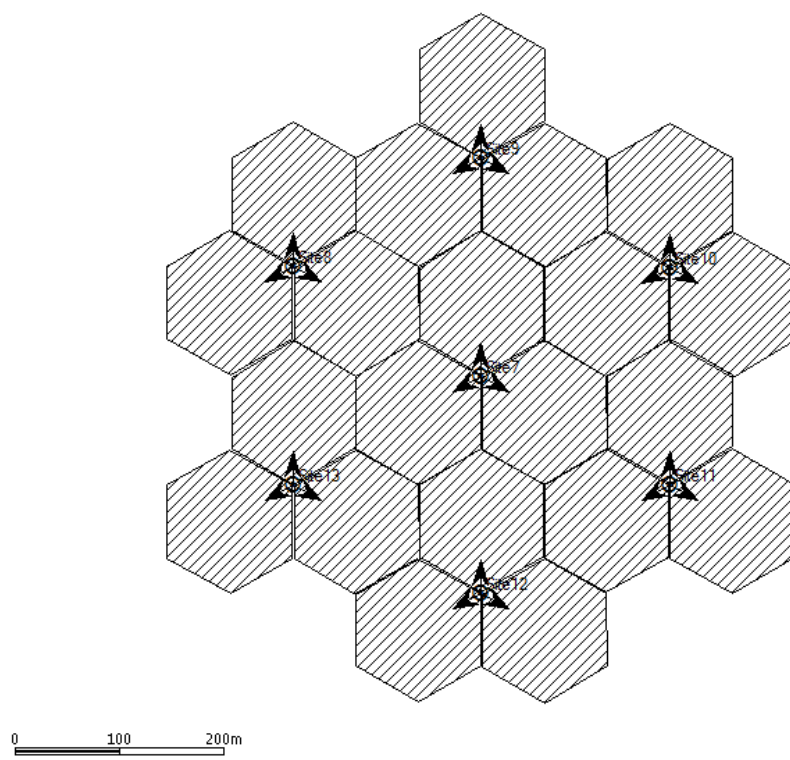


Figure 17: Dessin Hexagonale du milieu dense urbain sur une echelle de 200m

Chapitre III: Simulations

La deuxième étape consiste à la configuration des eNodeB, sur chaque secteur on configure des paramètres tels que la puissance de l'antenne, le type d'ordonnanceur pour les deux milieux, pour le milieu urbain (Figure 18), et pour le milieu dense urbain (Figure 19).

| 1 | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Name | Site11_1 (0) |
| Active | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Layer (0 = lowest priority) | 0 |
| Frequency Band | 2110 FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 1) |
| Channel Number | 0 |
| Channel Allocation Status | Not Allocated |
| Physical Cell ID | 0 |
| PSS ID | 0 |
| SSS ID | 0 |
| Physical Cell ID Status | Not Allocated |
| Reuse distance (m) | |
| Max Power (dBm) | 43 |
| RS EPRE (dBm) | 12,4 |
| SS EPRE Offset / RS (dB) | 0 |
| PBCH EPRE Offset / RS (dB) | 0 |
| PDCCH EPRE Offset / RS (dB) | 0 |
| PDSCH EPRE Offset / RS (dB) | 0 |
| Instantaneous RS Power (dBm) | 35,4 |
| Instantaneous SS Power (dBm) | 31 |
| Instantaneous PBCH Power (dBm) | 31 |
| Average PDCCH Power (dBm) | 42,4 |
| Average PDSCH Power (dBm) | 42,8 |
| Min RSRP (dBm) | -140 |

Figure 18: Configuration d'antennes pour le milieu urbain

| | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Name | Site1_2 (1) |
| Active | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Layer (0 = lowest priority) | 1 |
| Frequency Band | 2110 FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 1) |
| Channel Number | 0 |
| Channel Allocation Status | Not Allocated |
| Physical Cell ID | 0 |
| PSS ID | 0 |
| SSS ID | 0 |
| Physical Cell ID Status | Not Allocated |
| Reuse distance (m) | |
| Max Power (dBm) | 46 |
| RS EPRE (dBm) | 15,4 |
| SS EPRE Offset / RS (dB) | 0 |
| PBCH EPRE Offset / RS (dB) | 0 |
| PDCCH EPRE Offset / RS (dB) | 0 |
| PDSCH EPRE Offset / RS (dB) | 0 |
| Instantaneous RS Power (dBm) | 38,4 |
| Instantaneous SS Power (dBm) | 34 |
| Instantaneous PBCH Power (dBm) | 34 |
| Average PDCCH Power (dBm) | 45,4 |
| Average PDSCH Power (dBm) | 45,8 |
| Min RSRP (dBm) | -140 |

Figure 19: Configuration d'antennes pour le milieu dense urbain

Après la configuration des stations de base chaque cellule du motif prend une couleur distincte qui indique la bande de fréquence qu'elle utilise (Figure 20 et 21).

Enfin, la dernière étape consiste à la génération des utilisateurs, représentés dans les figures 20 et 21 par des cercles en vert, la couleur verte dans Atoll indique le service VoIP, d'autres couleurs comme le bleu ou le rouge indiquent d'autres types de services.

On a généré des utilisateurs qui utilisent le service VoIP pour les deux types de milieu urbain et urbain dense figure 21 et 21 respectivement.

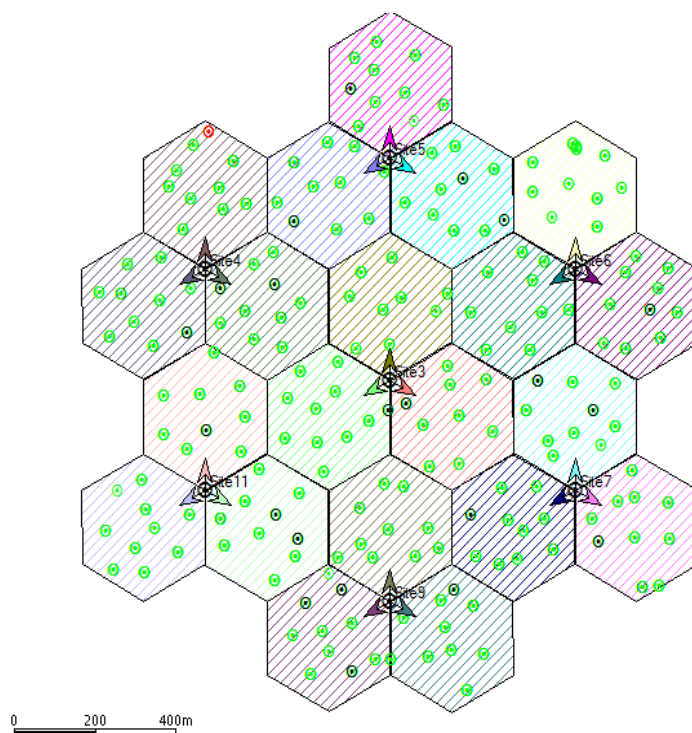


Figure 20: Génération de dix utilisateurs (VoIP) dans le milieu urbain

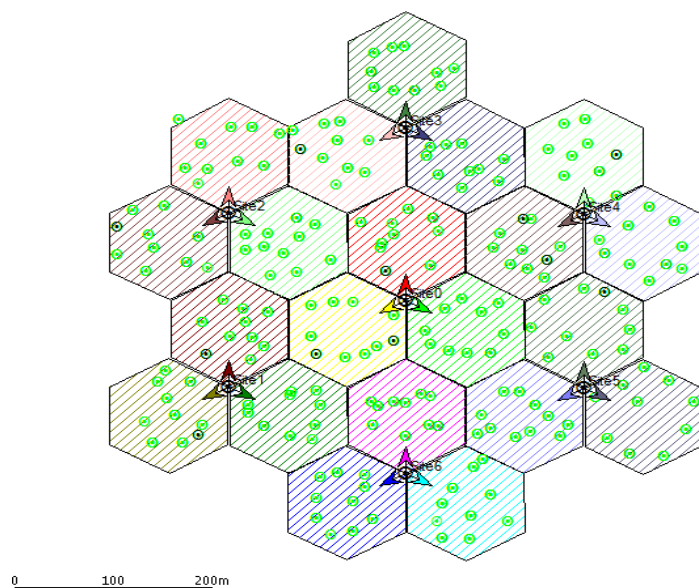


Figure 21: Génération de dix utilisateurs (VoIP) dans le milieu dense urbain

Après avoir mis en service nos deux réseaux, on va faire un test de la couverture au niveau de chaque émetteur pour voir si toute la zone a bien été couverte.

Pour le milieu urbain tous les utilisateurs sont bien couverts (Figure 22), et pour le milieu dense urbain (Figure 23) tous les utilisateurs sont bien couverts.

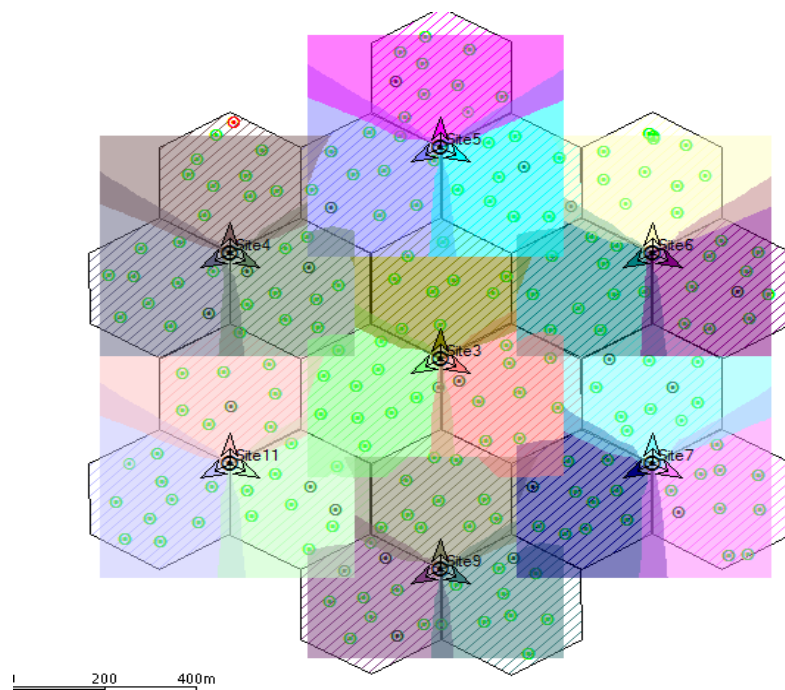


Figure 22: Plan de couverture des émetteurs dans le milieu urbain

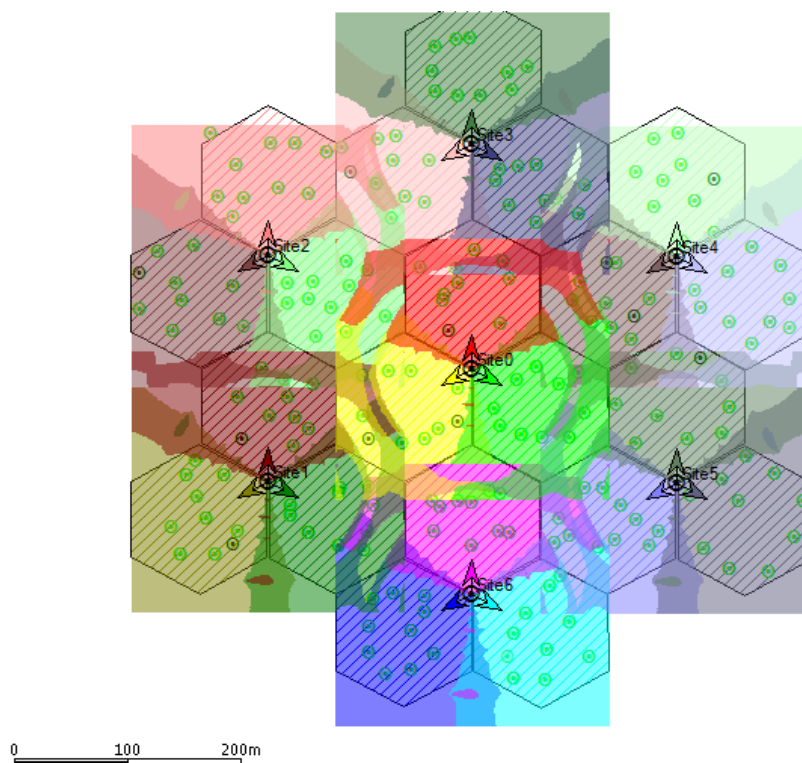


Figure 23: Plan de couverture des émetteurs dans le milieu dense urbain

On remarque que la couverture (Figures 22 et 23) est optimale pour chacun des deux milieux.

2. Impacte de l'augmentation du nombre d'utilisateurs sur la capacité

2.1. Etude de la capacité dans le milieu urbain

Ces simulations consistent à voir l'impacte de l'augmentation du nombre d'utilisateur sur la capacité effective de la cellule, premièrement en cas d'un nombre réduit à 10 utilisateurs par cellules, ensuite 20 utilisateurs par cellules, et enfin 30 utilisateurs par cellule. En comparant les résultats obtenus avec ceux d'une cellule avec un seul utilisateur.

Les graphes générés par l'outil Atoll présente la DCF (Fonction de distribution cumulative), qui représente la probabilité en pourcentage (axe Y) que la variable dans l'axe X égale la valeur citée dans l'axe X.

Le premier test consiste à tester la capacité d'une cellule avec un seul utilisateur qui a un terminal mobile avec une seule antenne et qui utilise le service voix sur IP. Ce test va nous permettre de faire une comparaison avec les résultats des autres simulations.

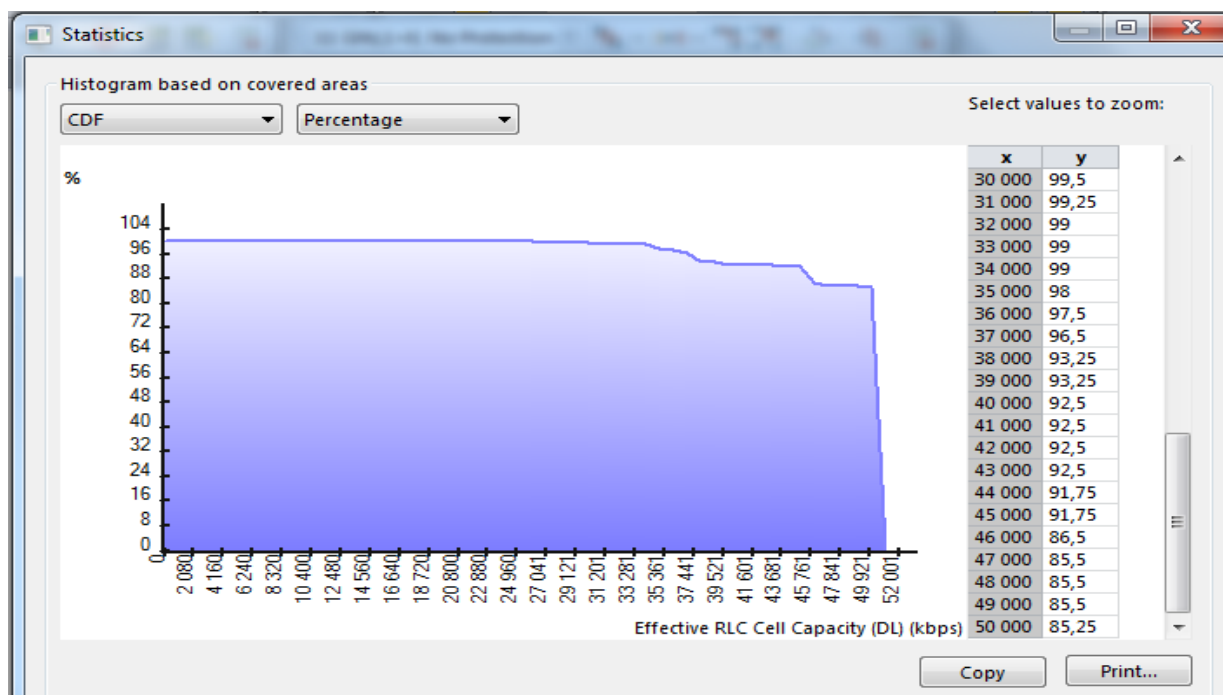


Figure 24 : La DCF de la capacité effective d’une cellule dans un milieu urbain avec un seul utilisateur

Dans une cellule avec un seul utilisateur, la capacité maximale (Figure 24) atteinte est de 50Mbps avec une probabilité de 85,25%.

Conditions de simulation

| Conditions |
|--|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d’utilisateurs par cellules: 10 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale mobile simple avec une seule antenne |

Tableau 6: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 10 user

Résultats

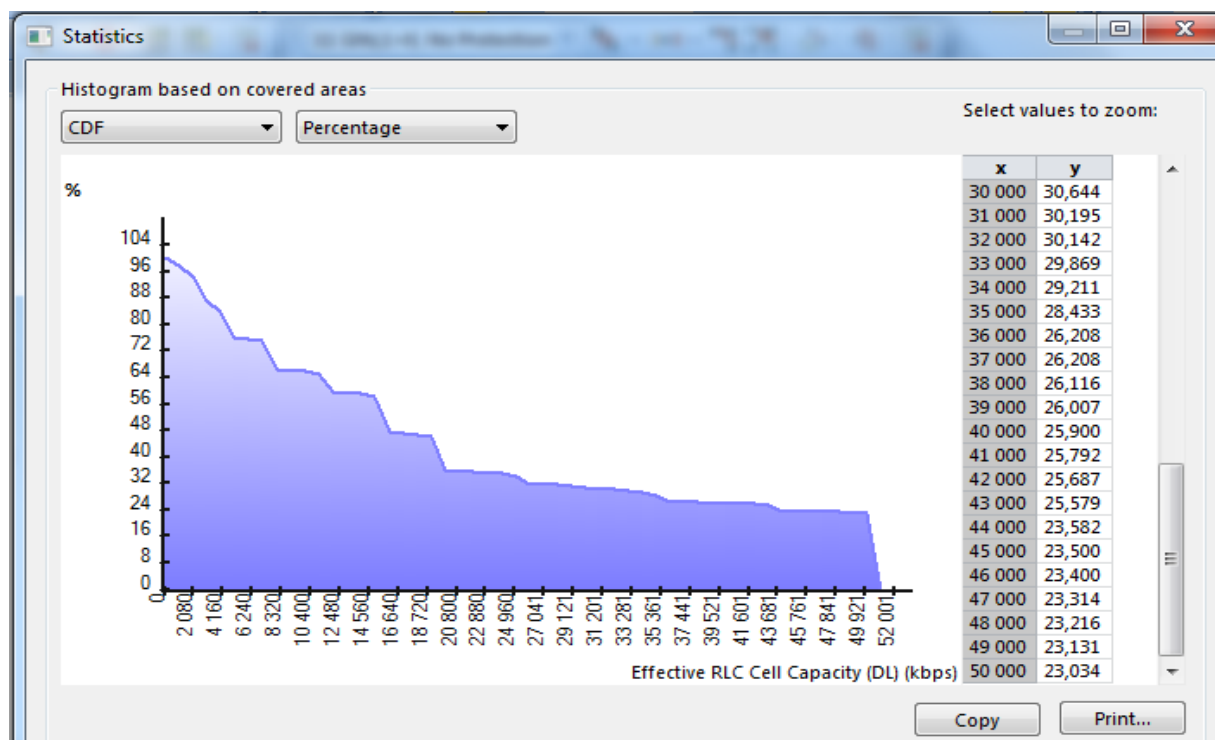


Figure 25: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu urbain cas de 10 user/cellule

La capacité de la cellule peut atteindre son maximum avec une probabilité de 23,03%. En fonction de leur distance avec l'eNodeB, les utilisateurs peuvent bénéficier d'un débit entre les 50Mbps et 1Mbps. En comparaison avec la DCF de la cellule avec un seul utilisateur (figure 24) la capacité a diminué et la probabilité d'avoir une capacité maximale a chuté de 62,22%.

Conditions de simulation

| Conditions |
|--|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d'utilisateurs par cellules: 20 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale mobile simple avec une seule antenne |

Tableau 7: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 20 users

Résultats

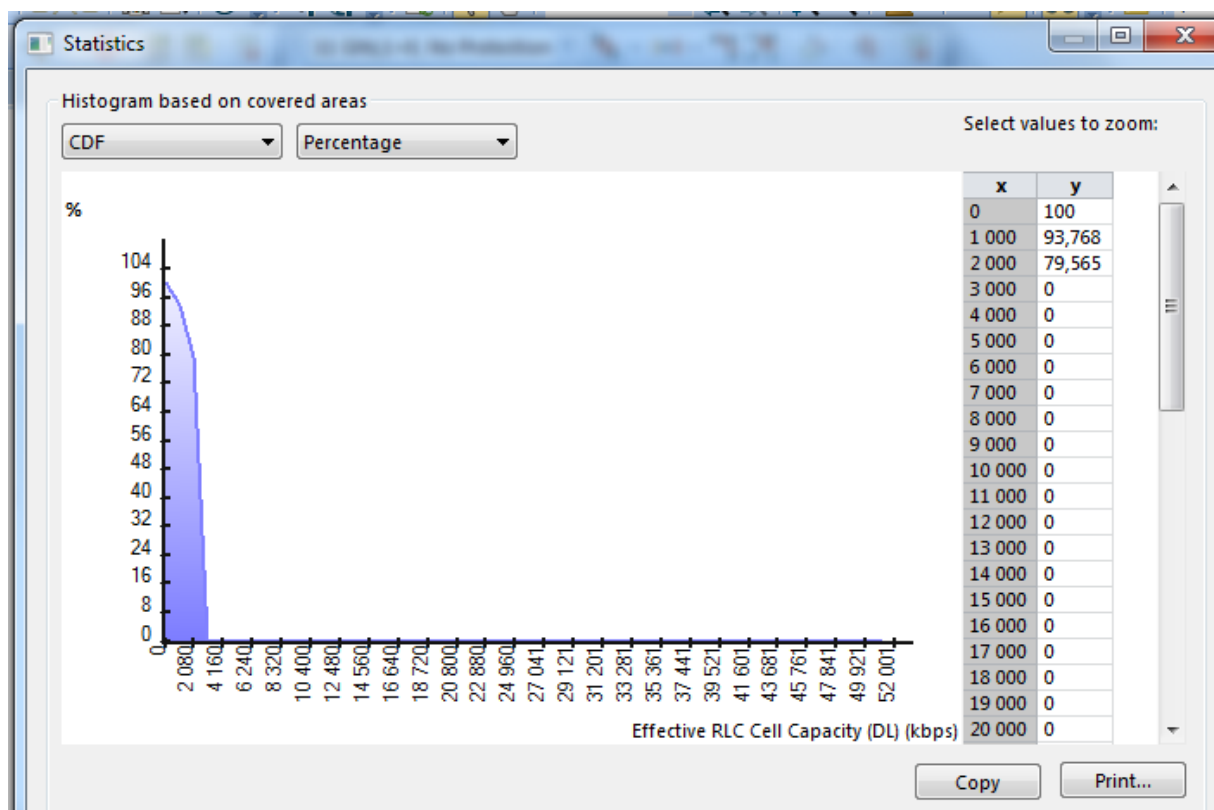


Figure 26: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu urbain cas de 20 user/cellule

En comparaison avec la DCF obtenu de la cellule avec un seul utilisateur (Figure 24) et la DCF de la cellule avec 10 utilisateurs (Figure 25) la probabilité d’avoir une capacité maximale est nulle. Avec l’augmentation du nombre d’utilisateurs, la capacité de la cellule a diminué, et devient limité entre 1Mbps et 3Mbps, avec une probabilité de 79,56% d’avoir une capacité de 2Mbps.

Conditions de simulation

| Conditions |
|--|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d’utilisateurs par cellules: 30 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale mobile simple avec une seule antenne |

Tableau 8: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 30 user

Résultats

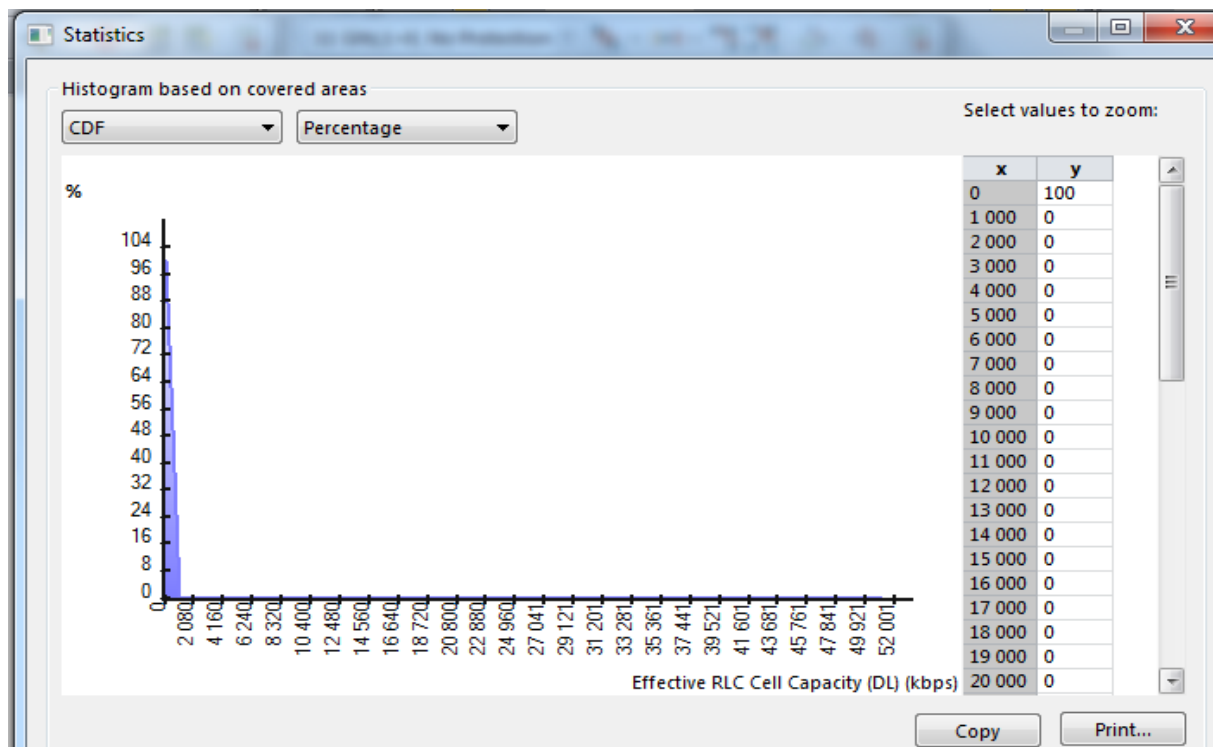


Figure 27: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu urbain cas de 30 user/cellule

En comparaison avec les Figures 24 25 et 26, la capacité de la cellule a encore diminué, et devient limitée entre 0Mbps et 1Mbps.

2.2. Etude de la capacité dans le milieu dense urbain

Ces simulations consistent à étudier l'impact de l'augmentation du nombre d'utilisateur sur la capacité effective de la cellule dans un milieu dense urbain, premièrement en cas d'un nombre réduit à 10 utilisateurs par cellules, ensuite 20 utilisateurs par cellules, et enfin 30 utilisateurs par cellule. En comparant les résultats avec ceux obtenus pour une cellule qui contient un seul utilisateur.

La première simulation teste la capacité de la cellule avec un seul utilisateur qui utilise le service voix sur IP et qui a un terminal mobile simple avec une seule antenne.

La DCF obtenue (Figure 28) indique que la probabilité d'avoir une capacité maximale de 50Mbps est de 100%.

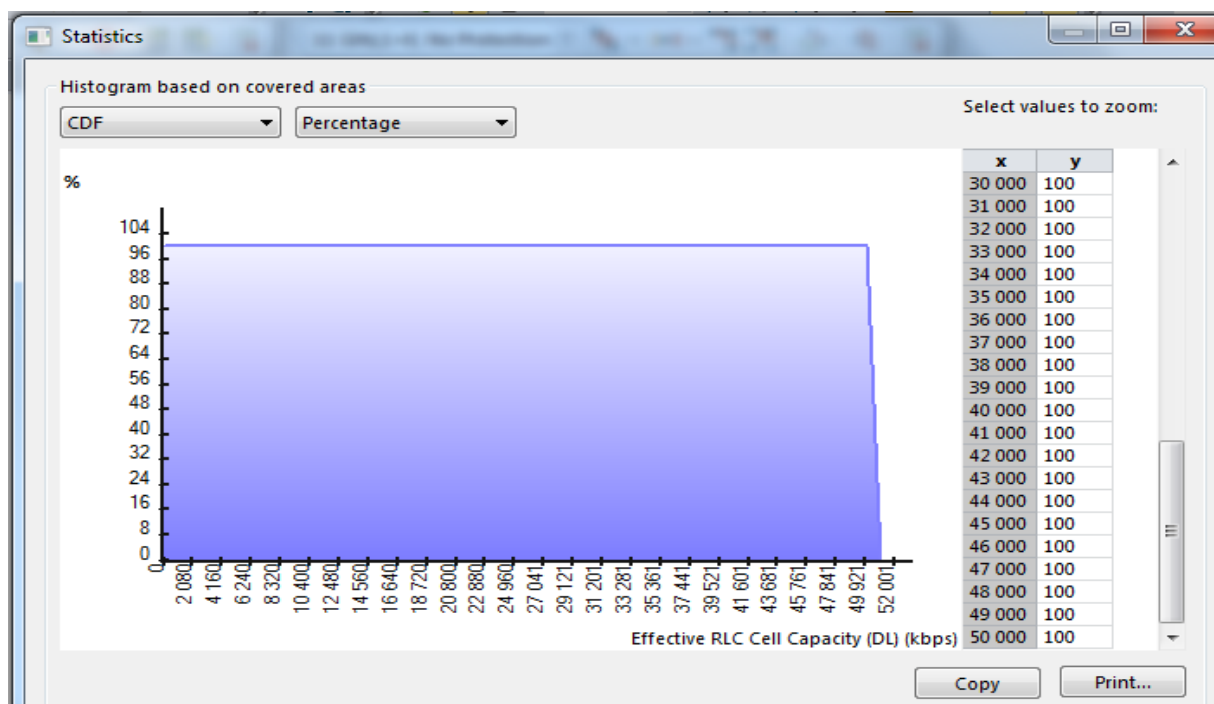


Figure 28: La DCF de la capacité effective d’une cellule dans un milieu dense urbain avec un seul utilisateur

Conditions de simulation

| Conditions |
|--|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d’utilisateurs par cellules: 10 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale mobile simple avec une seule antenne |

Tableau 9: Conditions de simulation pour un milieu dense urbain cas de 10 users

Résultats

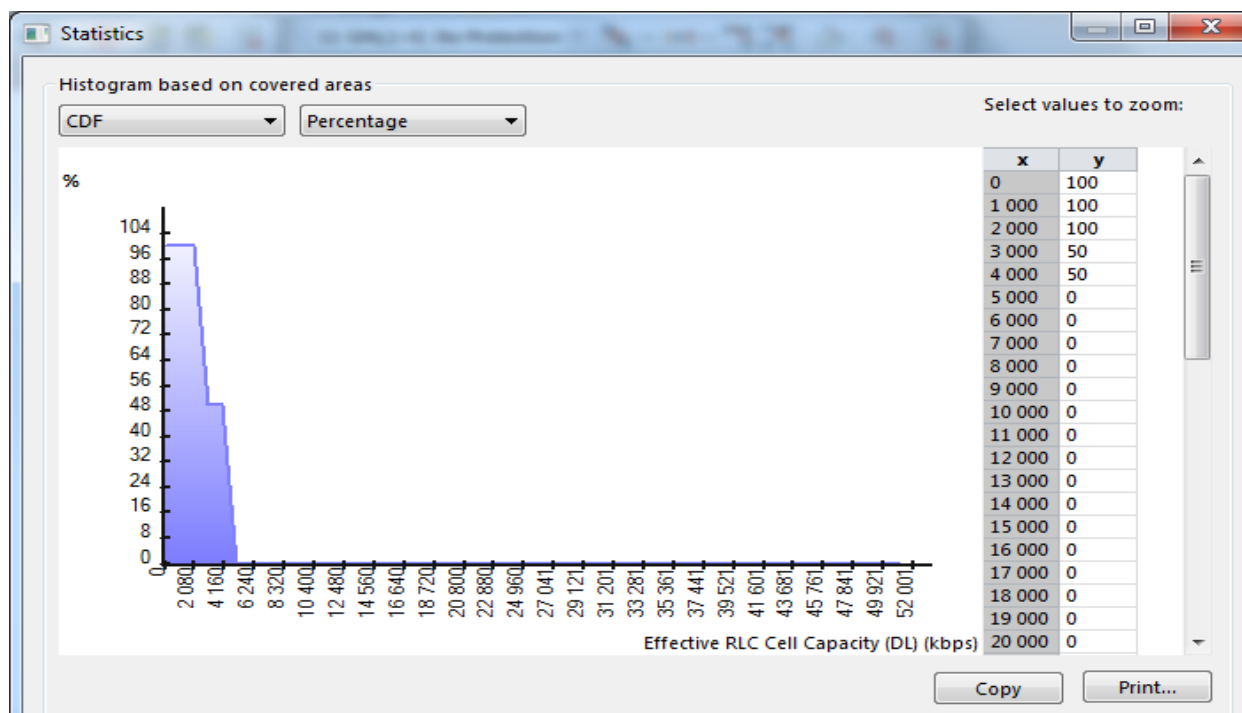


Figure 29: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 10 users

La capacité effective de la cellule est limitée à 5Mbps, avec une probabilité de 50% d’avoir une capacité de 4Mbps.

Avec l’augmentation du nombre d’utilisateur de 1 à 10 utilisateurs, la capacité a diminué par rapport à celle obtenu pour un seul utilisateur (Figure 28), et la probabilité d’avoir une capacité maximale est nulle.

Conditions de simulation

| Conditions |
|--|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d’utilisateurs par cellules: 20 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale mobile simple avec une seule antenne |

Tableau 10: Conditions de simulation pour un milieu dense urbain cas de 20users

Résultats

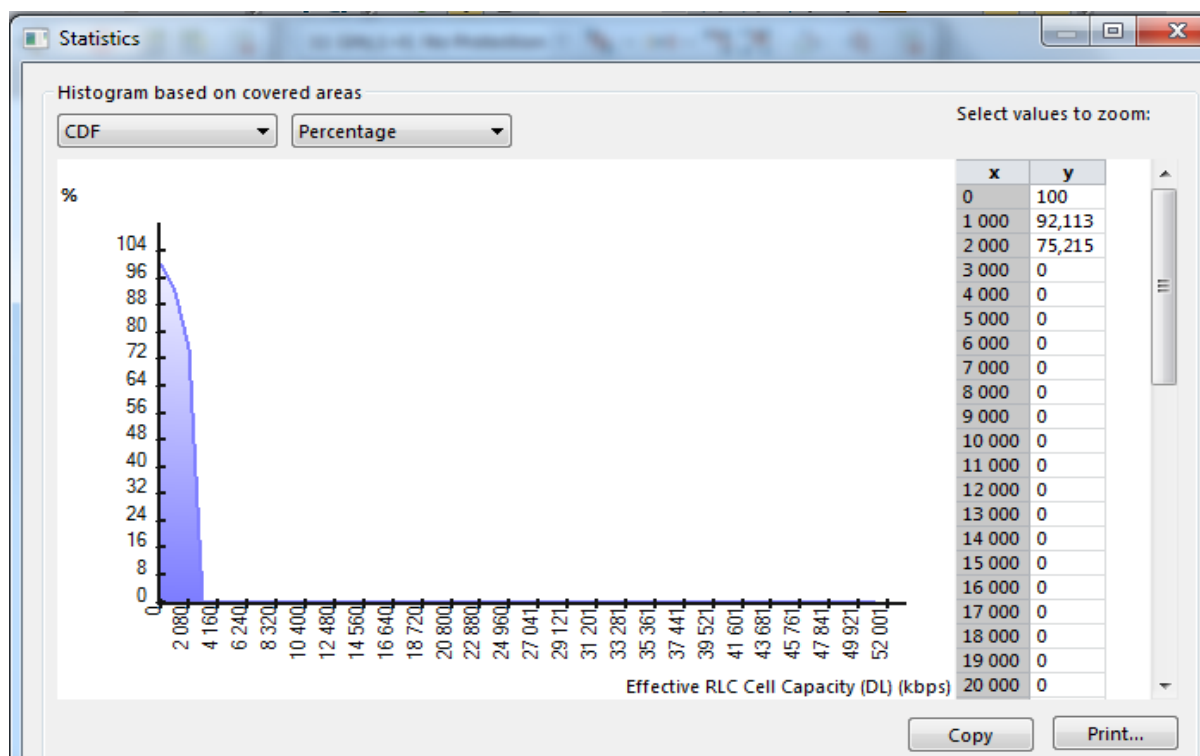


Figure 30: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 20 users

Avec l’augmentation du nombre d’utilisateurs de 10 à 20 utilisateurs, la capacité de la cellule à encor diminuée par rapport à celle obtenue dans le figure 28, cas d’un seul utilisateur, et la figure 29, cas de 10 utilisateurs, elle est devenue limité entre 1Mbps et 3Mbps, avec une probabilité de 75,21% d’avoir une capacité de 2Mbps.

Conditions de simulation

| Conditions |
|--|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d’utilisateurs par cellules: 30 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale mobile simple avec une seule antenne |

Tableau 11: Conditions de simulation pour un milieu dense urbain cas de 30users

Résultats

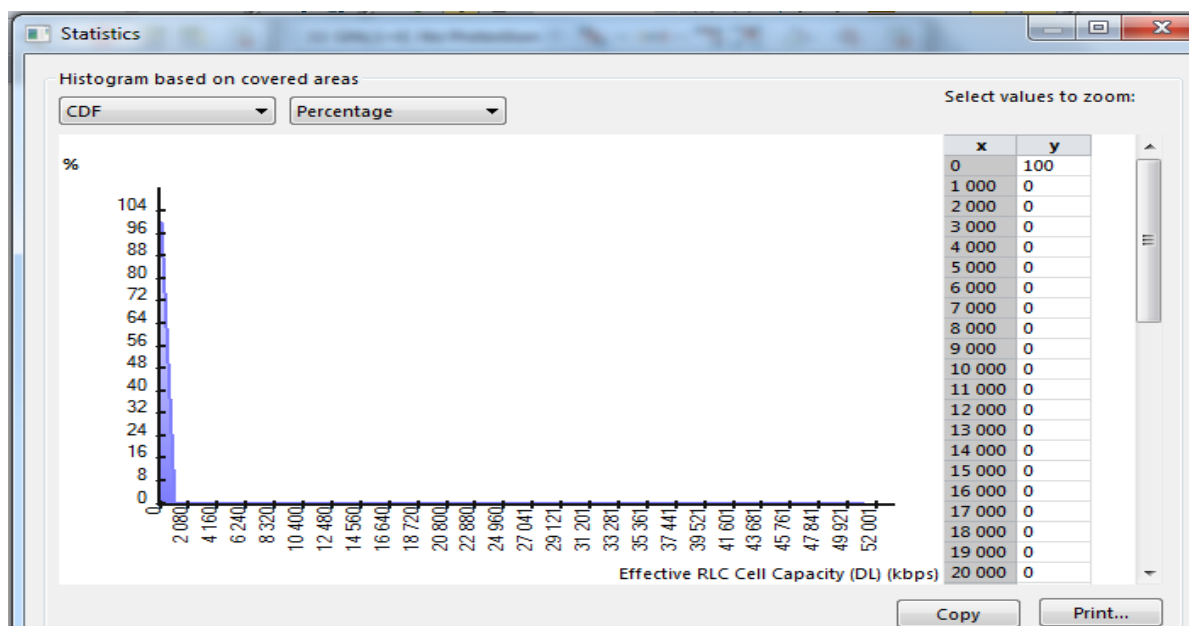


Figure 31: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 30 users

La capacité de la cellule a diminué par rapport a celle d'une cellule avec 1 utilisateur et celle avec 10 et 20 utilisateurs (Figures 29 et 30), et devient limité entre 0Mbps et 1Mbps.

3. Impacte de l'utilisation des systèmes MIMO sur la capacité

Ces simulations ont pour but de voir l'impacte de l'utilisation des systèmes MIMO sur la capacité, dans les deux milieux en cas d'une forte densité d'utilisateurs 30user/cellule, en comparant les résultats obtenu avec les résultats précédents.

3.1. Utilisation des terminaux MIMO

Dans les simulations précédentes les utilisateurs avaient des terminaux mobiles simples avec une seule antenne, dans cette simulation les utilisateurs auront des terminaux MIMO avec deux antennes.

Conditions de simulation dans le milieu urbain

| Conditions |
|---|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d'utilisateurs par cellules: 30 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale MIMO avec deux antennes |

Tableau 12: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 30 users avec terminal MIMO

Résultats

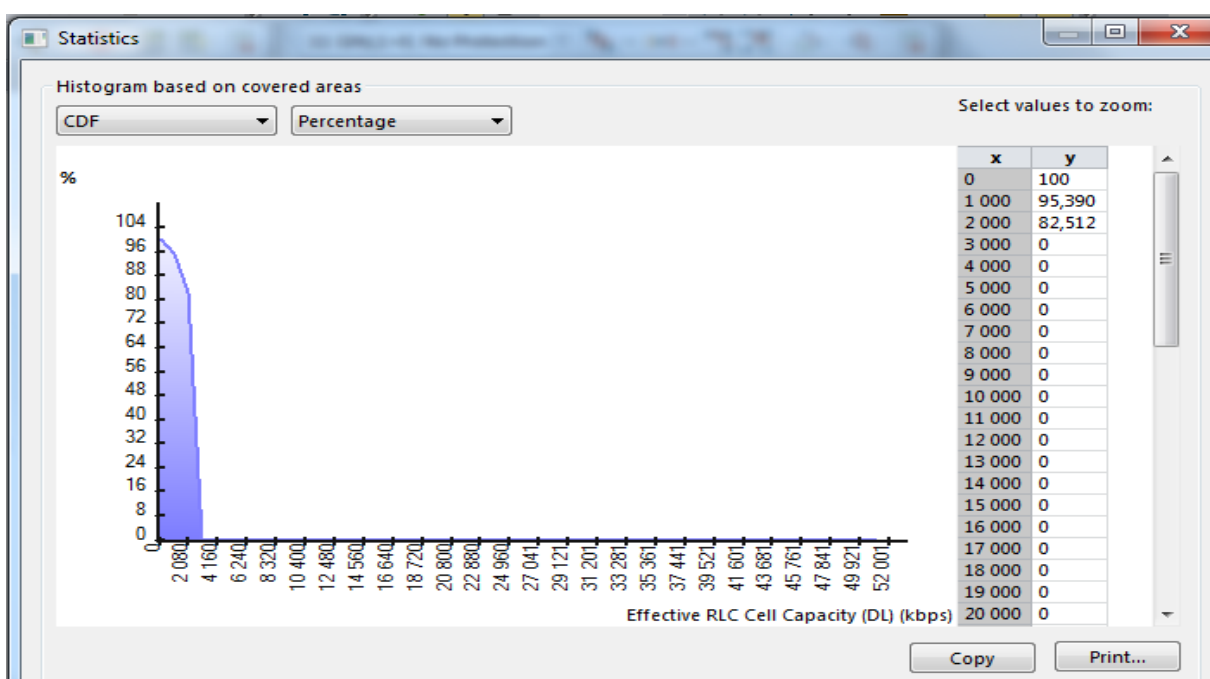


Figure 32: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu urbain cas de 30 users

Dans le teste précédent la capacité de la cellule étai presque nulle dans le cas de 30 utilisateurs qui avait des terminaux mobile simple.

On remarque que la capacité de la cellule à augmenter par rapport aux résultats précédents (Figure 27) avec l'utilisation des terminaux MIMO avec deux antennes, pour attendre 3Mbps, mai reste inferieur a celle obtenu par la DCF d'une cellule avec un seule utilisateur (Figure 24).

Conditions de simulation dans le milieu dense urbain

| Conditions |
|---|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d'utilisateurs par cellules: 30 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale MIMO avec deux antennes |

Tableau 13: Conditions de simulation pour un milieu dense urbain cas de 30 users avec terminal MIMO

Résultats

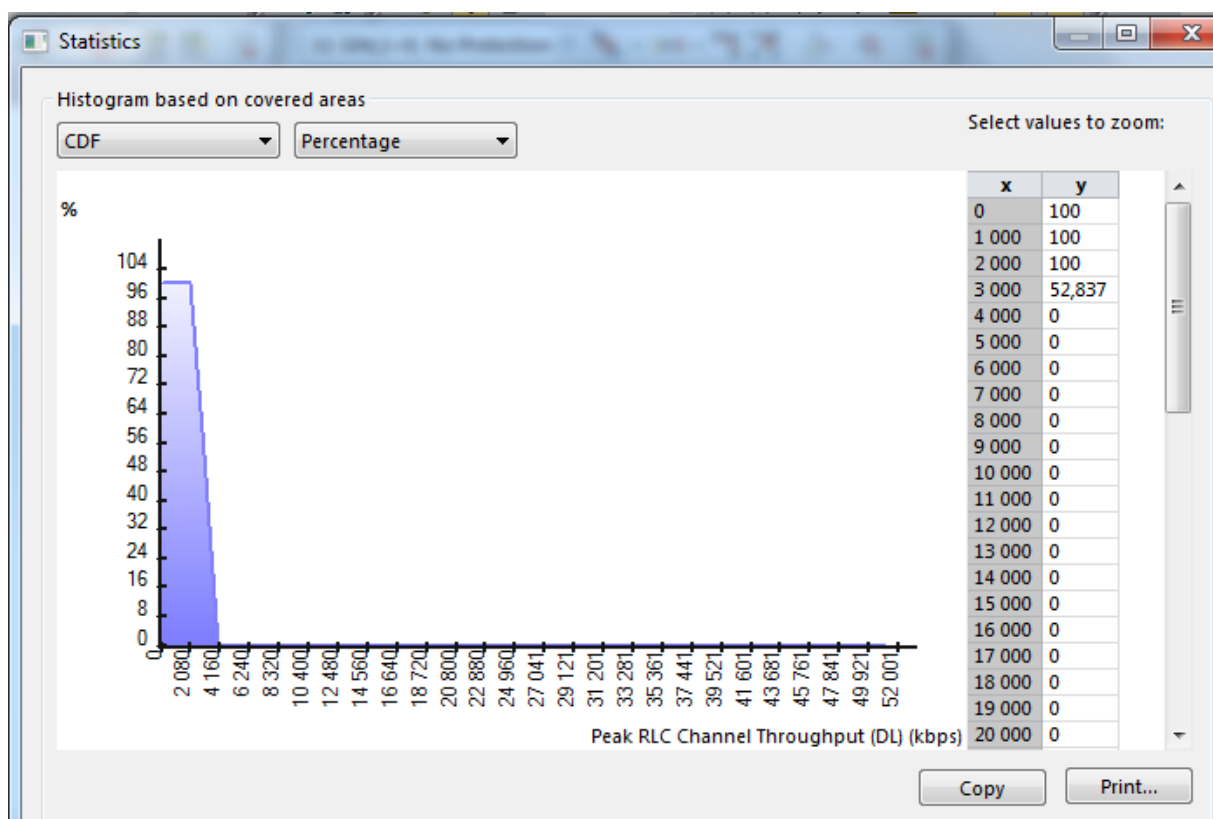


Figure 33: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 30 users

On remarque que la capacité de la cellule à augmenter avec l'utilisation des terminaux MIMO avec deux antennes, pour attendre 4Mbps, par rapport au teste précédent (Figure 31), mais reste inferieur a celle obtenu dans le cas d'une cellule avec un seule utilisateur (Figure 28).

3.2. Utilisation des Antennes MIMO 2X4

Le but de cette simulation est l'utilisation des eNodeB avec des antennes MIMO avec quatre antennes d'émission et deux antennes de réception, pour augmenté la capacité des cellules dans le milieu dense urbain dans le cas de 30 utilisateurs par cellule.

Les utilisateurs ont un mobile simple avec une seule antenne.

Conditions de simulation dans le milieu dense urbain

| Conditions |
|---|
| Vitesse de déplacement des utilisateurs : 5km/h |
| Service: VoIP |
| Nombres d'utilisateurs par cellules: 30 |
| Modèle de trafic: full buffer |
| Type du terminale : Terminale simple avec une seule antenne |

Tableau 14: Conditions de simulation pour un milieu urbain cas de 30 users avec des eNodeB MIMO (2X4)

Résultats

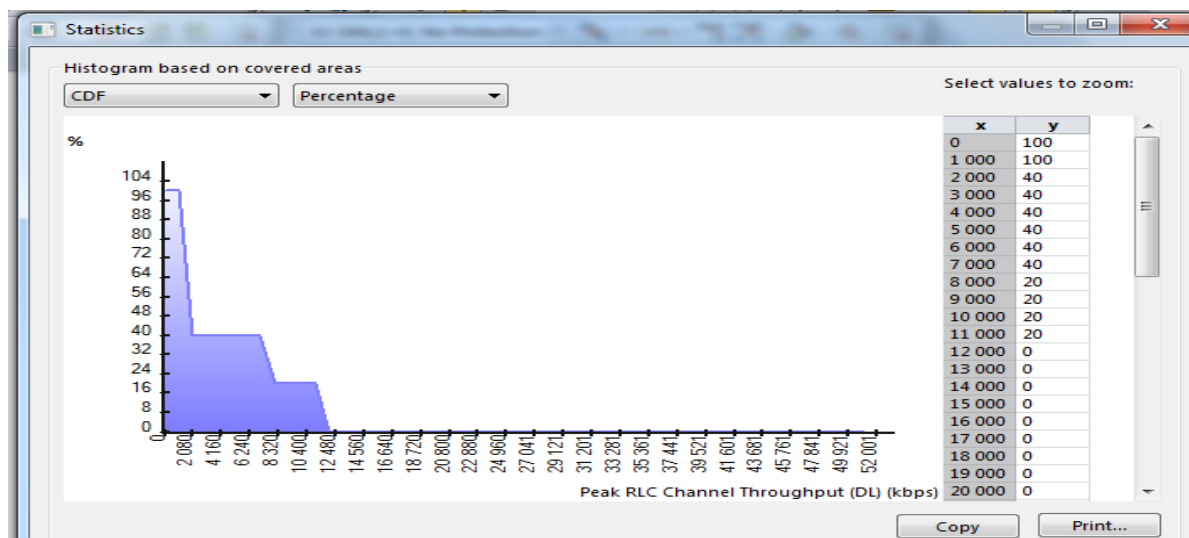


Figure 34: La DCF de la capacité effective de la cellule dans le milieu dense urbain cas de 30 users avec des eNodeB MIMO (4X2)

La capacité de la cellule à augmenter par rapport au teste précédent (figure 31), pour atteindre 11Mbps

4. Synthèse

En comparaison avec la capacité obtenue pour une cellule avec un seul utilisateur, la capacité des cellules dans les deux milieux, urbain et dense urbain diminue avec l'augmentation du nombre des utilisateurs, et devient nulle dans le cas d'une forte densité.

La capacité augmente avec l'utilisation des systèmes MIMO, mais elle reste inférieure à celle d'une cellule avec seulement un utilisateur.

Dans le cas d'une faible densité, cas de 10 utilisateurs par cellule, le niveau d'interférence mesuré en fonction du signal sur le bruit blanc plus les interférences

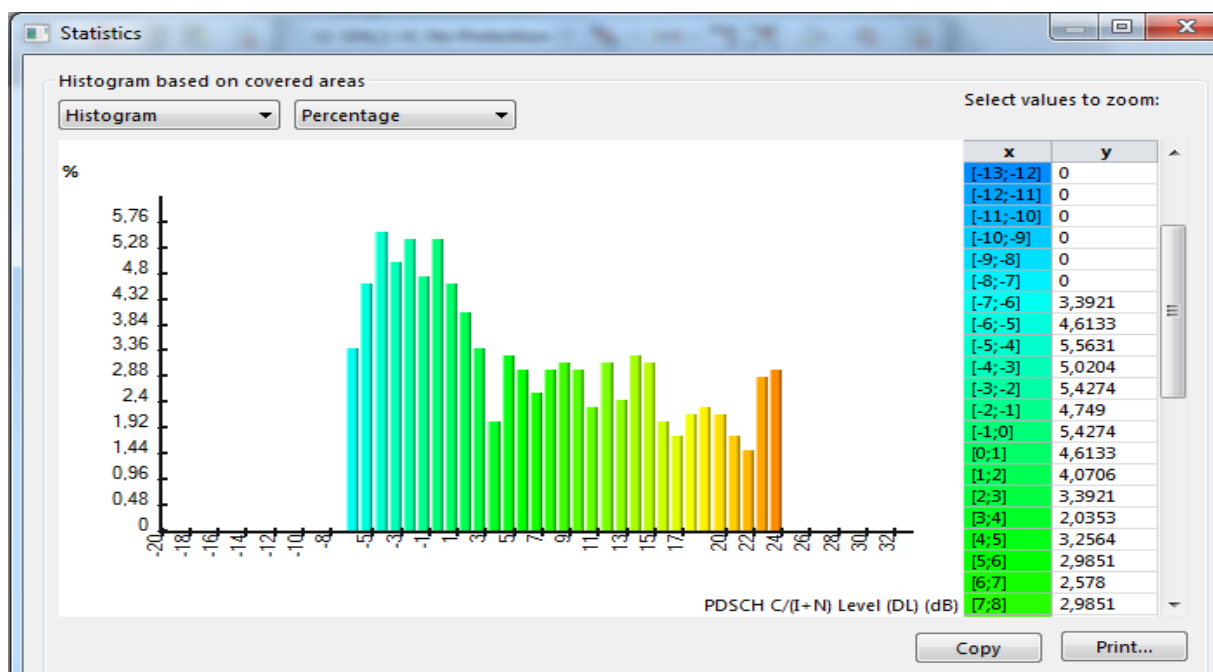


Figure 35: Histogramme des interferences pour le milieu urbain en cas de 10 users

Dans le milieu urbain la puissance du signal est supérieure jusqu'à 24 fois à celle des interférences plus le bruit blanc, ce qui garantit une meilleure capacité avec un nombre réduit d'utilisateurs.

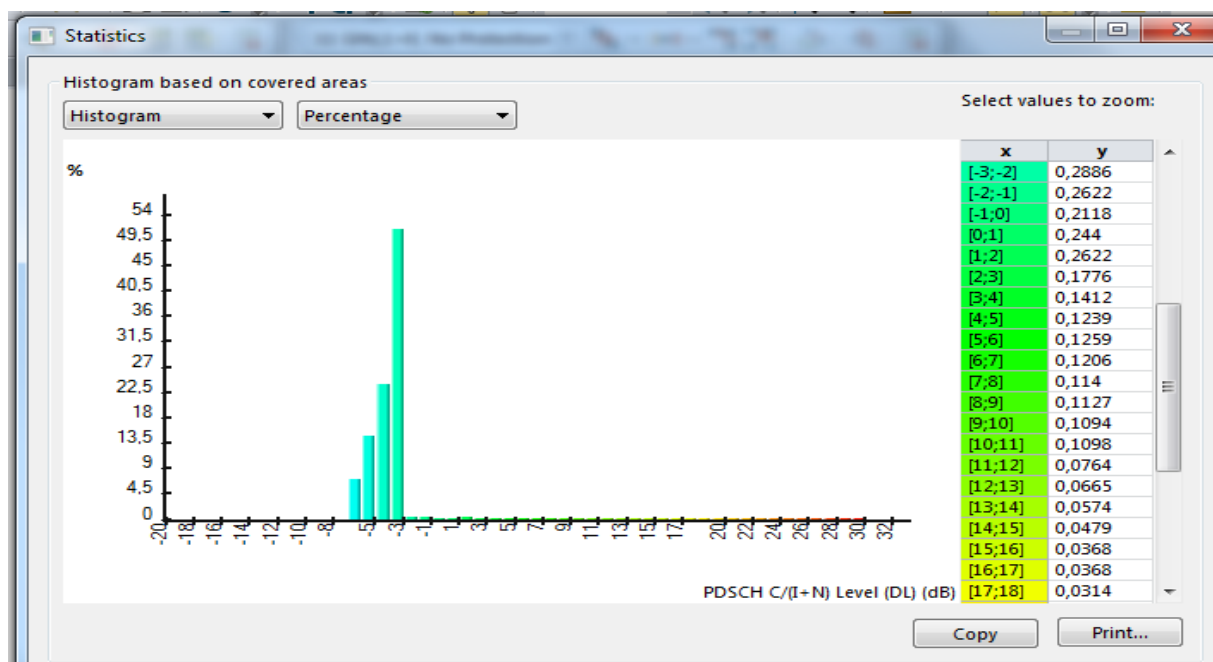


Figure 36: Histogramme des interferences pour le milieu dense urbain en cas de 10 users

Dans le milieu dense urbain la puissance du signal est inferieur à celle des interferences plus le bruit blanc, ce qui mène à une dégradation de la capacité avec un nombre réduit d'utilisateurs.

Dans le milieu urbain le nombre d'interferences est très limité par rapport au milieu dense urbain, ce qui fait que la capacité est élevée par rapport au milieu dense urbain.

Conclusion générale

Ce travail portait sur l'étude de la capacité du réseau LTE (Long Term Evolution of UMTS), et un réseau de quatrième génération, premièrement on a introduit la norme LTE comme une nouvelle évolution au réseau UMTS, en déterminant son évolution au niveau architecture et au niveau techniques et technologies d'accès utilisées.

Notre étude nous a amené à retrouver une nouvelle forme de la capacité, en fait la capacité n'est plus quantitative elle dépende d'autres paramètres tel que le nombre d'utilisateur, le type d'antennes...

Pour compléter notre étude on a fait des simulations sur le logiciel Atoll, un logiciel professionnel de planification, on a planifié deux réseaux LTE dans deux milieux différents, puis on a changé le nombre d'utilisateur pour augmenter la densité et on a utilisé les systèmes MIMO. Pour voir l'impacte de ces changements sur la capacité.

Enfin, les simulations réalisées ont montrés que la capacité de la cellule diminue avec l'augmentation du nombre d'utilisateur dans les deux milieux simulé (le milieu urbain et le milieu dense urbain), et elle augmente avec l'utilisation des antennes MIMO du côté utilisateurs et du côté eNodeB, mais elle reste bien inférieure à ce que LTE a promis (400 utilisateurs par cellule).

Donc en perspective on fera une auto-estimation ces paramètres de systèmes afin de donner des propositions d'amélioration de capacité, et aussi faire du traitement du signal aveugle, et introduire des nouveaux réseaux intelligents qui vont aider les eNodeB en cas d'une forte charge (La radio cognitive), afin d'augmenter la capacité du réseau LTE.

Références

- [1] [NTT DoCoMo et al., 2004] NTT DoCoMo et al., Proposed Study Item on Evolved UTRA and UTRAN, description d'étude RP-040461, 3GPP TSG-RAN #26, December 2004.
- [2] [3GPP 25.912, 2006] Rapport technique 3GPP TR 25.912, Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN), v7.1.0, October 2006.
- [3] [3GPP 25.913, 2006] Rapport technique 3GPP TR 25.913, Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN), v7.3.0, mars 2006.
- [4] [3GPP 25.912, 2007] Rapport technique 3GPP TR 25.912, Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN), v7.2.0, aout 2007.
- [5] [3GPP TS 23.002 V8.5.0], Network architecture (Release 8), Juin 2009.
- [6] [3GPP TR 24.801 V8.1.0], 3GPP System Architecture Evolution (SAE); CT WG1 aspects (Release 8), December 2008.
- [7] [3GPP TR 23.882 V8.0.0], 3GPP System Architecture Evolution: Report on Technical Options and Conclusions (Release 8), Décembre 2008.
- [8] LTE et Les Réseaux 4G, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8, Groupe Eyrolles
- [9] C. Brunner, D. Flore: Generation of Pathloss and Interference Maps as SON Enabler in Deployed UMTS Networks. In: Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC Spring '09).Barcelona, Spain, April 2009
- [10] [3GPP 36.814, 2010] Rapport technique 3GPP TR 36.814, E-UTRA, Further advancements for E-UTRA physical layer aspects, v9.0.0, mars 2010.

Références

- [11] [UIT-R, 2009] Rapport UIT-R M.2135-1, Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMTAdvanced, decembre 2009.
- [12] MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB” Yong Soo Cho Chung-Ang University, JaekwonKim Yonsei University, Won Young Yang Chung-Ang University, Chung G. Kang Korea University, Republicof Korea.