

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Télécommunication
Spécialité Réseaux & télécommunications

présenté par

HALES Nabil

&

TSOURI BEN TSOURI Zakaria

Dimensionnement de la couverture et capacité d'un réseau d'accès LTE

Proposé par : **prof M.BENSEBTI Messaoud**

Année Universitaire 2016-2017

A nos chers pères et nos chères mères, pour le grand amour dont ils nous ont entourés depuis notre naissance, pour leur patience, leurs sacrifices et leurs encouragements.

A nos chers frères et sœurs, leurs souhaitant la réussite dans leur vie.

A la mémoire de nos grands-parents paternels, puisse Allah les accueillir dans son infini miséricorde.

A nos grands-parents maternels leurs souhaitant une bonne santé et une longue vie.

A tous nos amis à l'Université Saad Dahlab de Blida et ailleurs, pour les moments agréables que nous avons passés ensemble.

A tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce travail.

A tous ceux qui nous aiment et qu'ils nous aiment.

A tous ceux-ci nous dédions ce modeste travail.

Remerciements

Nous remercions ALLAH le tout puissant et miséricordieux, pour nous avoir donné le courage, la force ainsi que la capacité de pouvoir mener jusqu'au bout ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre promoteur **M. Messaoud BENSEBTI**, Professeur à l'Université SAAD DAHLEB de Blida, pour ses nombreux conseils, son aide précieuse et sa compréhension durant l'élaboration de ce projet.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur **M.KHIAR Abdel bari**, Ingénieur optimisation radio à Ooredoo qui a accepté de nous accompagner durant ce stage. Nous le remercions pour sa patience à notre égard, son aide, ses conseils précieux et sa disponibilité durant toute cette période.

Nos remerciements s'adressent aussi à tout le personnel d'Ooredoo pour leur accueil.

Nous tenons à remercier les membres du jury, pour avoir bien voulu nous faire l'honneur d'être membre de notre jury. Nous ferons l'honneur d'apprécier et de prendre connaissance de toutes éventuelles critiques et corrections de leur part.

Enfin, nous remercions toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

ملخص: بما أن عملية تخطيط الأبعاد هي المرحلة الأولية في عملية تخطيط الشبكات الخلوية، فإن التخطيط الجيد، ولا سيما شبكة الوصول، مما يجنب التكاليف الغير ضرورية التي يمكن افتراضها أثناء بدء الاستثمار.

وعليه، فإن الهدف من مشروعنا هو تقدير العدد المطلوب من المحطات القاعدية اللازمة لتغطية المنطقة المطلوبة، مع الاخذ بعين الاعتبار معدل الازدحام للمستخدمين، ولهذا قمنا بتطوير أداة تخطيط الأبعاد مع امكانية ادخال معلومات مرنة.

كلمات المفاتيح: التخطيط, السعة, التغطية, LTE

Résumé : Comme le processus de dimensionnement est la phase initiale de chaque planification du réseau radio mobile. Alors que la planification robuste, particulièrement pour le réseau d'accès, permet d'éviter des coûts inutiles pouvant être assumés pendant le démarrage de l'investissement.

Donc Le but de notre projet est d'estimer le nombre requis de station de base nécessaire pour couvrir la zone d'intérêt toutes en supportent la charge de trafic des utilisateurs, et pour cela on a réalisé un outil de dimensionnement, avec un choix des paramètres d'entrés flexible.

Mots clés : Dimensionnement ; capacité ; couverture ; LTE.

Abstract: Since the process of dimensioning is the initial phase of each mobile radio network planning. While robust planning, particularly the access network, avoids unnecessary costs that can be assumed during start-up investment.

So, the aim of our project is to estimate the required number of base station needed to cover the area of interest, while supporting the traffic load of the users, and for this we developed a dimensioning tool, With flexible input parameters choice.

Keywords: dimensioning; capacity; coverage; LTE

Listes des acronymes et abréviations

3GPP Third Generation Partnership Project
AMC Adaptive Modulation and Coding
AMPS Advanced Mobile Phone System
AMRF Accès Multiple par Répartition en Fréquence
AMRT Accès Multiple à Répartition dans le Temps
ATM Asynchronous Transfer Mode
Auc Authentication Center
BCH Broadcast CHannel
BCCH Broadcast Control Channel
BPSK Biary Phase Shift Keying
BSC Base Station Controller
BSS Base Station Subsystem
BTS Base transceiver station
CCCH Common Control CHannel
CDMA Code division Multiple Access
CEPT Conférence Européenne des administrations des postes et télécommunications
CP Cyclic Prefix
CPC Countinuous Packet Connectivity
CS domain Circuit Switching domain
CQI Channel-Quality Indicator
DC-HSPA Dual Cell HSPA
DCCH Dedicated Control Channel DL
DL Downlink
DL-SCH Downlink Shared Channel
DMRS DeModulation Reference Signal
DSSSS Direct Sequence CDMA
DTCH Dedicated Traffic Channel
EPC Evolved Packet Core
EDGE Enhanced Data rates for the Global Evolution
eNodeB Evolved NodeB
EIR Equipment Identity Register
EIRP Effective Isotropic Radiation
EPS Evolved Packet System
E-UTRA Evolved UTRA
E-UTRAN Evolved UMTS Terrestrial
epa5 Extended Pedestrian
eva70 Extended Vehicle A
etu300 Extended Typical Urban
eUTRAN Evolved UTRAN
FDD Frequency Division Duplex
FDMA Frequency-Division Multiple Access
FFT Fast Fourier Transform
GERAN GSM Edge Radio Access Network
GMSK Gaussian minimum-shift keying
GSM Global system for Mobile

GPRS General Packet Radio Service
GGSN Gateway GPRS Support Node
HARQ Hybrid Automatic Response reQuest
HLR Home Location Register
HSDPA High-Speed Downlink Packet Access
HSUPA High-Speed Uplink Packet
HSPA High-Speed Packet Access
HSS Home Subscriber Server
IFFT Inverse Fast Fourier Transform
IM Interference Margin
IMS Ip Multimedia Subsystem
ISI Inter-Symbol-Interference
LTE Long-Term Evolution
MAC Medium Access Control
MIMO Multiple-Input Multiple-Output
MME Mobility Management Entity
MCCH Multicast Control Channel
MCH Multicast CHannel
MCS Modulation & Coding Scheme
MS Mobile Station
MSC Mobile Switching Register
MTCH Multicast Traffic CHannel
MISO Multiple Input Single Output
NMT Nordic Mobile Telephony
NSS Network Sub-System
OFDM Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMC Operation and Maintenance Center
PAPR Peak-to-Average Power Ratio
PBCH Physical Broadcast Channel
PCCH Paging Control Channel
PCFICH Physical Control Format Indicator Channel
PCH Paging Channel
PCRF Policy and Charging Rules Function
PCU Packet Control Unit
PDCCH Physical Downlink Control Channel
PDN Packet Data Network
PDN GW Packet Data Network Gateway
PDSCH Physical Downlink Shared Channel
PMCH Physical Multicast CHannel
PHICH Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel
PRACH Physical Random Access Channel
PRB Physical Resource Block
PS domain Packet Switched domain
PSK Phase-Shift Keying
PUCCH Physical Uplink Control Channel
PUSCH Physical Uplink Shared Channel

QAM Quadrature Amplitude Modulation
QoS Quality-of-Service
QPSK Quadrature Phase-Shift Keying
RACH Random Access Channel
RAN Radio Access Network
RB Resource Block
RE Resource Element
RF Radio Frequency
RNC Radio Network Controller
RTC Réseau téléphonique commuté
RS Reference Signal
RX Receiver
S1 The interface between eNodeB and the Evolved Packet Core.
SAE System Architecture Evolution
SC-FDMA Single Carrier- Frequency Division Multiple Access
Serving GW Serving Gateway
SINR Signal-to-Interference-and-Noise Ratio
SNR Signal-to-Noise Ratio
SGSN Serving GPRS Support Node
SRS Sounding Reference Signal
STM Synchronous Transfer Mode
SS Synchronization Signal
TACS Total Access Communication System
TDD Time-Division Duplex
TDMA Time-Division Multiple Access
TTI Transmission Time Interval
TX Transmitter
UE User Equipment
UIT Union Internationale des Télécommunications
UL Uplink
UL-SCH Uplink Shared Channel
UMTS Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN Universal Terrestrial Radio Access Network
UWC136 Universal Wireless Communications-136
VLR Visitor Location Register
WCDMA Wideband Code Division Multiple Access
WiMax Worldwide Interoperability for Microwave Access
X2 The interface between eNodeBs.

Table des matières

Chapitre 1

Etat de l'art des Réseaux Mobiles

1.1 Introduction	2
1.2 Evolution des Réseaux Mobiles	2
1.2.1 La première génération de téléphonie cellulaire 1G	3
a. NMT	3
b. AMPS	4
1.2.2 La deuxième génération de téléphonie cellulaire 2G	4
a. Réseau GSM	4
b. Réseau GPRS	7
c. Réseau EDGE	10
1.2.3 La troisième génération de téléphonie cellulaire 3G	12
a. La technologie UMTS	12
b. Les évolutions HSPA	15
c. Les évolutions HSPA+	16
1.2.4 La quatrième génération de téléphonie cellulaire 4G (LTE)	17
1.3 Conclusion	17

Chapitre 2

LTE

2.1 Introduction	19
2.2 LTE	21
2.2.1 Architecture LTE	22
2.2.2 Réseau d'accès : E-UTRAN	24
2.2.3 Réseau Cœur : EPC	26
2.3 Interface Air	27
2.3.1 Principe de l'OFDMA et SC-FDMA	27
2.3.2 Structure de la trame	29
2.3.3 Concept de bloc de ressources et élément de ressource	30
2.3.4 Les canaux radio	31
a. Les canaux logiques	32
b. Canaux de transport	32
c. Canaux physique	33
2.4 Principe de la technologie MIMO	34
2.5 Modulation et codage adaptatifs	36
2.6 Conclusion	37

Chapitre 3

Dimensionnement du réseau LTE

3.1	Introduction	38
3.1.1	Limitations	38
3.1.2	Concepts et terminologie	38
3.2	Processus de dimensionnement	40
3.2.1	Calcul de la couverture de liaison montante (Uplink)	41
a.	EIRP	42
b.	Débit binaire requis par bloc de ressource physique	43
c.	SINR requis	43
d.	Sensibilité du récepteur eNodeB	44
e.	Marge d'interférence	46
f.	Log-normale Marge d'évanouissement normale	47
g.	Puissance de l'équipement d'utilisateur par bloc de ressource	47
h.	Bilan de liaison montante	52
3.2.2	Calcul de la couverture de liaison descendante (Downlink)	53
a.	Perte de chemin de liaison montante (path loss Uplink)	53
b.	Débit binaire requis	54
c.	Puissance par bloc de ressource	54
d.	Marge d'interférence de liaison descendante	55
e.	Bilan de liaison descendante	57
f.	Sensibilité de récepteur	57
g.	Débit binaire au bord de la cellule (cell edge)	58
h.	Bilan de liaison final	59
3.3	Calcul de la capacité	66
3.3.1	Capacité de la liaison montante	66
a.	Rapport signal-interférence et bruit SINR	66
b.	Débit cellulaire	67
3.3.2	Capacité de la liaison descendante	67
a.	Rapport signal-interférence et bruit SINR	68
b.	Débit cellulaire	69
3.4	Conclusion	69

Chapitre 4

Conception et réalisation d'un outil de dimensionnement du réseau LTE

4.1	Introduction	70
4.2	Fonctionnalités de l'outil	70
4.3	Choix du langage de conception et développement VBA	71
4.4	Description de l'outil	72
4.4.1	Interface d'authentification	72
4.4.2	Interface "EIRP"	73
4.4.3	Interface "sensibilité d'eNodeb"	75

4.4.4 Interface "les marge totale"	77
4.4.5 Interface "les pertes et les gains totale"	77
4.4.6 Interface "MAPL"	78
4.4.7 Interface "nombre de site"	79
4.4.8 Interface "dimensionnement capacité"	81
4.4.9 Interface "nombre de site finale"	81
4.4.10 Interface "help"	82
4.4.11Interface "information"	83
4.5 Conclusion	85

Liste des figures

Figure 1.1 Evolution des réseaux mobiles.....	4
Figure 1.2 Architecture de réseau GSM.....	7
Figure 1.3 Architecture de réseau GPRS.....	10
Figure 1.4 Architecture générale de réseau EDGE.....	13
Figure 1.5 Evolution de la norme GSM.....	13
Figure 1.6 Architecture de l'UMTS.....	15
Figure 2.1 L'évolution de l'architecture du système de GSM et UMTS vers LTE.....	22
Figure 2.2 Architecture EPS.....	22
Figure 2.3 Entités et interfaces de réseau d'accès radio.....	23
Figure 2.4 Entités et interfaces de réseau d'accès radio E-UTRAN.....	24
Figure 2.5 Amélioration de l'efficacité spectrale.....	27
Figure 2.6 Représentation de signal OFDM dans le domaine tempore et fréquence.....	27
Figure 2.7 ISI (Inter Symbol Interference).....	28
Figure 2.8 Cyclic Prefix.....	29
Figure 2.9 Différence entre SC-FDMA et OFDMA.....	30
Figure 2.10 Structure de la trame FDD.....	30
Figure 2.11 Bloc de ressources et élément de ressource.....	31
Figure 2.12 Le mappage entre les canaux logiques, de transport et physiques.....	35
Figure 2.13 Antenne LTE MIMO (SISO, SIMO, MISO, MIMO).....	37
Figure 2.14 Aperçu du schéma de modulation.....	37
Figure 2.15 Définition de LTE CQI.....	37
Figure 3.1 Processus de dimensionnement LTE.....	41
Figure 3.2 Sensibilité d'eNodeB.....	46
Figure 3.3 Alimentation d'antenne dans une station de base intérieure.....	50
Figure 3.4 Modèle bilan de liaison montante.....	53
Figure 3.5 Modèle bilan de liaison descendante.....	58
Figure 3.6 Modèle COST 231 Okumura-Hata (variante Ericsson).....	64
Figure 3.7 Modèle hexagonales de cellule omnidirectionnel.....	46
Figure 3.8 Modèle hexagonales de cellule tri-sectoriel.....	47
Figure 4.1 schéma synoptique simplifié de l'application.....	74
Figure 4.2 : Interface « authentification ».....	75
Figure 4.3 : Interface « EIRP ».....	76
Figure 4.4 : Interface « sensibilité d'eNodeB ».....	77
Figure 4.5 Interface « les marges ».....	78
Figure 4.6 : « Pertes et gains ».....	79
Figure 4.8 : Interface « Nombre de sites ».....	81
Figure 4.9 Interface « dimensionnement capacité ».....	82
Figure 4.10 Interface « nombre de sites finale ».....	82
Figure 4.11 Interface « Help ».....	84
Figure 4.12 : Interface « information ».....	85

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Les équipements d'un réseau GSM.....	8
Tableau 1.2 Les interfaces radio de réseau GPRS	11
Tableau 1.3 Les releases 3GPP	17
Tableau 1.4 Caractéristique de l'UMTS et ses évolutions.....	19
Tableau 2.1 Nombre de bloc de ressource par bande passante.....	32
Tableau 2.3 Les canaux de transport	33
Tableau 2.4 Les canaux physiques	34
Tableau 3.1 Nombre de bloc de ressource	44
Tableau 3.2 Les paramètres semi-empiriques pour la liaison montante	45
Tableau 3.3 Le rapport moyen des gains.....	48
Tableau 3.4 Les marges d'évanouissement	48
Tableau 3.5 Les classes d'UE	49
Tableau 3.6 Pertes de câble d'alimentation	51
Tableau 3.7 Perte de pénétration	51
Tableau 3.8 Rapport de la puissance reçue des autres cellules.....	56
Tableau 3.9 les constantes semi-empirique de la liaison descendante	58
Tableau 3-10 atténuation fixe A dans la variante Ericsson COST 231 modèle de propagation Okumura-Hata.....	64
Tableau 3.11 La surface dépend du type de la zone.....	65

Introduction générale

Le réseau radio mobile est aujourd'hui un domaine en pleine effervescence. Pendant la dernière décennie, les évolutions de télécommunications ont explosé une nouvelle gamme de service qui a écarté les services classiques à fin de satisfaire l'augmentation du nombre des utilisateurs et les exigences de taux de données élevés.

Cette motivation, laisse les générations mobiles se succèdent et se développent de la technologie GSM vers un système de paquets tout IP optimisé dénommé longue Term Evolution (LTE).

Afin d'être le plus concurrent sur le marché, l'opérateur doit optimiser ses ressources et savoir comment déployer cette nouvelle technologie tout en réduisant le coût. L'une des phases les plus importantes dans le cycle de vie d'un réseau cellulaire est le dimensionnement, cette dernière doit être réalisée avec perfection pour éviter des coûts supplémentaires inutiles pouvant être assumés lors du démarrage de l'exploitation, particulièrement dans le réseau d'accès. Le besoin envers un outil permettant le dimensionnement de réseau d'accès de LTE semble primordial,

C'est dans ce cadre que tournera notre travaille fin d'étude effectué en collaboration avec Ooredoo. Au cours de notre rapport, nous avons quatre chapitres à mettre en œuvre :

Nous entamerons le travail par un premier chapitre présente un aperçu générale sur l'évolution des réseaux mobile, de la 1ere génération vers la 4eme génération.

Le deuxième chapitre présente une étude sur le réseau LTE, son architecture, ses spécifications techniques, principalement l'interface air et les différents techniques et technologie utilise dans cette interface.

Une troisième partie sera consacré pour détailler le dimensionnement orientée capacité et couverture, où nous allons expliquer le processus de dimensionnement dans le réseau d'accès en LTE.

Le quatrième chapitre contient un descriptif détaillé de l'outil de dimensionnement radio et, ses utilitaires et son principe de fonctionnement.

Finalement, une conclusion générale, récapitule notre travail et présente les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

Chapitre 1 : Etat de l'art des Réseaux Mobiles

1.1 Introduction :

L'évolution de la technologie cellulaire s'est déroulée depuis la fin des années 1950, bien que les premiers systèmes commerciaux aient eu lieu à la fin des années 1970 et au début des années 1980. Voici un bref aperçu des technologies cellulaires et des réseaux qui ont eu un impact sur le développement et l'évolution rapide des communications mobiles. [1]

1.2 Evolution des Réseaux Mobiles :

Les réseaux mobiles ont beaucoup évolué depuis leur apparition dans les années 1980 à nos jours. Cette évolution, de la première à la quatrième génération des réseaux cellulaires, est illustrée à la Figure 1.1

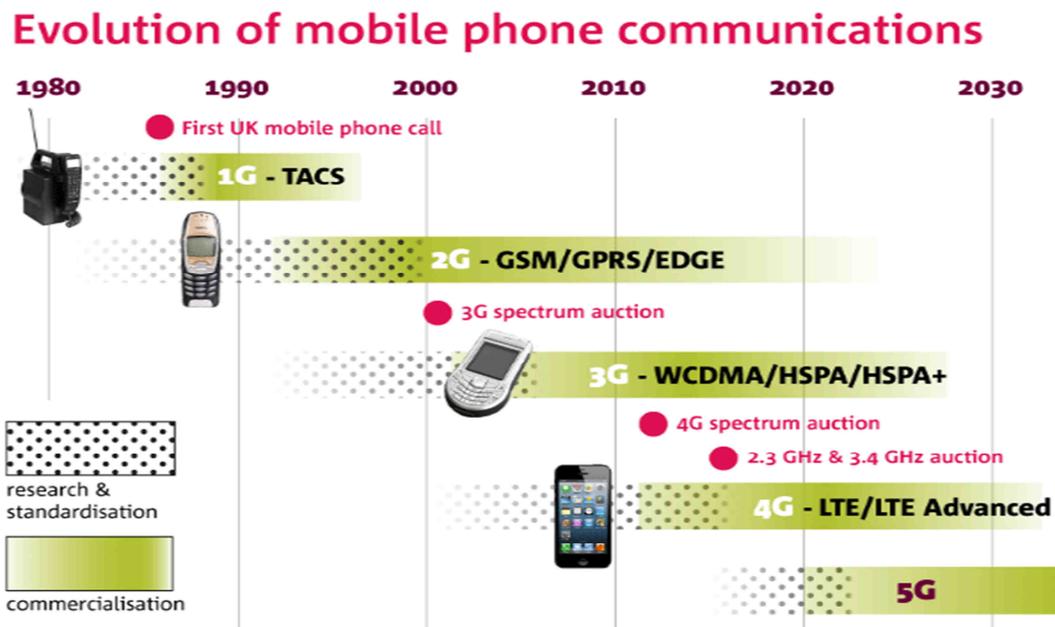


Figure 1.1 Evolution des réseaux mobiles [22]

1.2.1 La première génération de téléphonie cellulaire 1G :

Depuis la fin des années 1970, lorsque l'ère cellulaire a commencé, la communication mobile a connu un changement évolutif chaque décennie en termes de technologie et d'utilisation. Dans quelques années, la téléphonie mobile nordique (NMT) a commencé ses opérations cellulaires en Europe. Parallèlement, des systèmes tels que ont commencé aux États-Unis, alors que TACS a commencé au Royaume-Uni. Ceux-ci formaient une partie de ce qu'on appelait «Systèmes mobiles de première génération», qui servaient aux services de la parole et étaient basés sur des techniques de transmission analogique.

a- NMT:

Le système de téléphonie mobile NMT a été créé en 1981 en réponse aux lourdes exigences du réseau de téléphonie mobile ARP (auto radio puhelin ou auto radio phone). Les principes techniques de NMT étaient prêts en 1973 et les spécifications pour les stations de base étaient prêtes en 1977. Il est basé sur la technologie analogique (première génération ou 1G) et deux variantes existent: NMT 450 et NMT 900. Les chiffres indiquent les bandes de fréquences utilisées. [1]

b- AMPS:

L'AMPS était basée sur la technologie FDMA (accès multiple par répartition en fréquence), qui permettait à de multiples utilisateurs dans un secteur cellulaire.

Initialement, la taille des cellules n'a pas été corrigée et un rayon de huit miles a été utilisé dans les zones urbaines et un rayon de vingt-cinq miles dans les zones rurales. Cependant, au fur et à mesure que le nombre d'utilisateurs a commencé à augmenter, de nouvelles cellules ont été ajoutées. Avec l'ajout de chaque nouvelle cellule, le plan de fréquence devait être redéfini afin d'éviter les problèmes liés aux interférences. Ce système a non seulement eu des problèmes liés à la capacité, mais le système de sécurité était également médiocre. Si vous êtes en mesure de saisir le code de série d'une autre personne, il serait possible d'effectuer des appels illégaux.

Bien que des efforts aient été faits pour résoudre ces problèmes, en particulier ceux liés à la capacité, les résultats n'étaient pas suffisants et l'industrie a commencé à examiner d'autres

options, comme la prochaine génération de systèmes numériques. Le TACS était similaire à l'AMPS et fonctionnait dans la gamme de fréquences de 900 MHz. [1]

1.2.2 deuxième génération de téléphonie cellulaire 2G :

En raison de l'incompatibilité des différents systèmes en place, la commission européenne a entamé une série de discussions qui ont tenté de modifier le cadre de réglementation des télécommunications existant, ce qui a conduit à un environnement plus harmonisé qui a entraîné le développement d'un marché commun pour les services de télécommunication et équipement. Au début des années 1990, la technologie de transmission numérique est entrée en vigueur, en apportant le système de nouvelle génération appelé «système mobile de deuxième génération». La numérisation signifie que le son de la voix du haut-parleur a été traité d'une manière qui imitait une oreille humaine à travers des techniques telles que l'échantillonnage et le filtrage. Cela a permis à beaucoup plus d'utilisateurs mobiles d'être hébergés dans le spectre radioélectrique. [1]

a- Réseau GSM :

Première norme de téléphonie cellulaire numérique, le GSM fut défini par un groupe de travail « Groupe Spécial Mobile » lancé par la CEPT. La rédaction du standard fut réalisée par l'ETSI et au final, le GSM, devenu « Global System for Mobile communications » naquit en 1991. Par opposition aux anciens réseaux analogiques, le GSM fut qualifié réseau de 2ème Génération (2G).

Un réseau GSM est de type cellulaire, c'est-à-dire composé d'une multitude d'émetteurs-récepteurs radio, chacun d'entre eux définissant une cellule, soit une zone où le service GSM est accessible aux terminaux qui y sont présents. [2]

Architecture d'un réseau GSM :

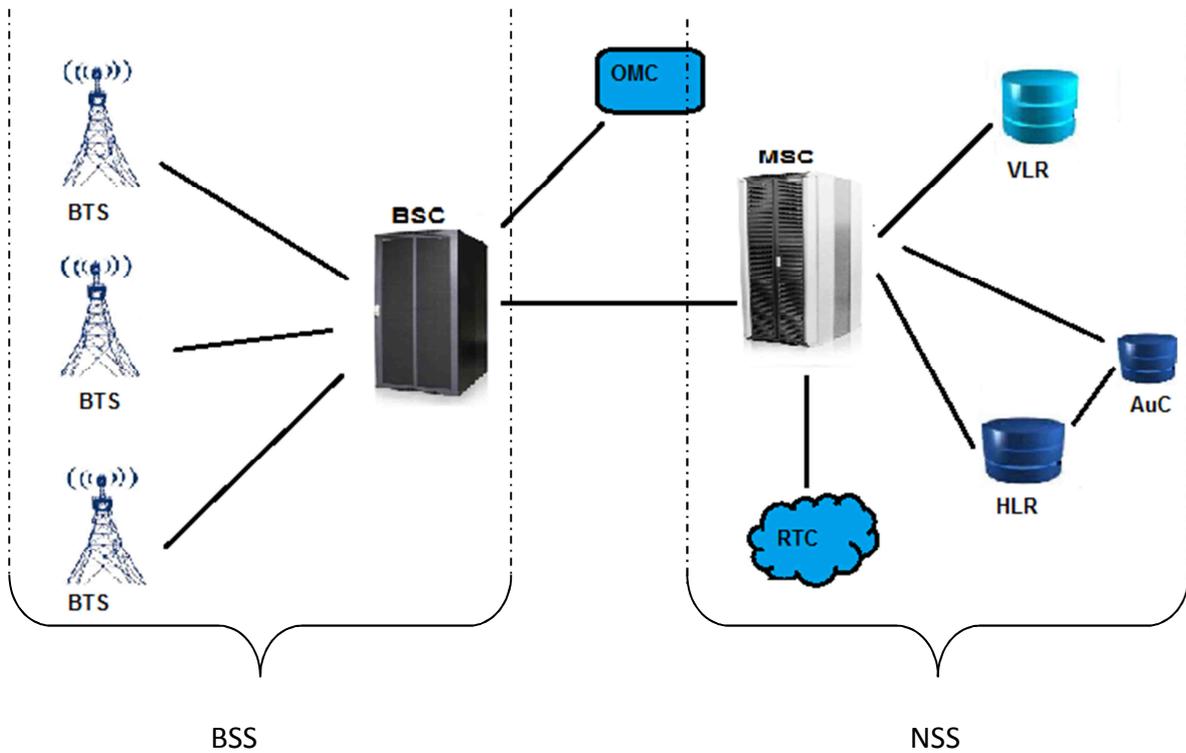


Figure 1.2 Architecture de réseau GSM

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

- **Le sous-système radio (BSS) :**

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

- **Le sous-système réseau (NSS) :**

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

- **Le sous-système exploitation :**

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

Les équipements d'un réseau GSM :

Nom	Signification	Fonction
BTS	Base Transceiver Station	Station de base réception les appels entrant et sortant des ME.
BSC	Base Station Controller	Contrôleur des stations de base.
MSC	Mobile Switching Register	Commutateur de réseau.
HLR	Home Location Register	Base de données sur l'identité et la localisation des abonnés.
VLR	Visitor Location Register	Base de données sur les visiteurs du réseau.
AUC	Authentication Center	Centre d'authentification des terminaux sur le réseau.
ME	Mobile Equipment	Terminal de l'abonné.
SIM	Subscriber Identity Module	Carte sim identifiant l'abonné sur un réseau défini.
OMC	Operation and Maintenance Center	Centre d'exploitation et de maintenance du réseau de l'opérateur.

Tableau 1.1 les équipements d'un réseau GSM

Limitations des réseaux GSM :

- Les réseaux 2G sont principalement conçus pour offrir des services vocaux à des abonnés. Ainsi, les taux de transfert offerts par ces réseaux sont faibles. Bien que les taux varient selon les technologies, le taux moyen est de l'ordre de 9.6 Kbps.
- Il y a une forte demande d'accès à l'Internet, et pas seulement en étant à la maison ou au bureau, mais aussi pendant l'itinérance. L'accès aux réseaux sans fil avec les réseaux GSM n'est pas mis en œuvre efficacement.
- Avec une multitude de normes concurrentes mis en place, un utilisateur peut se déplacer qu'au réseau enregistré. Cela empêche la mobilité entre différents réseaux de l'utilisateur, d'où une limite itinéraire. Par conséquent, la technologie de réseau GSM a été semi-globale à cet égard.

b- Réseau GPRS :

GPRS est un service de non-facture, c'est-à-dire de valeur ajoutée au réseau GSM. Cela se fait en recouvrant une interface aérienne basée sur des paquets sur le réseau GSM à commutation de circuit existant. En termes d'infrastructure, l'opérateur doit simplement ajouter quelques nœuds et des changements de logiciel pour mettre à niveau le système GSM vocal existant vers le système GPRS plus de données vocales. Le trafic vocal est commuté en circuit lorsque le trafic de données est commuté par paquets. La commutation par paquets permet d'utiliser les ressources uniquement lorsque l'abonné envoie et reçoit réellement les données. Cela permet aux ressources radio d'être utilisées simultanément lorsqu'elles sont partagées entre plusieurs utilisateurs. La quantité de données pouvant être transférée dépend du nombre d'utilisateurs. Des vitesses maximales théoriques allant jusqu'à **171,2** kilobits par seconde (kbps) sont réalisables avec GPRS en utilisant simultanément les huit slots de temps. GPRS permet l'interconnexion entre le réseau et Internet. Comme il existe les mêmes protocoles, le réseau GPRS peut être considéré comme un sous-réseau d'Internet, les téléphones mobiles compatibles GPRS étant considérés comme des hôtes mobiles. [1]

Architecture de réseau GPRS:

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de modules sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont conservés l'ensemble des modules de l'architecture

GSM, nous verrons par ailleurs au certains modules GSM seront utilisée pour le fonctionnement du réseau GPRS.

L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

- Le nœud de service « **SGSN** » : un routeur IP relié à un ou plusieurs BSS. Il gère les terminaux présents dans une zone bien déterminée.
- Le nœud de passerelle « **GGSN** » : un routeur IP relié à un ou plusieurs réseaux de données. Il permet l'interconnexion avec les réseaux externes et l'acheminement des données venant de ces réseaux vers le SGSN du destinataire.
- Une troisième entité « **BG** » joue un rôle supplémentaire de sécurité.

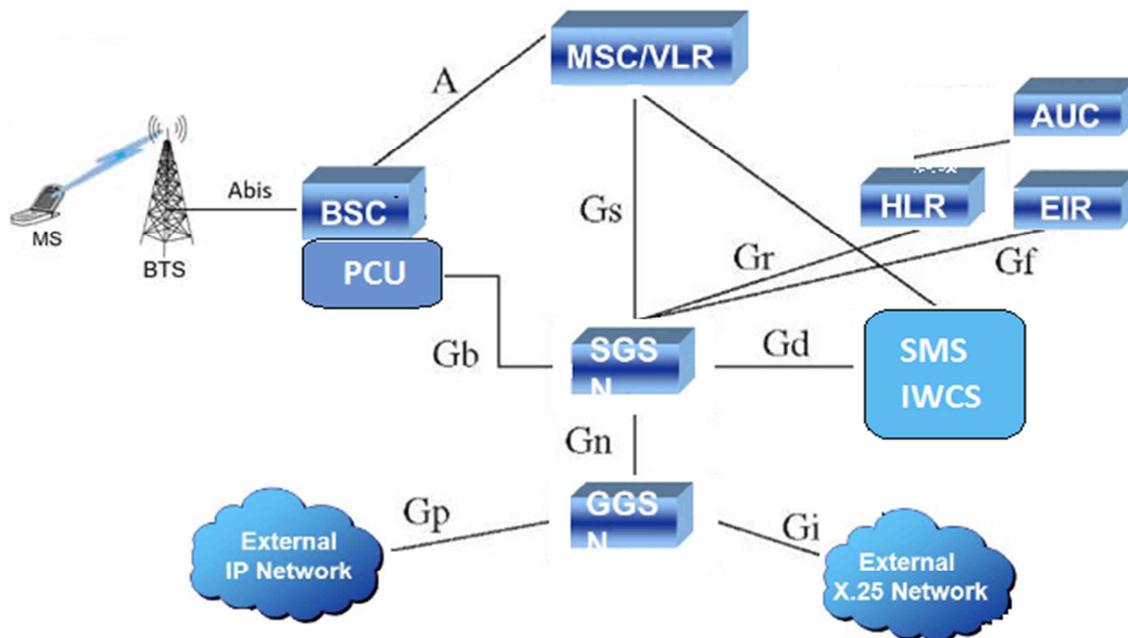


Figure 1.3 Architecture de réseau GPRS

Les interfaces radio de réseau GPRS :

Nom	Localisation	Utilisation	Protocole
Um	MS – BTS	Interface radio	
Abis	BTS-BSC	Divers	
Gb	BSC-SGSN	Divers	
Gc	GGSN – HLR	Interrogation HLR pour activation service	IP/SS7
Gd	SGSN – SMS – GMSC	Echange de messages courts	SS7
Gf	SGSN – EIR	Vérification de l'identité de la terminale	SS7
Gi	GGSN – réseau de données	Transfert de données	IP
Gn	SGSN – SGSN	Gestion de l'itinérance	IP
Gp	BG – BG	Liaison inter-operateur	IP
Gr	SGSN – HLR	Gestion de la localisation	SS7
Gs	SGSN – MSC/VLR	Gestion coordonnées itinérance entre GSM et GPRS	SS7

Tableau 1.2 les interfaces radio de réseau GPRS

Limitations des réseaux GPRS :

Le service GPRS permet de considérer le réseau GSM comme un réseau à transmission de données par paquet avec un accès radio et des terminaux mobiles. Le réseau GPRS est compatible avec des protocoles IP et X.25. Des routeurs spécialisés SGSN et GGSN sont introduits sur le réseau.

La transmission par paquet sur la voies radio permet d'économiser la ressource radio : un terminal est susceptible de recevoir ou d'émettre des données a tout moments sans qu'un canal radio soit monopolisé en permanence comme c'est le cas en réseau GSM.

Le débit maximal instantané annoncé pour le GPRS est 171.2 Kbit/s même s'il est limité à 48 Kbit/s en mode descendant. (Limite actuelle des terminaux GPRS).

La mise en place d'un réseau GPRS permet à un opérateur de proposer de nouveaux service de type Data avec un débit de donnée 5 à 10 fois supérieur au débit maximum théorique d'un réseau GSM.

Le réseau GPRS constitue finalement une étape vers le réseau UMTS.

c- Réseau EDGE:

Le standard EDGE est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE. EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM, ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles. Il permet ainsi de multiplier par un facteur 3 le débit des données avec une couverture plus réduite. Dans la théorie, EDGE permet d'atteindre des débits allant jusqu'à **384 kbit/s** pour les stations fixes (piétons et véhicules lents) et jusqu'à **144 kbit/s** pour les stations mobiles (véhicules rapides).

Les principes d'EDGE ont été aussi repris et adaptés pour l'évolution de l'IS-136, le standard TDMA américain. Cette évolution est connue sous le nom d'UWC136 ou d'EDGE compact.

Architecture générale de réseau EDGE :

L'EDGE est une extension du réseau GPRS. Seule le sous-système radio est sensiblement modifié. La figure 1.4 représente l'architecture de l'EDGE

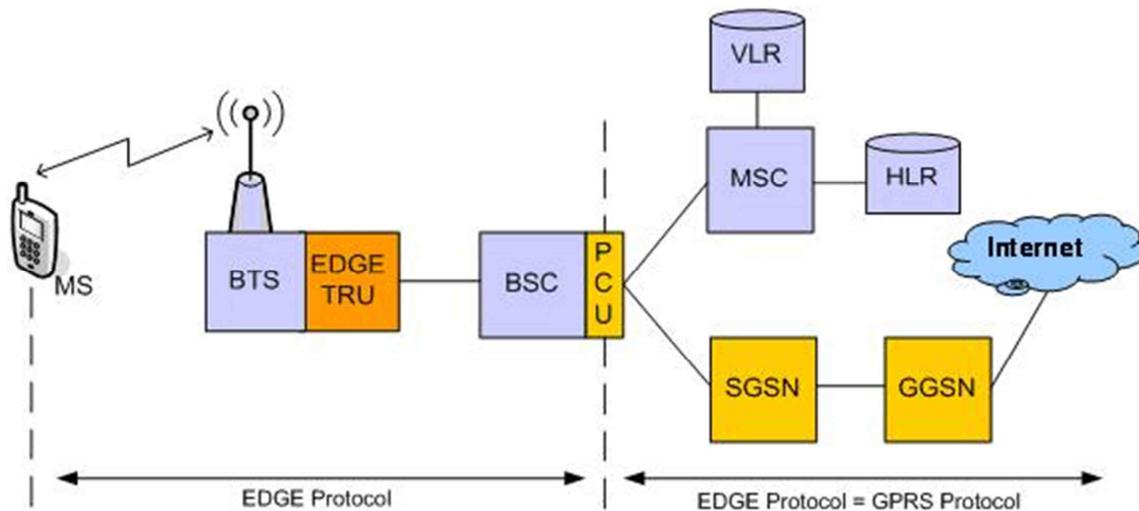


Figure 1.4 Architecture générale de réseau EDGE [25]

Le déploiement de l'EDGE nécessite :

- la mise à niveau de la BSC et de la BTS,
- l'ajout d'un émetteur-récepteur au niveau de la BTS capable de supporter la modulation EDGE.

Conclusion de réseau EDGE :

Grace à la modulation 8-PSK, la norme EDGE permet d'augmenter les débits disponibles dans GPRS. Toutefois cette augmentation n'est possible que dans des bonnes conditions de propagation c'est-à-dire lorsque le C/I est élevé. En outre, l'introduction d'EDGE dans le réseau GSM/GPRS permettra aux opérateurs d'améliorer les services et capacités à la demande des utilisateurs. Vu les qualités de services de données et applications apportée par la technologie EDGE, les opérateurs ne pouvant pas disposer de la licence des systèmes 3G, pourront adopter cette technologie.

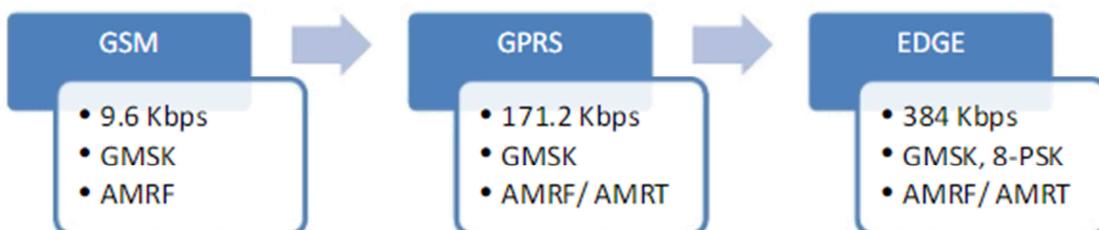


Figure 1.5 Evolution de la norme GSM

1.2.3 La troisième génération de téléphonie cellulaire 3G

La troisième génération de réseaux mobiles est un ensemble de technologies développées afin de faire évoluer les systèmes cellulaires de deuxième génération, en termes de capacité, de couverture, de personnalisation de service et de qualité de services. Les réseaux mobiles de première et de deuxième génération sont considérés comme des réseaux de téléphonie mobiles, à l'inverse de l'UMTS qui signifie système universel de télécommunications mobiles, c'est-à-dire un réseau mobile capable d'offrir des services multimédias, partout et à tout moment. Ces services seront de haute qualité et pourront converger vers les réseaux fixes, cellulaires et par satellites.

a- La technologie UMTS :

Le système universel de télécommunication mobile (UMTS) est l'un des systèmes de communication sans fil de 3ème génération. Alors que GSM est basé sur TDMA, la partie d'accès radio de l'UMTS est basée sur le CDMA à large bande (WCDMA), qui utilise les technologies CDMA (DSCDMA) de séquence directe. Le réseau d'accès radio de l'UMTS s'appelle le réseau d'accès radio terrestre UMTS (UTRAN). Étant donné que UMTS partage le même réseau de base que GSM / GPRS, des modifications importantes par rapport au GSM / GPRS ont été effectuées sur le réseau d'accès radio. En particulier, le contrôleur de station de base (BSC) et la station réceptrice de base (BTS) du réseau GSM ne peuvent pas être utilisés dans UMTS, et donc NodeB et le contrôleur de réseau radio (RNC) sont déployés à la place dans UMTS. [3]

Architecture UMTS:

L'UMTS est le réseau de troisième génération la plus répandue, tous les opérateurs ayant déployé le GSM ont considéré l'UMTS comme amélioration.

L'architecture de l'UMTS se base sur le même concept que celle du GSM. Les changements s'opèrent au niveau de chaque entité fonctionnelle.

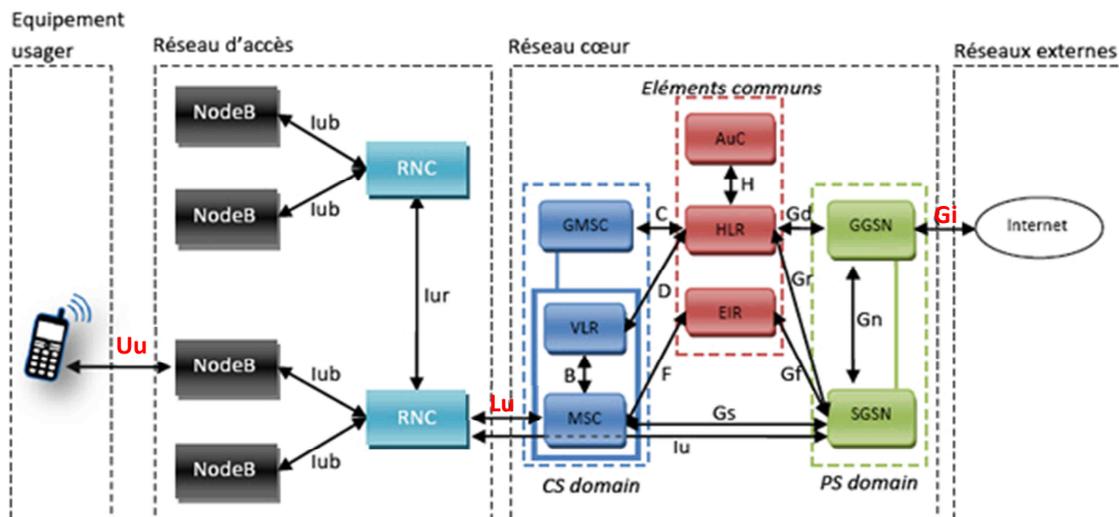


Figure 1.6 Architecture de l'UMTS [26]

- Le RNC ou Radio Network Controller gère les ressources radio de la zone dont il a le contrôle, c'est-à-dire les ressources de la zone de couverture de tous les NodeB auxquels il est rattaché. Il assure la mobilité des usagers et la concentration du trafic.
- Le CS Core ou circuit switched core, est la partie du réseau cœur à commutation de circuit. Il intègre les mêmes entités qu'un réseau GSM. Il traite les trafics de voix et de messagerie.
- Le PS Core ou packet switched core, est la partie du réseau cœur à commutation de paquet. Il intègre les entités de gestion des données retrouvées dans le GPRS. Il traite les trafics de données.

Interface lu:

Le système UMTS assure les interconnexions entre ses entités avec les interfaces lu. Il existe quatre(4) types d'interface lu bien distincte : lub, lur, lu-cs et lu-ps.

- L'interface lu relie le réseau d'accès radio au réseau cœur. Elle devient lu-cs lorsque le réseau d'accès radio s'interface au domaine circuit et lu-ps pour l'interface au domaine paquet.
- L'interface lub est l'équivalent de l'Abis du GSM. Elle relie le NodeB avec le RNC. Tous les trafics du NodeB sont tous acheminés vers le RNC. Cette interface se sert de l'ATM ou Asynchronous Transfer Mode comme technologie de transport.
- L'lur relie les RNC voisins. Elle est aussi basée sur l'ATM.

- L'lu-cs ou lu-circuit switched représente l'interface entre RNC et la partie à commutation de circuit du réseau cœur. Elle est chargée de transporter les trafics voix. Le mode de transfert reste toujours l'ATM. La capacité de la couche physique dépend de la technologie utilisée : 155 Mbps pour le STM 1 (155 Mbit/s), 2 Mbps pour l'E1.
- L'lu-ps ou lu-packet switched représente l'interface entre RNC et la partie à commutation de paquet du réseau cœur. Initialement lu-ps s'appuie sur un transport ATM, l'évolution met en jeu un transport Gigabit Ethernet

Historique des *releases* 3GPP:

Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail sont associées à une *Release*. Une Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée et représente un palier significatif dans l'évolution des systèmes. Le 3GPP a défini neuf Releases entre 1998 et 2011 :

Release	Date de gel des fonctionnalités	Principales évolutions
<i>Release 97</i>	Mars 1998	définition du GPRS;
<i>Release 99</i>	Mars 2000	introduction de l'UMTS
<i>Release 4</i>	Mars 2001	ajout de fonctionnalités au sein du réseau cœur, notamment la séparation des couches média et contrôle pour le réseau cœur circuit
<i>Release 5</i>	Juin 2002	introduction de l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS
<i>Release 6</i>	Mars 2005	introduction de l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS
<i>Release 7</i>	Décembre 2007	introduction du HSPA+

		MIMO
<i>Release 8</i>	Décembre 2008	introduction des évolutions HSPA+ CPC et DC-HSDPA, et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC
<i>Release 9</i>	Décembre 2009	évolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec le MIMO, et introduction du DC-HSUPA; seconde Release du LTE
<i>Release 10</i>	Mars 2011	évolution multi porteuse du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et introduction de l'évolution du LTE appelée <i>LTE-Advanced</i>

Tableau 1.3 les releases 3GPP

b- Les évolutions HSPA :

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

HSDPA pour la voie descendante.

HSUPA pour la voie montante.

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

L'innovation principale du HSPA concerne le passage d'une commutation circuit sur l'interface radio, où des ressources radio sont réservées à chaque UE pendant la durée de l'appel, à une commutation par paquets, où la station de base décide dynamiquement du partage des ressources entre les UE actifs. L'allocation dynamique des ressources est effectuée par la fonction d'ordonnement, en fonction notamment de la qualité

instantanée du canal radio de chaque UE, de ses contraintes de qualité de service, ainsi que de l'efficacité globale du système. La commutation par paquets optimise ainsi l'usage des ressources radio pour les services de données.

La modulation et le codage sont rendus adaptatifs afin de s'adapter aux conditions radio de l'UE au moment où il est servi, les débits instantanés étant accrus via l'utilisation de modulations à plus grand nombre d'états qu'en Release 99. La modulation 16QAM (16 *Quadrature Amplitude Modulation*) est introduite pour la voie descendante en complément de la modulation QPSK en vigueur en Release 99. De même, la modulation QPSK est introduite pour la voie montante en complément de la modulation BPSK utilisée en Release 99. Enfin, un nouveau mécanisme de retransmission rapide des paquets erronés, appelé HARQ, est défini entre l'UE et la station de base, afin de réduire la latence du système en cas de perte de paquets. Ces évolutions offrent aux utilisateurs des débits maximaux de **14,4** Mbit/s en voie descendante et de 5,8 Mbit/s en voie montante, ainsi qu'une latence réduite. [4]

c- Les évolutions HSPA+ :

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

- débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système ;
- La gestion des utilisateurs *always-on*.

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008). L'amélioration des débits et de la capacité est rendue possible par l'introduction de nouvelles techniques. En voie descendante, la modulation 64QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16QAM en voie montante. En complément, une cellule peut transmettre des données à un utilisateur sur deux porteuses simultanément en voie descendante, à l'aide de la fonctionnalité DC-HSDPA (*Dual Carrier - HSDPA*). Le spectre supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz. Les débits fournis à l'utilisateur sont potentiellement doublés. De plus, la largeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales.

La fonctionnalité MIMO est également introduite pour améliorer les débits en voie descendante. Les utilisateurs *always-on* sont mieux pris en compte via des fonctionnalités regroupées sous le terme de CPC. Le HSPA+ intègre enfin une option d'architecture qui

réduit la latence du système via la suppression du contrôleur de stations de base pour les services de données. Les évolutions HSPA+ apportent ainsi des gains très significatifs en termes de débits, de capacité et de latence et renforcent la pérennité des réseaux 3G.

Technologie	UMTS	HSPA	HSPA+
Débit maximal UL	384 Kbps	5.8 Mbps	11.5 Mbps
Débit maximal DL	2 Mbps	14.4 Mbps	42 Mbps
Largeur de canal	5 Mhz	5 MHz	5 MHz
Technique d'accès	CDMA	CDMA/TDMA	CDMA/TDMA
Modulation	QPSK, BPSK	QPSK, 16QAM, BPSK	QPSK, 16QAM, 64 QAM, BPSK

Tableau 1.4 Caractéristique de l'UMTS et ses évolutions

1.2.4 La quatrième génération de téléphonie cellulaire 4G :

La quatrième génération est de nouveau une révolution pour les réseaux hertziens. Toutes les applications sont traitées avec le protocole IP, même la parole téléphonique. Le débit offert par cette génération pourrait atteindre les 100 Mbps, grâce à l'initiation aux technologies d'antenne MIMO et l'utilisation des modulations de haut niveau. L'organisme de normalisation 3GPP a défini la 4G toujours dans le but d'offrir un débit de transfert de données supérieur et aussi d'accroître la capacité d'accueil du réseau. Le 3GPP caractérise aussi les réseaux 4G tel un réseau très réactif, c'est-à-dire que la latence du réseau est très faible ce qui permet aux utilisateurs d'utiliser les applications à temps réel. [5]

1.3 Conclusion :

Dans ce chapitre introductif, nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphone mobiles et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire.

Ainsi, la mise œuvre du service GPRS implique une évolution matérielle et logiciel s'ajoutant au réseau GSM déjà existants. L'évolution du GSM vers GPRS prépare à l'introduction des Réseaux de troisième génération l'UMTS. En ce qui concerne l'infrastructure, des modifications doivent être effectuées pour l'intégration du GPRS ou l'UMTS par l'ajout d'autres équipements, et le chargement de logiciels.

Pour les réseaux 4G (LTE), nous avons présenté un bref aperçu et dans le prochain chapitre, nous allons le détailler.

Chapitre 2 LTE (Long Terme Evolution)

2.1- Introduction

Ce chapitre a pour but de fournir un aperçu de la technologie LTE, en représentant les spécifications techniques de ce standard. Dans un premier lieu on commence à décrire l'architecture de manière globale, et après on se focalise sur la description de l'interface radio et les différents techniques et technologies utilisées dans cette interface.

2.2- LTE (Long Terme Evolution) :

Après la hausse des débits de données fournis via l'évolution HSPA, 3GPP a fixé un objectif qu'exige un taux de données au moins 100 Mbps en DL et plus de 50 Mbps en UL. En outre, la latence doit être considérablement améliorée. Le développement de ce standard dans 3gpp est regroupé en deux éléments du travail, une part le LTE qui cible l'évolution du réseau radio, et d'autre part le SAE (System Architecture Evolution) qui cible le cœur du réseau. Ses deux entités ont se mis d'accord pour que LTE prendre en charge uniquement les services à commutation de paquets, le résultat de ce travail est eUTRAN (Evolved UTRAN) et EPC (Evolved Packet Core) et ensemble créent le EPS (Evolved Packet System).

LTE recouvre les *Releases* R8 et R9 de la normalisation 3GPP ses objectifs sont les suivants :

- ⊙ **Débits et efficacité spectrale** : les débits crêtes doivent atteindre sur la voie descendante 100 Mbps et sur la voie montante 50 Mbps pour une largeur de bande de 20 MHz.
- ⊙ **Délais** : le délai de transmission d'un paquet IP à travers le RAN en faible charge et jusqu'à l'UE ne doit pas dépasser 5 ms. La transition d'un état de veille à un état actif ne doit pas dépasser 100 ms.

- ⊙ **Mobilité** : les performances maximales ne sont uniquement assurées que pour les faibles mobilités, typiquement inférieures à 15 km/h, mais aussi pour les services qui doivent être assurés une mobilité allant jusqu'à 350 km/h.
- ⊙ **Couverture** : les performances précédentes doivent être assurées pour des rayons de cellules allant jusqu'à 5 km.
- ⊙ **Coexistence** : les terminaux multi-technologies doivent pouvoir effectuer des mesures sur les réseaux 2G et 3G et l'interruption de service due à un *Handover* vers ou depuis le réseau d'accès ne doit pas dépasser 300 ms pour les services temps réel et 500 ms pour les services non temps réel. Le LTE pourra également s'ouvrir à des technologies 2G et 3G non issues du 3GPP comme le CDMA2000 ou WiMax.

2.2.1- Architecteur LTE

Contrairement aux réseaux cellulaires réseaux 2G et 3G où, on distingue deux domaines, commutation de circuit (CS), et commutation de paquet (PS) dans le réseau cœur, la nouvelle architecture ne possède que la commutation en mode paquet qu'on l'appelle EPC [15]. La figure 1 montre l'architecture résultante et la façon dont cette architecture s'est développée à partir de celle de l'UMTS et GSM [6].

C'est l'une des exigences critiques de LTE car LTE vise à fournir la meilleure expérience sur Internet. Lorsqu'un système doit supporter un service à commutation de circuit, la fonctionnalité de la réservation de ressources statiques est requise dans le système. Cela rend difficile l'optimisation pour un service de commutation par paquets, et parce que l'Internet est devenu le principal flux de distribution d'informations. LTE a choisi de prendre en charge uniquement les services à commutation de paquets [3] donc tous les services devront être offerts sur IP y compris ceux qui étaient auparavant offerts par le domaine circuit tels que la voix, la visiophonie, le SMS... (tous les services de téléphonie) [15].

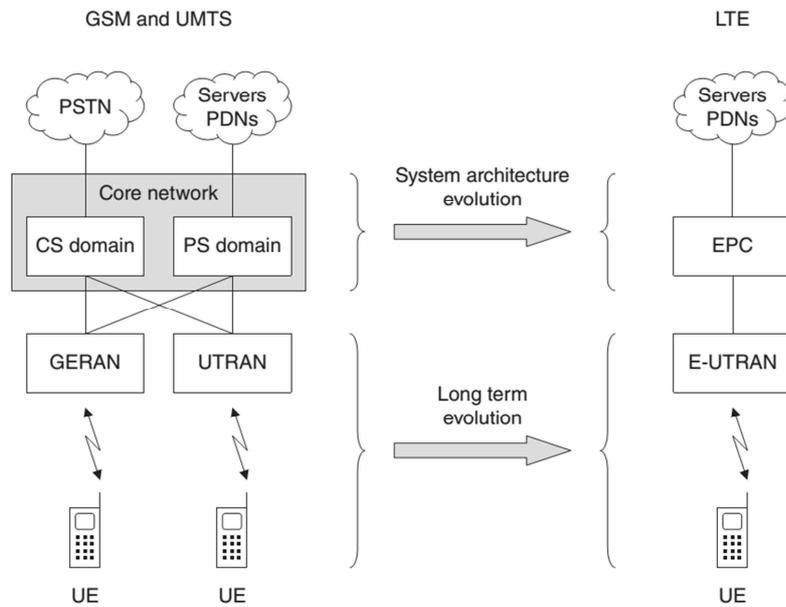


Figure 2.1 L'évolution de l'architecture du système de GSM et UMTS vers LTE [6]

La nouvelle architecture a été conçue dans le cadre de deux éléments du travail SAE qui couvrait le réseau de base, et LTE qui couvrait le réseau d'accès. Officiellement, l'ensemble du système est connu sous le nom de EPC, tandis que l'acronyme LTE se réfère uniquement à l'évolution de l'interface aérienne. Malgré cette utilisation officielle, LTE est devenu un nom familier pour l'ensemble du système, il est utilisé régulièrement de cette façon par 3GPP [6].

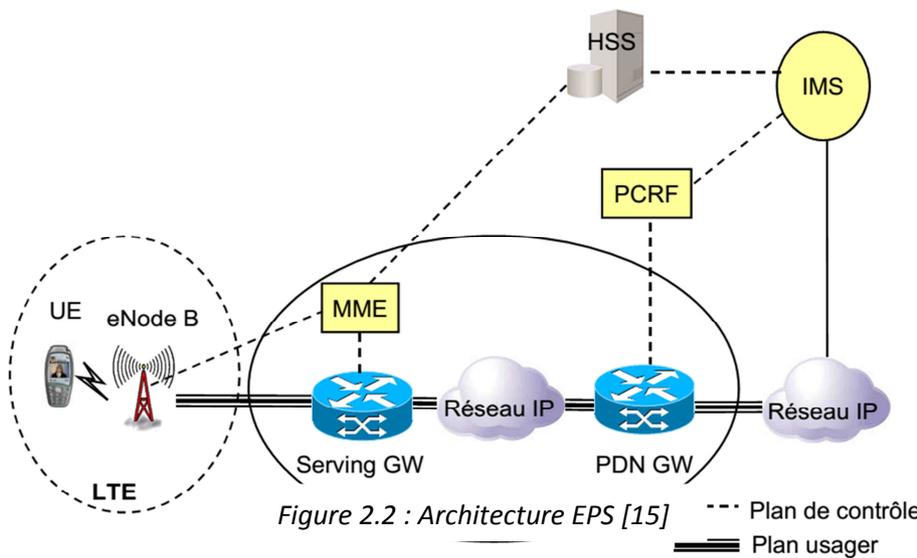


Figure 2 : Architecture EPS

2.2.2- Réseau d'accès : E-UTRAN

L'architecture E-UTRAN ne présente que des eNodeB. Le dispositif le plus complexe du réseau LTE. Le nom est dérivé du nom initialement donné à la station de base UMTS (Node-B) avec un 'e' qui se réfère au termes « évolué ». Le « e » principal a également été ajouté à des nombreuses autres abréviations déjà utilisées dans l'UMTS. Par exemple, le réseau radio LTE est appelé eUTRAN [8].

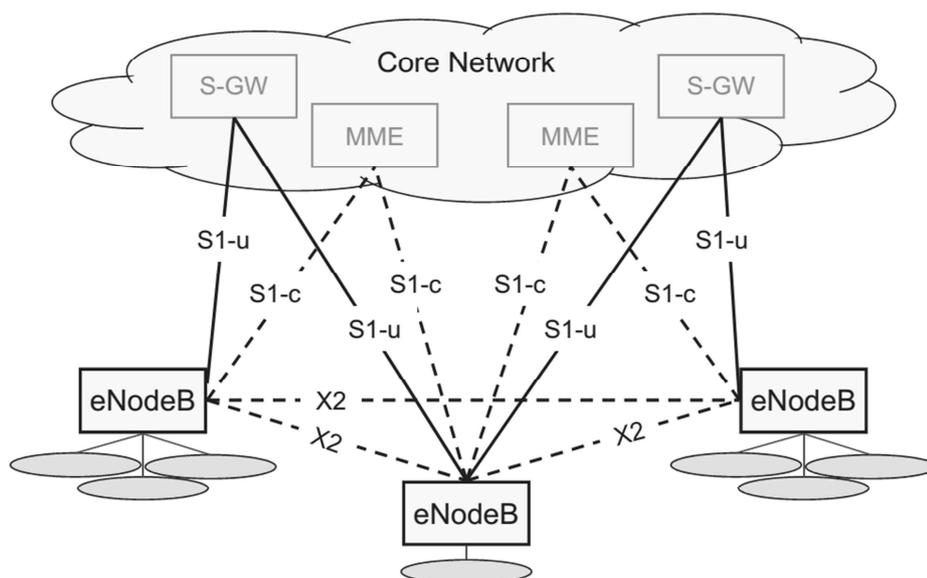


Figure 2.3 : Entités et interfaces de réseau d'accès radio [13]

Les fonctions supportées par le RNC (architecture 3G) ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/Serving GW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur. L'interface S1 comprend l'interface S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME et l'interface S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW.

L'eNB s'occupe de deux fonctions principales :

- L'envoi des données à l'ensemble de ses UEs sur la liaison downlink et la réception des messages de signalisation (informations de contrôle) envoyés de la part des UEs sur la liaison uplink.
- Le contrôle de l'exploitation bas-niveau des UEs, en envoyant des messages de signalisation tels que les commandes liées aux opérations de Handover [6].

L'eNodeB et les interfaces S1 et X2

L'interface X2 est optionnelle en deux sens. Tout d'abord, les communications ne sont nécessaires qu'entre les stations de base proches qui pourraient être impliquées dans les transferts, alors que les stations de base éloignées ne doivent pas interagir. Deuxièmement, les communications X2 les plus importantes peuvent également être transmises à travers l'EPC en utilisant deux instances de S1, même si elles sont indirectes et plus lentement. Même s'il est utilisé, l'interface X2 ne doit pas être configurée à la main, Au lieu de cela, un réseau peut configurer ses interfaces X2 automatiquement à l'aide des fonctions d'auto-optimisations [6]. L'interface X2 a été définie entre deux eNodeB adjacents. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (Handover). Lorsque l'utilisateur se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE, or le réseau continu à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNodeB tant que le nouvel eNodeB n'a pas informé le réseau qu'il s'agit de lui relayer les paquets entrants pour cet UE. Pendant ce temps l'ancien eNodeB relaie les paquets entrants sur l'interface X2 au nouvel eNodeB qui les remet à l'UE.

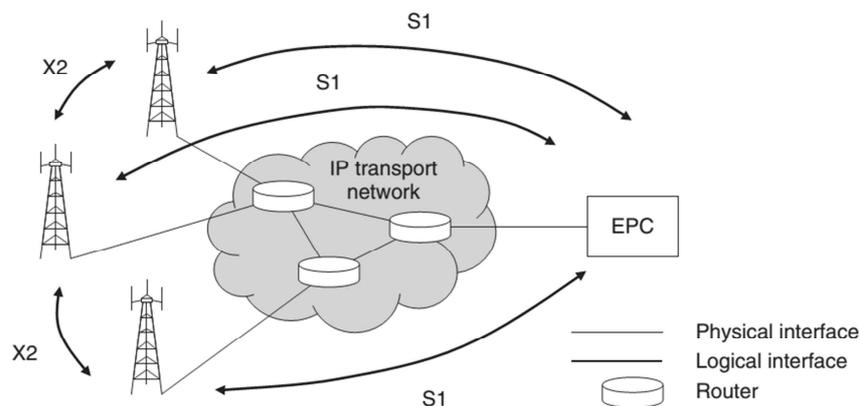


Figure 2.4 : Entités et interfaces de réseau d'accès radio E-UTRAN [6]

Généralement, les interfaces S1 et X2 ne sont pas des connexions physiques directes. Au lieu de cela, les informations sont acheminées sur un réseau de transport IP de la manière indiquée à la Figure 4. Chaque station de base et chaque composant du réseau de base possèdent une adresse IP et les routeurs utilisent ces adresses IP pour transporter des données et signaler des messages d'un appareil à l'autre. Les interfaces S1 et X2 sont mieux comprises comme des relations logiques, à travers lesquelles les périphériques connaissent les identités de chacun et peuvent échanger des informations. L'EPC utilise un réseau de

transport IP de la même manière, de sorte que les mêmes problèmes s'appliqueront aux interfaces EPC que nous présentons ci-dessous [6].

2.2.3- Réseau Cœur : EPC (Evolved Packet Core)

Comme mentionné précédemment l'EPC simplifie le réseau d'architecture à tout IP. L'EPC contient deux éléments fonctionnels dans le plan utilisateur, le S-GW et P-GW, et un élément dans le plan de contrôle le MME. En conséquence, un minimum de deux éléments fonctionnels (eNodeB, S-GW / P-GW combinés) se trouvent dans le chemin du plan d'utilisateur EPS, ce qui signifie un degré plus élevé de simplicité et moins de latence. [9] comme il s'adapte également avec les autres réseaux paquets 2G/3G, CDMA-2000 et le WiMax mobile en cas de mobilité, et ainsi garantir le Handover entre ces technologies d'accès. Une brève description de chacun de ses éléments de réseau est donnée de la façon suivante :

❖ Le MME (Mobility Management Entity) :

- ⊙ Dialogue avec un ensemble de stations de base typiquement d'une même région (voire d'un même pays)
- ⊙ Dialogue avec le HSS pour récupérer le profil et les données de sécurité des abonnés présents dans la zone qu'il gère
- ⊙ Stocke ces profils et ces données de sécurité
- ⊙ Gère les mécanismes de dialogue liés à l'accès au réseau, la sécurité et la mobilité pour les terminaux présents dans sa zone
- ⊙ Maintient la connaissance de la localisation des terminaux dans sa zone
- ⊙ Sélectionne le PGW et le SGW quand le terminal s'attache au réseau et se connecte au réseau Internet
- ⊙ S'assure de la joignabilité du terminal
- ⊙ Est impliqué dans le transfert intercellulaire (Handover)

❖ P-GW (Packet Data Network Gateway):

- ⊙ C'est le point d'interconnexion entre l'EPC et les réseaux externes IP.
- ⊙ Attribution de l'adresse IP pour l'UE.
- ⊙ Il assure certaines fonctions de sécurité (c'est un porte d'entrée qu'il faut protéger des attaques d'extérieur).

❖ S-GW (Serving Gateway):

- ⊙ Est un équipement intermédiaire qu'est introduire pour évite des routages fréquents au niveau de p-GW (il serve généralement à une ou à quelques régions).
- ⊙ Routage des paquets et relai des paquets (route les paquets sortant au PDN GW approprié et relaie les paquets entrants à l'eNodeB servant l'UE).
- ⊙ Il relaie les paquets entre les systèmes 2G/3G et le PDN-GW. Lors d'une mobilité entre LTE et Les réseaux 2G/3G paquet.

2. 3- Interface Air

L'interface air est appelée l'interface **Uu** en LTE. Le pic théorique des débits binaire qui peut être réalisé sur l'air dépend de la quantité de spectre utilisé par la cellule. LTE est très flexible à cet égard et permet des allocations de bande passante comprises entre 1,4 et 20 MHz. Dans une configuration MIMO de 20 MHz et 2×2 , typique pour les réseaux LTE actuels et les appareils mobiles, des vitesses maximales de 150 Mbit / s peuvent être atteintes. Les vitesses qui peuvent être réalisées en pratique dépendent de nombreux facteurs tels que la distance d'un appareil mobile à partir de la station de base, la puissance d'émission utilisée par la station de base, l'interférence des stations de base voisines, etc. Les vitesses réalisables en pratique sont donc beaucoup plus faibles. [8] les techniques d'accès utilisées sont **OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pour le sens descendant et **SC-FDMA** (*Single Carrier -Frequency Division Multiple Access*) pour le sens montant.

2.3. 1.Principe de l'OFDM et SC-FDMA

OFDMA

OFDMA est une extension de la technique de modulation OFDM, permettant la transmission a multiples utilisateurs, C'est-à-dire, permettant des transmissions simultanées séparées par fréquence vers plusieurs terminaux mobiles. Cette technique d'accès est largement demandée dans les réseaux sans fils à large bande car elle [10] :

- Amélioration de l'efficacité spectrale
- Fournir une meilleure protection contre l'évanouissement sélectif de fréquence
- Réduction de l'effet ISI par multi trajets

L'OFDM augmente l'efficacité spectrale en incorporant plusieurs supports dans le même espace de fréquence qu'un transporteur unique.

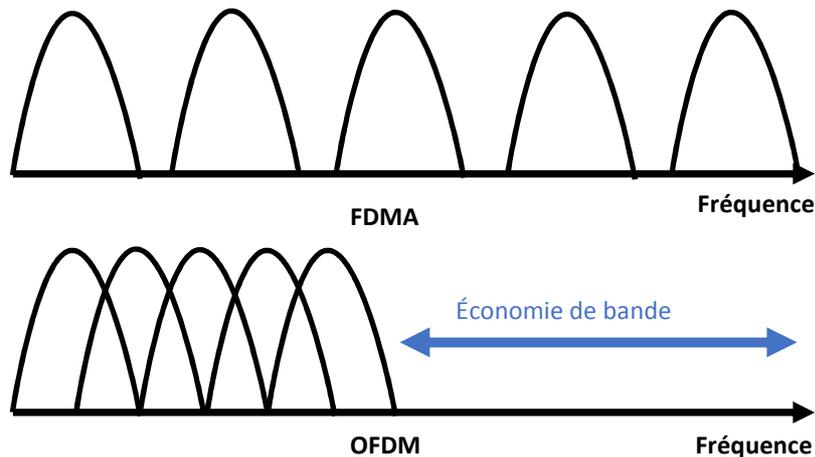


Figure 2.5 Amélioration de l'efficacité spectrale

L'OFDM résout le problème de sélectivité en fréquence du canal, en le découpant en sous canaux de largeur inférieure à la bande de cohérence. Ainsi, l'information est transmise via plusieurs sous-porteuses orthogonales. Ces sous-porteuses sont générées grâce à l'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), et leur nombre total qui dépend de la bande spectrale [10].

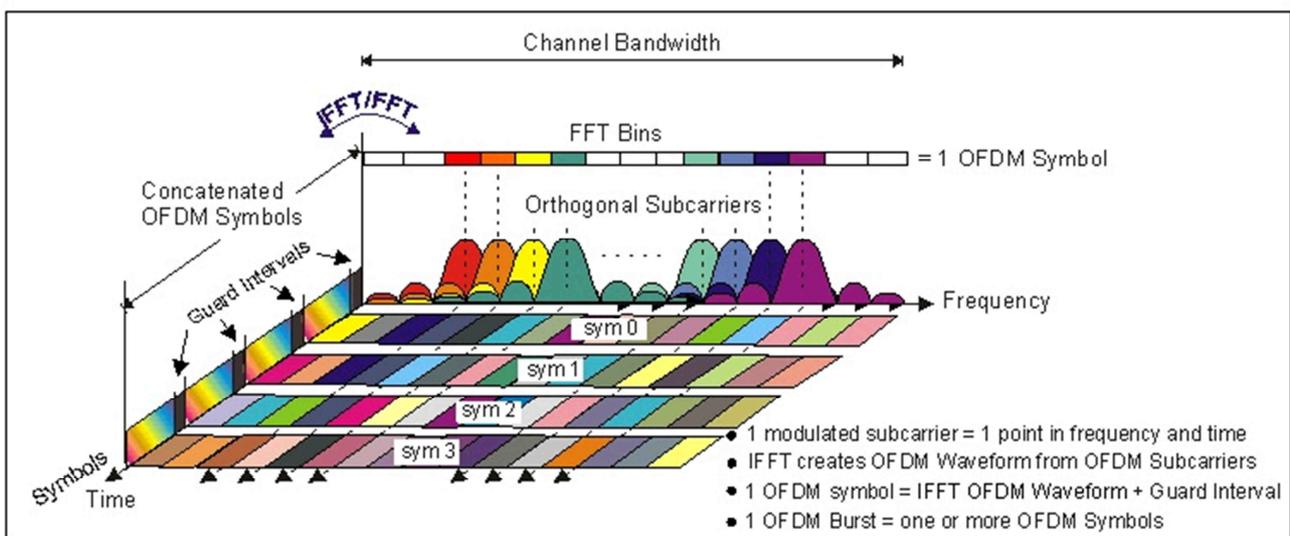


Figure 2.6 représentation de signal OFDM dans le demain temp fréquence [14]

Dans un canal multi trajets, il y a risque d'interférence entre symboles OFDM, ce qu'on appelle ISI (Inter Symbol Interference) voire figure Au récepteur, tous les échos sont additionnés (1). Et le résultat pratique est que nous avons plusieurs symboles reçus "simultanément" c'est ISI.

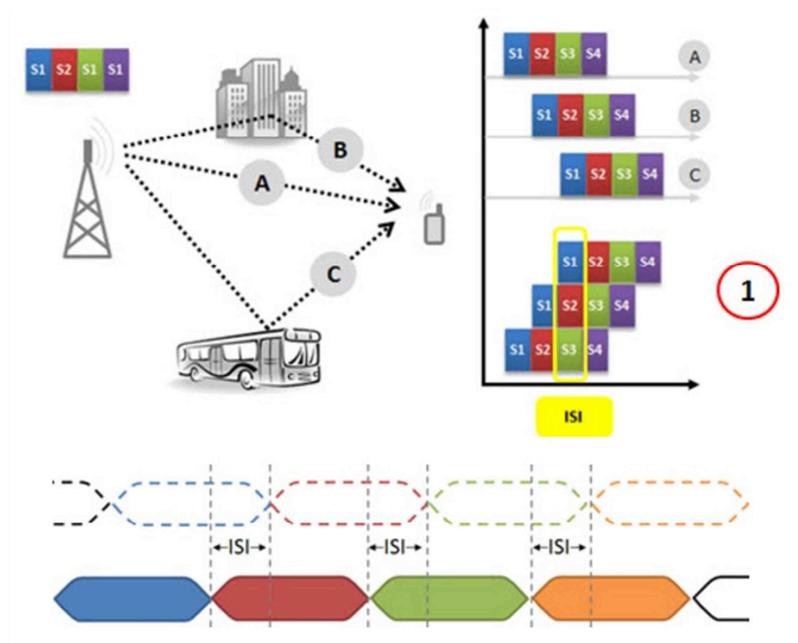


Figure 2.7 ISI (Inter Symbol Interference) [16]

Pour ceci l'ajout d'un préfixe cyclique demeure nécessaire. Sa taille dépend du milieu de propagation, le CP Cyclic Prefix consiste en une copie de la dernière partie d'une forme de symbole pendant la durée d'un temps de garde et en l'ajoutant au début du symbole. Ce temps de garde doit être assez long pour capturer tous les signaux multi trajets retardés et éviter l'ISI au récepteur. Il existe deux options de CP pour LTE :

Normal cyclic prefix : Pour une utilisation dans de petites cellules ou des cellules avec une propagation courte de délai multi trajets sa longueur est de 5.21 μ s.

Extended cyclic prefix : Pour les utilisateurs avec de grandes cellules ou ceux avec de longs profils de retard, sa longueur est de 16,67 μ s.

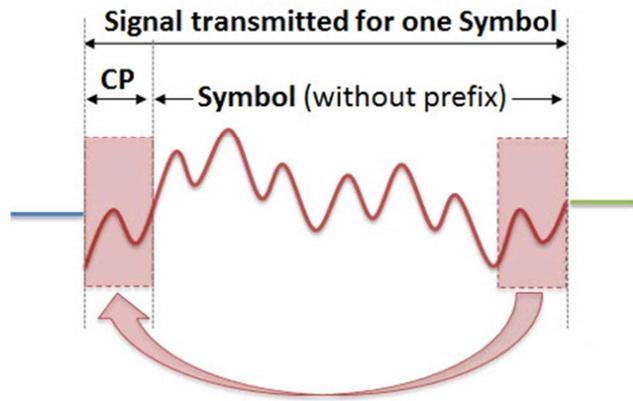


Figure 2.8 Cyclic Prefix [16]

SC-FDMA

L'inconvénient majeur de la technique OFDMA, qu'elle est caractérisée par un PAPR (Peak to Average Power Ratio) assez élevé. Ceci est dû à la nature d'OFDM, étant basée sur une transmission multi-porteuses, la puissance en un instant donné, est égale à la somme de toutes les puissances sur chaque sous-porteuse. Un PAPR élevé dégrade énormément l'efficacité de consommation d'énergie chez un amplificateur RF, ce qui rend impossible l'adoption d'un tel schéma de transmission pour le sens montant, tout en respectant la contrainte de la durée de vie des batteries des UEs. Un autre concept est proposé pour le sens montant, nommé SC-FDMA (Single Carrier – FDMA). Ce dernier très semblable à OFDMA. 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.

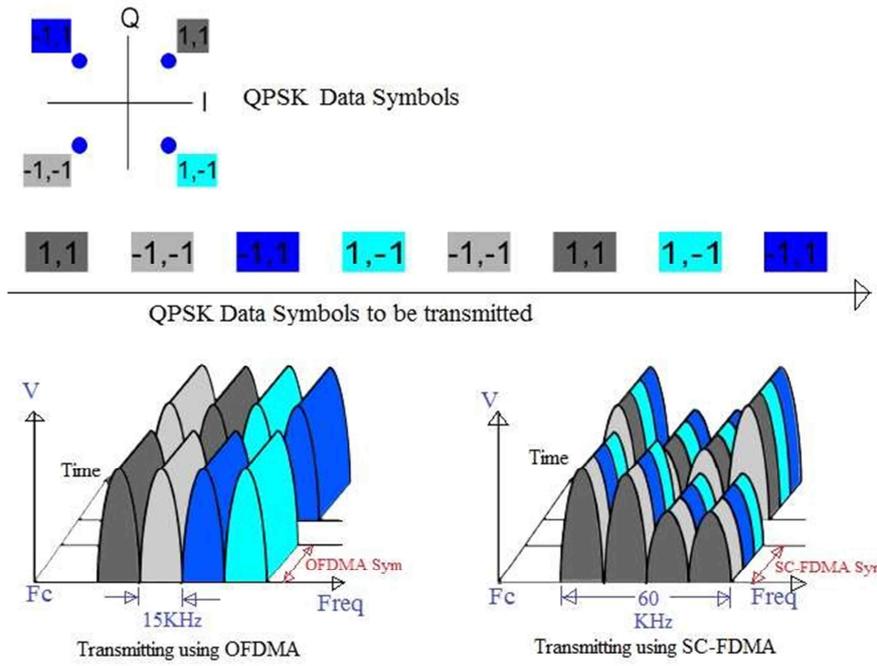


Figure 2.9 différence entre SC-FDMA et OFDMA[17]

2.3.2. Structure de la trame

Il existe deux types de trames définies pour LTE : Type 1 de trame pour FDD et Type 2 pour TDD. On parle la seulement sur le type 1. Le type 2 partage la même structure de trame et la durée de l'emplacement, mais il contient certains champs spécifiques. LTE Type 1 de trame (FDD) est le même dans la liaison montante et descendante. Les composants et les durées sont illustrés dans la figure suivant :

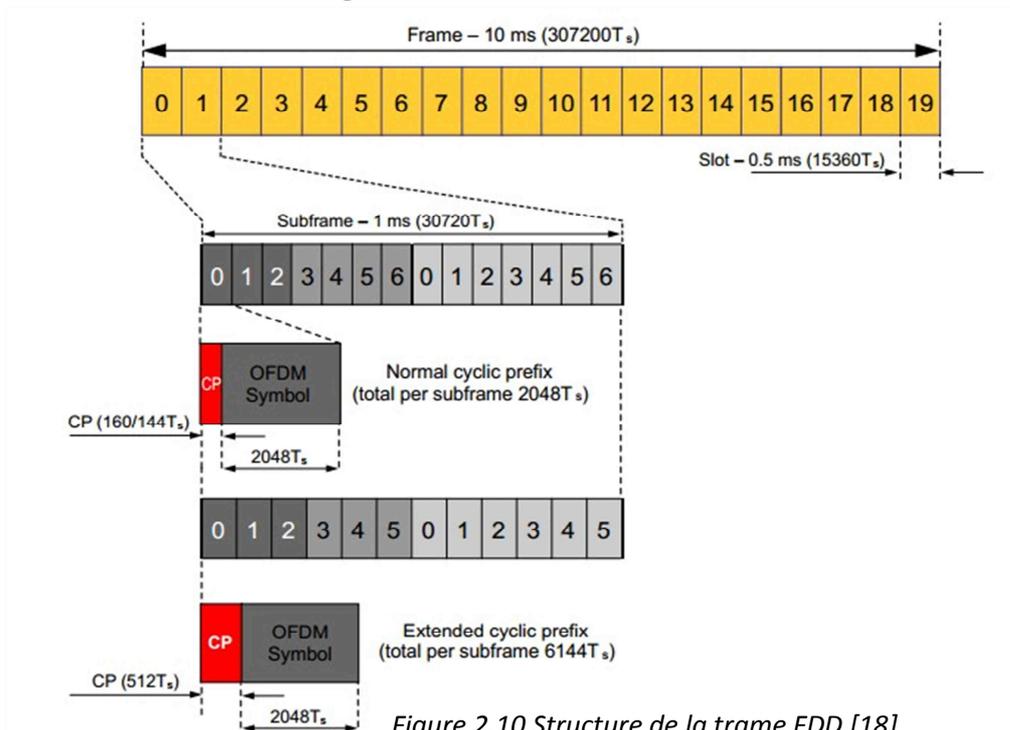


Figure 2.10 Structure de la trame FDD [18]

2.3.3. Concept de bloc de ressources et élément de ressource :

Un bloc de ressources physiques PRB (Physical Resource Block) est la ressource physique utilisée pour la transmission. L'allocation de capacité dans LTE est basée sur les blocs de ressources physiques. Un PRB est composé de 12 sous-porteuses dans le domaine de la fréquence par 1 intervalle de période (0,5 ms) dans le domaine temporel. Comme chaque sous-porteuse occupe 15 kHz, un PRB occupe 180 kHz (12 x 15 kHz) dans le domaine fréquentiel. Un concept différent est le bloc de ressources RB de planification composé de deux blocs de ressources physiques (1 ms de durée) puisque la planification est effectuée pendant 1 ms (durée TTI) Un élément de ressource RE (Resource Element) est l'unité théorique d'allocation de capacité minimale. Il est formé par 1 sous-porteuse par symbole 1.

En termes de transfert de données, un élément de ressource est l'équivalent d'un symbole de modulation sur un sous-porteuses, alors c'est la modulation QPSK est utilisé, un élément de ressource égal à 2 bits, pour 16QAM 4 bits et pour 64QAM 6 bits.

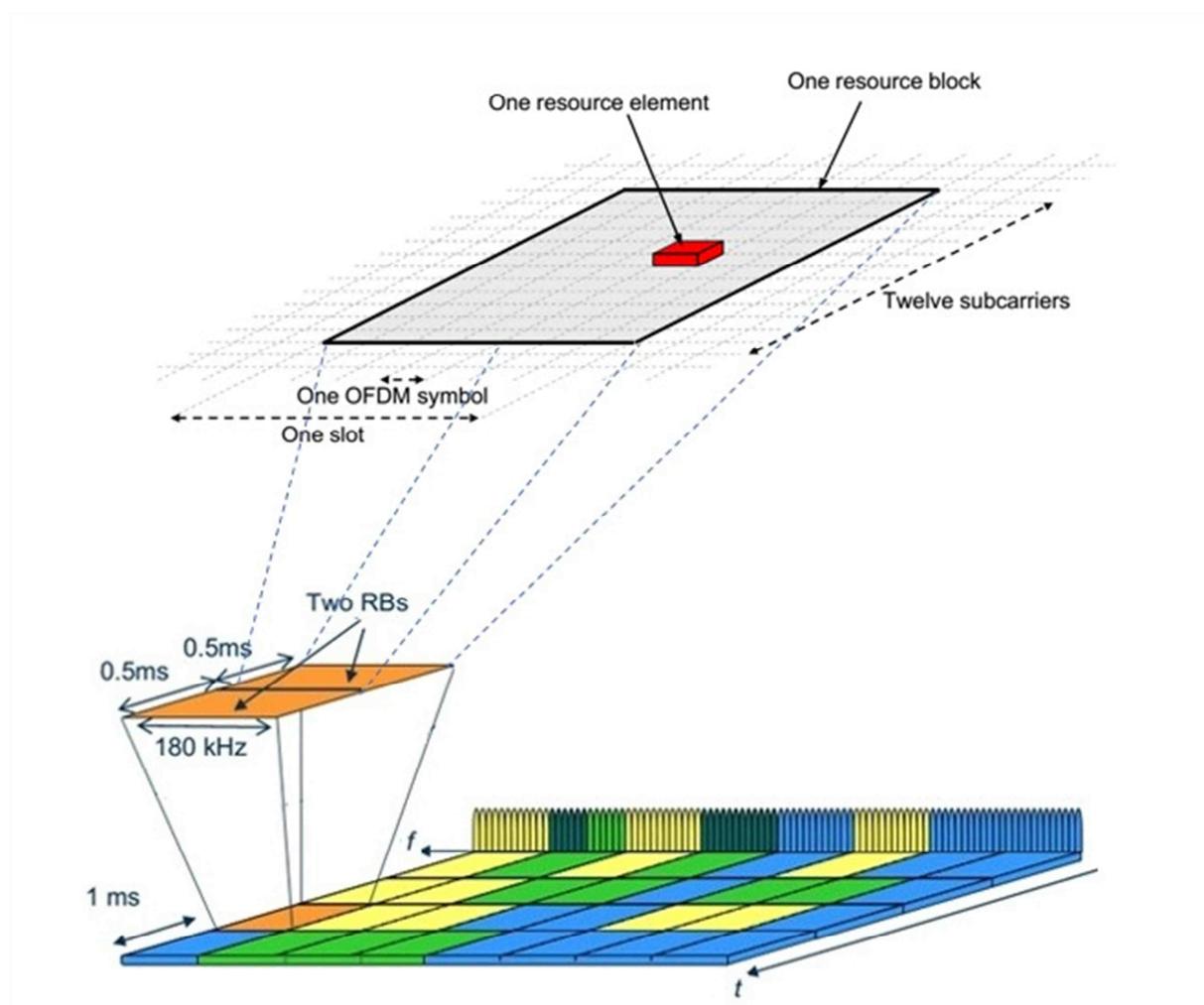


Figure 2.11 bloc de ressources et élément de ressource

Le nombre total de PRB dépend de la largeur de bande et comme LTE utilise différentes bandes passantes, le tableau ci-dessus résume ces données, qui seront utiles plus tard dans ce rapport.

Bande passante disponible	1.4 MHz	5 MHz	10 MHz	20 MHz
Nb RB	6	25	50	100

Tableau 2.1 : Nb RB par bande passante

2.3.4. Les canaux radio :

En ce qui concerne la plupart des systèmes de communication radio, l'interface radio de E-UTRAN fait face à de nombreux défis. En termes d'exigences, l'E-UTRAN doit pouvoir transmettre les informations à haut débit et à faible latence de la manière la plus efficace. Cependant, tous les flux d'information ne nécessitent pas la même protection contre les erreurs de transmission ou la gestion de la qualité de service. En général, il est essentiel, en particulier dans le cas de la mobilité radio, que les messages de signalisation E-UTRAN soient transmis le plus rapidement possible, en utilisant le meilleur système de protection contre les erreurs. D'autre part, les applications de transmission de données vocales ou de données peuvent accepter une perte de trame raisonnable due à la transmission radio. Les applications interactives de connexion (telles que la navigation Web) sont également différentes. Pour être flexibles et permettre différents schémas de transmission de données, les spécifications E-UTRAN présentent plusieurs types de canaux [11] :

- ⊙ Les canaux Physiques.
- ⊙ Les canaux de Transport.
- ⊙ Les canaux Logiques.

2.3.4.1. Les canaux logiques :

Ces canaux sont caractérisés par le type d'informations transportées. On distingue les canaux logiques de contrôle (véhiculant des informations du plan contrôle) et les canaux logiques de trafic (véhiculant des données du plan utilisateur). Le tableau suivant présente une liste des canaux logiques et il donne le type de canal, la voie et une courte description de chaque canal [7].

Canal logique	Type	Description	Voie
BCCH	Contrôle	Diffusion des informations système	DL
PCCH	Contrôle	Diffusion des messages de paging	DL
CCCH	Contrôle	Signalisation pour mobile non connectés au réseaux	DL/UL
MCCH	Contrôle	signalisation MBSFN	DL
DCCH	Contrôle	Signalisation dédiée	DL/UL
DTCH	Trafic	Transmission de données du plan utilisateur	DL/UL
MTCH	Trafic	Transmission de services en multi-diffusions	DL

Tableau 2.2 : Les canaux logiques

2.3.4.2. Les canaux de transport :

Les canaux de transport décrivent comment et avec quelles caractéristiques les données sont transférées sur l'interface radio. Par exemple, les canaux de transport décrivent comment les données sont protégées contre les erreurs de transmission, le type de codage de canal, la taille des paquets de données envoyés sur l'interface radio, etc. [11] Les canaux de transport sont décrits et classés par voie (UL ou DL).

Canal transport	Description	Voie
BCH	Transporter les parties des informations système essentielles pour l'UE Associé au BCCH	DL
PCH	Transporter l'information de paging vers UEs	DL
DL-SCH	Transporter le contrôle d'utilisateur ou le trafic de données	DL
MCH	Transmettre les informations MCCH afin d'établir les transmissions multidiffusion.	DL

UL-SCH	L'équivalent du DL-SCH en UpLink	UL
RACH	Canal de transport de l'accès aléatoire	UL

Tableau 2.3 : Les canaux de transport

2.3.4.3. Les canaux physiques :

Les canaux physiques sont la mise en œuvre effective du canal de transport sur l'interface radio. Les canaux et signaux physiques sont caractérisés par la voie utilisée (DL ou UL), les modulations disponibles, la possibilité d'utiliser des techniques multi-antennaire et la manière dont les données sont placées dans le plan temps et fréquence. Ils sont présentés ci-dessous en fonction de leur voie.

Canal physique	Description	Voie
PDSCH	Canal physique partage de données	DL
PMCH	Canal physique en diffusion et multi-diffusions	DL
PBCH	Canal physique pour la voie balise	DL
PCFICH	Canal physique informe l'UE sur le nombre de symboles OFDM utilisé pour le PDCCH	DL
PDCCH	Canal physique de contrôle	DL
PHICH	Canal physique des réponses HARQ	DL
RS	Signaux de référence (pilotes)	DL
SS	Signal de synchronisation	DL
PUCCH	Canal physique de contrôle	UL
PUSCH	Canal physique partage de données et de contrôle	UL
PRACH	Canal physique pour l'accès aléatoire	UL
DMRS	Signaux de référence (pilotes)	UL
SRS	Signaux de référence de sonde	UL

Tableau 2.4 : Les canaux physiques

La figure ci-dessous présente le mappage entre les canaux logiques, de transport et physiques

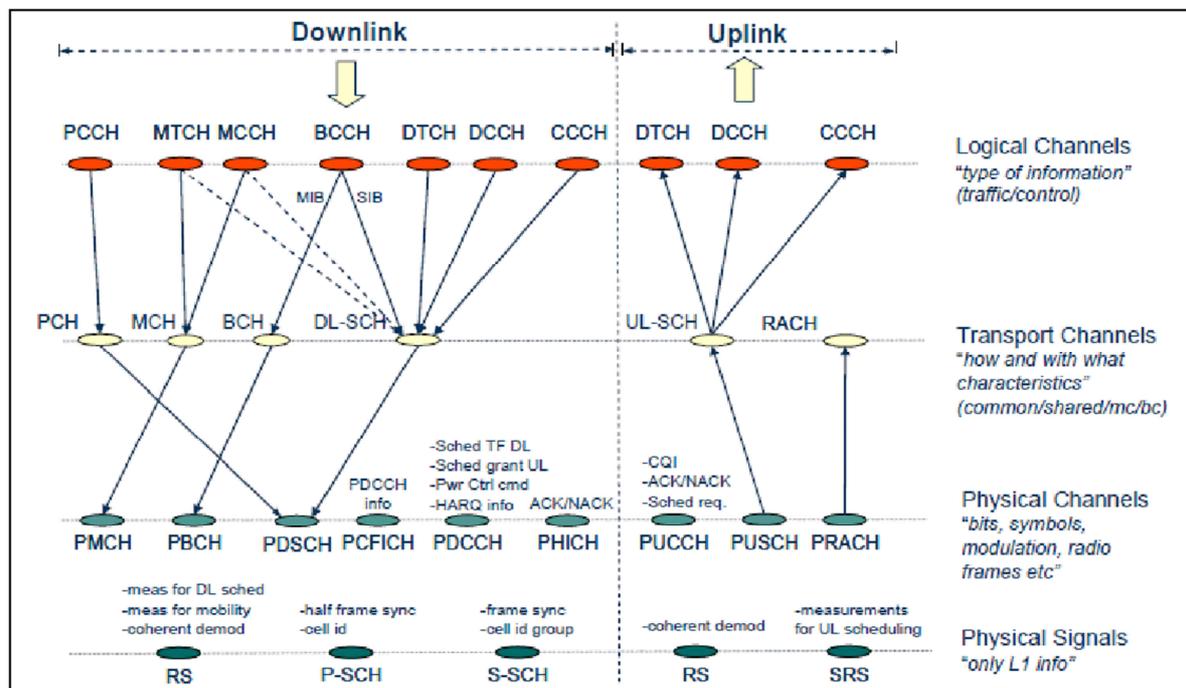


Figure 2.12: le mappage entre les canaux logiques, de transport et physiques [19]

2.4. Principe de la technologie MIMO :

Une autre technologie clé pour augmenter la capacité du système est l'utilisation de plusieurs antennes de transmission et de réceptions, c'est la technologie MIMO (Multiple Input and Multiple Output). Les techniques MIMO peuvent augmenter le débit du système et la fiabilité de la transmission sans augmenter la bande passante requise. Alors que la plupart des systèmes de communication souffrent de canaux multi-trajets, un système MIMO bénéficie de la propagation sur différents chemins par lesquels les signaux arrivent à la réception [13]. Les améliorations de performance résultant de l'utilisation de systèmes multi-antennes sont principalement les suivantes :

-Le gain de diversité : les multiples chemins entre antennes de transmission et de réception permettent d'obtenir des copies du même signal au récepteur, si ces copies sont indépendantes, une forte atténuation du signal sur l'un des chemins peut être

compensée par une bonne réception sur un autre, c'est la notion de diversité. Le gain de diversité permet donc de lutter contre les effets des évanouissements rapides et d'améliorer ainsi la robustesse du signal [7].

-Le gain de réseau d'antennes : les antennes en réseau permettent en transmission de concentrer l'énergie dans une ou plusieurs directions. En réception, les antennes multiples captent plus d'énergie et assurent un SNR moyen plus élevé [7].

-Le gain de multiplexage : Sans nécessiter de puissance supplémentaire ou de bande passante de transmission. Ce gain, appelé gain de multiplexage spatial, est réalisé en transmettant des flux de données indépendants à partir d'antennes d'émission individuelles. Dans des bonnes conditions de canal et des valeurs SINR suffisamment élevées, le récepteur peut détecter différents flux de données, ce qui donne une augmentation linéaire de la capacité. [13]

Dans les spécifications, les termes « Input » et « Output » s'appliquent au moyen entre les émetteurs et les récepteurs, y compris les composantes RF les deux connus sous le nom de « canal ». Ainsi, une station de base avec deux émetteurs fournit deux entrées au canal - La partie "MI" - et un combiné avec deux chaînes de réception prend deux sorties du canal - la partie "MO". Ceci est vrai uniquement si les données transmises et reçues sont indépendantes et ne sont pas seulement une copie des mêmes données, comme expliqué ci-dessous. [20]

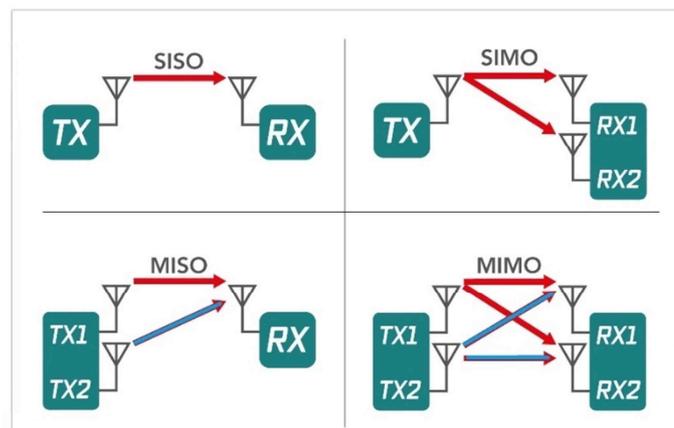


Figure 2.2 : Antenne LTE MIMO (SISO, SIMO, MISO, MIMO) [20]

2.4. Modulation et codage adaptatifs :

La modulation et le codage adaptatifs AMC (Adaptive Modulation & Coding), c'est la capacité d'adapter le schéma de modulation et le taux de codage de la correction d'erreur en fonction de la qualité de la liaison radio, si la condition de la liaison radio est bonne, un schéma de modulation efficace à haut niveau et une petite quantité de correction d'erreur sont utilisés. L'ensemble de modulation systèmes pris en charge pour la DL LTE sont : QPSK, 16QAM, 64QAM comme montre la figure suivante :

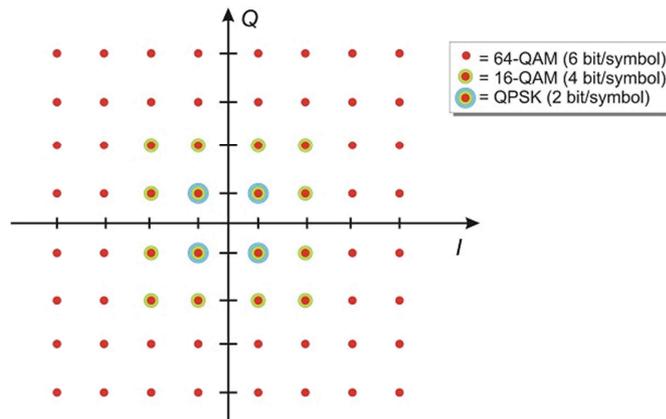


Figure 2.14 : Aperçu du schéma de modulation [21]

Donc l'adaptation de lien ajuste le débit de transmission aux mesures de la qualité radio remontées par l'UE. L'UE envoie le feedback de CQI (Channel Quality Index) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation & Coding Scheme) comme montre la figure suivante.

CQI index	Modulation scheme	Code rate
0	out of range	
1	QPSK	0.076
2	QPSK	0.117
3	QPSK	0.188
4	QPSK	0.301
5	QPSK	0.438
6	QPSK	0.588
7	16-QAM	0.369
8	16-QAM	0.479
9	16-QAM	0.602
10	64-QAM	0.455
11	64-QAM	0.554
12	64-QAM	0.650
13	64-QAM	0.754
14	64-QAM	0.853
15	64-QAM	0.926

Figure 2.3 : Définition de LTE CQI [12]

Conclusion :

En conclusion, une bonne connaissance de l'architecture et l'interface radio est une étape nécessaire pour la suite de processus de dimensionnement du réseau d'accès LTE, elle permet aux planificateurs de bien dimensionner les ressources et de bénéficier de nouvelles fonctionnalités apportées par la technologie LTE en terme de capacité et de gestion de ressources.

Chapitre 3:Dimensionnement du réseau mobile LTE

3.1 Introduction

Le dimensionnement est la phase initiale de la planification du réseau. Il fournit la première estimation du nombre d'éléments de réseau ainsi que la capacité de ces éléments. Le but de ce chapitre est d'estimer le nombre requis d'eNodeBs nécessaires pour supporter les utilisateurs ayant une certaine charge de trafic avec le niveau de qualité souhaité (QOS) et couvrir la zone d'intérêt.

Cette estimation répond aux exigences de couverture et vérifie les exigences de capacité.

3.1.1 Limitations :

Les limites des méthodes de calcul sont les suivantes:

- Multiple Input Multiple Output (MIMO) est considérée uniquement pour la liaison descendante et pour un maximum de deux antennes.
- La commande de puissance de la boucle externe dans la liaison montante n'est pas modélisée.
- La méthode est adaptée et développée principalement comme un service d'accès mobile à internet
- La qualité de service (QoS) n'est pas gérée par la méthode.

3.1.2 Concepts et terminologie :

Les termes suivants sont utilisés pour décrire le dimensionnement de la couverture et de la capacité :

Average user bit rate :

Le débit binaire pouvant être atteint par un seul utilisateur, en moyenne sur la zone cellulaire. Lorsque toutes les ressources d'une cellule sont utilisées, le débit moyen des utilisateurs peut être le débit moyen dans une cellule. C'est une mesure du potentiel moyen dans une cellule alors que toutes les cellules interférentes sont chargées au niveau dimensionné.

Cell edge :

L'emplacement géographique où la perte de trajet entre eNodeB et l'antenne est à une valeur de seuil maximum spécifique, calculée en utilisant les exigences de qualité imposées sur le réseau, ce qui garantit la qualité requise avec une probabilité de 95%, par exemple.

Cell throughput :

Le débit cellulaire est obtenu dans une cellule lorsque toutes les cellules sont chargées au niveau dimensionné et l'utilisation de la ressource est égale à la charge du système, aux cellules interférentes et aux cellules interférées. C'est le débit moyen par cellule calculé sur l'ensemble du réseau.

Radio unit :

Le but principal de l'unité radio est d'envoyer et de recevoir des signaux. Il reçoit des données numériques et les convertit en signaux analogiques et reçoit également des signaux radio et les convertit en signaux numériques. Il est certifié pour 60 W, mais la puissance de sortie par défaut sans clé de licence est de 20 W.

Resource block :

Une unité bidimensionnelle dans le plan temps-fréquence, composée d'un groupe de 12 porteuses, chacun avec une bande passante de 15 kHz et d'une fente (slot) de 0,5 ms.

Signal-to-Interference-and-Noise Ratio (SINR) :

Le signal est la puissance du signal désiré. Le bruit est la puissance du bruit thermique et l'interférence est la somme de l'interférence cellulaire et de toute puissance

d'interférence externe. Les niveaux de puissance sont les niveaux moyens des REs (Resource Elements) sur lesquels les données utilisateur sont transmises.

System load :

L'utilisation des ressources de l'interface air. La charge du système est égale au rapport des blocs de ressources utilisés à ceux disponibles, en moyenne sur l'ensemble du système.

3-2 Processus de dimensionnement :

Le dimensionnement du réseau cellulaire sans fil suit les étapes de base indiquées dans la figure:

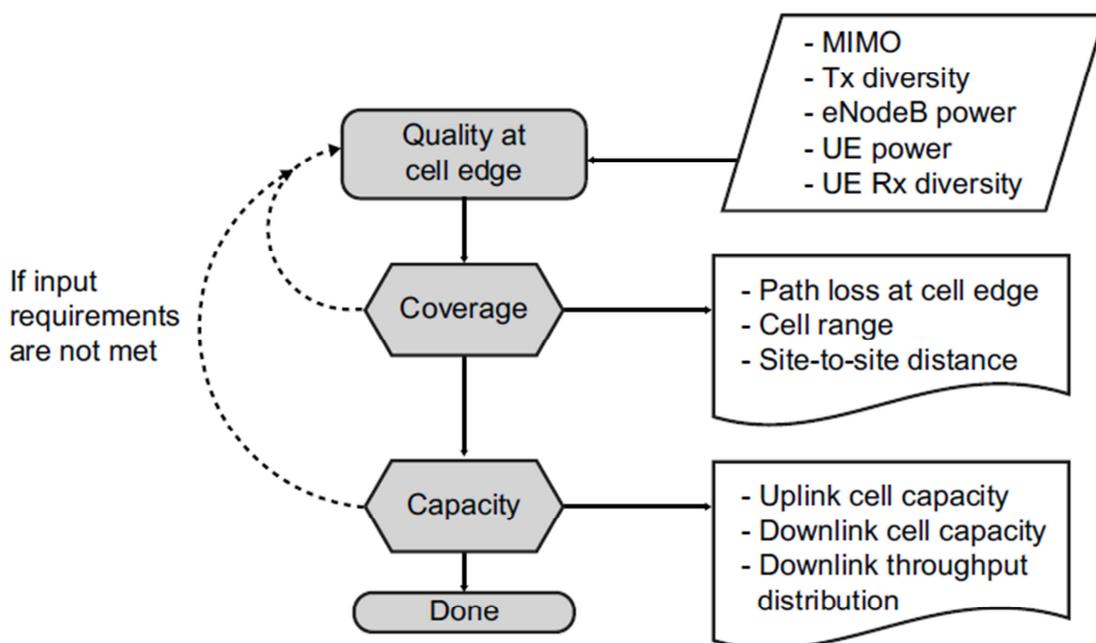


Figure 3.1 *Processus de dimensionnement LTE*

1- Définir l'exigence de qualité :

L'exigence de qualité est basée sur une exigence de débit à une probabilité de couverture donnée dans la liaison montante et la liaison descendante. Les conditions préalables doivent également être déterminées.

Les attributs suivants doivent être définis:

- Type de transmission - diversité MIMO ou TX
- Recevoir la diversité dans l'équipement utilisateur et la station de base
- Classe de puissance RBS, par exemple, 20 W ou 40 W
- Puissance de sortie de l'équipement utilisateur
- Bande passante
- Bande de fréquence

2- Calcul de la couverture

En fonction des critères de qualité, la couverture peut être calculée en termes de perte de chemin, distance de site à site ou plage de cellules (cells edge). Si la couverture ne répond pas aux exigences, la définition de la qualité de bord cellulaire ou des conditions préalables pour le calcul peut devoir être réitérée.

3- Calcul de la capacité

La couverture et les contraintes de qualité au niveau du bord de la cellule sont utilisées pour calculer la capacité avec le calcul output générée par la capacité de la cellule.

Le calcul de la capacité comprend ces calculs supplémentaires:

- Couverture Uplink
- Couverture Downlink
- Capacité de liaison montante
- Capacité de liaison descendante
- Méthode alternative de capacité de cellule de liaison descendante et distribution de débit.

3.2.1 Calcul de la couverture de liaison montante (Uplink) :

La plupart des systèmes de téléphonie mobile sont souvent limités par la liaison montante(Uplink), il est donc utile de commencer les calculs de bilan de liaison avec les exigences de couverture de liaison montante.

Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes:

- a- EIRP (effective isotropic radiated or transmitted power) Puissance isotrope rayonnée par bloc de ressource physique.
- b- Débit binaire requis par bloc de ressource physique ($R_{\text{required, PRB}}$).
- c- SINR requis (γ)
- d- Sensibilité du récepteur eNodeB (S_{eNodeB})
- e- Marge d'interférence(IM) (B_{IUL})
- f- Log-normale Marge d'évanouissement normale (B_{LNF})
- g- Puissance de l'équipement d'utilisateur par bloc de ressource
- h- Bilan de liaison (MAP_{LUL})

a- EIRP (effective isotropic radiated or transmitted power) par bloc de ressources :

EIRP signifie une puissance rayonnée isotrope efficace ou équivalente. Cela se réfère à l'efficacité de la puissance radiée isotrope de la station mobile (MS) au connecteur de l'antenne ou c'est la puissance rayonnée dans une zone géographique donnée. C'est la puissance d'entrée effective de l'antenne hypothétiquement isotrope qui atteint l'intensité rayonnée maximale dans n'importe quelle direction. C'est une fonction de la puissance transmise par MS et du gain de l'antenne du transmetteur MS et des pertes de corps (head/body losses).

$$EIRP_{\text{UE,PRB}} = P_{\text{UE,PRB}} + (G_{\text{UE}} + G_{\text{OTHER}}) - L_{\text{HBL}}$$

L'équation (3.1) représente la puissance rayonnée isotrope efficace de l'équipement utilisateur [24]

G_{UE} : Le gain de l'antenne d'émission d'équipement de l'utilisateur [dBi]

L_{HBL} : les pertes de corps (head/body losses)

G_{other} : Le gain dû à l'utilisation de MIMO

b- débit binaire requis par bloc de ressource physique ($R_{required, PRB}$) :

Le dimensionnement commence par la définition de l'exigence de qualité. La qualité est exprimée sous la forme d'un certain taux de bits R_{req} qui peut être fourni à un utilisateur individuel au niveau du bord de la cellule avec une certaine probabilité. L'exigence de débit requiert le service pour lequel le système est dimensionné.

Tous les calculs sont effectués par bloc de ressources. L'équation montre comment obtenir le débit binaire par bloc de ressource, $R_{req,RB}$. Le taux de bits requis R_{req} est divisé par n_{RB} le nombre de blocs de ressources qui peuvent être attribués pour obtenir ce débit binaire.

$$R_{req,RB} = R_{req} / n_{RB}$$

Equation (3.2) représente le débit requis par bloc de ressource[23]

Bande passante	Nombre bloc de ressource
1.4 Mhz	6
3.0 Mhz	15
5.0 Mhz	25
10 Mhz	50
15 Mhz	75
25 Mhz	100

Tableau 3.1 nombre de bloc de ressource

c- SINR requis (γ):

LTE comprend divers formats de transport différents avec différents schémas de modulation et de codage. Chaque format a un débit spécifié R. L'exigence du SINR pour décoder un format de transport particulier a été déterminée par un large ensemble de simulations. La simulation aboutit à un ensemble de tables pour différents modèles de canaux et à différents arrangements d'antennes. Comme approximation, les résultats de la simulation ont été ajustés à une expression semi-empirique paramétrée. L'expression de la relation entre R et le SINR est donnée par:

$$\gamma = a_1 - a_2 \sqrt{\ln \left(\frac{a_0 - a_3}{R(RB) - a_3} \right) / \ln 2}; \quad 0 < R(RB) < a_3 \text{ [dB]}$$

Equation (3.3) représente SINR requis [23]

a_0 , a_1 , a_2 et a_3 sont des paramètres ajustés et le SINR est exprimé en dB.

Le paramètre semi-empirique a_0 représente le débit maximal obtenu dans un bloc de ressources.

Les paramètres semi-empiriques pour la liaison montante a_0 , a_1 , a_2 et a_3 sont donnés dans le tableau (3.1)

Modèle de canal / Fréquence Doppler	EPA 5	EVA 70	ETU 300
a_0 [kbps]	459.9	456.9	322.5
a_1 [dB]	20.76	23.91	20.15
a_2 [dB]	13.28	13.74	12.41
a_3 [kbps]	0.0	0	0

Tableau 3.2 Les paramètres semi-empiriques pour la liaison montante

- Enhanced Typical Urban (ETU) : 9 chemins, étalement temporel important, environnement urbain et grandes cellules.
- Enhanced Vehicular A (EVA) : 9 chemins, étalement temporel intermédiaire, environnement urbain et grandes cellules, Le modèle de voie véhiculaire représente des vitesses d'UE de 30, 120 km / h et plus.
- Enhanced Pedestrian A (EPA) : 7 chemins, étalement temporel faible, environnements intérieur et petites cellules, Le modèle de voie piétonne représente une vitesse de l'UE de 3 km / h.

d- Sensibilité du récepteur eNodeB (S_{eNodeB}) :

Sensibilité du récepteur eNodeB (S_{eNodeB}) est la puissance de signal requise au point de référence du système lorsqu'il n'y a pas de contribution d'interférence d'autres

équipements utilisateurs. La relation suivante décrit la sensibilité du récepteur eNodeB par bloc de ressource physique (PRB):

$$(S_{eNodeB}) = N_t + N_f + \log W_{PRB} + \gamma_{target,UL}$$

Equation (3.4) représente la Sensibilité du récepteur eNodeB [24]

N_t : La densité de puissance du bruit thermique égale à -174 dBm / Hz

N_f : La figure de bruit du récepteur eNodeB [dB]

W_{PRB} : La bande passante par bloc de ressource physique (PRB): 180 kHz

$\gamma_{target,UL}$: SINR requis pour la voie de trafic de liaison montante [dB]

$N_{UE,PRB}$: Le bruit thermique par bloc de ressource physique en liaison montante est donné par :

$$N_{UE,PRB} = N_t + N_{feNodeB} + \log W_{PRB}$$

L'équation (3.5) représente le bruit thermique par bloc de ressources physiques en liaison montante[24]

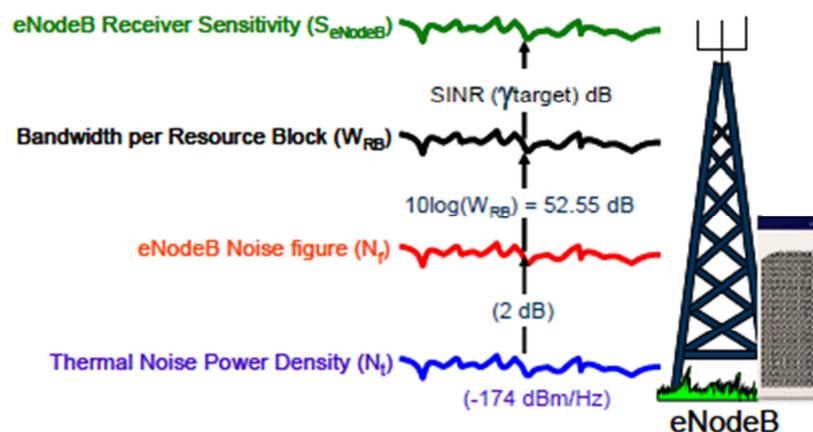


Figure 3.2 sensibilité d'eNodeB

Le récepteur eNodeB peut supposer avoir un bruit de 2 dB avec un tower mounted amplifier (TMA) et 3 dB sans.

e- Marge d'interférence (IM) (B_{IUL}) :

Dans LTE, un utilisateur n'interfère pas avec d'autres utilisateurs dans la cellule car ils sont séparés dans le domaine fréquence / temps. Interférence des cellules adjacentes. Dans le bilan de liaison, une marge d'interférence compense le bruit. Le cas standard de la commande de puissance en boucle fermée est affiché comme un rapport linéaire. La marge d'interférence de liaison montante est donnée par:

$$B_{IUL} = 1 / (1 - \gamma_{\text{target UL}} Q_{UL} F)$$

Equation (3.6) représente l'augmentation de bruit de liaison[24]

$\gamma_{\text{target UL}}$: est le SINR cible

Q_{UL} : facteur de charge du système de liaison montante.

F : est le rapport moyen des gains de chemin pour les cellules interférentes à celles de la cellule de service. F est défini et étudié à fond pour le dimensionnement du réseau radio WCDMA.

Le tableau suivant donne des valeurs pour F à une inclinaison électrique variable avec une hauteur d'antenne de 30 mètres et des sites à 3 sites. Les valeurs sont basées sur des simulations de système.

Rayon de cellule	5000	2000	1000	500	F
Angle d'inclinaison (Tilt °)	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
	0.2	0.5	1.0	2.0	0.9
	0.4	1.0	2.0	4.0	0.8
	0.6	1.5	3.0	6.0	0.7
	0.8	2.0	4.0	8.0	0.7
	1.0	2.5	5.0	9.9	0.6
	1.2	3.0	6.0	11.9	0.5
	1.4	3.5	7.0	3.8	0.4
	1.6	4.0	8.0	15.7	0.4

Tableau 3.3 le rapport moyen des gains

f- Log-normale Marge d'évanouissement (B_{LNF}) :

Log-normale marge d'évanouissement (ou lente) modélise la probabilité de couverture de zone requise. En ajoutant cette marge, une probabilité est sécurisée pour la configuration et le maintien d'une connexion à une qualité donnée.

Le tableau suivant montre les marges d'évanouissement en dB pour varier l'écart type du processus d'évanouissement σ et les différentes probabilités de couverture:

Environnement	σ [dB]	Probabilité de couverture				
		98%	95%	90%	85%	75%
Rural, Suburbain	6	5.5	2.9	0.5	-1.2	-3.7
Urbain	8	8.1	4.9	1.8	0.2	-3.4
Dense urbain suburbain	10	10.6	6.7	3.1	0.6	-3.1
Urbain indoor	12	13.1	8.4	4.2	1.3	-3.1
Dense Urbain indoor	14	15.3	9.9	5.1	1.8	-3.2

Tableau 3.4 les marges d'évanouissement

Tableau marge d'évanouissement normale d'une variété de déviation standard

$$B_{LNF} = \text{norme inverse}(p\%, \mu, \sigma)$$

Equation (3.7) représente la marge d'évanouissement normale[24]

P% : Probabilité de pourcentage

μ : Log normale

σ : écart type

g- Puissance de l'équipement d'utilisateur par bloc de ressource :

La puissance de la technologie LTE est partagée par tous les blocs de ressources. On suppose que tous les blocs de ressources reçoivent une quantité égale de puissance. Un bloc de ressources individuel n'a aucun contrôle de puissance. Au lieu de cela, les utilisateurs sont dimensionnés avec des taux élevés chaque milliseconde.

La puissance par bloc de ressources est:

$$P_{UE, RB} = P_{UE} / n'_{RB}$$

L'équation (3.8) représente le calcul de la puissance par bloc de ressources[23]

Classes d'équipement utilisateur :

Cinq catégories d'équipement utilisateur ont été spécifiées par 3GPP dans les capacités d'accès radio d'équipement utilisateur (UE), Chaque catégorie est spécifiée par un certain nombre de valeurs de paramètres de couche physique de liaison descendante et de liaison montante indiquées dans le tableau suivant :

Classe UE	Débit binaire maximal de la liaison descendante [Mbps]	Débit binaire maximal de la liaison montante [Mbps]	Nombre de flux MIMO
1	10.296	5.160	1
2	51.024	25.456	2
3	102.048	51.024	
4	150.752	51.024	
5	299.552	75.376	4

Tableau 3.5 les classes d'UE

Puissance maximale transmise par la station mobile (MS) :

C'est la puissance sortant de la radio / amplificateur et de la puissance de l'antenne; La valeur de puissance est de 23 dBm aux fréquences cellulaires. Ces valeurs sont tirées des normes minimales de performance pour une station mobile de 200 milliwatt.

Pertes d'alimentations (feeder losses) :

La perte d'alimentation indique la perte de signal causée par divers dispositifs situés sur le chemin de l'antenne vers le récepteur. Tout périphérique utilisant une antenne externe pour la fourniture de services soit au niveau du côté de la station de base, soit du côté de la borne doit tenir compte de la perte de l'alimentation. Si un dongle USB, un CPE intérieur ou un CPE extérieur intégré avec une antenne est utilisé, la perte de l'alimentation peut être ignorée du côté du terminal, mais pas du côté de la station de base.

Dans le bilan de liaison, nous devons calculer la perte de l'alimentateur en fonction du type d'alimentation, de la longueur et du type de connecteur et les jumpers.

La figure ci-dessous montre les connexions typiques du système d'alimentation d'antenne dans une station de base intérieure.

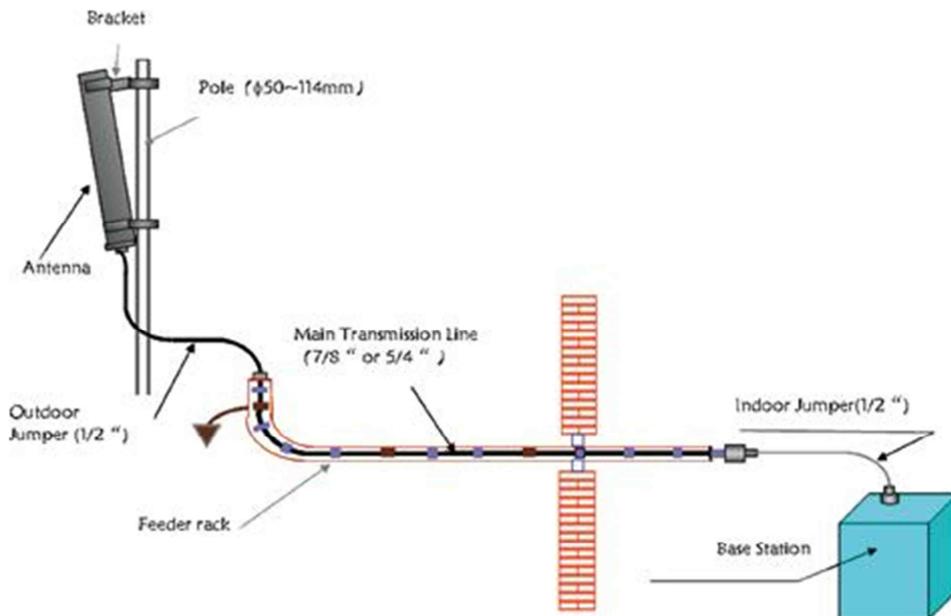


Figure 3.3 d'alimentation d'antenne dans une station de base intérieure

➤ **Perte de câble d'alimentation (L_c) :**

La perte de câble d'alimentation est la perte d'énergie électrique due aux caractéristiques inhérentes du câble d'alimentation. Le câble d'alimentation du récepteur eNodeB dépend du type d'alimentation et de la longueur de ligne d'alimentation.

L'équipement radio doit être placé le plus près possible des antennes afin de réduire la perte du câble d'alimentation.

les diamètres des câbles d'alimentation	Pertes (dB/100m)	
	2100 (Mhz)	1800 (Mhz)
7/8 "	6	6.15
15/8"	3.15	3.84

Tableau 3.6 pertes de câble d'alimentation

➤ **Perte de Jumper (Jumper loss) (L_J) :**

La perte de Jumper est la perte d'énergie électrique due à la connexion de l'amplificateur à tour de tour avec l'antenne à l'aide de Jumper. Une valeur typique du Jumper est de 11,2 dB / 100 m. Lorsque le type et la longueur du jumper utilisé sont connus, la perte de jumper totale peut être calculée.

➤ **Perte de connecteur (L_C) :**

C'est la perte d'énergie électrique en raison des connecteurs qui rendent les antennes liées au sommet de la tour. Une valeur typique de la perte du connecteur est de 1 dB.

➤ **Perte de pénétration bâtiment (L_{BPL}) :**

La perte de pénétration indique l'évanouissement des signaux radio d'un terminal intérieur à une station de base en raison d'une obstruction par un bâtiment.

Dans le bilan de liaison, les valeurs de perte de pénétration dépendent de l'environnement de couverture. Comme indique le tableau

Environnement	Perte de pénétration
Danse urbaine	18 – 15 dB
Urbaine	15 – 18 dB
Suburbaine	10 – 12 dB
Rurale	6 – 8 dB

Tableau 3.7 perte de pénétration

➤ **Perte pénétration voiture (L_{CPL}) :**

Lorsque la MS est située dans une voiture sans antenne externe, une marge supplémentaire doit être ajoutée pour faire face à la perte de pénétration de la voiture. Cette marge supplémentaire est généralement de 9 dB.

➤ **Perte de corps (L_{HBL}) :**

La perte de tête / corps se réfère à l'atténuation du signal radio pendant la transmission et la réception lorsque l'antenne de la station mobile est maintenue à l'oreille de la station mobile (MS). Au niveau du système de communication personnel (PCS) et des fréquences cellulaires, cette atténuation est principalement due à la tête de l'utilisateur, tandis que dans les fréquences plus basses (longueur d'onde grande), tout le corps humain pourrait fausser le rayonnement de l'antenne de la station mobile. Les pertes de la tête / du corps sont la quantité de puissance qui est absorbée par la tête et le corps de l'être humain à partir de la MS.

En règle générale, les valeurs de perte de tête / corps varient de 2 à 5 dB (3dB), 0dB pour la visiophonie ou les services de données. Les valeurs à utiliser dans le bilan de liaison sont généralement fournies par l'opérateur du réseau sans fil en fonction des mesures sur le terrain ou de l'expérience antérieure.

Les cas de liaison montante simulés comprennent les éléments suivants:

- Techniques d'antenne: diversité RX à 2 branches
- Modulations: QPSK, 16-QAM
- Modèles de canal et fréquence Doppler :EPA 5 Hz, EVA 70 Hz, ETU 300Hz

h- Bilan de liaison montante Uplink (MAPL_{UL}) :

Finalement, le bilan de liaison montante est calculé comme suit:

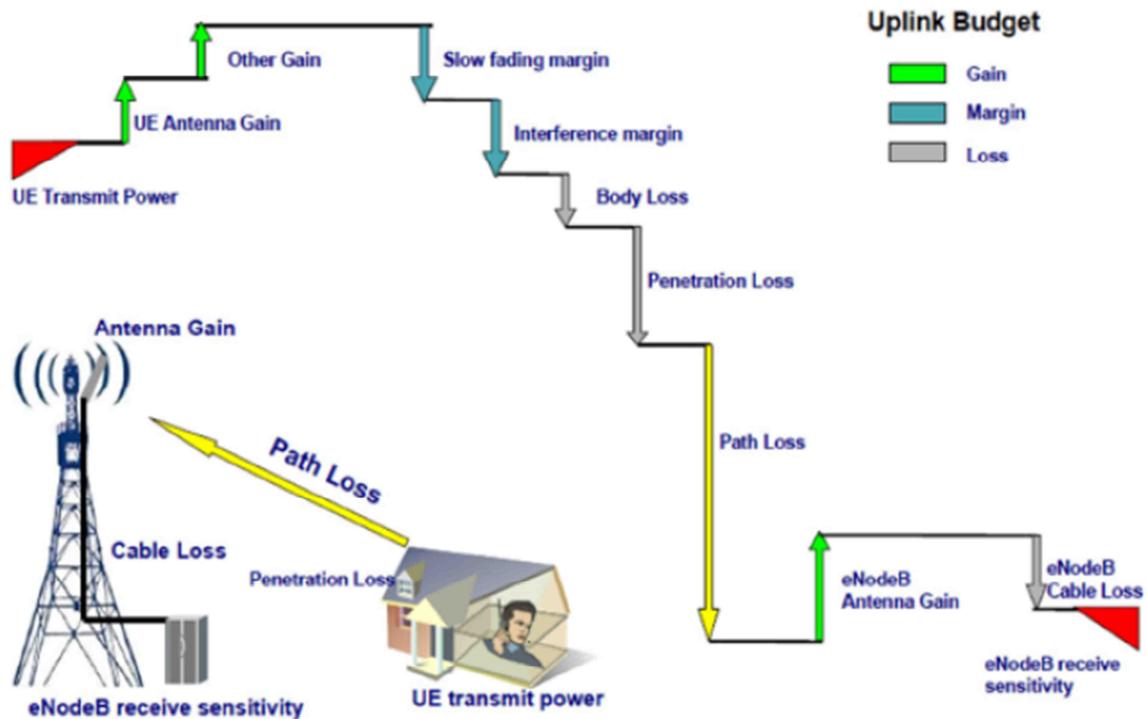


Figure 3.4 modèle bilan de liaison montante

$$\text{MAPL}_{UL} = \text{EIRP}_{UE,PRB} - S_{eNodeB} - \sum \text{pertes} - \sum \text{marges} + \sum \text{gains}$$

$$= \text{EIRP}_{UE,PRB} - S_{eNodeB} - (B_{LNF} + B_{IUL}) - (L_{BPL} + L_{CPL} + L_J + L_C) + (G_{eNodeB} + G_{other})$$

L'équation (3.9) représente la perte de chemin admissible maximale de la liaison montante Uplink [24]

MAPL_{UL} : Est la perte de trajet maximum due à la propagation dans l'air [dB]

B_{LNF} : Est log-normale de la marge d'évanouissement [dB]

B_{IUL} : Est la marge d'interférence de liaison montante [dB]

L_{BPL} : Est la perte de pénétration du bâtiment [dB]

L_{CPL} : Est la perte de pénétration de la voiture [dB]

L_j : Est la perte de jumper [dB]

L_C : Est la perte de connecteur d'alimentation eNodeB [dB]

G_{eNodeB} : Est le gain de l'antenne du récepteur eNodeB [dBi]

G_{other} : est les autres gain [dBi]

3.2.2 Calcul de la couverture de liaison descendante (Downlink) :

Le bilan de liaison descendante est calculé aux objectifs suivants:

- Pour déterminer le lien limitant.
- Pour déterminer le débit binaire pouvant être pris en charge dans la liaison descendante à la limite de la plage de cellules de liaison montante (cell range).

Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes:

- Perte de chemin de liaison montante (path loss Uplink).
- Débit binaire requis.
- Puissance par bloc de ressource.
- marge d'interférence de liaison descendante.
- Bilan de liaison descendante.
- Sensibilité de récepteur UE.
- Débit binaire au bord de la cellule (cell edge).
- bilan de liaison final.

a- Perte de trajet de liaison montante (path loss Uplink) :

($MAPL_{UL}$) obtenu à partir de calcul de bilan de liaison montante, est le point de départ des calculs de liaison descendante et également utiliser pour obtenir une estimation de l'augmentation du bruit de liaison descendante. À la fin de la procédure de calcul du bilan de liaison, si la liaison descendante ($MAPL_{DL}$) est inférieure à la liaison montante ($MAPL_{UL}$), les

bilans des liens de liaison montante et de liaison descendante peuvent être recalculés (y compris l'augmentation du bruit) en utilisant le nouveau MAPL.

b- Débit binaire requis :

Si le débit binaire requis R_{req} n'est pas exprimée par bloc de ressource, il est divisé par n_{RB} pour obtenir R_{req} , comme indiqué dans l'équation (3.2). Comme pour la liaison montante, le débit binaire requis est exprimée par bloc de ressources dans les calculs. Cependant, contrairement à la liaison montante, le planificateur de liaison descendante peut allouer des blocs de ressources sur l'ensemble de la bande passante déployée sans exiger qu'elles soient consécutives. Il peut être montré qu'il est toujours favorable de répartir la transmission entre autant de blocs de ressources que possible. En supposant cela, le nombre de blocs de ressources alloués n_{RB} dans la liaison descendante pour le dimensionnement est défini sur le nombre total de blocs de ressources pour la bande passante déployée.

c- Puissance par bloc de ressource :

La puissance en LTE est partagée par tous les blocs de ressources. On suppose que tous les blocs de ressources reçoivent une quantité égale de puissance. Un bloc de ressources individuel n'a aucun contrôle de puissance. Au lieu de cela, les utilisateurs sont planifiés avec des taux élevés chaque milliseconde.

La puissance par bloc de ressources est:

$$P_{tx,RB} = P_{nom,ref} / n_{RB}$$

L'équation (3.10) représente la puissance par RB [23]

$P_{nom,ref}$: est la somme de la puissance nominale de toutes les unités radio de la cellule au point de référence [W]. Cela signifie que si MIMO est utilisé avec deux unités radio de 20 W chacune, $P_{nom,ref}$ est égal à 40W. La puissance nominale au point de référence peut être réduite par des pertes dans les câbles d'alimentation.

n_{RB} : nombre de bloc ressources.

d- marge d'interférence de liaison descendante (B_{IDL}):

L'augmentation du bruit de liaison descendante B_{IDL} sur le bord de la cellule est nécessaire pour le bilan de liaison et est calculé à l'aide de l'expression suivante (toutes les quantités sont linéaires):

$$B_{IDL} = 1 + [(P_{tx,RB} Q_{DL} F_C) / (N_{RB,DL} L_{sa,max})]$$

L'équation (3.11) représente la marge d'interférence DL [24]

Q_{DL} : est la charge du système de liaison descendante.

F_C : est le rapport moyen entre la puissance reçue d'autres cellules à celle de la cellule propre aux emplacements de bord de la cellule.

$N_{RB,DL}$: est le bruit thermique par bloc de ressource dans la liaison descendante, définir par :

$$N_{RB,DL} = N_t + N_{f,UE} + 10 \log (W_{RB})$$

l'équation (3.12) représente le bruit thermique par bloc ressource [24]

$N_{f,UE}$: Le bruit supposé N_f pour le récepteur d'équipement utilisateur typique (UE) est de 7 dB.

$L_{sa,max}$: est l'atténuation du signal en liaison descendante correspondant à L_{Pmax} .

$L_{sa,max}$ est calculée dans l'échelle logarithmique de la perte de trajet maximale **MAPLul**

L'expression est la suivante :

$$L_{sa,max,DL} = L_{Pmax} + B_{LNF} + L_{BPL} + L_{CPL} + L_j + L_f + L_c + G_{UE}$$

La charge est modélisée avec Q_{DL} . Normalement, un but de conception est de déterminer la charge pour laquelle la couverture requise est disponible.

La qualité du plan cellulaire est modélisée avec le facteur F_C . F_C décrit le rapport de la puissance reçue de toutes les autres cellules à celle reçue de la propre cellule à un endroit près du bord de la cellule.

Le tableau suivant donne des valeurs F à variation électrique variable avec une hauteur d'antenne de 30 mètres et des sites à 3 secteurs. Les valeurs sont basées sur des simulations de système.

Rayon de cellule	5000	2000	1000	500	F _c
Angle d'inclinaison (tilt °)	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
	0.2	0.5	1.0	2.0	2.7
	0.4	1.0	2.0	4.0	2.5
	0.6	1.5	3.0	6.0	2.3
	0.8	2.0	4.0	8.0	2.1
	1.0	2.5	5.0	9.9	1.8
	1.2	3.0	6.0	11.9	1.6
	1.4	3.5	7.0	13.8	1.5
	1.6	4.0	8.0	15.7	1.4

Tableau 3.8 rapport de la puissance reçue des autres cellules

e- Bilan de liaison descendante :

Le bilan de liaison descendante $L_{P_{max,DL}}$ est calculé par l'équation suivante:

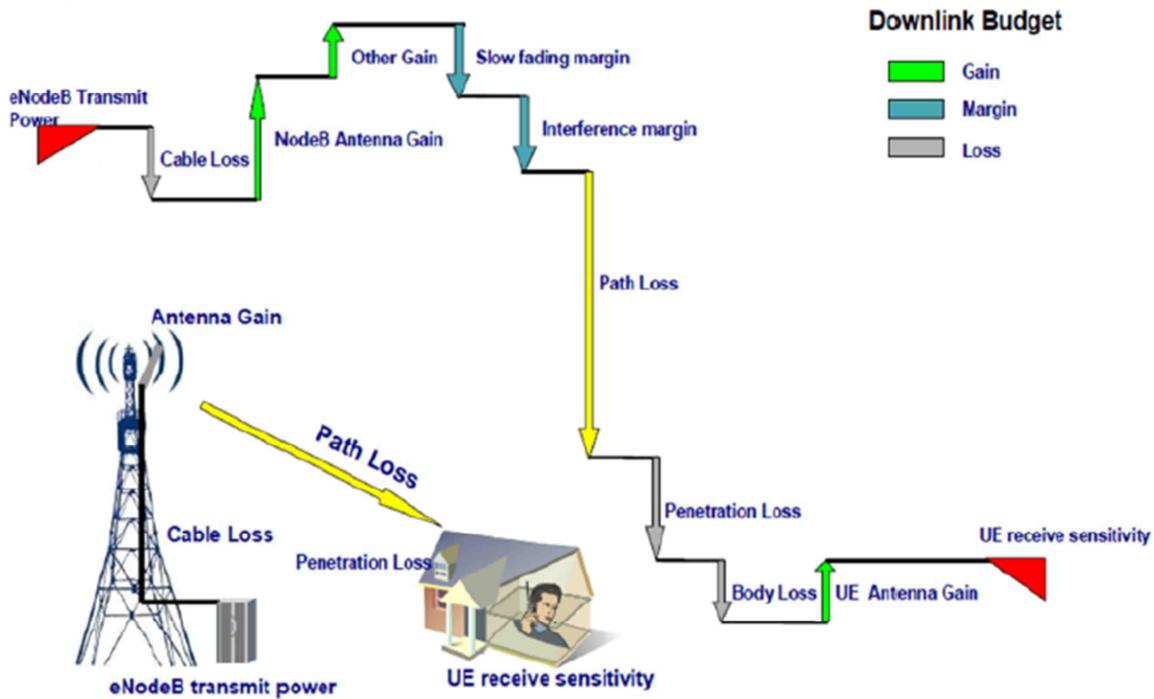


Figure 3.5 modèle bilan de liaison descendante

$$L_{P_{max,DL}} = P_{tx,RB} - S_{UE} - \sum \text{pertes} - \sum \text{marges} - \sum \text{gains}$$

$$L_{P_{max,DL}} = P_{tx,RB} - S_{UE} - (B_{IDL} + B_{LNF}) - (L_{BPL} + L_{CPL}) + (G_{UE} + G_{others}) \text{ [dB]}$$

L'équation (3.12) représente le bilan de liaison descendante [24]

$P_{tx,RB}$: est la puissance de l'émetteur par bloc de ressource au point de référence du système [dBm].

S_{UE} : est la sensibilité de l'équipement utilisateur [dBm]

f- Sensibilité du récepteur de l'équipement utilisateur :

La seule variable inconnue dans l'équation (3.12) est la sensibilité de l'équipement utilisateur, elle est écrite comme suit:

$$S_{UE} = N_t + N_f + 10 \log (W_{RB}) + \gamma = N_{RB,DL} + \gamma \text{ [dB]}$$

L'équation (3.13) représente la sensibilité de l'équipement utilisateur [24]

Calcul du SINR sur le bord de la cellule :

L'équation (3.12) et l'équation (3.13) résolus pour SINR descendant produisent une estimation SINR au bord d'une cellule avec la taille donnée par L_{Pmax} .

Le calcul du SINR sur le bord de la cellule est donné par l'équation suivante:

$$\gamma = P_{tx, RB} - L_{Pmax} - N_{RB, DL} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BPL} - L_{HBL} + G_{UE} + G_{others}$$

L'équation (3.13) représente SINR sur le bord de la cellule [24]

g- Débit binaire au bord de la cellule (cell edge) :

L'estimation de SINR de liaison descendante de bord de cellule est transformée en un débit binaire calculé par bloc de ressources physiques, le calcul de débit est par le même type de relation semi-empirique que pour le SINR requis de liaison montante. Pour la liaison descendante, les constantes semi-empiriques ou les paramètres a_0 , a_1 , a_2 et a_3 sont donnés dans le tableau suivant.

Arrangement d'antenne	SIMO 1x2			Tx div 2x2			OLSM 2x2		
	Epa5	Eva70	Etu300	Epa5	Eva70	Etu300	Epa5	Eva70	Etu300
modèle de canal									
a_0 [Kbps]	808.2	808.4	708.8	777.6	777.2	755.0	1347	1199	989.0
a_1 [dB]	27.0	29.34	27.75	25.92	27.17	27.70	34.03	34.99	31.93
a_2 [dB]	16.03	15.90	15.34	16.01	15.38	15.49	18.37	18.16	16.84
a_3 [Kbps]	-9.3	-3.88	-4.68	-13.8	-5.44	-6.2	-15.8	-8.64	-7.12

Tableau 3.9 les constantes semi-empirique de la liaison descendante

Les cas de liaison descendante simulés incluent ce qui suit:

- Techniques d'antenne: SIMO 1x2, diversité TX 2x2, multiplexage spatial en boucle ouverte (OLSM) 2x2

- Modulations: QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
- Modèles de canal et fréquence Doppler : extended pedestrian model A (EPA) 5 Hz, extended vehicular model A (EVA) 70 Hz, extended terrestrial urban model (ETU) 300 Hz
- Nombre de symboles OFDM utilisés pour les PDCCHs: 1

Les résultats, y compris une marge de mise en œuvre, ont été adaptés à une expression paramétrée semi-empirique comme suit:

$$R_{RB} = \max [0, a_3 + (a_0 - a_3) e^{-\ln(2) [(\gamma - a_1) / a_2]^2}] ; \quad \gamma < a_1$$

$$R_{RB} = a_0 ; \quad \gamma > a_1$$

L'équation (3.14) représente le calcul du débit binaire [23]

a_0 , a_1 , a_2 et a_3 sont des paramètres ajustés et le SINR γ est exprimé en dB.

h- Bilan de liaison final :

Le débit binaire résultant ou calculé est multiplié par le nombre de blocs de ressources physiques (N_{RB}) pour obtenir le débit binaire calculé ($R_{calculé}$) prévu sur le bord de la cellule. Si la liaison montante est vraiment le lien limitant, ($R_{calculé}$) devrait être plus grand que le débit requis (R_{requis}). Si le débit binaire résultant ou calculé ($R_{calculé}$) est inférieur au débit binaire requis (R_{requis}), la liaison descendante est le lien limitant.

Limite du Bilan de liaison montante :

Si le débit binaire résultant ou calculé ($R_{calculé}$) est inférieur au débit binaire requis (R_{requis}), le lien descendant est le lien limitant. Dans ce cas, la vraie plage de cellules maximale doit être déterminée par le retour en arrière des calculs de bilan de liaison descendante.

Les calculs du bilan de liaison descendant sont effectués selon les étapes suivantes:

- (1) R_{RB} requis est transformé en un SINR requis.
- (2) Le SINR requis est utilisé pour dériver la sensibilité (S_{UE}) de l'utilisateur (UE) au bord de la cellule.

(3) La sensibilité S_{UE} de l'équipement utilisateur (UE) est utilisée dans le bilan de liaison,

(4) Une nouvelle atténuation du signal pour la liaison descendante est dérivée avec l'équation suivante:

$$L_{sa,max,DL} = L_{Pmax} + B_{LNF} + L_{BPL} + L_{CPL} + L_j + L_f + L_c + G_{UE}$$

(5) La nouvelle atténuation du signal de liaison descendante $L_{sa,max,DL}$ est appliquée pour obtenir un nouveau B_{IDL}

(6) L'équation dans le ci-dessus est itérée jusqu'à ce que $L_{sa,max,DL}$ et B_{IDL} soient constants.

(7) Le nouveau $L_{sa,max,DL}$ converti en $MAPL_{DL}$ est maintenant utilisé pour calculer la vraie gamme de cellules.

$L_{Pmax,DL}$ est utilisé comme mesure de la taille de la cellule. Il est converti en distance géographique par un modèle approprié de propagation des ondes.

Un système limité de liaison descendante signifie que la qualité de liaison montante dépasse l'exigence. Si le débit binaire sur le bord de la cellule pour la liaison montante est nécessaire, les calculs du budget de liaison montante doivent également être retravaillés:

- $L_{sa,max,DL}$ de la liaison descendante est appliquée pour obtenir le nouveau lien descendant $L_{Pmax,DL}$ et une nouvelle augmentation de bruit de liaison montante (B_{IUL}) est approximée avec l'expression suivante:

$$B_{IDL} = 1 + [(P_{tx,RB} Q_{DL} F_C) / (n_{RB} N_{RB,DL} H_{L_{sa,max}})]$$

L'équation (3.15) représente l'augmentation de bruit. [23]

H : est le facteur d'atténuation moyen, dépend de la géométrie du site, du modèle d'antenne, de l'exposant de propagation de l'onde et de la hauteur de l'antenne eNodeB. H est le facteur moyen moyen de perte de trajet utilisé en couverture et la dimension de dimension de capacité de 0,36 est recommandé pour le dimensionnement.

Modèle de propagation :

Le modèle de propagation est un modèle utilisé pour déterminer la portée maximale du système de communication qui offre une qualité acceptable à condition que la perte de chemin admissible ou acceptée (MAPL) soit déterminée aussi précisément que possible via le bilan de liaison. Dans le modèle de propagation du système de téléphonie cellulaire mobile, on calcule la distance maximale entre la station mobile (MS) et l'eNodeB.

Les modèles de propagation peuvent être grossièrement divisés en trois types:

- **Modèles empiriques** : Les modèles empiriques sont habituellement des équations, les paramètres du modèle sont divisés à partir des données étendues sur les mesures de terrain. Ils sont exacts pour les environnements ayant les mêmes caractéristiques que ceux où les mesures ont été effectuées.
- **Modèles théoriques** : Les exemples de modèles théoriques sont le modèle de Walfisch et Bertoni, le modèle d'Ikegami et le modèle d'espace libre.
- **Modèles semi-empiriques** : Les paramètres des modèles théoriques sont empiriquement adaptés aux données de mesure. Les exemples de modèles semi-inspiratoires sont le modèle COST 231-Walfisch Ikegami et le modèle COST 231 Okumura Hata.

Modèle Okumura :

En 1968, le modèle Okumura est empirique développé par Yoshihisa Okumura sur la base d'une vaste série de mesures de la force sur le terrain fait dans et autour de la ville de Tokyo par Y. Okumara dans les services de radio mobile VHF et terrestres UHF à plusieurs fréquences en 100 MHz et 3 MHz. Le modèle Okumura est appliqué pour la prédiction de la perte de chemin admissible maximale sur les zones de macro-cellules, construites. Il est également appliqué avec succès dans un autre environnement urbain (à l'extérieur du Japon) prenant en compte le facteur d'urbanisation, la correction du type de terrain. Le modèle d'Okumara était limité de 1 km à 100 km de distance.

Modèle Okumura-Hata :

En 1980, le modèle Hata est une formule empirique dérivée des résultats d'Okumara. Les résultats des graphiques de mesure ont été ajustés à un modèle mathématique par M.Hata. Le modèle Okumara -Hata est appliqué pour la prédiction de la perte de chemin maximale admissible sur les zones macro-cellulaires, mais les équations étaient limitées de 1 km à 20 km de distance. Les fréquences varient de 150 à 1500 MHz. La hauteur de l'antenne de la station mobile doit être comprise entre 1m et 10 mètres. La hauteur de l'antenne eNodeB est comprise entre 30 et 200 mètres. le modèle Okumura-Hata est facilement calculable.

Modèle COST 231 Okumura-hata :

Le modèle de propagation COST 231 Okumura-Hata était et est largement utilisé pour le calcul de la couverture dans la planification du réseau micro-cellulaire.

En 1999, il a été trouvé par la communauté européenne collaborative étudiée dans les domaines de la science et de la technologie (COST) que le modèle d'Okumura-Hata sous-estime la perte de chemin. Le modèle Okumura-Hata pour les villes moyennes et petites, c'est-à-dire la zone urbaine a été étendu et modifié pour corriger la situation et couvrir la bande de fréquences de 1500 à 2000 MHz dans le projet COST 231. Ainsi, le modèle COST 231 Okumura-Hata est considéré comme un modèle semi-empirique après ajustement pour couvrir la bande de fréquences des systèmes cellulaires 4G pour les applications de système de communication personnelle urbaine (PCS). Le modèle comprend l'information sur le terrain de manière qualitative en divisant la zone de prédiction en une série de catégories de fouilles et de terrains, à savoir urbain dense, suburbain et rural, ouvert, quasi ouvert ... etc.

Pour les paramètres, il n'y a que certaines gammes dans lesquelles le modèle est valide; h_b devrait être compris entre 30 m à 200 m, h_m devrait être entre 1 m à 10 m, d devrait être compris entre 1 km et 20 km.

Pour notre étude nous allons choisir le modèle de propagation empirique, 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.

Le COST 231 okumura-Hata Modèle est le modèle de propagation utilisé par **ooredoo**.

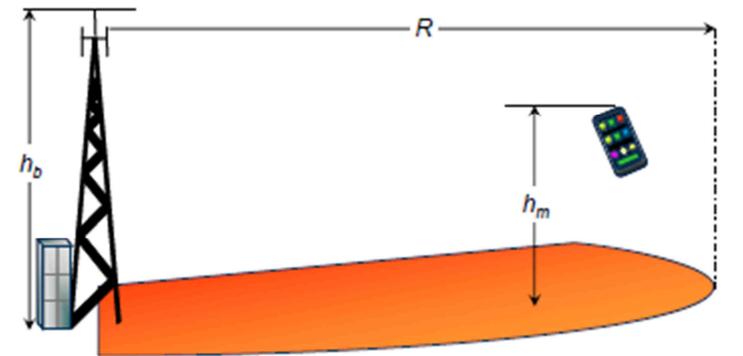


Figure 3.6 Modèle COST 231 Okumura-Hata (variante Ericsson).

Rayon de cellule :

La perte de trajet maximum autorisé est utilisée pour calculer le rayon de la cellule en utilisant un modèle de propagation.

L'équation pour calculer le rayon de la cellule R en kilomètres est la suivante:

$$R = 10^\alpha$$

Equation (3.16) représente le rayon de cellule [24]

Ou :

$$\alpha = [\text{MAPL} - A + 13.82 \log h_b + a(h_m)] / [44.9 - 6.55 \log h_b]$$

A : Est la valeur d'atténuation fixe dépendante de la fréquence.

h_b : est la station de base ou la hauteur de l'antenne eNodeB [m].

h_m : est la hauteur de l'antenne de l'équipement utilisateur (UE) [m].

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log f - 0.8)$$

Equation (3.17) représente une fonction d'antenne d'équipement utilisateur dans RU, RU et SU. [24]

$a(h_m)$: est le facteur de correction de hauteur de l'antenne de la station mobile comme décrit dans le modèle Hata pour les zones urbaines.

$$\text{MAPL} = A - 13.8 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log R$$

Equation (3.18) représente perte de trajet maximal en fonction du rayon de cellule

[24]

Le tableau suivant montre l'atténuation valeurs A qui sont utilisés, donné par Ericsson

environnement	Fréquence [Mhz]							
	700	850	900	1700	1800	1900	2100	2600
Urbain	144.3	146.2	146.8	153.2	153.8	154.3	155.1	157.5
Suburbain	133.5	136.1	136.9	145.4	146.2	146.9	147.9	151.1
Rurale	125.1	127.0	127.5	133.6	134.1	134.6	135.3	137.6
Ouvert	116.1	117.8	118.3	123.8	124.3	124.8	125.4	127.5

Tableau 3-10 atténuation fixe A dans la variante Ericsson COST 231 modèle de propagation Okumura-Hata.

Nombre de site :

Le nombre de sites à déployer peut être facilement calculé à partir de la zone de la cellule et de la valeur d'entrée de la zone de déploiement Z_d (zone de déploiement).

Deux types différents de sites (omnidirectionnel, tri-sectoriel).

- Pour deux modèles de cellules hexagonales, les zones du site peuvent être calculées comme suit :

- Site omnidirectionnel :

$$d = \sqrt{3} * R \text{ [Km]}$$

$$S = [3\sqrt{3} R^2] / 2 = 2.6 * R^2$$

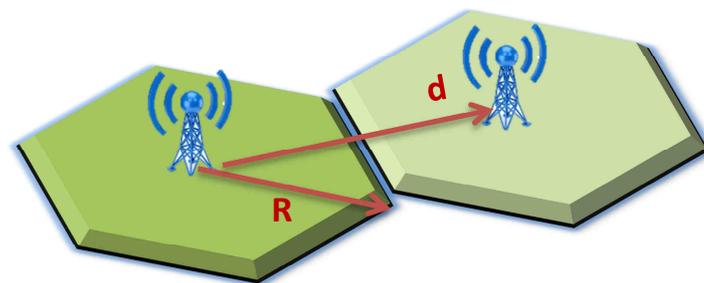


Figure 3.7: Modèle hexagonales de cellule omnidirectionnel

- Site tri-sectoriel :

$$d = 3/2 * R \text{ [Km]}$$

$$S = [9\sqrt{3} R^2] / 8 = 1.95 * 2.6 * R^2$$

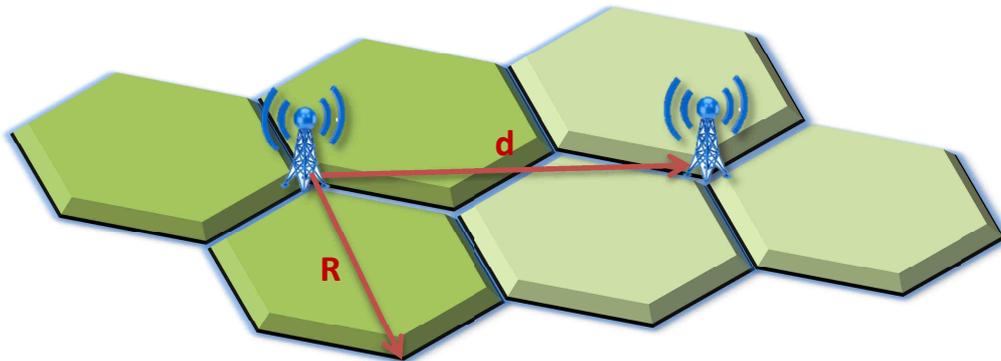


Figure 3.8 : Modèle hexagonales de cellule tri-sectoriel

Et par suite le calcul de nombre des sites devient très simple c'est le quotient entre la surface de la zone et la surface du site :

Nombre des sites = Zone de déploiement / Zone du site

$$N_s = S_z / S_s$$

Equation (3.19) représente le nombre des sites [24]

S_z : c'est la surface totale de la zone, dépend du type de la zone comme montre le tableau 3.14 suivant, dans notre application la surface de la zone est un paramètre « input » pour garantir un résultat exacte :

Type de zone	Surface de la zone (km ²)
Urbain dense	50
Urbain	400
Suburbaine	200
Rurale	350

Tableau 3.11 La surface dépend du type de la zone

3.3 Calcul de la capacité

Le dimensionnement de la capacité obtient l'information d'entrée aux phases après le dimensionnement de l'interface radio: dimensionnement de la liaison de transmission et dimensionnement eNodeB. La méthode est spécifiée pour une certaine charge de fond, appelée charge du système. La méthode de dimensionnement trouve la capacité maximale que la cellule cible peut supporter momentanément, compte tenu de la charge du système dans les cellules environnantes. Il est improbable que toutes les cellules d'un système soient complètement chargées en même temps que celles observées dans les réseaux réels de différentes technologies.

3.3.1 Capacité de liaison montante :

Les calculs de capacité de liaison montante suivants sont effectués:

- SINR.
- Débit cellulaire.

a. Rapport signal-interférence et bruit SINR :

Le mode de fonctionnement avec contrôle de puissance assume un contrôle de puissance parfait et une dynamique de puissance infinie. L'équipement utilisateur est reçu au SINR identique à γ_{cible} Tel que obtenu à partir de l'équation (3.3). Le débit par bloc de ressource $R_{\text{RB, UL}}$ est identique au débit correspondant au SINR et au nombre de blocs de ressources alloués n_{RB} .

En faisant varier la charge Q_{UL} Dans l'équation (3.6), le débit moyen des utilisateurs, voir l'équation (3.16), ne change pas. Cependant, le débit cellulaire et la plage de cellules vont changer, voir l'équation (3.17). Il peut être utile de considérer des critères de dimensionnement supplémentaires pour la liaison montante, par exemple, l'absorption du trafic par unité de surface.

b. Débit cellulaire :

Le SINR moyen donne un taux de bits tel que décrit à la section 6 à la page 37. Le résultat est le taux de bits par bloc de ressource $R_{RB,UL}$.

Le taux de bits moyen de l'utilisateur $R_{moy,UL}$ est mis à l'échelle proportionnellement avec le nombre de blocs de ressource n_{RB} correspondant à la bande passante déployée, voir le Tableau (3.1).

Dans la liaison montante, un ou plusieurs blocs de ressources sont toujours attribués à chaque bord de bande pour signaler aux utilisateurs en mode veille (idle) sur le canal de commande de liaison physique (PUCCH) du canal. Pour cette raison, le nombre de blocs de ressources en liaison montante disponibles pour calculer la capacité est toujours réduit d'un nombre n_{PUCCH} . Une valeur n_{PUCCH} de 4 est recommandée pour le dimensionnement.

De manière similaire, les blocs de ressources attribués au canal d'accès aléatoire physique (PRACH), n_{PRACH} , réduisent le nombre de blocs de ressources disponibles en liaison montante. La valeur de n_{PRACH} est de 0,6.

Le débit binaire moyen par cellule résultant est:

$$R_{moy,UL} = R_{RB,UL} (n_{RB} - n_{PUCCH} - n_{PRACH})$$

Equation (3.20) représente le débit binaire moyen par cellule [23]

Le débit cellulaire est indiqué dans l'équation suivante:

$$T_{cell,UL} = Q_{UL} R_{moy,UL}$$

Equation (3.21) représente le débit cellulaire [23]

3.2.2 Capacité de liaison descendante :

Les calculs de capacité de liaison descendante suivants sont effectués:

- SINR.
- Débit cellulaire.

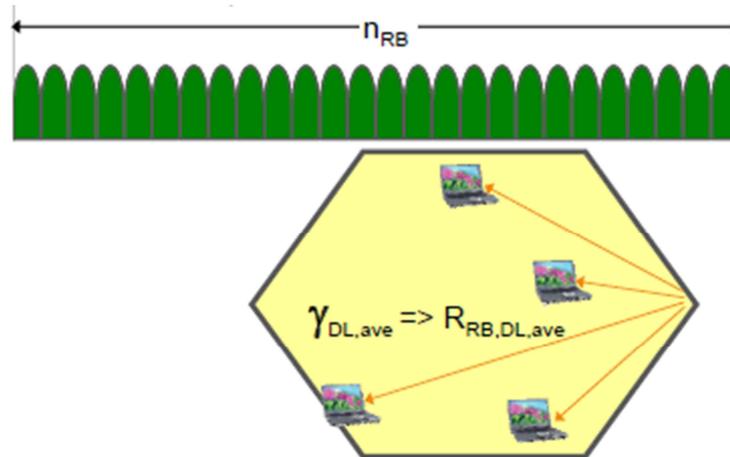


Figure (3.9) capacité de liaison descendante.

a. Rapport signal-interférence et bruit SINR :

La capacité de liaison descendante est basée sur le SINR à l'emplacement moyen dans une cellule, désignée $\gamma_{DL,moy}$ comme un rapport linéaire. Le SINR moyen est exprimé dans l'augmentation moyenne du bruit. Ceci est similaire à la marge d'interférence, mais le SINR est évalué à un emplacement moyen au lieu du bord de la cellule (voir l'équation 3.11):

$$B_{IDL} = 1 + [(P_{tx, RB} Q_{DL} F_C) / (N_{RB, DL} L_{sa, max})]$$

Equation (3.22) représente l'augmentation moyenne du bruit. [24]

Le SINR moyen résultant, $\gamma_{DL, moy}$ est représenté dans l'équation suivante:

$$\gamma_{DL, moy} = P_{t, RB} / (B_{IDL} N_{RB, DL} H L_{sa, max})$$

Equation (3.23) représente SINR moyen [24]

Dans l'équation, H est le facteur d'atténuation moyen. C'est le rapport entre l'atténuation du signal (linéaire) moyenne dans la cellule et l'atténuation du signal (linéaire) à la distance de la gamme de la cellule de l'antenne. H dépend de la géométrie du site, du modèle d'antenne, de l'exposant de propagation des ondes et de la hauteur de l'antenne de la station de base. Une valeur de 0.36 est recommandée pour le dimensionnement.

b. Débit cellulaire :

Le SINR moyen (converti en valeur logarithmique) produit un débit de bits moyen au moyen de l'équation (3.3) et est le débit par bloc de ressource, $R_{RB,DL}$. Le taux de bits moyen de l'utilisateur par cellule est dimensionné proportionnellement au nombre de blocs de ressources n_{RB} , Voir le tableau (3.1):

$$R_{moy,DL} = n_{RB} R_{RB,DL}$$

Equation (3.24) représente Taux de bits moyen de l'utilisateur par cellule downlink[23]

Le débit cellulaire est indiqué dans l'équation suivante:

$$T_{cell,DL} = Q_{DL} n_{RB} R_{RB,DL}$$

Equation (3.25) représente le débit cellulaire downlink [24]

3.3 Conclusion :

Nous avons consacré ce chapitre pour aborder le principe de dimensionnement de l'eNodeB qui fait intervenir deux composantes : couverture et capacité. Toutes ces notions seront adoptées par la suite pour la conception et le développement de notre outil, qui est le contexte du chapitre suivant.

Chapitre 4 : Conception et Réalisation d'un Outil de

Dimensionnement du Réseau LTE

4.1 Introduction :

Le processus de dimensionnement radio étant complexe, il nécessite et fait appel à un outil permettant de faciliter la tâche aux planificateurs. À l'issue des deux derniers chapitres, on entame la phase de conception, réalisation et validation de l'outil. Après la description de l'architecture du système, on va présenter la phase de développement de l'outil en expliquant le processus de la mise en œuvre technique de la solution, LTE DIMENSIONING Tool.

4.2 Fonctionnalités de l'outil :

Les besoins de ce travail viennent de la nécessité de pallier les insuffisances des couvertures pour le système LTE. Cela nécessite une bonne conception pour dimensionner les zones et de bien partager les capacités pour gérer les besoins des abonnés. Ces fonctionnalités nécessitent généralement la présence de l'état actuel d'un équipement donné comme un ENodeB. Pour satisfaire ses besoins, notre outil doit prendre en charge plusieurs fonctionnalités qui visent essentiellement à assurer à l'administrateur de dimensionner des ENodeB selon la couverture et la capacité. Après l'étude et l'analyse des méthodes déjà vue en 2ème chapitre, on conclut que les fonctionnalités de l'outil sont :

- Dimensionnement orientée couverture pour eNodeB : établir le bilan de liaison radio, calculer l'affaiblissement de trajet maximum pour déduire le rayon de la cellule, et par suite les nombre des eNodeB, et la distance intersites.
- Dimensionnement orientée capacité pour eNodeB : établir le modèle de trafic, calculer la capacité de la cellule, estimer le débit binaire du site et enfin déduire les nombre des eNodeB.

L'application doit offrir un GUI (Graphical User Interface) bien structuré, pour simplifier le maximum possible la saisie des données relatives à la phase de dimensionnement, ensuite, les équations établis dans le chapitre 3, sont intervenus pour le calcul de dimensionnement et l'affichage des résultats nécessaires. Pour les sections qui suivent, on va expliquer le choix de l'outil.

4.3 Choix du langage de conception et développement VBA :

La phase de conception établit un pont entre les spécifications requises par le fabricant et les moyens de l'ingénieur tels que le langage de programmation et les algorithmes de calcul, et les différentes équations à utiliser.

L'outil que nous avons élaboré, est appelé **LTE DIMENSIONING Tool**, dans sa version V 1.0 jusqu'au jour de la rédaction de ce rapport.

Le choix du langage de développement est une tâche critique, qui doit être faite judicieusement, tout en tenant compte de l'ensemble des contraintes et des objectifs existants. **VBA (Visual basic for Application)** utilisé dans le **Microsoft Excel** qui est un langage de programmation évolué, structuré et orienté en objet.



L'avantage du VBA est que l'on peut piloter d'autres logiciels possédant le VBA toujours à partir d'Excel à condition de savoir comment se nomme les objets de cette autre application pour pouvoir les manipuler.

Le VBA est un langage relativement simple permettant de manipuler des feuilles, des cellules ou autres, i.e. des éléments d'Excel que tout utilisateur de ce logiciel connaît. L'apprentissage de ce langage est donc bien plus ludique que tout autre langage de programmation.

4.4 Description de l'outil

Notre outil LTE Dimensionning Tool dans sa version V1.0 assure les fonctionnalités suivantes :

- L'outil est conçu pour effectuer des estimations à la fois de la couverture et de la capacité. Il effectue les calculs nécessaires, en fournissant le nombre de sites en se basant sur des entrées de l'utilisateur.
- L'outil est essentiellement censé être simple, son utilisation ne nécessite pas de formation. Les entrées et les sorties sont placées sur des onglets distincts afin de faciliter à l'utilisateur la tâche.
- L'outil permet d'optimiser le nombre des sites selon les résultats obtenus par le dimensionnement de capacité et de couverture.

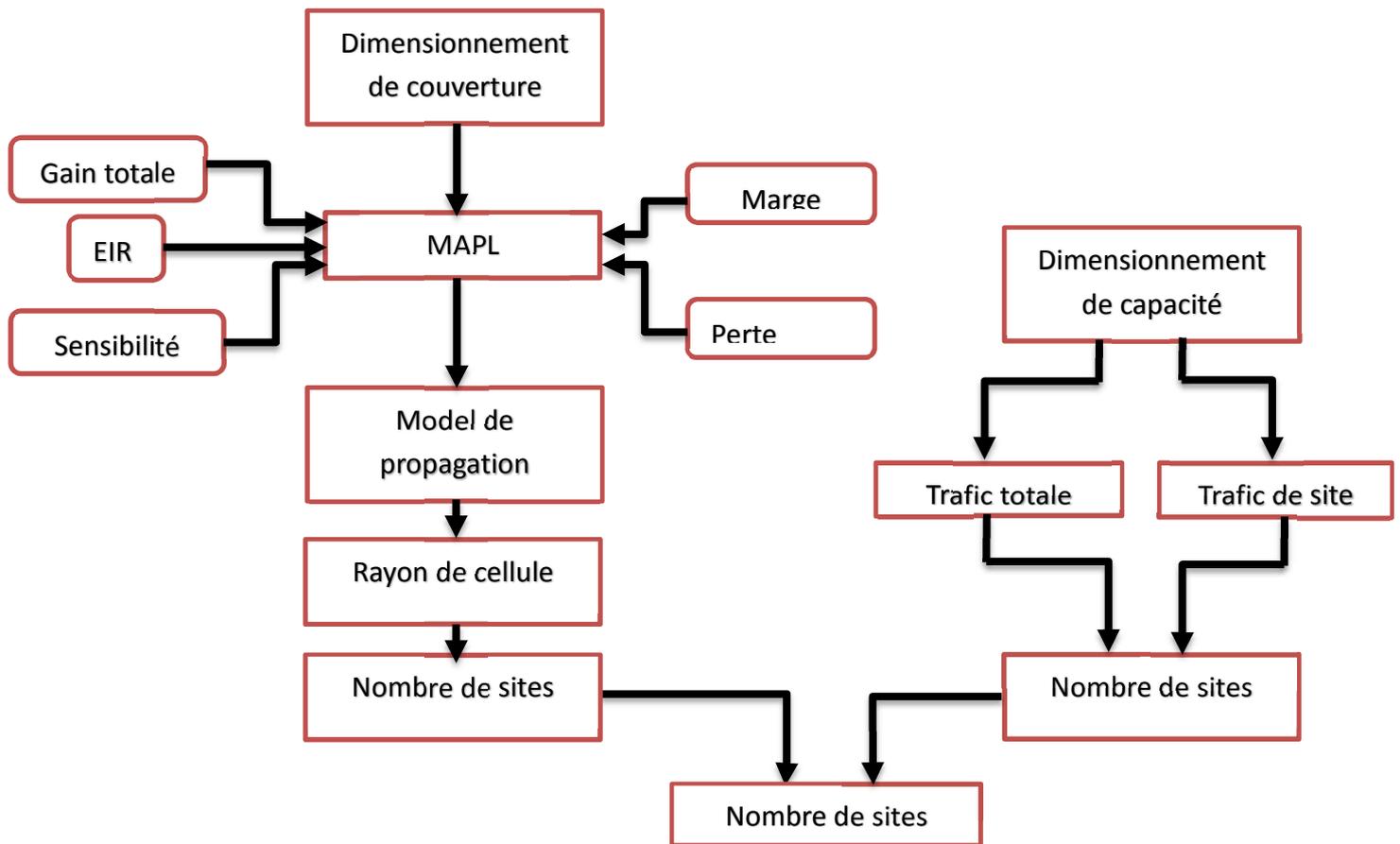


Figure 4.1 schéma synoptique simplifier de l'application

- Schéma synoptique simplifier de l'application qui donne les différentes phases de dimensionnement arrivant jusqu'au le nombre de sites final.

4.4.1 Interface d'authentification

La page d'accueil de notre application est une page d'authentification qui sert à authentifier les utilisateurs de l'application par un identifiant et un mot de passe pour accéder à l'interface principale, par exemple Si l'identifiant est non valide un message de demande s'affiche comme le montre la figure suivante, ou bien d'autres messages pour d'autres cas comme, 'Entrez le nom d'utilisateur et le mot de passe ' si le champ et vide ..etc.

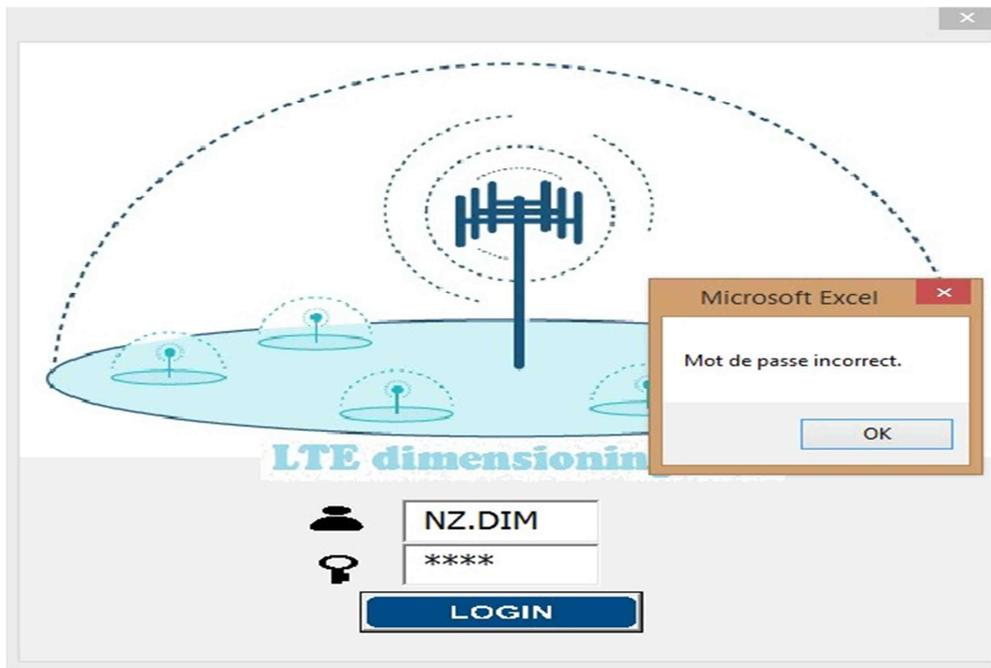


Figure 4.2 : Interface « authentication »

Dans ce qui suit nous allons illustrer les étapes de dimensionnement en utilisant notre outil et en expliquant par des exemples les différentes étapes à suivre. Pour plus de détails sur le calcul voir le chapitre 3.

4.4.2 Interface « EIRP » :

Afin de simplifier les calculs, l'outil prend le calcul de **MAPL** dans la voie montante, qui est typiquement le facteur limitant,

A ce niveau, on doit entrer les paramètres de Tx (UE) citant :

- Classe de puissance d'UE.
- Puissance d'antenne (puissance typiquement de l'antenne est 23 dBm).
- Gain d'antenne.
- Bande passante.
- Type d'antenne.
- Type d'application.

Ensuite on obtient les paramètres de sortie :

- Nombre de bloc ressource.
- Gain totale.
- Les pertes.

Finalement le résultat de calcul le EIRP.

The screenshot shows a software interface titled "EIRP". It is divided into two main panels. The left panel, labeled "Input", contains several configuration options: "Classe de puissance d'UE" is set to "Class 3"; "Puissance d'antenne Tx" is set to "23 dBm"; "Gain d'antenne" is set to "0 dBm"; "Bande passante" is set to "10 Mhz"; "type d'antenne" is set to "1Tx-2Rx"; and "type d'application" is set to "Téléphone portable". The right panel, labeled "paramètres", contains: "n(PRB)" set to "50"; "Gain T" set to "0"; and "pertes" set to "3". Below these panels, there is an "EIRP" field showing a calculated value of "20 dBm". At the bottom left is a "Valider" button with a green checkmark icon, and at the bottom right is a "SUIVANT" button with a right-pointing arrow icon.

Figure 4.3 : Interface « EIRP »

-Dans ce cas d'exemple la puissance d'émission de l'antenne est réglée sur 23 dBm pour l'UE (Classe 3) et aucun gain d'antenne est l'UE .

-La bande passante du système est configurée à 10 MHz, donc la bande passante de 10 MHz est en fait le canal total disponible pour chaque liaison (DL et UL), et comme nous disposons d'un système FDD, l'exigence de la bande de fréquence totale sera $UL + DL = 10\text{MHz} + 10\text{MHz} = 20\text{MHz}$.

-La perte corporelle dans l'exemple est considérée comme étant de 3 dB (et 0 en cas d'utilisation des cartes de données uniquement).

- Le nombre des blocs de ressources est 50 pour une bande de 10 Mhz (voir chapitre 2).

-Et finalement on clic sur le bouton « valider » pour obtenir la valeur de EIRP comme montre la (figure 4.2).

4.4.3 Interface « sensibilité d'eNodeB »:

Les paramètres d'entrés sont :

- Bruit thermique
- Facteur de bruit
- Bande passante par bloc de ressource

Et pour calculer le SINR, on doit introduire :

- Les paramètres semi-empiriques a_0 , a_1 , a_2 , a_3 en choisissant le modèle de canal
- Débit binaire R

A la fin on obtient le résultat de calcul de la sensibilité

The screenshot shows a software interface titled "Sensibilité". It is divided into several sections:

- Input:** Contains three input fields: "Bruit thermique Nt" with value -174 dBm/Hz, "Facteur de bruit NF" with value 2 dB, and "W(PRB)" with value 52.552725 dB.
- Calcul de SINR:** Includes a dropdown menu for "semi-Empirica Parametres UL" set to "etu300", a refresh icon, and four input fields for parameters: "a0" (376.2 kbps), "a1" (20.15 dB), "a2" (12.41 kbps), and "a3" (0 dB). There is also an input field for "R(PRB)" with value 300 kbps.
- Paramètres:** Shows the calculated "SINR" as 16.097671 dB and "Sensibilité (eNB par PRB)" as -103.3496034 dB.
- Buttons:** At the bottom, there are three buttons: "Valider" (with a green checkmark icon), "RETOUR" (with a left arrow icon), and "SUIVANT" (with a right arrow icon).

Figure 4.4 : Interface « sensibilité d'eNodeB »

-L'outil affiche automatiquement les valeurs de N_t , $W(\text{PRB})$ et NF

- La sélection du modèle de canal affectera les valeurs cibles SINR. C'est la raison pour laquelle le modèle de canal choisi devrait être le plus pertinent. Après le choix de modèle il faut cliquer sur l'icône à côté afin d'obtenir les valeurs semi-empiriques.

- Les exigences de débit en bord de la cellule sont normalement les exigences de l'opérateur, dans l'exemple, on a pris 300 kbps en UL.

4.4.4 Interface « la marge totale » :

Cette interface est destinée pour choisir le paramétrage du système, tels que :

- Type d'environnement
- Probabilité de couverture au bord de la cellule
- La charge de cellule

Les paramètres obtenus sont :

- Marge d'évanouissement
- Marge d'interférence
- La marge totale.

Figure 4.5 Interface « les marges »

L'entrée requise pour le calcul de la marge d'interférence est la charge des cellules voisines. Le réglage de la valeur autour de 50% devrait être assez fiable et sûr pour une nouvelle couche réseau. La charge de la cellule voisine est techniquement traduite en marge d'interférence. Outil fait une recherche dynamique de la valeur à partir d'une simulation.

4.4.5 Interface « Pertes et gains» :

Les paramètres de cette interface, comme indique la figure ci-dessous, décrit la perte d'alimentation pour enfin déduire les pertes totales : donc on doit saisir les paramètres suivants :

- Type d'environnement (urbain dense, urbain, suburbain, rural) de cela on obtient la valeur de la perte de pénétration moyenne.
- Spécification d'alimentation qui nous donne la valeur de la perte d'alimentation
- Type de cellule (mono-sectoriel, 3-sectoriel ...)
- Type de bande (high band, medium band, low band)
- Autre gain d'antenne (c'est le gain due au MIMO)

The screenshot shows a software interface titled "Pertes et gains" with a red close button in the top right corner. The interface is divided into several sections:

- Input Section:**
 - Type d'environnement: Urban (dropdown menu)
 - Perte de pénétration moyenne: 17 dB (text input)
 - Spécification d'alimentation: Feederless solu (dropdown menu)
 - Perte d'alimentation: 0.4 dB (text input)
- Cellular and Band Section:**
 - Type de cellule: 3-sector (dropdown menu)
 - Type de bande: High band (dropdown menu)
 - Gain d'antenne: 19.5 dB (text input)
 - Autre gain d'antenne: 6.0205 dB (text input)
- Output Section:**
 - Pertes: 17.4 dB (text input)
 - Gains: 25.520 dB (text input)

At the bottom, there are three buttons: "Valider" (with a green checkmark icon), "RETOUR" (with a left arrow icon), and "SUIVANT" (with a right arrow icon).

Figure 4.6 : «Pertes et gains»

- En choisissant type de cellule, et le type de bande (Low band « entre 730 et 900 MHz », Mid band « entre 1.5 et 2.3 GHz » et High band « entre 2.5 et 2.6 GHz ») afin d'obtenir le gain d'antenne.

- Autre gain d'antenne c'est le gain due au MIMO, il est calculé automatiquement à partir du choix de type d'antenne qu'on a vu dans l'interface EIRP.

4.4.6 Interface « MAPL » :

L'interface de MAPL regroupe le résultat de dimensionnement. Il est destiné à afficher:

- EIRP
- Sensibilité
- Les marges totales
- Les pertes totales
- Les gains totaux

Finalement nous avons trouvés le paramètre de sortie suivant :

- MAPL (affaiblissement maximal de trajet)

The screenshot shows a software window titled "MAPL" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The interface is divided into two main sections: "Input" and "Output".

Input section:

- EIRP: 20 dBm
- Sensibilité: -103.349603439 dBm
- Marge totale: 18.23999128505 dB
- Perte totale: 17.4 dB
- Gain totale: 25.52059991327 dB

Output section:

- MAPL: 113.2302120676 dB

At the bottom of the window, there are three buttons: "Valider" (with a green checkmark icon), "RETOUR" (with a left arrow icon), and "SUIVANT" (with a right arrow icon). A help icon (question mark) is located in the top right corner of the window's content area.

Figure 4.7 Interface « MAPL »

-Les valeurs du paramètre précédant, déjà calculé s'affichera automatiquement par l'outil.

4.4.7 Interface « nombre de site » :

C'est l'interface dédiée pour calculer le nombre de site en se basant sur le bilan de liaison, Les paramètres d'entrées :

- MAPL
- Hauteur d'eNodeB
- Hauteur d'UE
- Atténuation
- Le facteur de correction de hauteur de l'antenne de la station mobile
- Bande de fréquence (on a pris en considération en LTE la bande 1800 Mhz)
- Type de site
- Surface de la zone (tout dépend de l'environnement de la zone)

Les résultats qu'on a trouvé après avoir introduit les paramètres précédents :

- Le rayon de cellule
- Surface de site
- Distance intersites

Finalement on estime le nombre de site dans la zone souhaitée.

Input	
MAPL	113.2302120676 dB
Hauteur d'eNB	30 m
Hauteur d'UE	1.5 m
A (atténuation)	162.0675964962
a(hm)	2.599191054519
bande de frq	1800 MHz
Type de site	3-sector antenna_BW<
Surface de la zone	40 km2

Paramètres	
Rayon de cellule	155987364738136 km
Surface de site	0.474475130179 km2
Distance intersite	0.364980869369 km

Nombre de site	
Nombre de site	85

Figure 4.8 : Interface « Nombre de sites »

Ce qui concerne la hauteur d'antenne, on prendra une valeur typique de 30m. En effet, on ne peut pas forcément atteindre une hauteur plus haute pour la plupart du temps, à

cause de certaines contraintes, car cela réduira le rayon de cellule correspondant. La hauteur d'antenne de l'Ue sera de 1,50m ce qui correspond à la hauteur où un utilisateur tient son téléphone pour naviguer sur internet.

Le modèle de propagation utilisé par l'outil est le COST231-Hata, si pour ça que les valeurs A et a(hm), s'affichent automatiquement

4.4.8 Interface « dimensionnement capacité » :

Jusqu'à présent nous avons étudié que l'aspect couverture, on passe maintenant à l'interface qui nous permette de faire le calcul de dimensionnement par capacité. Et pour trouver le débit moyen de site on doit introduire les paramètres

The screenshot shows the 'Dim capacité' interface with the following parameters:

Parameter	Value	Unit
Lsa	060203352663	dB
N(PR,DL)	-114.4472749	dB
Ptx,eNB,PRB	6.010299956	dB
F	0.7	
H	0.36	
BIDL	0.999875013365	dB
SINR avr	-9.92081410679	dB
nRB,DL	50	
Arrang d'antenne	Tx div 2*2	
semi-Empirica Parametres	etu300	
a0	755	kbps
a1	27.7	dB
a2	15.49	kbps
a3	-6.2	dB
n(PDCCH)	3	
R(avr,DL)	3606.960359	kbps
T(cell,DL)	2777.359476	kbps
T(site,DL)	8.332078429	Mbps

Buttons: Valider, RETOUR, SUIVANT.

Figure 4.9 Interface « dimensionnement capacité »

suivants :

Les valeurs 'Lsa', 'N(PR,DL)', 'H', et 'Ptx,eNB,PRB' s'afficheront automatiquement par l'outil en se basant sur les valeurs des étapes précédentes, ce qui concerne la puissance d'eNB l'outil prendra à une valeur typique de 43 dBm.

4.4.9 Interface « nombre de sites final » :

C'est la dernière interface de calcul elle contient deux parties, dans la première on fait entrer les paramètres des abonnés et de trafic afin d'estimer le nombre de site par capacité, deuxièmement l'outil nous donne le nombre de sites finals.

On doit ajouter les paramètres suivants :

- Nombre de population
- Taux de pénétration
- Répartition géographique des abonnés
- Le trafic par abonné

Ensuite on trouve les paramètres restants :

- Nombre d'abonnés
- Trafic total
- Débit de site
- Nombre de sites
- Nombre de sites finals

Section	Paramètre	Valeur	Unité
Input	Nbr de population	200000	
	Taux de pénétration	30	%
	Répartition géo des abonnés	10	%
	le trafic par abonné	100	kbps
Prametres	Nbr d'abonnés	6000	
	Trafic total	600	Mbps
	T(site)	8.332078429	Mbps
	Nbr de sites	73	
Nbr de sites (Cov,Cap)	Nbr de sites (Cov)	85	
	Nbr de sites (Cap)	73	
Nbr de sites final		85	

Figure 4.10 Interface « nombre de sites finale »

Dans les sections précédentes, nous avons déterminé le nombre des sites requis pour établir la couverture demandée, et maintenant le nombre des sites pour satisfaire la demande en termes de capacité, et par conséquent, le nombre de sites demandés pour obéir à la fois la contrainte de couverture et de capacité est le nombre le plus grand entre eux.

4.4.10 Interface « Help » :

Quand on appuie sur le bouton  une fenêtre apparaîtra c'est le « Help », cette fenêtre d'aide qui permette de guider l'utilisateur à travers les différentes interfaces, cela tout en affichant les descriptions des paramètres d'entrée et les valeurs typiques à utiliser.

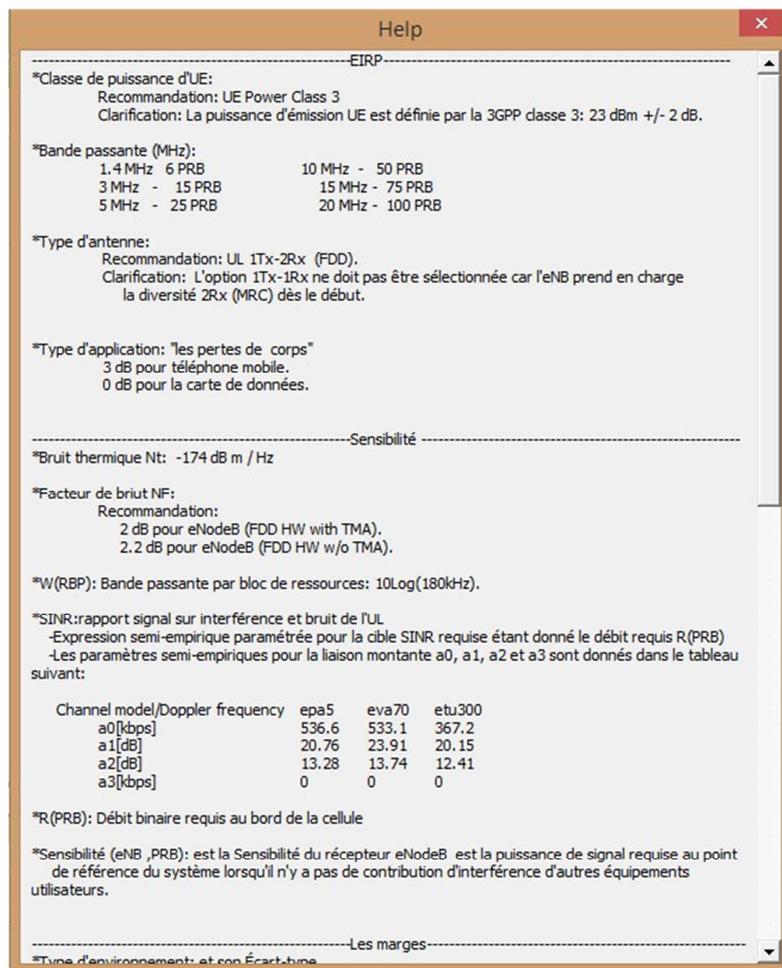


Figure 4.11 : Interface « Help »

4.4.11 Interface « information »:

Cet onglet informe l'utilisateur sur le produit. Notre Outil LTE Dimensioning Tool est un outil sophistiqué qui facilite la phase de dimensionnement et prépare à la phase de planification.

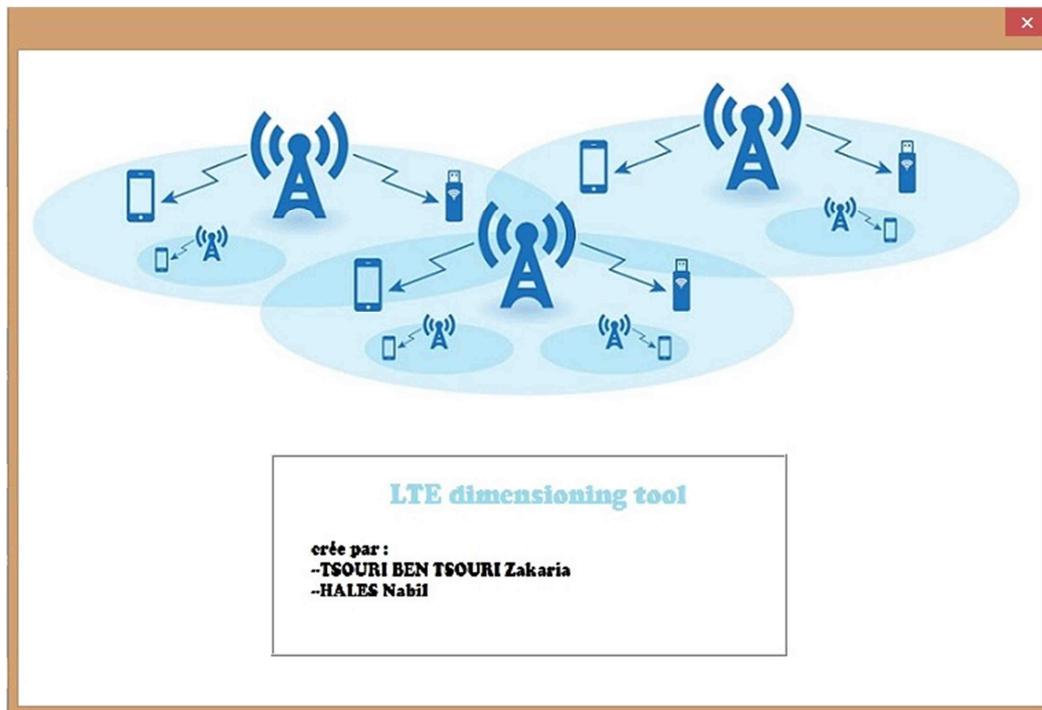


Figure 4.12 : Interface « information »

4.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons évoqué toutes les étapes en relation avec la réalisation de l'application. Ainsi, nous avons exposé des aperçus d'écran qui témoignent des différentes étapes de l'application. Enfin, une partie de planification pour valider les résultats obtenus.

Conclusion générale

Ce projet était l'occasion pour approfondir nos connaissances sur les réseaux mobiles de la quatrième génération, LTE, ces derniers constituent la solution la plus recherchée par les opérateurs télécoms pour remédier au compromis QoS – coût, face aux exigences des consommateurs envers des débits de données plus élevés et des tarifs réduits. Nous avons aussi étudié l'impact des nouvelles technologies dans le processus de planification, et nous avons constaté que leurs effets sont beaucoup plus clairs dans la phase de pré-planification. Nous avons remarqué aussi, que la dualité couverture-capacité est primordiale dans la phase de dimensionnement. Enfin, l'opérateur doit se rendre compte de l'intérêt de la phase de dimensionnement, pour éviter des coûts supplémentaires d'optimisation pouvant apparaître lors.

L'outil LTE dimensioning toll, dans sa version V 1.0, consiste à une solution robuste pour la planification dans l'E-UTRAN, qui ne couvre que le processus de pré-planification et de dimensionnement. Comme perspectives de cette application, nous proposons une extension pour intégrer tout le processus de planification dans le réseau LTE, on parle donc d'un module cartographique permettant la lecture des modèles numériques du terrain, la sélection des emplacements des sites, le paramétrage des sites et l'élaboration des cartes de prédiction de couverture et de qualité dans la zone géographique de déploiement.

Bibliographie

- [1] Ajay R Mishra : "ADVANCED CELLULAR NETWORK PLANNING AND OPTIMISATION 2G/2.5G/3G...EVOLUTION TO 4G", John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [2] Michèle Germain : "Livres blancs", Forum ATENA, 2014.
- [3] SeungJune Yi, SungDuck Chun, YoungDae Lee, SungJun Park, SungHoon Jung : "RADIO PROTOCOLS FOR LTE AND LTE-ADVANCED", John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2012.
- [4] Yannick Bouguen, Éric Hardouin, François-Xavier Wolff : "LTE et les reseaux 4G", EYROLLES, 2012.
- [5] H. Zarrinkoub, "Understanding LTE with MATLAB®: From Mathematical Modeling to Simulation and Prototyping", John Wiley & Son, 2014.
- [6] Christopher Cox: 'AN INTRODUCTION TO LTE', John Wiley & Sons Ltd, 2014.
- [7] Marceau Coupechoux et Philippe Martins : ' Vers les systèmes radiomobiles de 4e génération De l'UMTS au LTE', Springer-Verlag France, 2013.
- [8] Martin Sauter: 'Beyond 3G – Bringing Networks, Terminals and the Web Together ', John Wiley & Sons, 2009.
- [9] Miikka Poikselka, Harri Holma, Jukka Hongisto, Juha Kallio et Antti Toskala: 'VOICE OVER LTE ', John Wiley & Sons ,2012.
- [10] Tomas Novosad: ' LTE FDD Radio Network Planning Guidelines ', Nokia ,2014.
- [11] Pierre Lescuyer et Thierry Lucidarme: ' EVOLVED PACKET SYSTEM (EPS) ' John Wiley & Sons ,2008.
- [12] Guillaume de la Roche, Andres Alayon Glazunov et Ben Allen: ' LTE-ADVANCED AND NEXT GENERATION WIRELESS NETWORKS CHANNEL MODELLING AND PROPAGATION' John Wiley and Sons,2013.
- [13] Sassan Ahmadi : 'LTE-Advanced', Elsevier,2014
- [23] Coverage and Capacity Dimensioning, RECOMMENDATION, Ericsson AB 2009–2010
- [24] Amr Abdel-Magid Kassab, Amr Mahmoud Morsy, Mohammed Mahmoud Mohammed Saad, Mohamed Mahmoud Mohamed Tantawy, Mohamed Morsy Mohamed, Hanaa

Abdelmoety Kamel, "Long Term Evolution (LTE) Access Network Coverage and Capacity Dimensioning", Cairo 2013.

Site web

[14] <http://www.learningnetwork.cisco.com>

[15] <http://www.efort.com>

[16] <http://www.telecomhell.com>

[17] <http://www.rfwirlwss.world.com>

[18] <http://www.wraycastle.com>

[19] <http://www.slidershar.net>

[20] <http://ww.welotec.com/de/lte-mimo-antenne>

[21] <http://www.inacon.com>

[22] <https://www.ofcom.org.uk>

[25] <https://suatmimurnani.wordpress.com/category/technology>

[26] http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php