

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 Projet de Fin d'Études

présenté par

DJAFAR AKRAM RAOUF

pour l'obtention du diplôme Master en Electronique Spécialité Réseaux et Télécommunications

Thème

Planification des liens de transmission

Promoteur : Mr ANOU Abderrahmane

Co-Promoteur : Mr Abdelmalek Hamza

Dédicaces

A mes parents pour leurs sacrifices, leurs dévouements inconditionnels et leur soutien infailible et de ma gratitude certaine. Que dieu les préserve de toute peine et de tout malheur,

A mes sœurs pour leurs encouragements et leurs confiances en moi

A tous mes ami(e)s pour la merveilleuse ambiance qui caractérise notre amitié. Qu'ils soient heureux sur les plans personnels professionnels et sociaux.

A tous ceux qui comptent pour moi

A tous ceux pour qui je compte

Je leur dédie ce modeste travail en guise de reconnaissance

Remerciements

C'est avec un grand plaisir que je rédige ces lignes en signe de gratitude et de reconnaissance à ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

*Je remercie profondément **Mr Anou Abderrahmane**, qui en tant qu'encadreur, m'a guidé dans mon travail et a su être à l'écoute, pour le soutien et l'aide qu'il m'a présentée pour la réalisation de mon mémoire.*

*Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à mon promoteur au sein de l'entreprise OOREDDOO, **Mr Hamza Abdelmalek** pour sa disponibilité, la pertinence de ses conseils et sans oublié le personnel de l'entreprise accueillant et l'équipe de transmission en particulier.*

Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à mes professeurs et enseignants pour la qualité de la formation et l'encadrement dont ils m'ont en fait bénéficié. Mes remerciements vont aussi vers tous ce qui m'ont encouragés, soutenus, conseillés, et sans qui ce travail aurait été impossible à réaliser.

Je remercie chaleureusement Mes parents, Mes sœurs, Mes grand-mères et Nedjma sans oublier Mes chers frères qui se reconnaîtront et mon oncle KADER et sa famille pour leurs encouragements permanents.

Mes gratitudes et mes remerciements vont aussi à tous les membres du jury qui ont bien voulu accepter d'évaluer ce travail.

ملخص:

كجزء من MASTER لدينا التخرج مشروع " صلات الإرسال التخطيط، " بدأنا هذه الذاكرة بالتذكير مختلف الأجيال الخلوية مع تقنيات وصولهم، ثم انتشر على وسائل الإعلام انتقال الذي شرح تشغيل الميكروويف ومضاعفة الرقمية الهرمية. في المقطع الأخير، أوجزنا المعلومات من الهوائيات التي تلعب دورا أساسيا في تخطيط، والتي شرحنا الخطوات الأساسية لإنشاء شبكة الجيل 3 والنتائج التي تحققت مع تقنية دقيق elipse البرمجيات.

كلمات جوهرية: التخطيط, PDH ,SDH, UMTS, LTE.

Résumé :

Dans le cadre de notre projet de fin d'études MASTER intitulé « Planification des liens de transmission », nous avons commencé ce mémoire par rappeler les différentes générations cellulaires avec leurs techniques d'accès, ensuite, on s'est étalé sur les supports de transmission dont on a expliqué le fonctionnement des faisceaux hertziens ainsi que les hiérarchies numériques de multiplexages. Dans la dernière partie, on a donné un aperçu sur les paramètres des antennes qui jouent un rôle conséquent dans la planification, dont on a expliqué les étapes fondamentales pour la création d'un réseau de 3ème génération et les résultats obtenus à l'aide du logiciel Mentum Elipse.

Mots clés : PDH, SDH, UMTS, LTE, planification,

Abstract :

As part of our project graduation MASTER "Planning transmission links ," we started this memory by recalling the various cellular generations with their access techniques, then it was spread over the media transmission which is explained the operation of microwave and digital multiplexing hierarchies . In the last section, we outlined the parameters of the antennas that play a substantial role in the planning, which we explained the basic steps for creating a 3rd generation network and the results achieved with the Mentum Elipse software.

Keywords : PDH, SDH, UMTS, LTE, planning

Listes des acronymes et abréviations

2G	Deuxième génération
3G	Troisième génération
3GPP	Third generation Partnership project
4G	Forth generation
AGCH	Access grant channel
ARFCN	Absolute radio frequency channel
AuC	Authentication center
BCCH	Broadcast control channel
BSC	Base station Controller
BSS	Base sub système
BTS	Base transceiver station
CDMA	Code division multiple access
CEPT	Européen Conférence of Postal and Télécommunications Administrations
CN	Réseau cœur
DL	Downlink
DSC	Digital communication system
DS-CDMA	Direct sequence
EiR	Equipment identity register
EPS	Evolved packet système
FACCH	Fast associated control channel
FCCH	Frequency control channel
FDD	Frequency division duplex
FDMA	Frequency division multiple access
FFT	Fast Fourier Transform
FH-CDMA	Frequency hopping CDMA
GERAN	GSM edge radio access network
GMSC	Gateway MSC
GSM	Globale système for mobile
HLR	Home location register
HSDPA	High speed downlink packet access
HSPA	High speed packet access
HSS	Home subscriber server
HSUPA	High speed uplink packet access
IEEE	Institut of electrical and electronic engineers
IMS	IP Multimedia Subsystem
IP	Internet protocol
LA	Location area
LAN	Local area network
LTE	Long term evolution
MIMO	Multiple input multiple output
MME	Mobile management entity
P-GW	Packet data network gateway
MMS	MultiMedia messaging service
MS	Mobile station
MSC	Mobile switching center

NSS	Network sub système
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OFDMA	OFDM access
OMC	Operating maintenance center
OMC/M	OMC maintenance
OMC/N	OMC network
OMC/R	OMC radio
OSS	Operating sub système
PAPR	Peak to average power ratio
PCH	Paging channel
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PLMN	Public land mobile network
PS	Packet switched
PSDN	Public switched data network
PSTN	Public switched telephone network
QOS	Quality of service
RACH	Random access channel
RNC	Radio network Controller
SACCH	Slow associated control channel
SAE	Système architecture evolution
SC-FDMA	Single carrier FDMA
SCH	Synchronisation channel
SDCCH	Standalone dedicated control channel
S-GN	Serving gateway
SMSC	Short message service center
TCH	Traffic channel
TDD	Time division duplex
TDMA	Time division multiple access
UE	Equipment utilisateur
UIT	Universel international télécommunication
UMTS	Universel mobile télécommunications système
UP	Uplink
UTRAN	Universal terrestrial radio access network
VLR	Visitor location register
WAN	Wide area network
WCDMA	Wideband CDMA
WIMAX	Worldwide interoperabilité microwave Access

Table des matières

Chapitre 1 Evolutions Cellulaires	14
1.1 Introduction	14
1.2 GSM	14
1.2.1 Développement du GSM	14
1.2.2 Architecture du réseau GSM	15
1.2.3 Structure topologique d'un réseau GSM	17
1.2.4 Méthode d'accès des abonnés au réseau GSM	19
1.2.5 Les canaux de transmission	21
1.2.6 Déroulement d'une communication	22
1.3 Le réseau GPRS	23
1.3.1 Le type de transmission dans le réseau GPRS	26
1.3.2 La gestion d'itinérance	26
1.4 EDGE	26
1.5 La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS)	27
1.5.1 Architecture du réseau UMTS	27
1.5.2 État des lieux de l'UMTS	30
1.5.3 Technique d'accès et protocoles dans la norme WCDMA	31
1.6 La quatrième génération des téléphones mobiles LTE (4G)	32
1.6.1 Buts de la 4G	33
1.6.2 Architecture	33
1.6.3 EPC : Evolved Packet Core	34
1.6.4 Comparaison entre les réseaux 3G et 4G	38
1.6.5 Les caractéristiques fondamentales de la 4G	38
1.7 La 4G dans le Monde	49
1.8 Conclusion	49
Chapitre 2 Supports de Transmission	50
2.1 Introduction	50
2.2 Les différents supports de transmission	50
2.2.1 Le câble à paires torsadées	50
2.2.2 Câbles coaxiaux	51
2.2.3 Fibre optique	51
2.2.4 Faisceaux hertziens	54
2.2.5 Les faisceaux Laser	56
2.2.6 Le VSAT	56
2.3 Généralités sur les Hiérarchies synchrones (xDH)	57

2.3.1 Rappel sur la numérisation du réseau téléphonique	57
2.3.2 Organisation de la trame MIC primaire E1.....	57
2.4 La hiérarchie plésiochrone PDH	57
2.4.1 Synchronisation des réseaux.....	57
2.5 La hiérarchie SDH /SONET	59
2.5.1 Les aspects de la SDH.....	59
2.5.2 Le multiplexage SDH.....	60
2.6 D-WDM	61
2.7 Conclusion	62
Chapitre 3 Calcul de Capacité et Planification d'un Réseau 3G.....	63
3.1 Introduction	63
3.2 Présentation des outils.....	63
3.2.1 Mentum Elipse	63
3.2.2 MATLAB.....	64
3.3 Calcul de capacité d'un lien entre RNC et NodeB [9]	64
3.4 Planification d'un nouveau site	66
3.5 Conclusion	77
Conclusion Générale	78
Bibliographie.....	79

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1. 1</i> : Architecture de réseau GSM.....	15
<i>Figure 1. 2</i> : Structure topologique de réseau GSM.....	18
<i>Figure 1. 3</i> : Le partage en temps TDMA.....	20
<i>Figure 1. 4</i> : Les canaux physiques.....	21
<i>Figure 1. 5</i> : canaux logique.....	22
<i>Figure 1. 6</i> : Rôle des canaux logiques.....	22
<i>Figure 1. 7</i> : Architecture du réseau GPRS.....	24
<i>Figure 1. 8</i> : Architecture du réseau UMTS.....	28
<i>Figure 1. 9</i> : Mode paquets et mode circuit.....	30
<i>Figure 1. 10</i> : Mode de transmission en WCDMA.....	31
<i>Figure 1. 11</i> : Schématisation du principe de l'étalement utilisé en émission WCDMA.....	32
<i>Figure 1. 12</i> : Présentation générale sur le système LTE.....	33
<i>Figure 1. 13</i> : Architecture générale du LTE.....	34
<i>Figure 1. 14</i> : Architecture d'EPS (Evolved Packet System).....	34
<i>Figure 1. 15</i> : Architecture du réseau cœur EPC.....	35
<i>Figure 1. 16</i> : Comparaison 3G / 4G.....	38
<i>Figure 1. 17</i> : Le fonctionnement d'une trame radio.....	41
<i>Figure 1. 18</i> : Structure de la trame radio.....	42
<i>Figure 1. 19</i> : Les slots d'une trame radio.....	43
<i>Figure 1. 20</i> : Constellation QAM à 16 états.....	44
<i>Figure 1. 21</i> : Schéma du principe du modulateur QPSK.....	45
<i>Figure 1. 22</i> : Les porteuses de l'OFDMA.....	46
<i>Figure 1. 23</i> : Similitude entre une chaîne OFDMA et SC-FDMA.....	48
<i>Figure 1. 24</i> : La différence entre OFDMA et SC-FDMA.....	48
<i>Figure 1. 25</i> : Déploiement de la 4G dans le monde.....	49
<i>Figure 2. 1</i> : Paires torsadée.....	50
<i>Figure 2. 2</i> : Câble coaxial.....	51
<i>Figure 2. 3</i> : Fibre optique.....	52
<i>Figure 2. 4</i> : Fibre à saut d'indice.....	53
<i>Figure 2. 5</i> : Fibre à gradient d'indice.....	53
<i>Figure 2. 6</i> : Fibre monomode.....	54
<i>Figure 2. 7</i> : Transmission par faisceau hertzien.....	54
<i>Figure 2. 8</i> : Structure générale d'une liaison hertzienne.....	55

<i>Figure 2. 9</i> : Transmission par faisceau laser.	56
<i>Figure 2. 10</i> : La transmission en VSAT.....	56
<i>Figure 2. 11</i> : Multiplexage PDH.	58
<i>Figure 2. 12</i> : les différents standards de PDH.....	59
<i>Figure 2. 13</i> : Exemple de réseau SDH.	60
<i>Figure 2. 14</i> : Les niveaux de multiplexage SDH.	61
<i>Figure 2. 15</i> : Multiplexage D-WDM.....	62
<i>Figure 3. 1</i> : Les NodeB cascadié fournie.	64
<i>Figure 3. 2</i> : le programme qui calcul la capacité.	65
<i>Figure 3. 3</i> : le résultat du calcul.	66
<i>Figure 3. 4</i> : Interface du logiciel Mentum Elipse.....	66
<i>Figure 3. 5</i> : Création d'un nouveau site.	67
<i>Figure 3. 6</i> : Coordonnées GPS du site.	67
<i>Figure 3. 7</i> : L'emplacement du site.....	68
<i>Figure 3. 8</i> : Paramètres du site.	68
<i>Figure 3. 9</i> : Le lien entre le nouveau site et l'ancien 1.	69
<i>Figure 3. 10</i> : Le lien entre le nouveau site et l'ancien 2.	69
<i>Figure 3. 11</i> : Le lien entre le nouveau site et l'ancien 3.	70
<i>Figure 3. 12</i> : Mise en place des deux sites.	70
<i>Figure 3. 13</i> : Avant la configuration des paramètres.	71
<i>Figure 3. 14</i> : Configuration des paramétrages du site.....	72
<i>Figure 3. 15</i> : Paramètres d'antennes.	73
<i>Figure 3. 16</i> : Paramètres de fréquences.....	73
<i>Figure 3. 17</i> : Calcul de l'interférence entre les deux sites.	74
<i>Figure 3. 18</i> : Le résultat du calcul.	74
<i>Figure 3. 19</i> : Sauvegarde du nouveau site.....	75
<i>Figure 3. 20</i> : Le signal obtenu entre les deux sites.	76

LISTE DES TABLEAUX

<i>Table 1. 1</i> : Caractéristiques des fréquences allouées.....	18
<i>Table 1. 2</i> : Le partage en fréquence FDMA.	19
<i>Table 1. 3</i> : Evolution du GSM au GPRS.....	25
<i>Table 1. 4</i> : Comparaison des technologies GSM, UMTS.....	31
<i>Table 2. 1</i> : Répertoire des débits SDH/SONET.	60
<i>Table 3. 1</i> : Trafic capacities fixed or adaptative modulation.	72
<i>Table 3. 2</i> : les différentes fréquences et diamètre de l'antenne qu'OOREDOO utilise.	75
<i>Table 3. 3</i> : le rapport de transmission.....	76

Introduction générale

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS). D'autre part, les réseaux locaux sans fil sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standards phares tels que Wifi, Bluetooth, etc.

Les évolutions se poursuivent de partout, tant dans le monde des réseaux spécialisés (capteurs, étiquettes intelligentes, etc.) que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons : monde télécoms classiques avec HS(D) PA, monde des réseaux sans fil avec le WiMax voire le monde de la diffusion télévision terrestre et satellite (DVB-T, DVB-H, DVB-S). La future génération de réseaux sans fil dite de quatrième génération (4G) apporte un véritable tournant dans le foisonnement des solutions existantes. L'objectif, cette fois, sera certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ces réseaux mais encore de construire un cadre permettant leur interopérabilité. Des premières solutions sont déjà disponibles auprès de la plupart des opérateurs de télécommunications mais la plupart d'entre elles sont des solutions spécifiques à un type d'interconnexion et à un opérateur.

Ce mémoire est divisé en 3 chapitres :

Chapitre 1 : Décrit l'évolution des générations cellulaires détaillé avec leurs équipements et techniques d'accès, les fréquences qu'elles utilisent, il présente la migration de la 2G (GSM) vers la 3G (UMTS) passé par la 2.5G (GPRS), par la suite on détaillera la technologie de 4ème génération.

Chapitre 2 : Présente les différents supports de transmission qu'utilisent les opérateurs : tel que le câble, les câbles coaxiaux ou bien encore par verre comme les fibres optiques ou par les supports immatériels qui propagent des ondes électromagnétiques comme les faisceaux hertzien le plus utilisé.

Chapitre 3 : présente notre travail qui consiste à faire le calcul de capacité de 3ème génération entre le RNC et le NodeB hôte dans une zone précise fournie par l'opérateur OOREDOO à l'aide du logiciel

MATLAB et aussi la planification d'un nouveau site à l'aide du logiciel MENTUM ELIPSE qui peut planifier la topologie d'un réseau, le routage du trafic et l'utilisation de la liaison.

Chapitre 1 Evolutions Cellulaires

1.1 Introduction

Le présent chapitre est consacré au réseau GSM. Après un bref aperçu sur l'historique du développement du GSM, nous allons étudier la structure de base de ce réseau. Nous verrons tout d'abord son architecture générale, les différentes parties qui le composent ainsi que le rôle de chacune, puis nous passerons à la structure topologique de ce réseau. Par la suite, nous mentionnerons les fréquences et les multiplexages utilisés. En plus des canaux de transmission qui en résultent, nous ferons une description des différents types de canaux, et par la suite on verra le GPRS et son nouveau équipement jusqu'à ce qu'on arrive à la 3^{ème} génération (UMTS) son architecture et sa technique d'accès et les fréquences utilisées, enfin on conclue notre chapitre par une étude détaillé de la 4^{ème} génération (LTE).

1.2 GSM

1.2.1 Développement du GSM

L'histoire de la téléphonie mobile (numérique) débute en 1982. A cette date, le Groupe Spécial Mobile, appelé GSM, est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) afin d'élaborer les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences de 890 à 915MHz pour l'émission à partir des stations mobiles et de 935 à 960MHz pour l'émission à partir de stations fixes. Il y eut bien des systèmes de mobilophonie analogique (MOB1 et MOB2, arrêté en 1999), mais le succès de ce réseau ne fut pas au rendez-vous. Les années 80 voient le développement du numérique tant au niveau de la transmission qu'au niveau du traitement des signaux, avec pour dérivés des techniques de transmission fiables, grâce à un encodage particulier des signaux préalablement à l'envoi dans un canal, et l'obtention de débits de transmission raisonnables pour les signaux (par exemple 9,6 Kilobits par seconde, noté Kb/s, pour un signal de parole). Ainsi, en 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles : transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radio, chiffrement des informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole. Il faut attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu. Au passage, le sigle GSM change de signification et devient Global System for Mobile communications et les spécifications sont adaptées aux systèmes fonctionnant aux alentours de 1800 MHz [1].

Après des années de conception et d'amélioration, le GSM évolue rapidement avec l'évolution de la technologie de télécommunication. Les différents équipementiers, en rude concurrence, profitent de ces nouvelles technologies et les intègrent à leurs produits qu'ils vendent ensuite aux opérateurs. Aujourd'hui, on trouve les dernières technologies dans les équipements du GSM, par exemple des supports de transmission comme la fibre optique et des modulations allant jusqu'à 128 QAM. Malgré cette perpétuelle évolution, la structure de base du GSM reste essentiellement inchangée.

1.2.2 Architecture du réseau GSM

Le réseau GSM est divisé en trois sous-systèmes comme indiqués sur la figure 1.1.

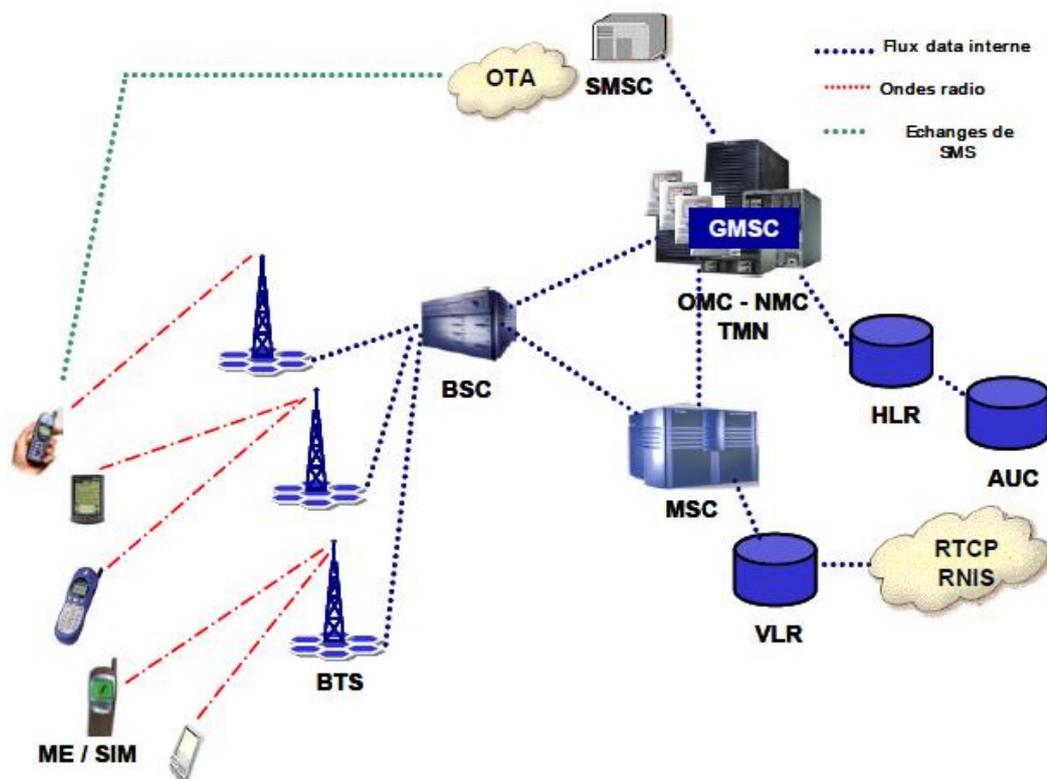


Figure 1.1 : Architecture de réseau GSM.

A. Le Sous-système Radio BSS (Base Station Sub-system)

Le sous-système radio gère la transmission radio. Il est constitué de plusieurs entités dont le mobile, la station de base BTS et un contrôleur de station de base BSC.

❖ La station de base BTS (Base Transceiver Station)

La BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelés TRX qui est les points d'accès au réseau GSM des utilisateurs mobiles. Les BTS se matérialisent sous forme d'antennes sur les toits des immeubles en ville ou sur les bords de routes. Chaque antenne couvre une zone délimitée dont chaque zone constitue

une cellule du réseau (on parle alors de réseau cellulaire). Elle effectue les opérations de modulation, démodulation, codage. Elles diffusent des informations générales utiles aux mobiles et remontent des mesures à un contrôleur BSC sur la qualité des transmissions dans la cellule.

❖ **Le contrôleur de stations de base BSC (Base Station Controller)**

Le contrôleur de stations de base est l'organe intelligent du sous-système radio. Il a pour fonction de gérer la ressource radio. Il commande l'allocation des canaux, utilise les mesures effectuées par la BTS pour contrôler la puissance d'émission du mobile et ainsi maintenir la bonne qualité de la liaison.

B. Le Sous-système d'acheminement de GSM NSS (Network Sub-System)

Ce sous-système s'occupe de l'interconnexion avec les réseaux fixes, publics ou privés, auxquels est rattaché le réseau mobile. Il gère aussi l'établissement des communications avec les utilisateurs mobiles dont il détient le profil. Les éléments du NSS sont les suivants :

❖ **Le commutateur de service mobile MSC (Mobile Switching Center)**

Le MSC est le centre de commutation des mobiles, il gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC et permet la transmission des messages courts ainsi que l'exécution du Handover (relaiage de communications entre cellules adjacentes).

❖ **Le commutateur d'entrée de service mobile GMSC (Gateway MSC)**

Ce commutateur est l'interface entre le réseau cellulaire et le réseau téléphonique public. Le GMSC est chargé d'acheminer les appels du réseau fixe vers les usagers du réseau GSM.

❖ **Le registre des abonnés locaux HLR (Home Location Register)**

Le HLR est une base de données qui gère tous les abonnés d'un opérateur donné et mémorise les caractéristiques : identité nationale de l'abonné IMSI, numéro d'annuaire MSISDN, sa localisation et le profil de l'abonnement.

❖ **Le registre des abonnés visiteurs VLR (Visitor Location Register)**

Le VLR est une base de données qui mémorise les données d'abonnement des abonnés présents dans une zone géographique qu'il contrôle. C'est un enregistreur de localisation d'accueil. On y trouve les mêmes données que dans le HLR mais concerne seulement les abonnés mobiles présents dans la zone considérée.

❖ **Le centre d'authentification AUC (Authentication Center) :**

Le centre d'authentification AUC mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer la communication. Un AUC est en général associé à chaque HLR. L'ensemble peut être intégré dans un même sous-système.

❖ **Le registre d'identification d'équipement EIR (Equipment Identity Register) :**

L'EIR est une base de données annexe contenant les identités des terminaux (IMEI), elle peut refuser l'accès au réseau parce que le terminal n'est pas homologué ou qu'il a fait l'objet d'une déclaration de vol.

C. Le Sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation Sub-System)

Les éléments constituant les deux sous-réseaux précédents sont reliés à distance, via une interface X25 (transmission d'information), au centre d'exploitation et de maintenance. L'OSS comporte un centre d'exploitation et de maintenance, radio (OMC-R), et réseau (OMC-N). Il se compose d'un sous-système d'exploitation et de maintenance réseau OMC-N (Operating and Maintenance Center-Network) qui supervise le NSS et d'un sous-système d'exploitation et de maintenance radio OMC-R (Operating and Maintenance Center-Radio) qui supervise le BSS.

1.2.3 Structure topologique d'un réseau GSM

Pour optimiser la couverture géographique, le réseau est composé de différentes zones de couverture appelées cellules. La taille des cellules varie en fonction du nombre de clients à servir. Chaque antenne ne peut gérer qu'un nombre limité de clients et le nombre d'antennes va donc augmenter proportionnellement au nombre de clients à servir comme l'illustre la figure 1.2. Par exemple, en ville, les cellules sont plus petites et plus nombreuses qu'en milieu rural car il y a une forte concentration de MS (terminaux mobiles). A chaque cellule est attribué un canal de communication. Pour économiser la bande passante, les canaux sont réutilisés sur des cellules suffisamment éloignées pour éviter les interférences. Les cellules sont regroupées en Zones Locales (LA=Local Area), chaque zone étant rattachée à un commutateur et à un VLR. Les LA interviennent lors de localisation de MS.

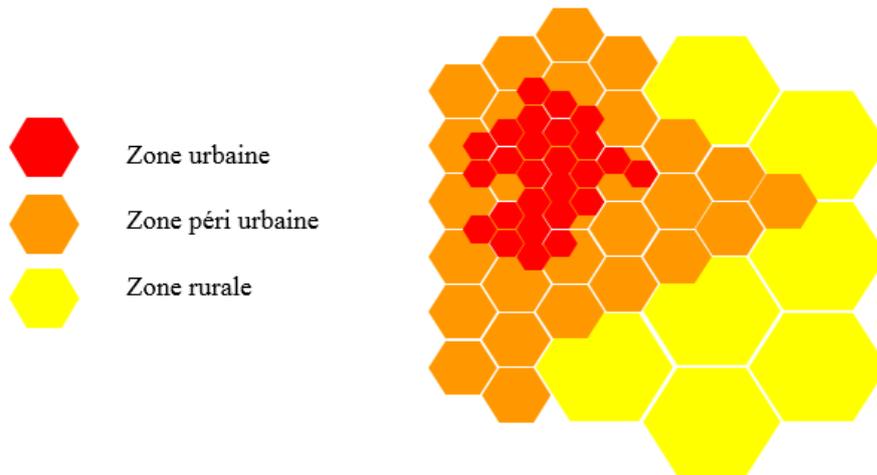


Figure 1. 2 : Structure topologique de réseau GSM.

❖ Fréquences allouées

Un système radio-mobile a besoin d'une partie du spectre radio pour fonctionner. La bande passante allouée au GSM est divisée, par duplexage fréquentiel FDD (Frequency Division Duplex), en deux sous-bandes d'égale importance. Ces deux sous-bandes sont séparées par un intervalle fréquentiel qui n'est pas attribué au système, dit écart duplex. Cette séparation entre les deux sous-bandes permet de distinguer les bandes montantes des bandes descendantes, ce qui permet le filtrage et la séparation des voies.

Le tableau 1.1 résume toutes les caractéristiques des deux bandes de fréquences GSM 900 et DCS 1800. En Algérie, ces deux dernières sont réparties sur les trois opérateurs de téléphonie mobile, Djezzy, Nedjma et Mobilis.

Caractéristiques	Bande 900Mhz	Bande 1800Mhz
Fréquence d'émission du mobile vers la BTS	980 à 915	1710 à 1785
Fréquence d'émission de BTS vers mobile	935 à 960	1805 à 1980
Espacement du duplex	45	45
Nombre de canaux radio	124	375
Largeur des canaux	200	200
Multiplexage TDMA	8	8
Nombre de canaux logique	992	2992

Table 1. 1 : Caractéristiques des fréquences allouées.

1.2.4 Méthode d'accès des abonnés au réseau GSM

La bande radio représente une ressource rare qu'il faut utiliser avec parcimonie. Pour cela, le spectre alloué est partagé selon un plan temps/fréquence afin d'obtenir des canaux physiques capables de supporter une communication téléphonique.

A. Le partage en fréquence FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Chaque bande dédiée au système GSM est divisée en 124 canaux fréquentiels d'une largeur de 200 KHz. Sur une bande de fréquence sont émis des signaux modulés autour d'une fréquence porteuse qui siège au centre de la bande. Les fréquences sont allouées d'une manière fixe aux différentes BTS et sont désignées souvent par le terme de *porteuses*. Chaque porteuse GSM est identifiée par un numéro unique n ou code ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel) sur 10 bits.

Le tableau 1.2 représente le partage en fréquence FDMA pour les deux bandes de fréquences. La fréquence de la voie montante est calculée en utilisant un écart duplex constant (45MHz).

GSM/DCS	Nombre de canaux	Fréquence partagée en Mhz
GSM 900	$1 < n < 124$	$F(n) = 935 + (0.2 \times n)$
DSC 1800	$512 < n < 885$	$F(n) = 1805.2 + (0.2 \times (n - 512))$

Table 1. 2 : Le partage en fréquence FDMA.

B. Le partage en temps TDMA (Time Division Multiple Access)

Le partage en temps se fait par la méthode d'accès TDMA (Time Division Multiple Access). Il permet à différents utilisateurs de partager la même porteuse. Ce partage se fait comme suit :

- Chaque porteuse est divisée en intervalles de 1 jusqu'à 15 temps appelés *time slots*.
- Ces intervalles de temps (time slots) ont chacun une durée égale à 0,577 ms,
- Un slot est divisé en 156,25 périodes de bits et accueille un élément de signal radioélectrique : burst,
- Un burst est la période de la porteuse qui est modulée par un flux de données. Il représente le contenu physique du slot,
- Un burst a une durée de 0,546 ms, un peu plus petite que le slot à cause d'un temps de garde entre slots (=8,25 bits),

- Il y a différents types de burst dans le système GSM : le burst normal, d'une durée de 148 bits, et le "burst" court d'une durée de 87 bits,
- Sur une même porteuse, les slots sont regroupés par paquets de 8 et sont numérotés de 0 à 7 comme représenté sur la figure 1.3,
- Cette disposition de slots forme la trame TDMA,
- Chaque utilisateur utilise un slot par trame TDMA,
- La durée d'une trame TDMA est donc : $T_{TDMA} = 8 T_{SLOT} = 4,615 \text{ ms}$.

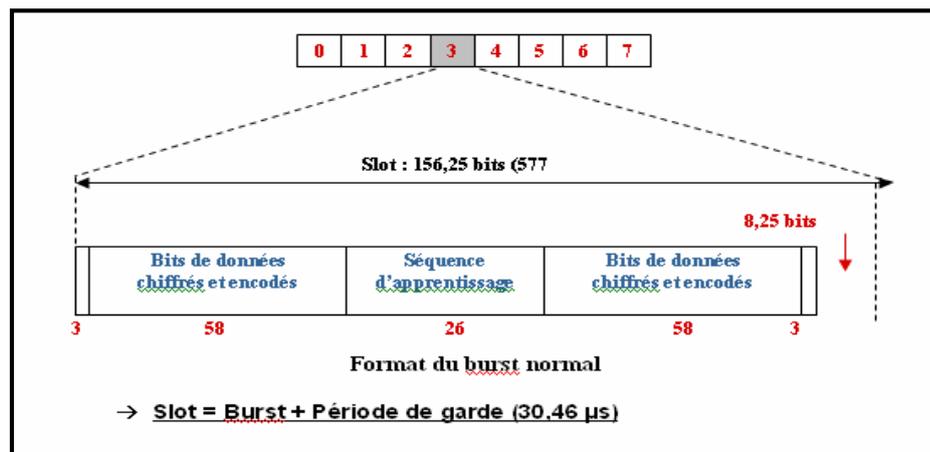


Figure 1.3 : Le partage en temps TDMA.

C. CDMA (Code Division Multiple Access)

Le CDMA appartient à la classe des multiplexages dits à étalement de spectre. En effet, comme nous allons le voir, chaque utilisateur émet sur toute la largeur de bande du canal de communication. Le principe est le suivant : à chaque utilisateur correspond une clé (ou code) à l'aide de laquelle son message est codé avant d'être émis.

Il existe deux principales variétés de CDMA :

- FH-CDMA (Frequency Hop). Dans ce système, on fait de l'évasion de fréquence : la clé de chaque utilisateur code pour une suite de fréquences qui feront alternativement office de porteuse. Ce système ressemble à un multiplexage fréquentiel dans lequel l'attribution des fréquences varierait rapidement (par rapport au débit d'informations à transmettre).
- DS-CDMA (Direct Séquence). C'est à ce type de CDMA qu'on fait généralement référence quand on parle de CDMA, et c'est celui que nous avons étudié aussi bien théoriquement qu'expérimentalement. Ici, on multiplie directement le message à transmettre par une le code (séquence pseudo-aléatoire). L'étalement spectral du signal codé vient de ce que la fréquence du code est largement supérieure à la fréquence d'envoi des données.

1.2.5 Les canaux de transmission

Le premier service offert par le GSM est la transmission de la parole de type téléphonique. Cette transmission se fait par la réservation de « tuyaux » tout au long de la durée d'un appel téléphonique. Ces « tuyaux » sont en fait les canaux de transmission utilisés sur l'interface radio. Ces canaux ont un aspect physique qui représente le médium de transmission, associé à un aspect logique qui représente l'information contenue par ce médium [1].

A. Les canaux physiques

La répétition périodique d'un time-slot dans la trame TDMA sur une fréquence particulière constitue un canal physique. Par conséquent il y a 8 canaux physiques sur chaque porteuse et on dit qu'une trame prend, théoriquement, 8 appels simultanés mais en réalité elle prend 6 à 8 appels simultanés et les deux autres slots sont utilisés pour la signalisation l'information ou le contrôle. Dans le système GSM le mobile émet et reçoit à des instants différents. L'émission et la réception sont décalées dans le temps d'une durée de trois slots, pour conserver la même numérotation TN de 0 à 7 des slots. La synchronisation de trame TDMA montante est décalée aussi de 3 time-slot comme indique-la Figure 1.4.

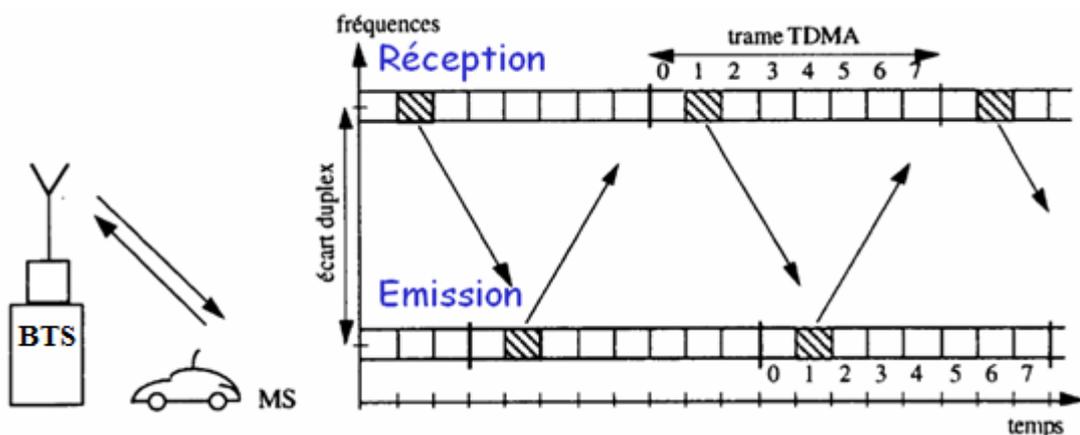


Figure 1.4 : Les canaux physiques.

B. Les canaux logiques

Plusieurs canaux logiques ont été définis pour les différents types de fonctions comme la synchronisation, signalisation, contrôle et la gestion ; il est nécessaire de les connaître pour comprendre le fonctionnement d'un mobile durant les différentes phases de communication, ou pendant l'état de veille. Les figures 1.5 et 1.6 nous montrent les types de canaux et leurs rôles.

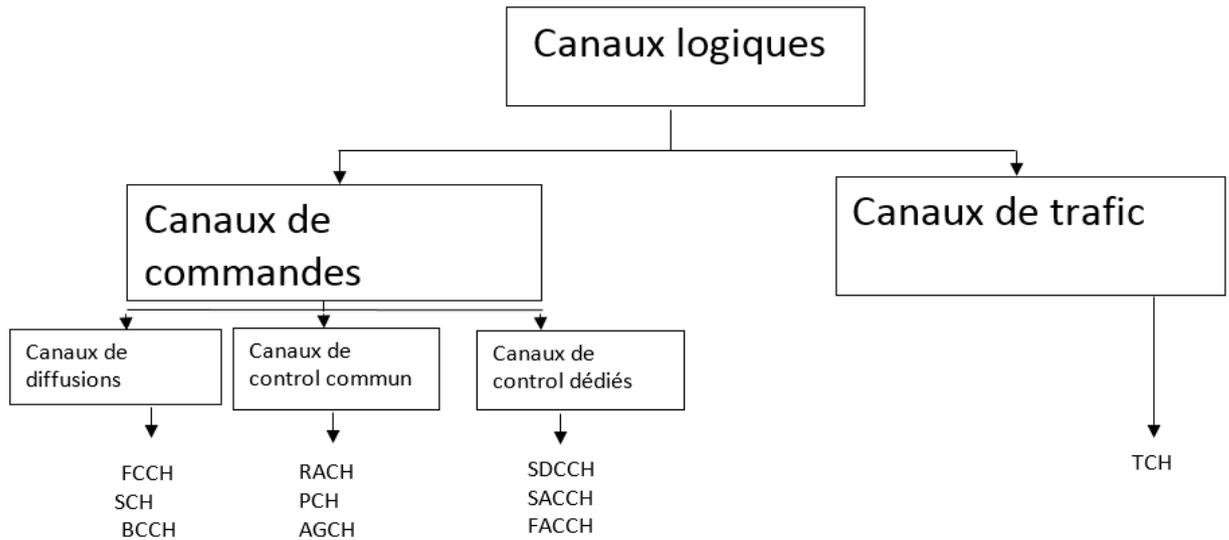


Figure 1. 5 : canaux logique.

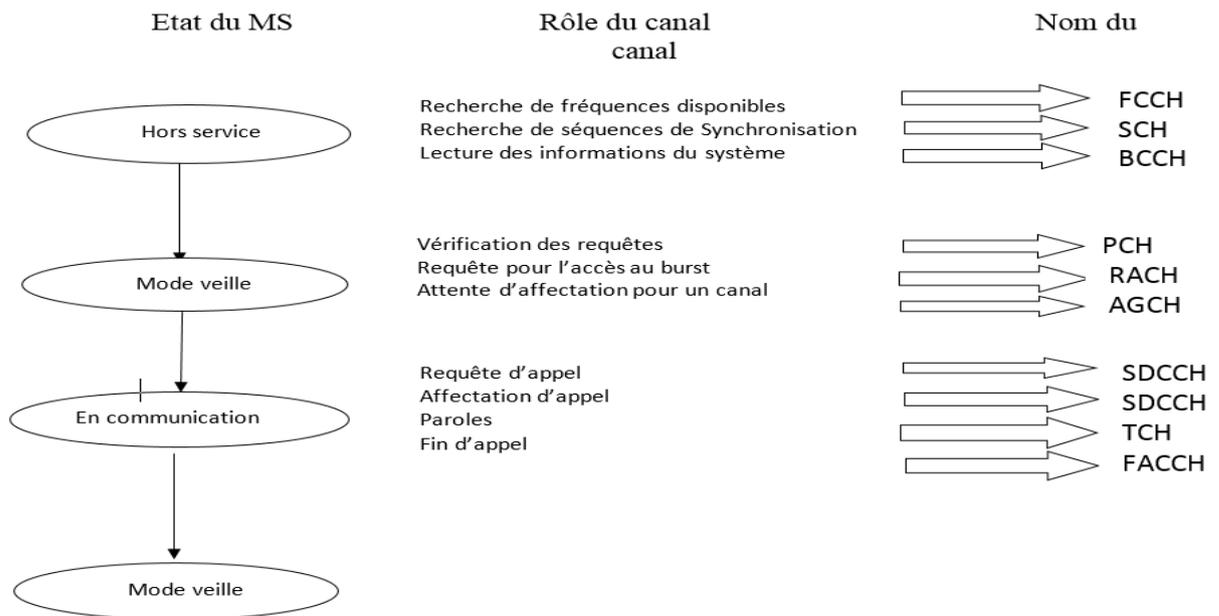


Figure 1. 6 : Rôle des canaux logiques.

1.2.6 Déroulement d'une communication

A. Localisation du téléphone mobile

Le réseau doit être capable de localiser à tout moment le téléphone mobile (MS), le MS signale automatiquement et régulièrement sa position au réseau. La base de données locale tient à jour la liste des terminaux présents dans sa zone. En cas d'appel entrant le réseau procède à une requête de paging

(PCH) : un message est envoyé à toutes les cellules de la dernière zone visitée par le mobile, le MS ouvre une communication sur la BTS et répond au réseau, il est identifié et se met alors à sonner.

B. Procédure de Handover (communication intercellulaire)

Même dans le changement de cellule la localisation est indissociable de la notion de mobilité. Lorsque le mobile passe d'une cellule à une autre, le réseau effectue un relais de la communication, qu'on appelle la procédure de handover. La zone couverte par une antenne est limitée : si l'abonné se trouve à la périphérie d'une cellule, la qualité de transmission peut être diminuée, les réseaux cherchent alors à déterminer quelle autre antenne convient pour restaurer un signal de qualité optimale. Chaque terminal mobile affiche la qualité de communication avec le réseau lors d'un changement de cellule, le réseau fait remonter l'information pour déterminer la nouvelle antenne. L'antenne indique aux équipements du réseau, BSC et MSC, qu'un handover doit être effectué. Le handover peut entraîner le changement du contrôleur de station de base, le BSC, et même du commutateur le MSC. Le Handover peut également intervenir lorsqu'une antenne est saturée ou indisponible et ne peut gérer un MS. De plus cette opération est possible car les zones se chevauchent physiquement. Grâce à ce système, le réseau peut adapter l'attribution des ressources en fonction des disponibilités matérielles [1].

1.3 Le réseau GPRS

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi son but est de conserver l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.

La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type "Data" à ses clients. Le GPRS est en mode paquets. La figure 1.7 présente l'architecture du réseau GPRS [2].

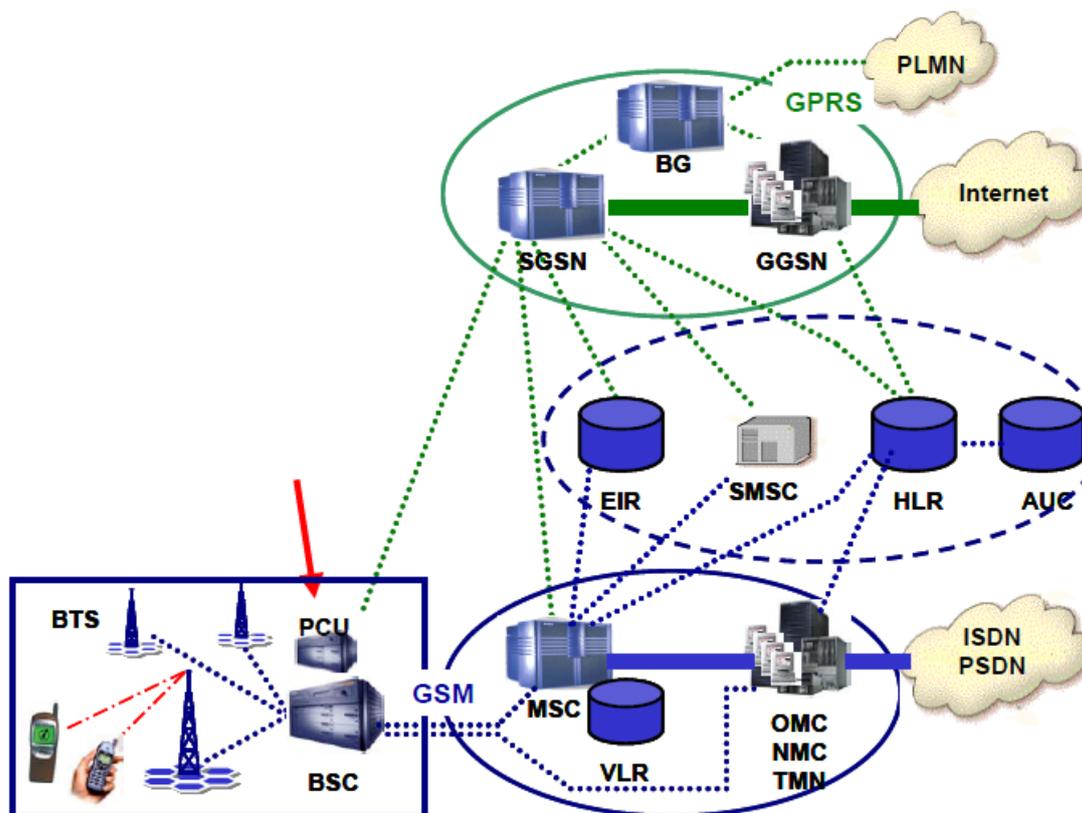


Figure 1. 7 : Architecture du réseau GPRS.

Un réseau GPRS est un réseau IP. Qui est donc constitué de routeurs IP. L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

A. Le nœud de service (SGSN)

Le nœud de service dénommé SGSN (Serving GPRS Support Node) est relié au BSS du réseau GSM. Le SGSN est en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissions radio : BTS, BSC, HLR ...

Le SGSN joue un rôle de routeur, il gère les terminaux GPRS présents dans une zone donnée. Le SGSN est le « contrôleur » des terminaux GPRS présents dans sa zone de surveillance.

B. Le nœud de passerelle (GGSN)

Le nœud de passerelle dans le GPRS dénommé GGSN (Gateway GPRS Support Node) est relié à un ou plusieurs réseaux de données (Internet, autre réseau GPRS...). Le GGSN est un routeur qui permet de gérer les transmissions de paquets de données :

- Paquets entrants d'un réseau externe, acheminés vers le SGSN du destinataire,
- Paquets sortants vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau.

C. Le module BG pour la sécurité

Les recommandations introduisent le concept de BG (Border Gateway) qui permettent de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux.

Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiés par les recommandations mais elles jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (Public Land Mobile Network) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (par exemple entre deux réseaux de deux opérateurs concurrents).

D. Les équipements GSM utilisés

Le réseau GPRS appuie son architecture sur les éléments du réseau GSM :

- Les BTS et BSC permettent de couvrir un territoire national pour localiser les terminaux,
- Le MSC et le VLR permettent également de gérer les problématiques d'itinérance des abonnés sur les réseaux GSM et GPRS,
- Le SMSC et le GMSC permettent la communication interne au réseau par l'envoi de messages courts à destination du terminal GPRS,
- Le HLR permet de gérer les problématiques liées à la localisation des individus (en mode GPRS, fournir une carte de la ville où se trouve l'abonné),
- L'EIR permet de gérer les problématiques liées au terminal visé.

Le réseau GPRS est totalement dépendant du bon fonctionnement des infrastructures du réseau GSM. Le réseau GSM constitue donc en effet une base pour la mise en place du réseau GPRS.

Le tableau 1.3 se compose de deux parties : la première partie présente les entités utilisées dans les deux réseaux GSM et GPRS et la deuxième partie présente les nouvelles entités ajoutées au réseau GSM ainsi de constituer le réseau GPRS.

Entité GSM/GPRS	Logiciel	Matériel
BTS	Extension requise	Aucun changement
BSC	Extension requise	Interface PCU
MSC/VLR	Extension requise	Aucun changement
HLR	Extension requise	Aucun changement
Nouvel entité		
MS	Mobile station	
SGSN	Serving GPRS Support Node	
GGSN	Gateway GPRS Support Node	
CGF	Charging Gateway Function	
OMC-G	Operations And Maintenance Center GPRS	

Table 1. 3 : Evolution du GSM au GPRS.

L'ensemble des éléments GSM et GPRS sont associés pour fournir un service GPRS. Deux protocoles sont alors utilisés :

- Le traditionnel protocole IP qui assure une ouverture vers les terminaux fixes extérieurs au réseau,
- Le protocole SS7 (Signal Sémaphore 7) qui est un protocole interne au réseau GPRS.

1.3.1 Le type de transmission dans le réseau GPRS

Ce standard utilise un mode de transmission par paquet. Lorsque le mobile transmet des données vers un terminal fixe, les données sont transmises via le BSS (BTS + BSC) au SGSN

Le routage vers des terminaux (terminal mobile vers terminal mobile ou terminal fixe vers terminal mobile) utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles tunnels. Les données revues par le GGSN sont transmises au SGSN dont dépend le mobile destinataire.

1.3.2 La gestion d'itinérance

La gestion de l'itinérance reprend les principes du réseau GSM avec le regroupement de cellules en zones.

Le terminal GPRS peut se trouver dans trois modes :

- Etat de « repos », le mobile est éteint,
- Etat de « surveillance », le mobile est localisé au niveau de la zone de routage. Le mobile peut être appelé par le SGSN,
- Etat « prêt », le mobile est localisé au niveau de la cellule. Le mobile peut recevoir des informations ; dans cet état le terminal est localisable à la cellule près.

Une zone de routage est un regroupement de cellules (cellules réseau GSM).

En état de « surveillance » puis de « prêt », le terminal ne monopolise pas de canal radio s'il n'y a pas de transmission ou de réception de données.

1.4 EDGE

Le standard EDGE (Enhanced Data Rates for Evolution.) est une évolution de la Norme GSM, modifiant le type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de **2.75** pour désigner le standard EDGE.

EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM (EDGE utilise la modulation 8-PSK), ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles.

L'EDGE permet ainsi de multiplier par un facteur 3 le débit des données. 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) [2].

1.5 La troisième génération des téléphones mobiles 3G (UMTS)

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du Multimédia. Les applications visées étaient la possibilité de regarder YouTube, de la visiophonie,... Outre l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets). L'idée a été d'ajouter des amplificateurs avant chaque antenne, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation. Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit.

Spécification :

- Compatibilité avec la 2G et la 2.5G, ainsi il n'y a pas besoin d'évolution matériel mais au niveau des BTS il faut installer émetteur /récepteur EDGE,
- Débit théorique de 1 Mbps mais typiquement 384 Kbps,
- Capacité de 4 fois plus grande que celle du GPRS,
- Codages utilisés : GMSK, 8PSK, de MCS-1 à MCS-9,
- Technique d'accès : CDMA 2000.

1.5.1 Architecture du réseau UMTS

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Dans un premier temps le réseau UMTS devrait s'appuyer sur le réseau GPRS. Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS, qui apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Données, le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia.

Le réseau cœur se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet. La figure 1.8 présente l'architecture du réseau UMTS [2].

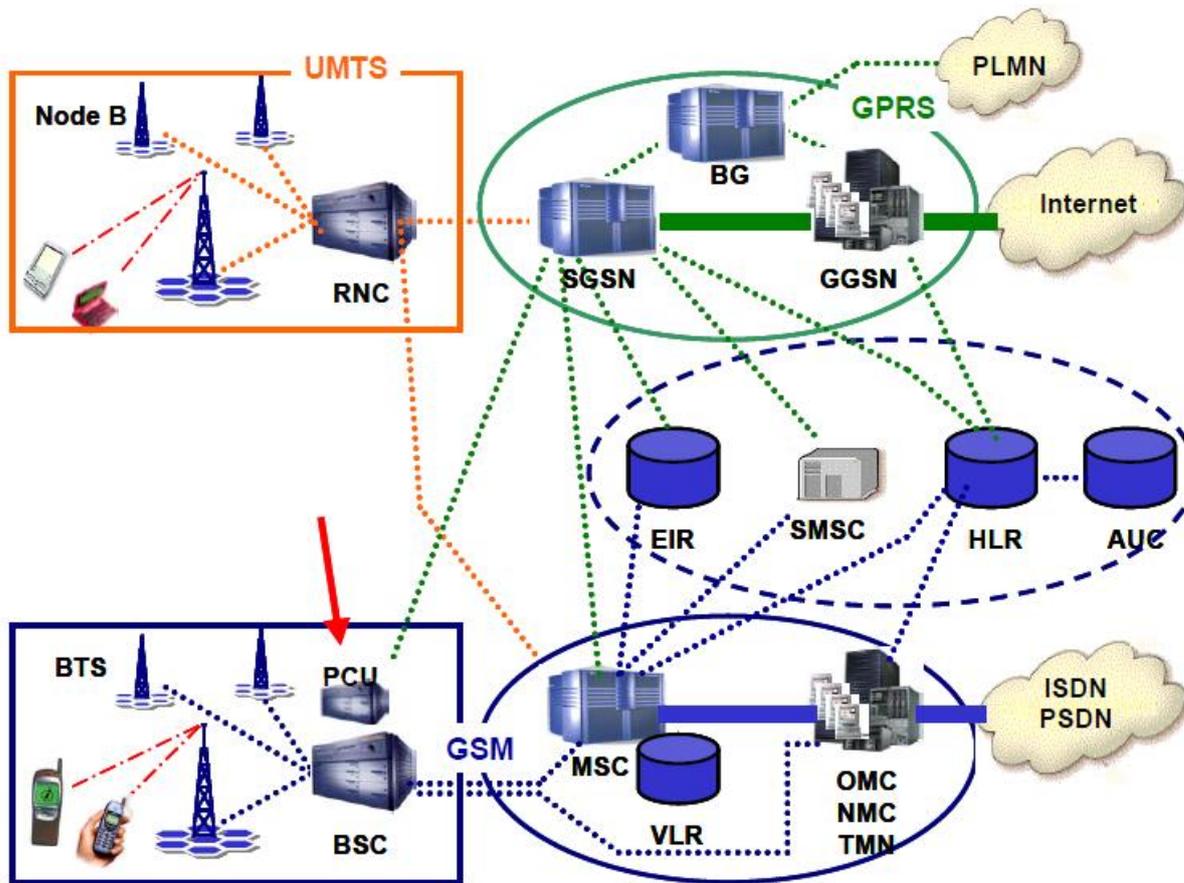


Figure 1. 8 : Architecture du réseau UMTS.

❖ **Le réseau d'accès radio (UTRAN) :** comporte les deux éléments suivants :

Le **Node B** est un relais radio électrique qui assure la couverture d'une cellule pour les terminaux UMTS. Il convertit le flux de données entre les interfaces lub et Uu et participe à la gestion des ressources radio. Notons que le terme «Node B » provient des spécifications du 3GPP et est équivalent au terme «station de base» que nous avons utilisé précédemment.

Le **RNC** (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 Node B auxquels il est rattaché. Il assure la mobilité des usagers et la concentration du trafic. Le RNC est le point d'accès pour tous les services fournis par l'UTRAN au réseau cœur.

❖ **Le réseau cœur (CN)**

Le 3G-SGSN possède des fonctionnalités similaires au MSC / VLR mais est utilisé pour les communications paquet. La partie du réseau gérée par le SGSN est couramment appelée domaine paquet (PS) ; possède des fonctionnalités très proches de celles du GMSC mais le GGSN fait partie du domaine paquet et non circuit. Il ne traite donc que des connexions en mode paquet

A. Les fréquences de l'UMTS

Les fréquences allouées pour l'UMTS sont 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

L'UIT (Union Internationale des Télécommunications) a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

- Duplex temporel TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz (uplink bande de 35MHz) et 2010 à 2025 MHz (downlink bande de 15 MHz),
- Duplex fréquentiel FDD (Frequency Division Demultiplexed) 1920 à 1980 MHz (Uplink bande de 60 MHz) et 2110 à 2170 MHz (downlink bande de 60 MHz),
- Bandes satellites : 1980 à 2010 MHz (uplink de 30 MHz) et 2170 à 2200 MHz (Downlink de 30 MHz).

La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz.

B. Le débit de l'UMTS

L'UMTS permet théoriquement des débits de transfert de 1,920 Mbit/s, mais fin 2004 les débits offerts par les opérateurs dépassent rarement 384 Kbit/s. Néanmoins, cette vitesse est nettement supérieure au débit de base GSM qui est de 9,6 kbit/seconde.

Le débit est différent suivant le lieu d'utilisation et la vitesse de déplacement de l'utilisateur :

- En zone rurale : 144 kbit/s pour une utilisation mobile (voiture, train, etc.),
- En zone urbaine : 384 kbit/s pour une utilisation piétonne,
- En zone bâtiment : 2000 kbit/s depuis un point fixe.

Grâce à son débit, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux.

L'UMTS permet en particulier de transférer dans des temps relativement courts des contenus multimédia tels que les images, les sons et la vidéo.

Les nouveaux services concernent surtout l'aspect vidéo : Visiophonie, MMS Vidéo, Vidéo à la demande, Télévision.

C. Le mode de transmission dans le réseau UMTS

Ce réseau repose sur deux modes :

➤ Le mode circuit

Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode domaine circuit sera de 384 Kbits/s. L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe vers le réseau externe.

➤ Le mode paquet

Le domaine paquet permettra de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur Internet, de la gestion de jeux en réseaux ainsi que l'accès et l'utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2Mbits/s. L'infrastructure s'appuie alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC / VLR en réseau GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en réseau GSM) qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau Internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données.

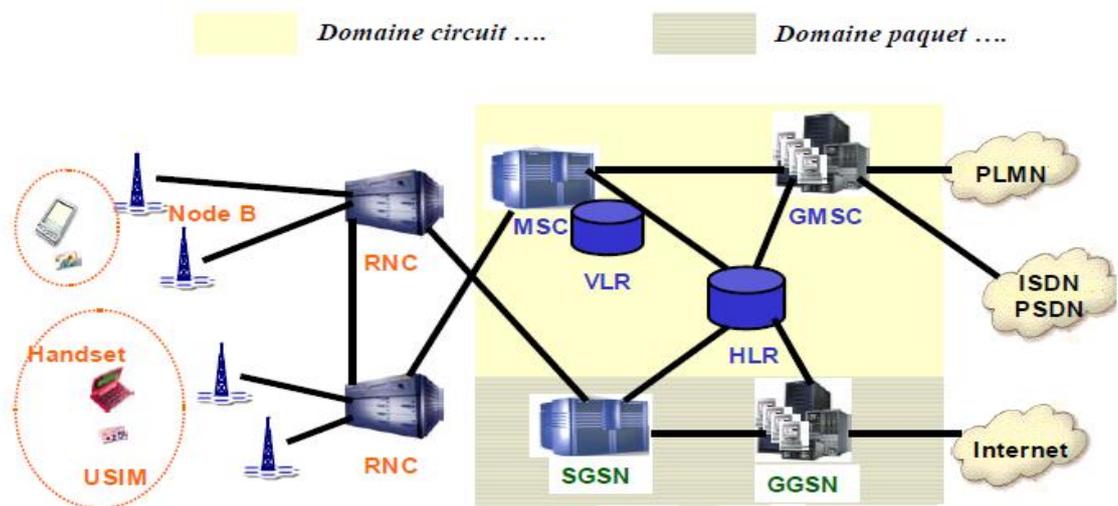


Figure 1. 9 : Mode paquets et mode circuit.

1.5.2 État des lieux de l'UMTS

Le tableau suivant dresse une comparaison non exhaustive des technologies 3GPP hors LTE de la release 99 jusqu'à la Release 8 [10].

	GSM/GPRS/EDGE	UMTS	HSPA	HSPA+
Débit max UL	118 Kbit/s	384 Kbit/s	5.8 Mbit/s	11.5 Mbit/s
Débit max DL	236 Kbit/s	250 Kbit/s	14.4 Mbit/s	42 Mbit/s
Latence	300 ms	250 ms	70 ms	30 ms
Largeur de canal	200 KHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz avec possibilité de deux Canaux simultanés
Techniques d'accès multiple	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA/TDMA	CDMA/TDMA
Modulation DL Modulation UL	GMSK 8 PSK	QPSK BPSK	QPSK, 16QAM BPSK, QPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM BPSK, QPSK, 16QAM
Bande de fréquence	900/1800(MHz)	900/2100(MHz)	900/2100(MHz)	900/2100(MHz)

Table 1. 4 : Comparaison des technologies GSM, UMTS.

1.5.3 Technique d'accès et protocoles dans la norme WCDMA

Les Spécification de WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) :

- Le canal radio a une bande de fréquence 5 MHz
- Les modes de transmission utilisés sont des modes duplex : FDD (Frequency Division Duplexing) et TDD (Time Division Duplexing). La figure 1-10 schématise une transmission en WCDMA.

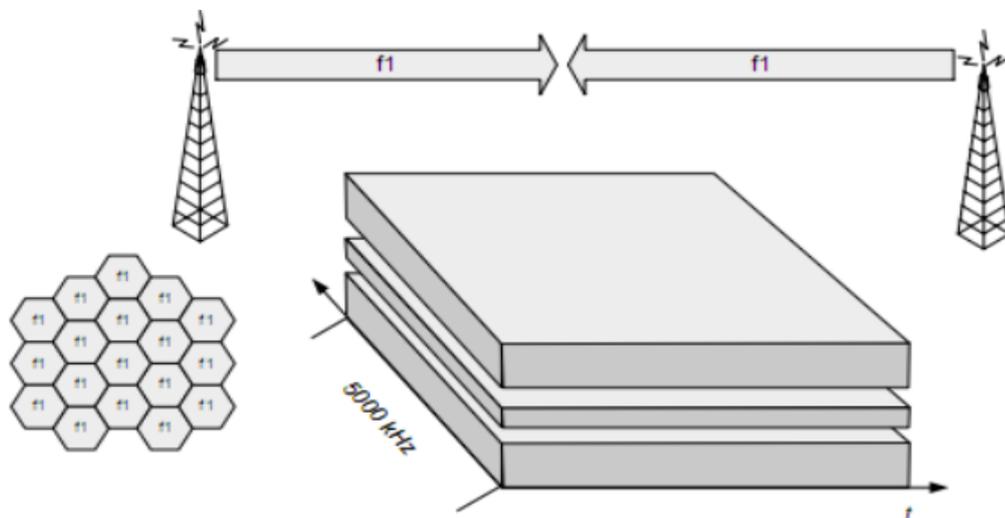


Figure 1. 10 : Mode de transmission en WCDMA.

- Étalement du spectre : WCDMA utilise la technique d'étalement du spectre, où les données à transmettre sont multipliées par des codes d'étalement. Chaque utilisateur a son code spécifique. La figure schématise la technique d'étalement utilisée en WCDMA [3].

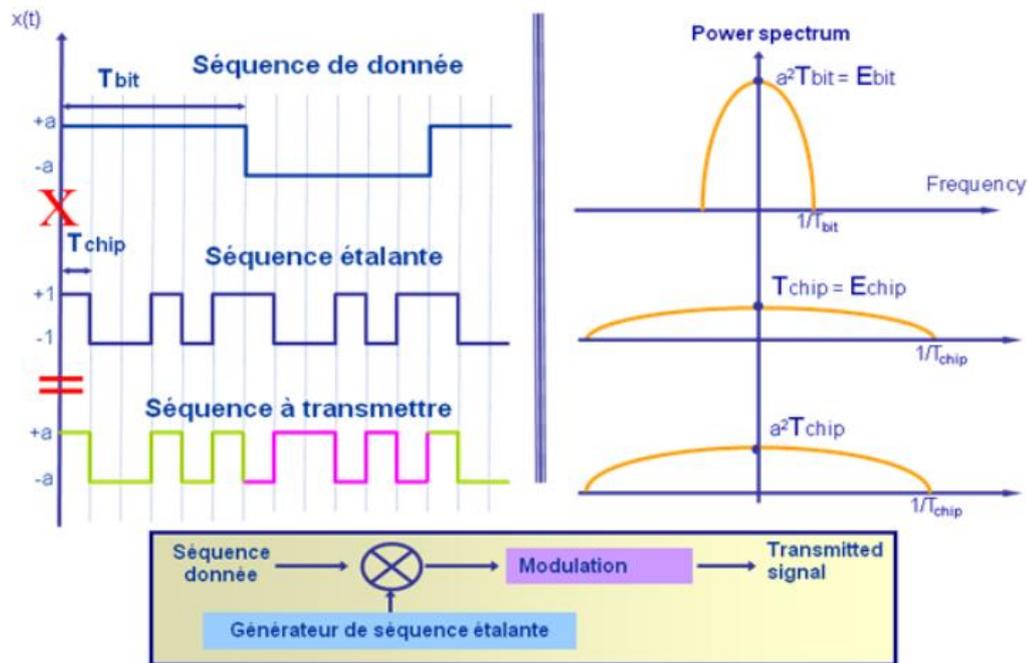


Figure 1.11 : Schématisation du principe de l'étalement utilisé en émission WCDMA.

➤ Les propriétés de la WCDMA :

- Une transmission Multicode.
- Le multiplexage du code réserve un code par utilisateur. Au niveau du Node B, les codes sont combinés en un signal composite et transmis.
- Le Management de la puissance est de type adaptif (APM : Adaptive Power Management).

1.6 La quatrième génération des téléphones mobiles LTE (4G)

La technologie LTE (Long Term Evolution) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Le mode d'acheminement pour la voix n'est pas prévu, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « downlink », alors que la "vraie 4G" offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s. La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée [2].

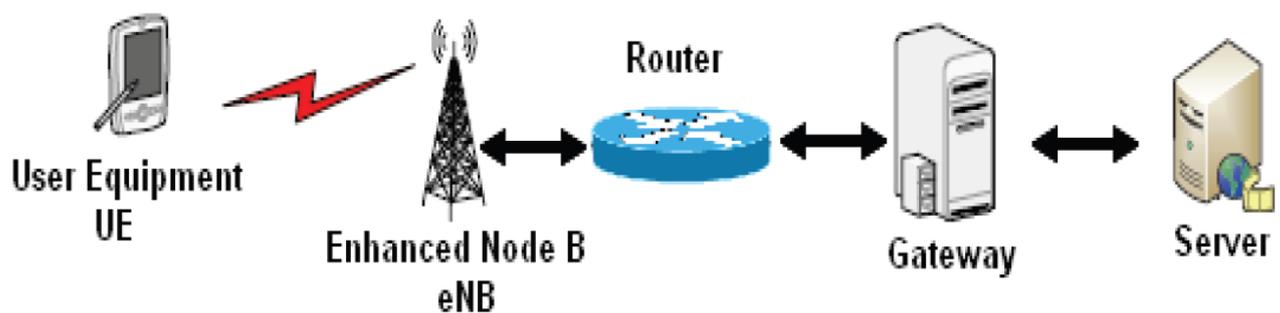


Figure 1. 12 : Présentation générale sur le système LTE.

1.6.1 Buts de la 4G

La 4^{ème} génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} génération sont les suivants :

- Assurer la continuité de la session en cours,
- Réduire les délais et le trafic de signalisation,
- Fournir une meilleure qualité de service,
- Optimiser l'utilisation des ressources,
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets,
- Minimiser le coût de signalisation.

1.6.2 Architecture

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure 1.13 présente l'architecture du réseau lte.

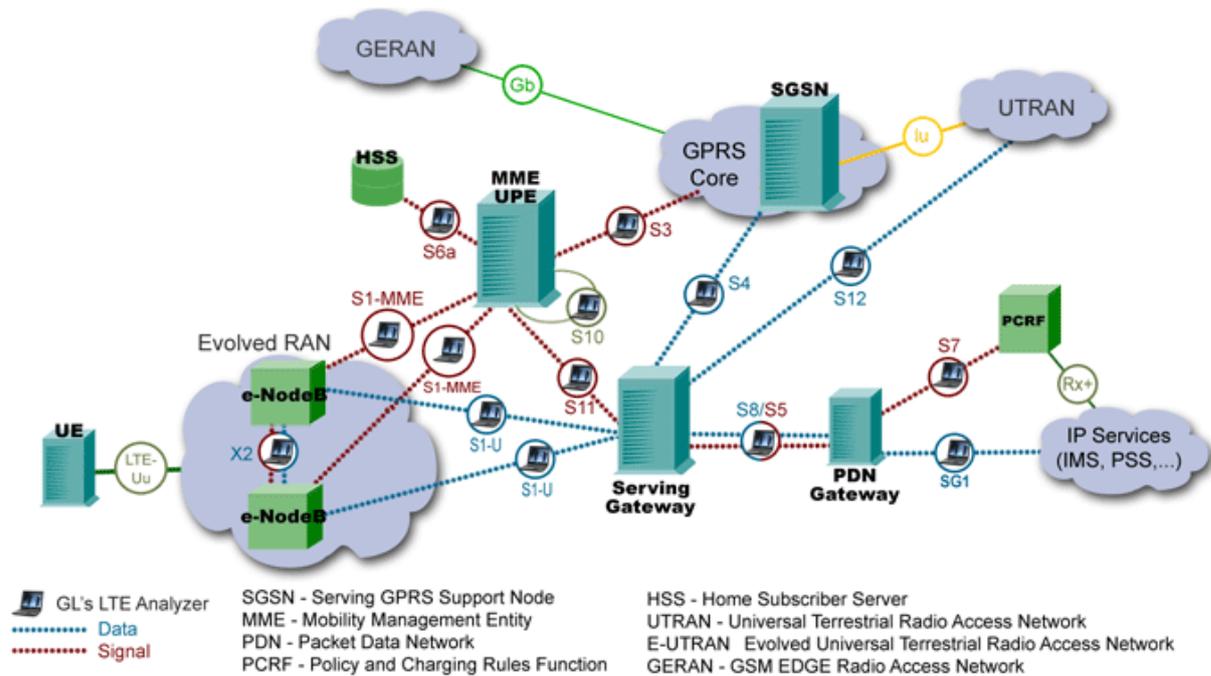


Figure 1.13 : Architecture générale du LTE.

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPS (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN). La figure 1.14 présente une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.

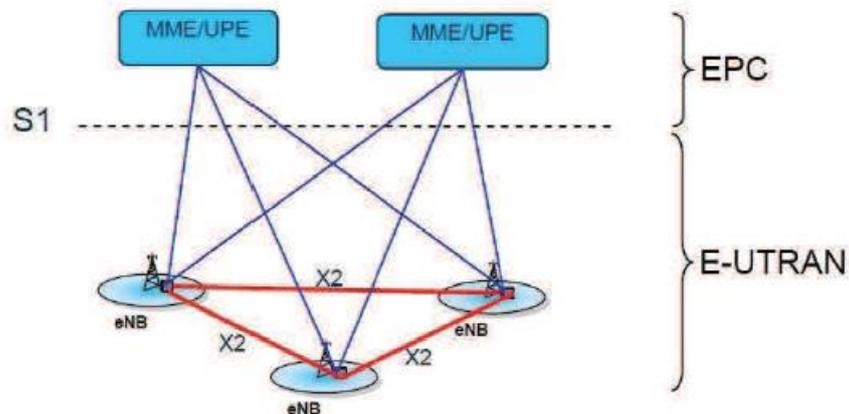


Figure 1.14 : Architecture d'EPS (Evolved Packet System).

1.6.3 EPC : Evolved Packet Core

Le cœur de réseau appelé « EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.

EPC Simplifie le réseau d'architecture à tout IP, comme il assure la mobilité entre 3GPP based système, et aussi non 3GPP based système par exemple WIMAX et CDMA2000.

Le réseau cœur EPC est constitué de plusieurs éléments comme la montre la figure suivante :

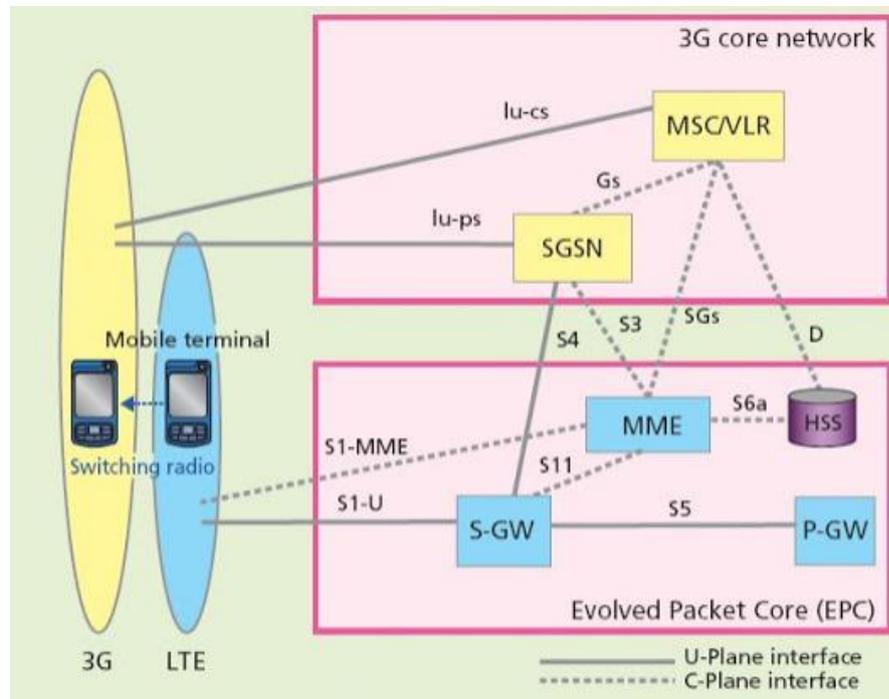


Figure 1. 15 : Architecture du réseau cœur EPC.

EPC est l'élément principal de l'architecture SAE. Il a un rôle équivalent du NSS dans le réseau GPRS.

Le cœur réseau est composé de deux parties séparées :

A. La partie Signalisation

Gère la mobilité et le rattachement des abonnés sur le réseau, il s'agit du MME. Une base de données permettant entre autre d'authentifier l'abonné, de consulter leurs abonnements et de chiffrer les communications, il s'agit du HSS.

Une politique de tarification, qui permet de gérer l'accès au réseau de données (PDN) en fonction du forfait de l'abonné, il s'agit du PCRF.

➤ MME : Mobility Management Entity (3GPP Release 8)

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

➤ **HSS : Home Subscriber Service**

Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations du subscriber-related (les abonnés voisins), et porte l'appel de control et la session management. Elle est Principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.

➤ **PDN-GW : Packet Data Network Gateway (3GPP Release8)**

Est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN à trois segments :

- La porteuse radio entre UE et eNodeB,
- La porteuse des données entre eNodeB et SGW,
- La porteuse des données entre SGW et PGW.

➤ **PCRF : Policy and Charging Rules Function (3GPP Release7)**

Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

➤ **SGW : Serving Gateway (3GPP Release 8)**

C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur Serving Gateway (SGW) achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter-eNodeB handover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

➤ **P-GW : Packet-Switch Gateway**

Packet-Switch Gateway (P-GW) Fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM systèmes et le non 3GPP système.

➤ **SGSN : Serving GRPS Support Nom**

Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

B. La partie radio eUTRAN

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2).

Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

➤ **eNodeB**

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB a la place de BSC ou RNC.

C. La partie IMS (IP MultiMedia Sub-system)

➤ **Définition**

L'IP MultiMedia Sub-system (IMS) est une architecture standardisée NGN (Next Génération Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée.

Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de circuits) sont pris en charge. L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux. Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela qu'IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire ; Il utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services.

➤ **Exemples de services de l'IMS**

- Echange de fichiers pendant un appel,
- Un usager peut créer une règle qui le montre connecté après une certaine heure et rejette tous les appels en provenance d'un appelant de son groupe professionnel,
- Un usager peut couper lorsque ses collègues professionnels appellent et les rediriger vers une page Web spécifique présentant l'hôtel où il passe ses vacances,
- Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de l'appelant,
- Messagerie instantanée et vidéo conférence.

1.6.4 Comparaison entre les réseaux 3G et 4G

Appréhender les évolutions et le fonctionnement des réseaux mobiles en évolution vers des technologies LTE (Long Term Evolution). La figure suivante montre une simple comparaison entre l'architecture du réseau de troisième génération et celui de la quatrième génération.

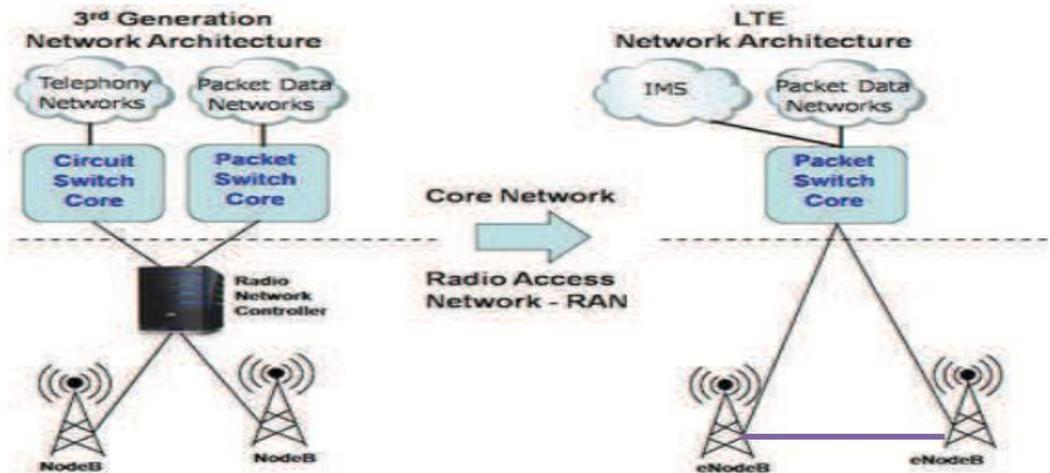


Figure 1. 16 : Comparaison 3G / 4G.

Les MME (Mobility Management Entity) remplacent les dispositifs PDSN / SGSN et BCS/RNC.

- Les eNodeBs remplacent les BTS / NodeB Serving,
- Les PDN (Packet Data Network) remplacent les GGSN.

1.6.5 Les caractéristiques fondamentales de la 4G

La 4G permet effectivement d'avoir des performances de QoS très fiables, en citant par la suite quelques paramètres :

❖ Débits et fréquences du réseau 4G

L'évolution des débits suit une progression semblable à celle de la capacité de calcul. Chaque nouvelle technologie de réseaux mobiles augmente les débits et suscite une attente de débits supérieurs. Il était ainsi également clair dès 2004 que le LTE devrait fournir de très hauts débits. Au-delà des limitations capacitaires, le débit fourni à un utilisateur dépend de ses conditions radio, liées en particulier à sa position dans la cellule, des techniques de transmission employées et de la ressource spectrale disponible. L'établissement des standards de performances communément admis pour les réseaux 4G sont, 100 Mbit/s sur le lien radio descendant (antenne relais vers mobile), et 50 Mbit/s maximum sur le lien montant (mobile vers antenne relais). La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700 MHz

aux Etats-Unis pour le réseau de Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais).

Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants :

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz,
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz,

Ces chiffres supposent un UE de référence comprenant :

- Deux antennes en réception,
- Une antenne en émission.

Pour le LTE il existe deux antennes émission au niveau de la station de base et deux antennes de réception au niveau de l'UE.

L'utilisateur peut ainsi accéder à ses services favoris chez lui ou hors de son domicile avec une fluidité homogène. En complément, le débit est jugé comme un facteur de comparaison entre opérateurs et une course aux débits est en marche dans certains pays.

Enfin, des débits toujours plus élevés ouvrent la porte à l'introduction de nouveaux services, sources de revenus et/ou de différenciation pour les opérateurs.

❖ Latence

a) Latence du plan de contrôle

L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager.

b) Latence du plan usager

La latence du plan usager est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille.

❖ L'agilité en fréquence

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz dans les sens montant et descendant.

Notons que le débit crête est proportionnel à la largeur de bande. Les modes de duplexage FDD et TDD doivent être pris en charge pour toutes ces largeurs de bande.

❖ Codage et sécurité

L'utilisation du codage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » (AMRF ou en anglais FDMA) pour la liaison descendante et du SC-FDMA (Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence pour la liaison montante au lieu du W-CDMA en UMTS).

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané de la ressource spectrale (Bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO.

❖ Multiplexage

Il existe deux modes de multiplexage de fréquences :

Les spécifications LTE prévoient le fonctionnement en mode dual : multiplexage de fréquences (FDD) et multiplexage temporel (TDD). En mode FDD (Frequency Division Duplexing), l'émission et la réception se font à des fréquences différentes. En mode TDD, l'émission et la réception transitent à une même fréquence, mais à des instants différents.

C'est le premier mode (FDD) qui fait l'objet de l'appel à candidatures en France. C'est aussi celui qui est actuellement mis en œuvre dans les équipements télécoms et déployé dans la plupart des premiers réseaux 4G LTE autorisés. Le deuxième mode (TDD) fonctionne sur des bandes de fréquences distinctes qui feront l'objet d'attributions ultérieures.

a) Structure d'une trame LTE

Une trame LTE dure 10 ms. Elle est découpée en 10 sous trames d'une durée de 1 ms. Chaque Sous trame est divisée en deux slots de 0,5ms. Un slot dure donc 0,5 ms, durée pendant laquelle est transmis 7 symboles par bande OFDM. Or, nous avons vu qu'il y avait 12 bandes.

Par conséquent, $7 \text{ symboles} * 12 \text{ bandes} = 84 \text{ symboles}$ sont transmis en 0,5 ms.

La figure 1.17 présente la trame radio dans le réseau LTE.

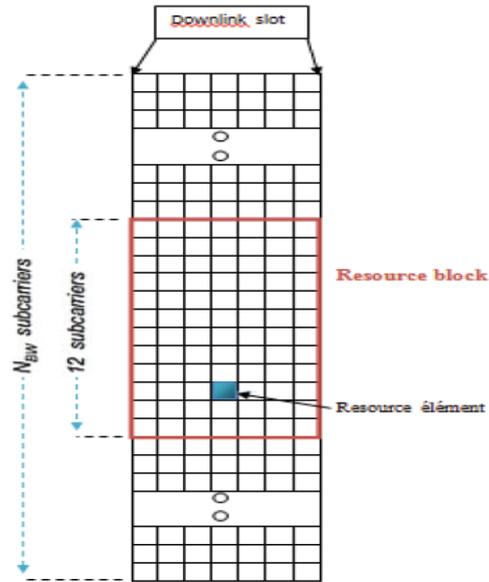


Figure 1. 17 : Le fonctionnement d'une trame radio.

1 symbole peut transmettre 1 bit à 6 bits selon la modulation choisie (QPSK à 128 QAM).

Par exemple, 1 symbole représente un carton, et dans un carton nous pouvons avoir une boîte ou 6 boîtes. Si nous souhaitons transporter le plus de boîte, nous avons intérêt à mettre 6 boîtes par carton, ce qui fragilise encore plus le transport, nous favoriserons donc le 128QAM (6 bits à transmettre) si le mobile et la station de base sont proches (transport peu éloigné entre le point A et le point B).

Les transmissions downlink et uplink sont organisés en deux types de structures qui sont :

- Structure de type 1 : duplex de fréquence division FDD.
- Structure de type 2 : duplex par séparation temporelle TDD.

b) Structure de type 1 : FDD

FDD (Frequency Division Duplexing) désigne une méthode de duplexage dans le domaine des télécommunications sans fil. L'émission et la réception des données se font à des fréquences différentes ; autrement dit, la fréquence de la porteuse du signal est différente suivant que le sens de la liaison est montant ou descendant.

Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément, c'est son principal avantage face à l'autre technique majeure de duplexage, le Time Division Duplexing (TDD). La figure 1.18 présente la trame FDD.

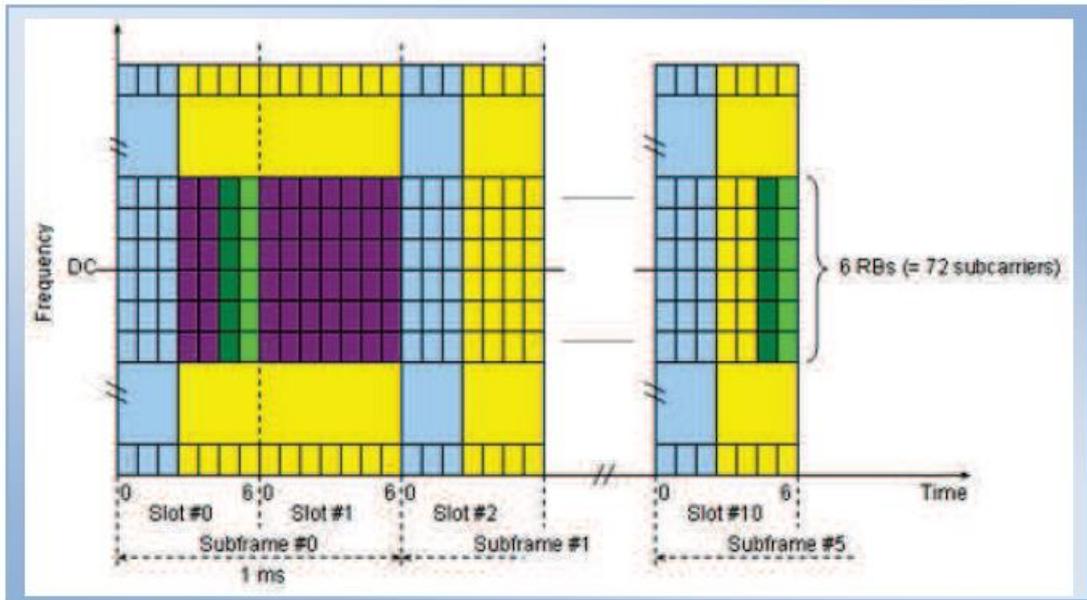


Figure 1. 18 : Structure de la trame radio.

Nous pouvons représenter un signal LTE dans une carte à deux dimensionnelle comme indiqué dans la figure 1.18. L'axe horizontal est le domaine de temps et l'axe vertical est le domaine de fréquence. L'unité minimale sur l'axe vertical est un transporteur sous et l'unité minimale sur l'axe horizontal est le symbole. Tant Pour le domaine de temps que le domaine de fréquence, il y a hiérarchies multiple des unités, signifiant une combinaison multiple d'une unité plus petite devient de plus grandes unités.

c) Structure de type 2 : TDD

Le Duplex par séparation temporelle TDD (Time-Division Duplex) est une technique permettant à un canal de télécommunication utilisant une même ressource de transmission (un canal radio par exemple) de séparer dans le temps l'émission et la réception.

Cette technique présente un avantage certain dans le cas où les débits d'émission et de réception sont variables et asymétriques. Lorsque le débit d'émission augmente ou diminue, davantage ou moins de bande passante peut être allouée. Un autre avantage de cette technique concerne les terminaux mobiles se déplaçant à très faible vitesse ou en position fixe. Dans ce cas, la technique de "beamforming" est très efficace avec un système TDD.

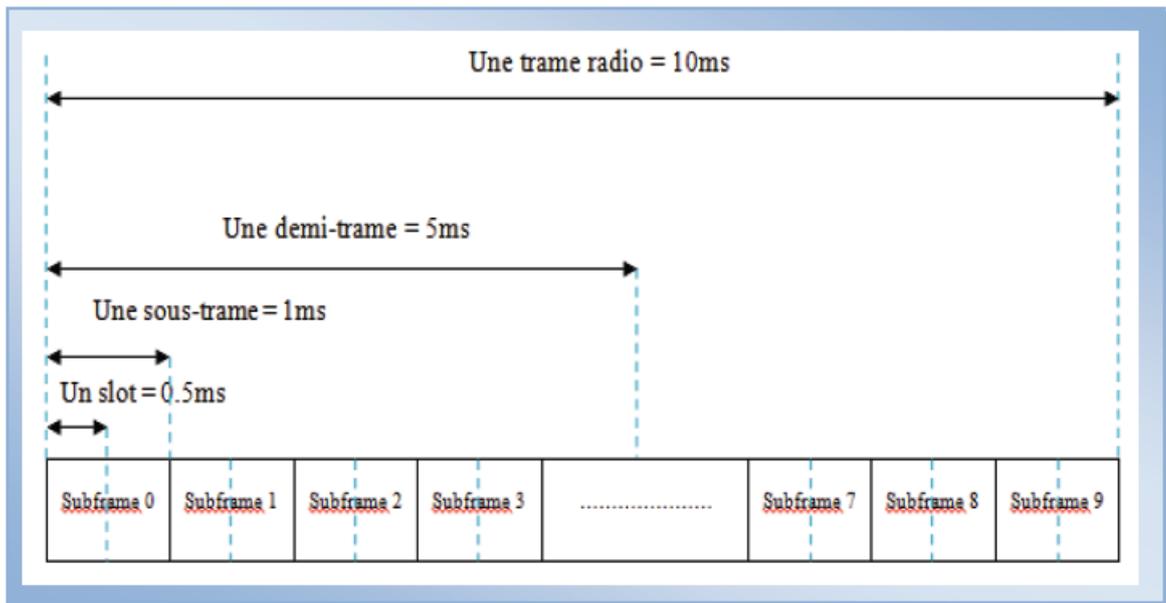


Figure 1. 19 : Les slots d'une trame radio.

LTE a l'avantage de s'adapter aux anciennes normes existantes. La transition est donc possible avec le l'UMTS FDD (W-CDMA), l'UMTS TDD et le GSM/EDGE.

❖ F. La mobilité

La mobilité est une fonction clé pour les réseaux mobiles. Le LTE vise à rester fonctionnel pour des UE se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences), tout en étant optimisé pour des vitesses de l'UE faibles (entre 0 et 15 km/h). L'effet des handovers intra-système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale est moins qu'en GSM, ou équivalent. Le système intègre également des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra-système

❖ Modulation adaptative et codage

Principalement par la mise en œuvre de la modulation 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit $2^2 = 4$ états d'information. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit $2^4 = 16$ états d'information. Chaque une de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM,

Modulations Uplink : QPSK et 16QAM.

1. La modulation 16QAM

La modulation d'amplitude en quadrature (QAM) est une forme de modulation d'une porteuse par modification de l'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature (une onde déphasée de 90° avec la porteuse) selon l'information transportée par deux signaux d'entrée.

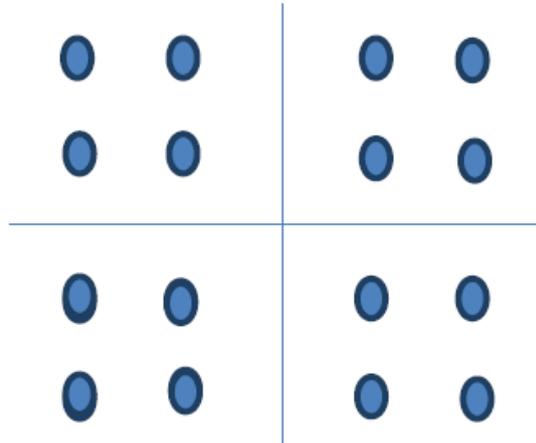


Figure 1. 20 : Constellation QAM à 16 états.

L'amplitude et la phase de la porteuse sont simultanément modifiées en fonction de l'information à transmettre. La figure 1.20 montre la constellation, qu'elle est en conséquence le nombre de bits pouvant être transmis en une fois, peut être augmentée pour un meilleur débit binaire, ou diminuée pour améliorer la fiabilité de la transmission en générant moins d'erreurs binaires. Le nombre de points de la constellation est indiqué avant le type de modulation QAM. Le format de modulation QAM est étudié de plus en plus sérieusement dans le domaine des télécommunications par fibre optique afin de répondre à l'augmentation du débit.

2. La modulation QPSK

Deux signaux FI en quadrature sont générés à partir d'un oscillateur local à la fréquence quadruple. Le train de donnée binaire est séparé en deux "sous trains" appelés I et Q. La paire de valeur, constitue ce que l'on appelle un symbole. Pour des considérations électroniques, les signaux I et Q sont centrés sur 0V. On peut donc considérer que I et Q prennent symboliquement deux niveaux +1, -1 correspondant aux états binaires. Chacun attaque un multiplieur. Le résultat de chaque multiplication est sommé en sortie de façon à obtenir un signal modulé $v_s(t)$: $V_s(t) = I \cos \omega t + Q \sin \omega t$.

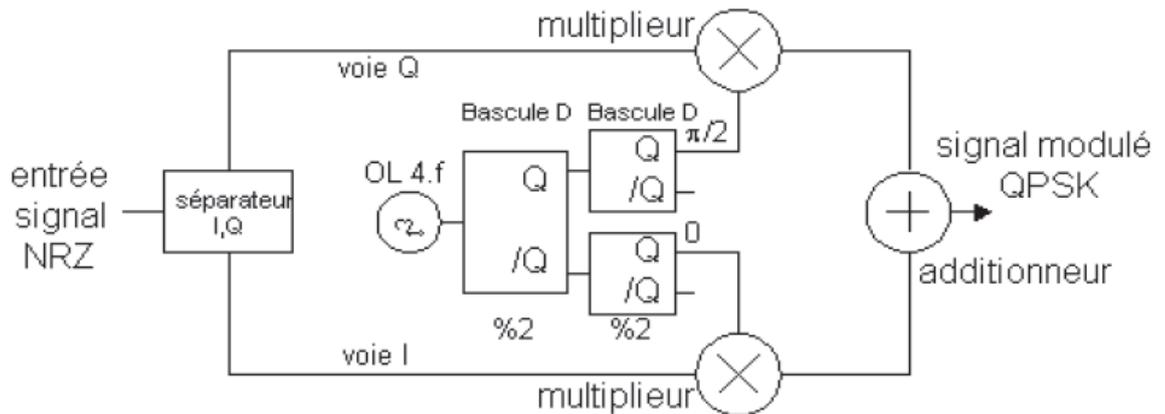


Figure 1. 21 : Schéma du principe du modulateur QPSK.

Les états de phases du signal modulé se représentent en coordonnées polaires dans le plan I, Q. Suivant les combinaisons de ces derniers, on obtient alors le diagramme de communément constellation [2].

❖ Les types de transmission utilisée dans la 4G

Un des éléments clés de la LTE est l'utilisation de ces deux techniques OFDMA et SC-FDMA, qu'on présentera par la suite, en tant que porteur du signal et des régimes d'accès.

1. OFDMA

L'OFDMA est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » qui est utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4eme génération LTE. Elle est également utilisée par d'autres systèmes de radiocommunication, tels les versions évoluées des normes de réseaux locaux sans fil WIFI (IEEE 802.11 versions n, IEEE 802.22 et WiBro) ainsi que par certaines normes de télévision numérique. Comme pour d'autres techniques de codage permettant l'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA), l'objectif est de partager une ressource radio commune (bande de fréquence) et d'en attribuer dynamiquement des parties à plusieurs utilisateurs.

➤ Origine et avantages

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux Wifi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, ainsi qu'il est compatible avec la technique des antennes MIMO. L'OFDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante au codage CDMA qui est utilisé dans les réseaux 3G UMTS, particulièrement dans le sens de transmission downlink des réseaux mobiles, car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé grâce à sa grande efficacité spectrale (nombre de bits transmis par Hertz) et à sa capacité à conserver un débit élevé même dans des environnements défavorables avec échos et trajets multiples des

ondes radio. Ce codage (tout comme le CDMA utilisé dans les réseaux mobiles 3G) permet un facteur de réutilisation des fréquences égal à « 1 », c'est-à-dire que des cellules radio adjacentes peuvent réutiliser les mêmes fréquences hertziennes.

➤ Principe

Le codage OFDMA consiste en un codage et une modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires pour les transformer en échantillons numériques destinés à être émis sur une (ou plusieurs) antennes radio ; réciproquement le signal radio reçoit le traitement inverse en réception.

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long ($66.7 \mu\text{s}$ pour le LTE) ; cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radio de moyenne et longue portées (quand le débit binaire sur une porteuse est élevé, l'écho d'un symbole arrivant en retard à cause d'une propagation multi-trajets perturbe le ou les symboles suivants) :

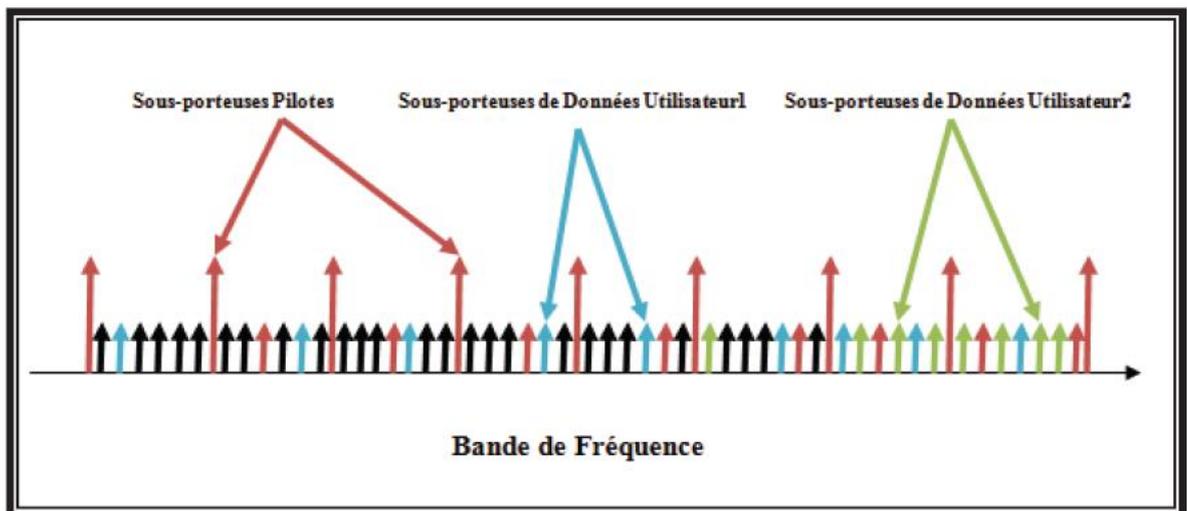


Figure 1. 22 : Les porteuses de l'OFDMA.

Un filtrage séparé de chaque sous-porteuse n'est pas nécessaire pour le décodage dans le terminal récepteur, une « Transformée de Fourier » FFT est suffisante pour séparer les sous porteuses l'une de l'autre. Dans le cas du LTE, il y a jusqu'à 1200 porteuses indépendantes.

Orthogonalité (le « O » de OFDMA) : en utilisant des signaux orthogonaux les uns aux autres pour les sous-porteuses contiguës, il évite les interférences mutuelles. Ce résultat est obtenu en ayant un écart de fréquence entre les sous-porteuses qui est égal à la fréquence des symboles sur chaque sous-porteuse. Cela signifie que

lorsque les signaux sont démodulés, ils ont un nombre entier de cycles dans la durée du symbole et leur contribution aux interférences est égale à zéro ; en d'autres termes, le produit scalaire entre chacune des sous-porteuses est nul pendant la durée de transmission d'un symbole (66.7 μ s en LTE, soit une fréquence de 15 KHz, ce qui correspond à l'écart de fréquence entre 2 sous-porteuses). Un CP (préfixe cyclique) est utilisé dans les transmissions OFDMA, afin de conserver l'orthogonalité et les propriétés sinusoïdales du signal pour les canaux à trajets multiples. Ce préfixe cyclique est ajouté au début des symboles émis. En LTE, deux longueurs différentes de préfixe cyclique sont prévues pour s'adapter à des temps différents de propagation du canal de transmission qui dépendent de la taille de la cellule radio et de l'environnement : un préfixe cyclique normal de 4,7 μ s, et un préfixe cyclique étendu de 16,6 μ s utilisé dans les très grandes cellules radio (ce préfixe représente de 7 à 25 % de la durée d'un symbole). Ce codage est associé dans les réseaux LTE à des modulations de type QPSK ou QAM utilisées sur chacun des canaux, pour s'adapter aux conditions radio locales et à la distance séparant l'antenne de chaque terminal.

2. SC-FDMA

Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE.

Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique, mais il utilise en complément, une « **DFT** » (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel.

Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant des réseaux 4G LTE où son PAPR (peak-to-average power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête de mission et donc le poids et le coût du terminal (smartphone ou tablette tactile).

Il a été adopté pour les liaisons uplink de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE », car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio downlink des réseaux LTE, pour lesquelles il y a moins de contraintes énergétiques, c'est l'OFDMA qui est utilisé car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé. Codage radio OFDMA et SC-FDMA : conversion numérique/analogique.

3. Comparaison entre l'OFDMA et le SC-FDMA

La figure suivante permet de relever les points communs entre l'OFDMA et le SCFDMA :

- Une transmission de données en blocs,
- Un multiplexage des données en fréquence dans le cas où ils sont répartis sur plusieurs sous-porteuses orthogonales,
- Une égalisation de canal réalisée dans le domaine fréquentiel,
- Une complexité globalement équivalente.

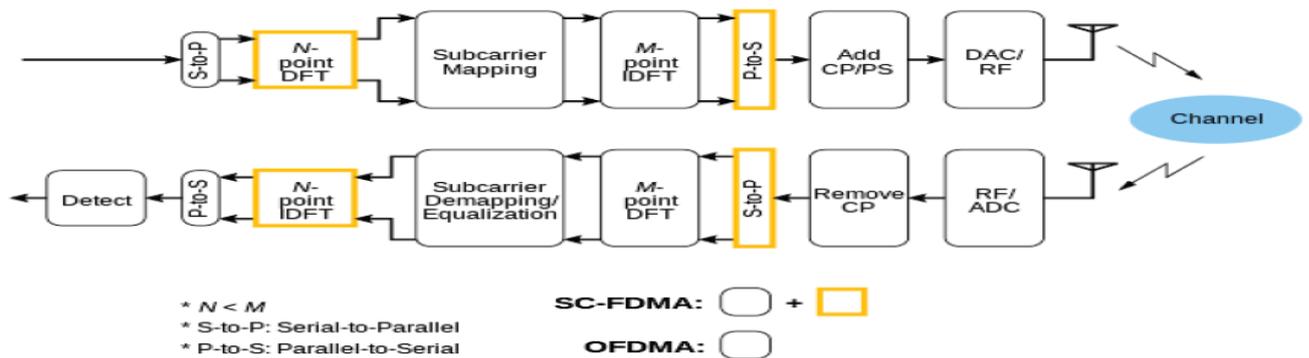


Figure 1. 23 : Similitude entre une chaîne OFDMA et SC-FDMA.

Mais ces techniques n'ont pas que des points communs. La différence majeure entre elles, réside dans le fait que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse tandis que la SC-FDMA est une technique mono-porteuse [2].

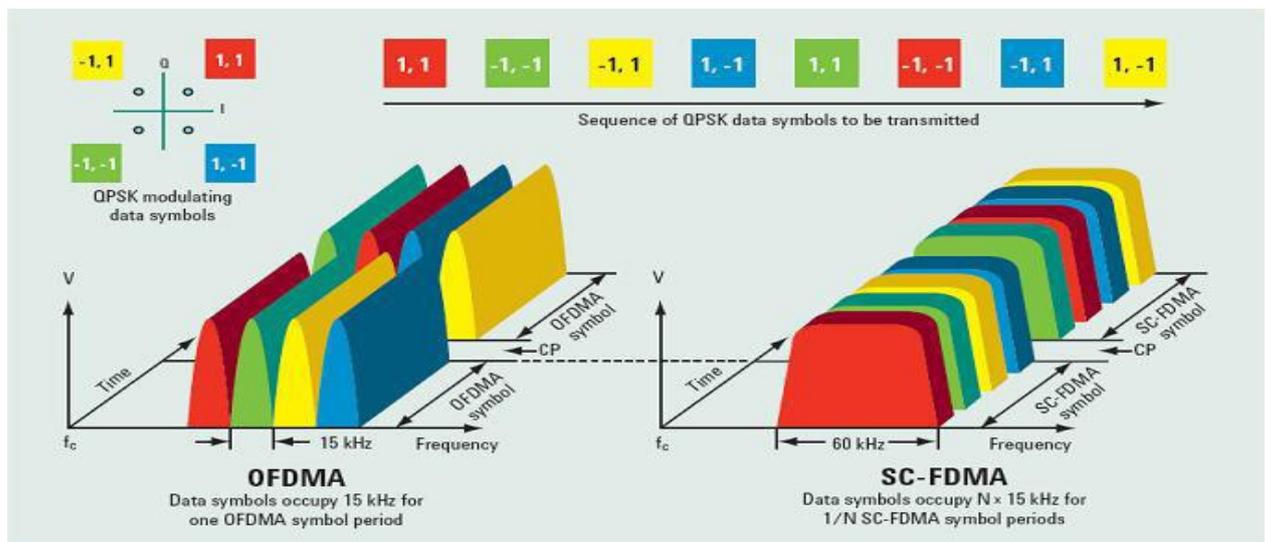


Figure 1. 24 : La différence entre OFDMA et SC-FDMA.

Chapitre 2 Supports de Transmission

2.1 Introduction

Les supports de transmission sont nombreux. Parmi ceux-ci, on distingue : les supports métalliques, non métalliques et immatériels. Les supports métalliques, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens et les plus largement utilisés ; ils transportent des courants électriques. Les supports de verre ou de plastique, comme les fibres optiques, transmettent la lumière, tandis que les supports immatériels des communications sans fil propagent des ondes électromagnétiques et sont en plein essor.

Dans ce chapitre, on va parler des supports de transmission et de la structure générale des faisceaux hertziens ainsi que leurs caractéristiques fonctionnelles en hiérarchie numérique synchrone (SDH) et en hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) en vue de leur intégration dans l'exploitation des réseaux utilisant ces deux hiérarchies.

2.2 Les différents supports de transmission

2.2.1 Le câble à paires torsadées

Une paire torsadée non blindée (UTP, Unshielded Twisted Pair) se compose de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe de symétrie longitudinal (voir figure 2.1).

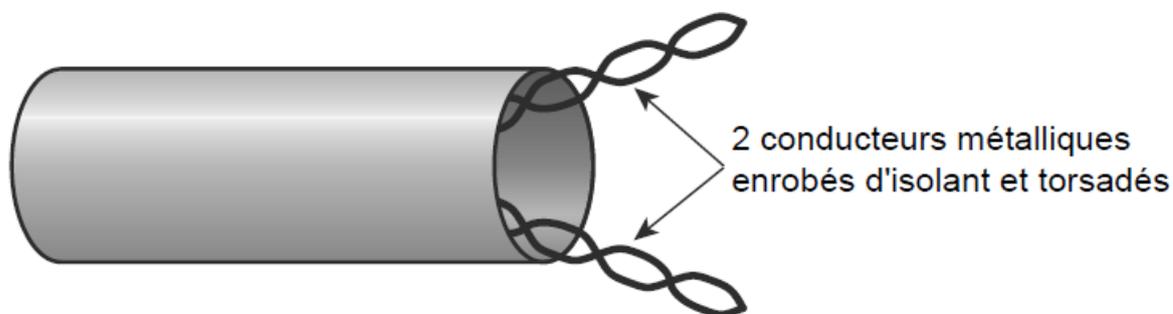


Figure 2.1 : Paires torsadée.

L'enroulement réduit les conséquences des inductions électromagnétiques parasites dues à l'environnement. L'utilisation courante de la paire torsadée est le raccordement des usagers au central téléphonique (la boucle

locale) ou la desserte des usagers de réseaux privés. Son principal inconvénient est l'affaiblissement des courants, d'autant plus important que le diamètre des conducteurs est faible. Les paires torsadées contiennent, à intervalles réguliers, des répéteurs qui régénèrent les signaux. Quand plusieurs paires sont rassemblées dans un même câble, les courants transportés interfèrent les uns avec les autres. Ce phénomène est appelé diaphonie.

La paire torsadée suffit pour les réseaux locaux d'entreprise où les distances se limitent à quelques kilomètres. Ses avantages sont nombreux : technique maîtrisée, facilité de connexion et d'ajout de nouveaux équipements, faible coût. Certains constructeurs proposent des paires torsadées blindées (STP, Shielded Twisted Pair). Enrobées d'un conducteur cylindrique, elles sont mieux protégées des rayonnements électromagnétiques parasites. Une meilleure protection prévoit un blindage par paire [4].

2.2.2 Câbles coaxiaux

Pour éviter les perturbations dues aux bruits externes, on utilise deux conducteurs métalliques cylindriques de même axe séparés par un isolant. Le tout forme un câble coaxial (voir figure 2.2). Ce câble présente de meilleures performances que la paire torsadée : affaiblissement moindre, transmission de signaux de fréquences plus élevées, etc.

La capacité de transmission d'un câble coaxial dépend de sa longueur et des caractéristiques physiques des conducteurs et de l'isolant. Sur 1 km, un débit de plusieurs centaines de Mbit/s peut être atteint. Sur des distances supérieures à 10 km, l'atténuation des signaux réduit considérablement les débits possibles. C'est la raison pour laquelle on utilise désormais les fibres optiques sur les liaisons grandes distances [4].

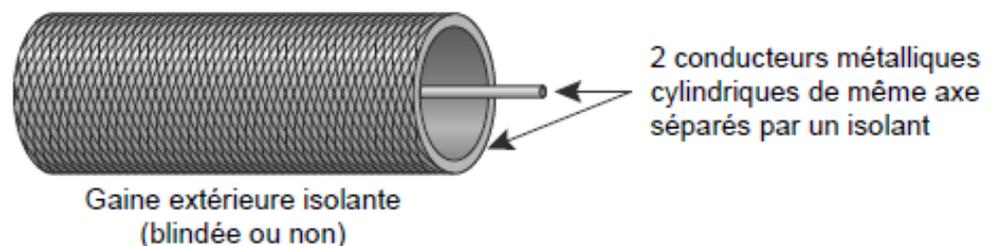


Figure 2. 2 : Câble coaxial.

2.2.3 Fibre optique

Une fibre optique est constituée d'un fil de verre très fin. Elle comprend un cœur, dans lequel se propage la lumière émise par une diode électroluminescente ou une source laser (voir figure 2.3) et une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre.

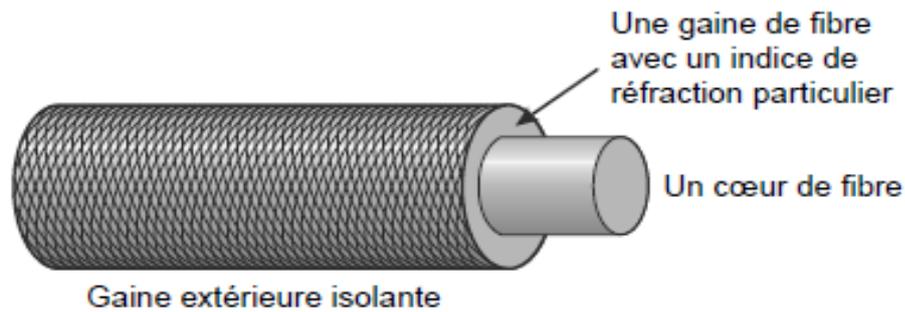


Figure 2. 3 : Fibre optique.

Les avantages de la fibre optique sont nombreux : diamètre extérieur de l'ordre de 0,1 mm poids de quelques grammes au kilomètre. Cette réduction de taille et de poids la rend facile à utiliser. En outre, sa très grande capacité permet la transmission simultanée de nombreux canaux de télévision, de téléphone... Les points de régénération des signaux sont plus éloignés (jusqu'à 200 km), du fait de l'atténuation moindre de la lumière. Enfin, l'insensibilité des fibres aux parasites électromagnétiques est un avantage très apprécié, puisqu'une fibre supporte sans difficulté la proximité d'émetteurs radioélectriques. On peut l'utiliser dans des environnements perturbés (avec de puissants champs électromagnétiques, par exemple). Par ailleurs, elle résiste bien aux écarts de température. La fibre optique constitue la plupart des artères des réseaux de télécommunications et des réseaux locaux à très haut débit.

Les premières fibres optiques employées dans les télécommunications, apparues sur le marché à partir des années 1970, étaient multimodes (à saut d'indice ou à gradient d'indice, selon que l'indice de réfraction de la lumière varie de manière brutale ou progressive entre le cœur et la gaine de la fibre). Ces fibres étaient réservées (et le sont encore) aux débits inférieurs au gigabit par seconde, sur des distances de l'ordre du kilomètre. Plusieurs longueurs d'onde bien choisies se propagent simultanément en de multiples trajets dans le cœur de la fibre. Pour des débits plus élevés et des distances plus longues, la fibre monomode, de fabrication plus récente, plus fine, assure la propagation d'une seule longueur d'onde dans son cœur (quelques micromètres de diamètre) et offre donc de meilleures performances [4].

❖ Les fibres multi modes

Ce sont des fibres dont la partie centrale (là où est guidée la lumière) a un diamètre grand devant la longueur d'onde utilisée. L'étude de la propagation peut donc se faire de façon simplifiée mais correcte par l'optique géométrique, c'est à dire le calcul des trajectoires des rayons.

✓ Fibres optiques à saut d'indice

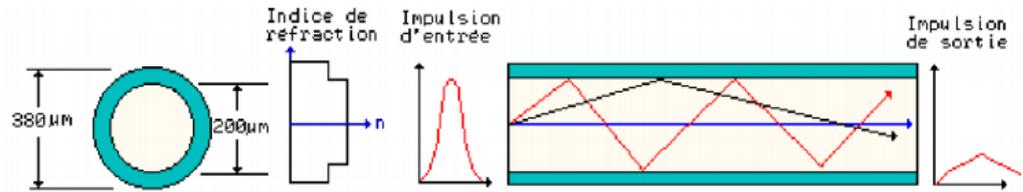


Figure 2. 4 : Fibre a saut d'indice.

C'est le type de fibre le plus simple, directement issue des applications optiques traditionnelles. Dans cette fibre, le cœur est homogène et d'indice n_1 . Il est entouré d'une gaine optique d'indice n_2 inférieur à n_1 . Ces deux indices sont peu différents et sont dans un rapport de l'ordre de 1,5.

✓ Fibre optique à gradient d'indice

L'indice de réfraction cœur/gaine présente une courbe parabolique avec un maximum au niveau de l'axe. Les rayons lumineux suivent un parcours sinusoïdal. La bande passante est comprise entre 600 et 3000 MHz/km. Les diamètres les plus fréquents sont $62.5\mu\text{m}$ et $50\mu\text{m}$.

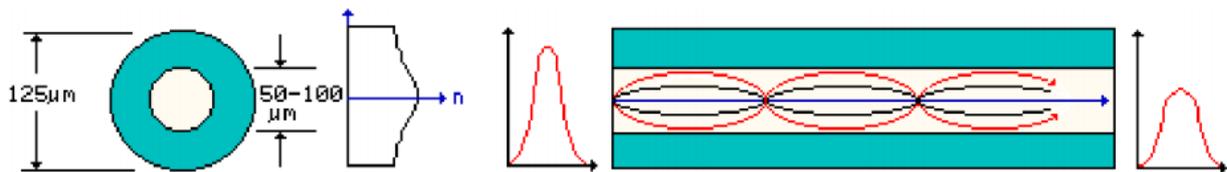


Figure 2. 5 : Fibre à gradient d'indice.

L'avantage essentiel de ce type de fibre est de minimiser la dispersion du temps de propagation entre les rayons, sans utiliser pour cela l'ouverture numérique trop faible. Ce type de fibre optique est la plus utilisée pour des liaisons informatiques sur des distances moyennes.

❖ Les fibres optiques monomodes

Un seul mode, appelé fondamental, se propage à l'intérieur de la fibre. La bande passante est supérieure à 10 GHz/km. Le diamètre du cœur ($9\mu\text{m}$) et l'ouverture numérique sont si faibles que les rayons lumineux se propagent parallèlement avec des temps de parcours égaux. Ne subissant pas la dispersion intermodale, ce type de fibre est surtout utilisé pour des distances très longues.

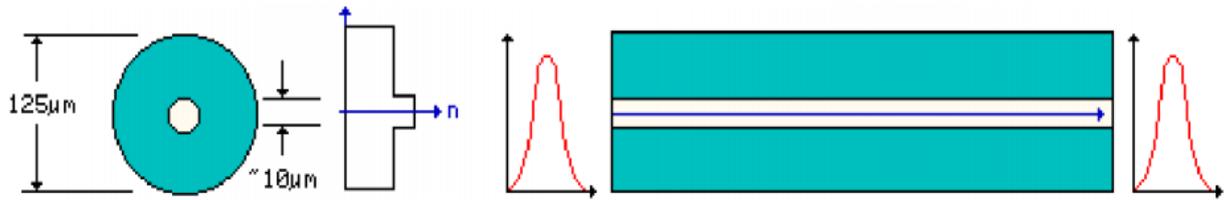


Figure 2. 6 : Fibre monomode.

2.2.4 Faisceaux hertziens

Les faisceaux hertziens reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz) et de faisceaux directifs produits par des antennes directionnelles émettant dans une direction donnée. La propagation des ondes est limitée à l'horizon optique ; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur, par exemple au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions. Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellite, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longues distances dans les réseaux téléphoniques. C'est le lien de transmission le plus utilisé chez *Ooredoo*. La transmission par FH est illustrée par la figure 2.7 [1].

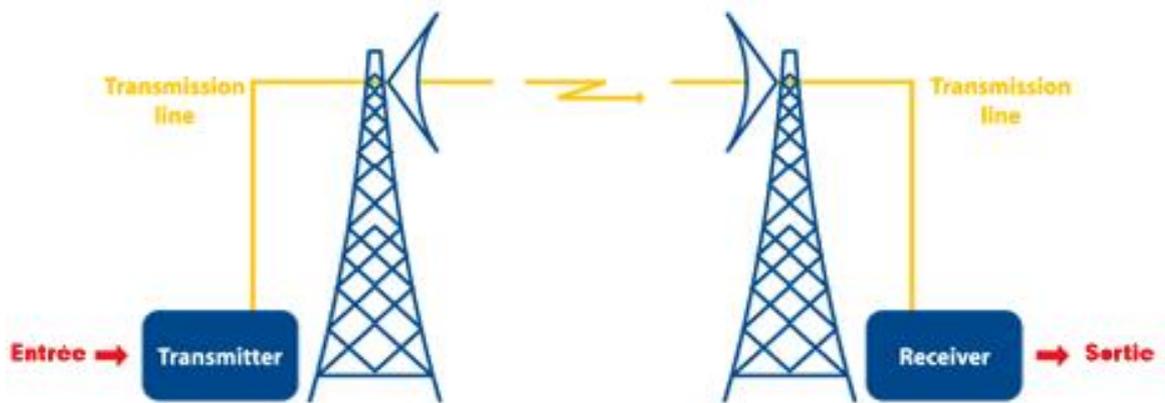


Figure 2. 7 : Transmission par faisceau hertzien.

Pour chaque liaison hertzienne, on définit deux fréquences correspondant aux deux sens de transmission. Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est souvent découpé en plusieurs tronçons, appelés bonds, reliés par des stations relais.

Avantage :

- Installation facile et rapide,
- Matériel flexible et évolutif,
- Débits élevés,
- Adapté à de grandes distances.

Inconvénients :

- Exploitation sous licences, sur certaines fréquences,
- Coûts des licences,
- Liaisons sensibles aux hydrométéores, notamment lors de fortes pluies,
- Nécessite une visibilité entre les deux points (pas d'obstacles),
- Sensibles aux perturbations.

Structure générale d'une liaison hertzienne

Une liaison hertzienne comprend deux stations terminales et des stations relais, elle est composée d'un ou plusieurs bonds. On appelle station terminale, toute station située à la fin d'une liaison hertzienne. On appelle stations relais, celles situées entre les stations terminales. On appelle bond hertzien, la distance séparant deux stations consécutives [11].

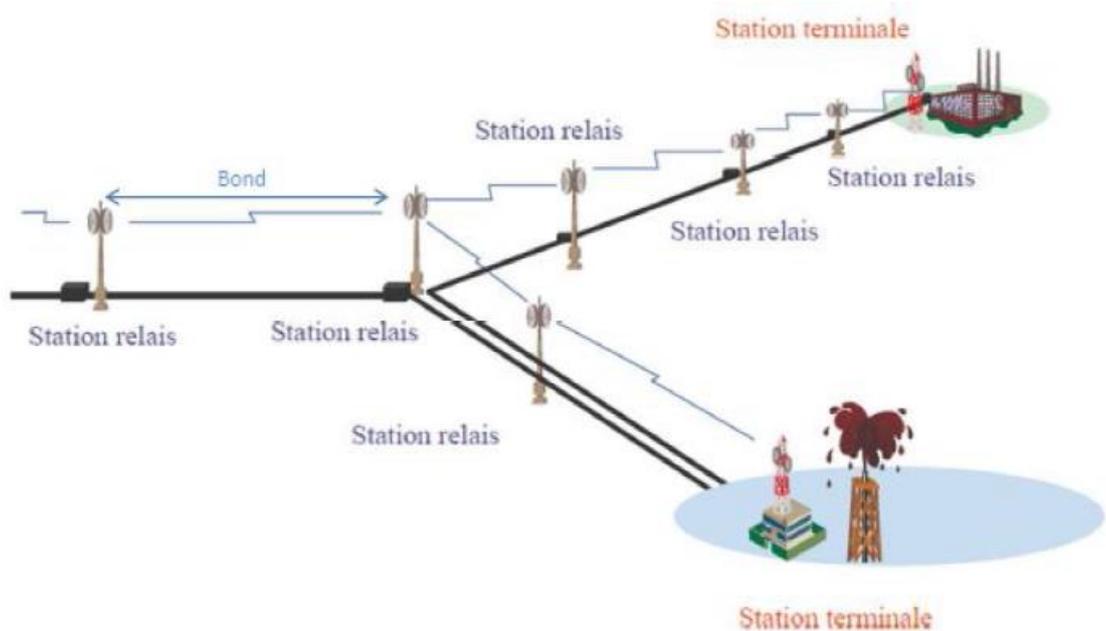


Figure 2. 8 : Structure générale d'une liaison hertzienne.

2.2.5 Les faisceaux Laser

C'est une connexion point-à-point, où l'information est transportée en faisceaux Laser comme représenté sur la figure 2.9



Figure 2. 9 : Transmission par faisceau laser.

Avantage :

- Faible atténuation,
- Pas besoin de licences pour les fréquences,
- Compacte.

Inconvénients :

- Coût élevé,
- Nécessité d'une grande précision pour l'alignement.

2.2.6 Le VSAT

La transmission en VSAT consiste à envoyer l'information d'une BTS à une autre via un satellite, comme le montre la figure 2.10. Le VSAT est utilisé dans les endroits isolés et où il n'y a pas de BTS à proximité pour mettre en cascade l'information en FH. Cette méthode est utilisée chez *Ooredoo* pour les BTS qui se trouvent dans les endroits isolés du Sahara [1].

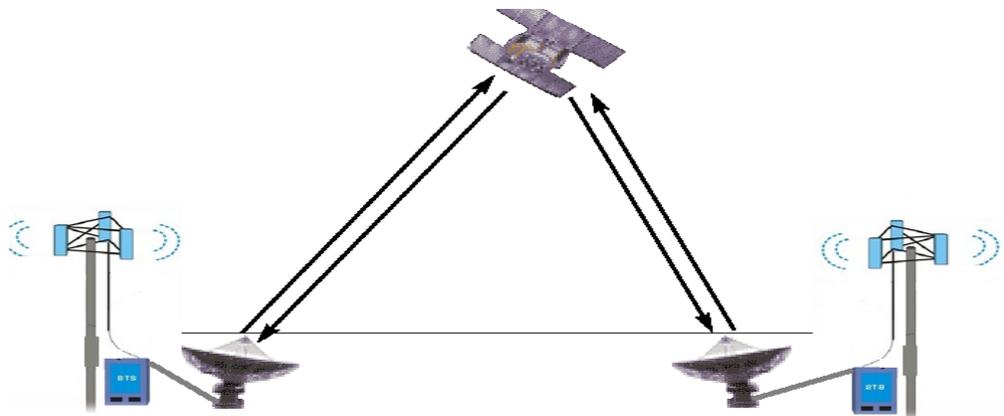


Figure 2. 10 : La transmission en VSAT.

Avantage :

- Installation à n'importe quel endroit,
- Sa transmission est plus fiable,
- L'acheminement ne dépend pas des BTS alentour.

Inconvénient :

- Allocation de l'espace sur le satellite onéreuse,
- Difficulté à l'installation et à la maintenance.

2.3 Généralités sur les Hiérarchies synchrones (xDH)**2.3.1 Rappel sur la numérisation du réseau téléphonique**

La modernisation du réseau téléphonique commuté s'est conçue en numérisant les signaux analogiques de la voix. La bande passante étant de 300 Hz à 3400 Hz, la voix est échantillonnée à $f_e=8$ kHz, soit $T_e=125\mu s$. On échantillonne le signal à 8 kHz puis on converti les échantillons en données numérique sur 8 bits, soit un débit par voix de 64 kHz [11].

2.3.2 Organisation de la trame MIC primaire E1

Le système MIC normalisé par les Européens est appelé MIC **E1** (Européen, 1^{er} Niveau). La normalisation s'est arrêtée sur la transmission de 30 voies de données plus deux voies annexes appelées voies d'information par multiplexage temporel. On divise donc l'intervalle séparant 2 échantillons successifs pour une voie par 32 Intervalles de Temps égaux.

2.4 La hiérarchie plésiochrone PDH**2.4.1 Synchronisation des réseaux**

Le débit affecté à chaque voie incidente est référencée vis-à-vis d'une horloge interne qui est soit fournie par un oscillateur soit asservie sur une horloge de référence. Que ce soit au niveau trame ou affluent, chaque information est véhiculée à un débit fixé par la fréquence de fonctionnement de l'horloge de la voie incidente. Les affluents sont alors dits plésiochrones (du grec plésio presque) puisque les horloges sont proches mais non identiques [6].

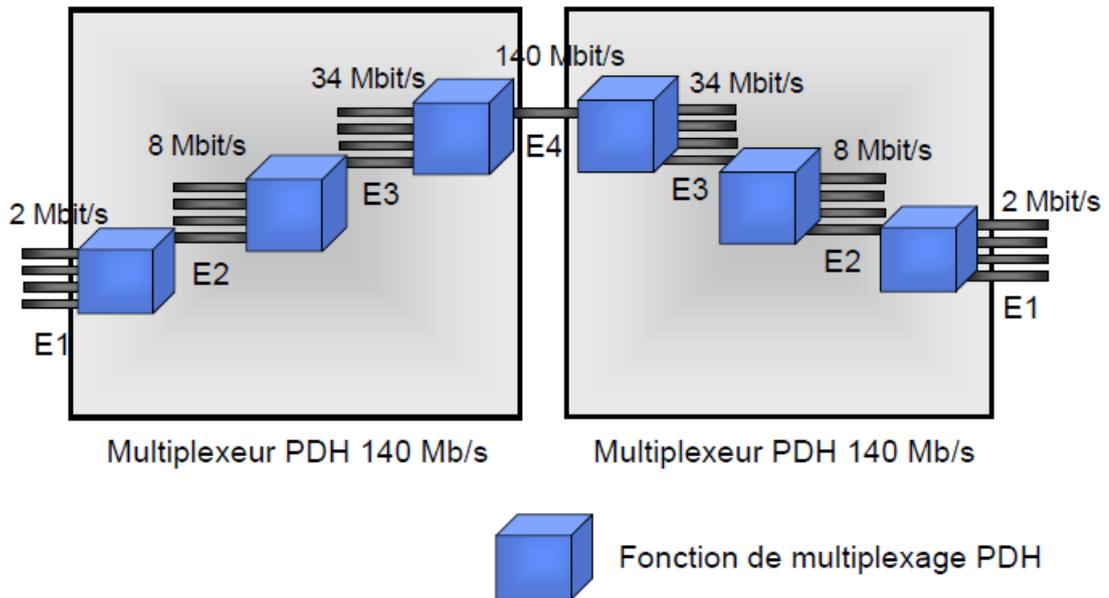


Figure 2. 11 : Multiplexage PDH.

Le transfert de données est basé sur un flux à 2 048 kbit/s. Pour la transmission de la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 kbit/s et 2 canaux de 64 kbit/s utilisés pour la signalisation et la synchronisation. On peut également utiliser l'intégralité du flux pour de la transmission de donnée dont le protocole s'occupera du contrôle. Afin d'amener plusieurs flux de 2 Mbit/s d'un point à un autre, ils sont combinés par multiplexage en groupes de quatre. Cette opération consiste à prendre 1 bit du flux #1 suivi d'un bit du #2, puis le #3 et enfin le #4. L'équipement émetteur ajoute également des informations permettant de décoder le flux multiplexé.

La combinaison du multiplexage décrit permet un débit de 8 Mbit/s. Des techniques similaires permettent d'agréger quatre de ces flux pour former des conduits de 34 Mbit/s puis 140 Mbit/s et enfin 565 Mbit/s.

Ces débits en Europe sont nommés E_i avec E_1 correspondant à 2 048 kbit/s, E_2 correspondant à 8 Mbit/s, E_3 correspondant à 34 Mbit/s, E_4 correspondant à 140 Mbit/s (le plus haut débit normalisé) et E_5 correspondant à 560 Mbit/s mais n'ayant jamais été normalisé.

L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s après quoi on lui préfère la SDH. Les débits PDH aux Etats-Unis sont nommés T_i avec T_1 à 1,544 Mbit/s, T_2 à 6,312 Mbit/s, T_3 à 44,736 Mbit/s et T_4 fonctionnant à 274,176 Mbit/s.

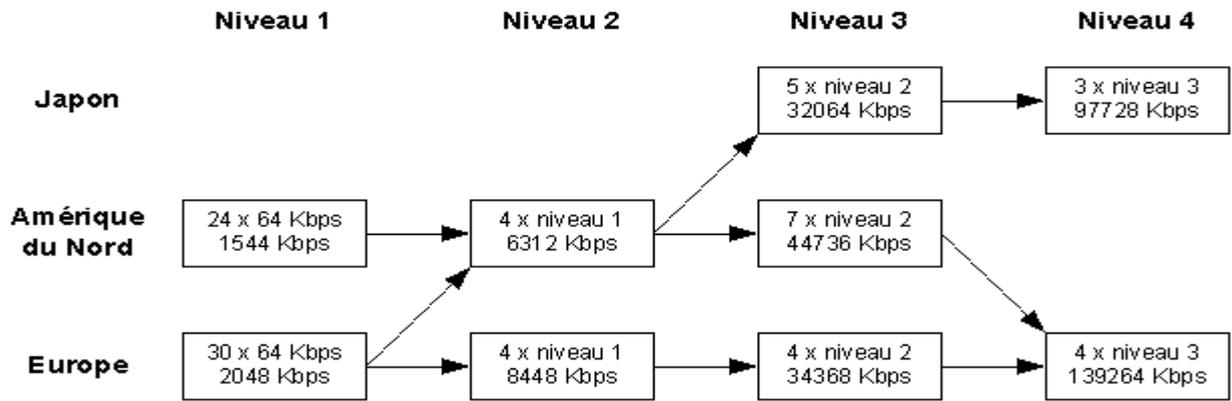


Figure 2. 12 : les différents standards de PDH.

2.5 La hiérarchie SDH /SONET

L'inconvénient de la PDH est qu'il faut démultiplexer complètement l'ensemble des différents ordres de multiplexage pour extraire un signal. De plus, la synchronisation de chaque émetteur avec chaque récepteur qui est une condition clef à une transmission sans erreur est parfois délicate à obtenir dans ce système ou les horloges donnant le rythme sont réparties sur les émetteurs et les récepteurs et on se retrouve avec presque autant d'horloges différentes qu'il y a de machines différentes dans le réseau. Pour pallier ces problèmes, une nouvelle hiérarchie de système de transmission a vu le jour :

- SDH : Synchronous Digital Hierarchy (en Europe),
- SONET : Synchronous Optical NETwork (aux USA).

L'un des aspects principaux est que tous les équipements du réseau SDH sont pilotés par le même signal d'horloge, c'est pour cette raison que ce mode de transmission est appelé synchrone [6].

2.5.1 Les aspects de la SDH

La technologie SDH dispose de débits de transport considérables permettant de réserver une capacité significative pour la gestion du réseau. La gestion du réseau SDH inclut l'exploitation, la gestion, la maintenance et la mise en service, elle est effectuée par des informations de sur-débit transportées dans les trames. Chaque couche d'un réseau SDH (niveau d'encapsulation) dispose de moyens propres de gestion. Certaines données dites de bourrage sont incluses juste pour la synchronisation.

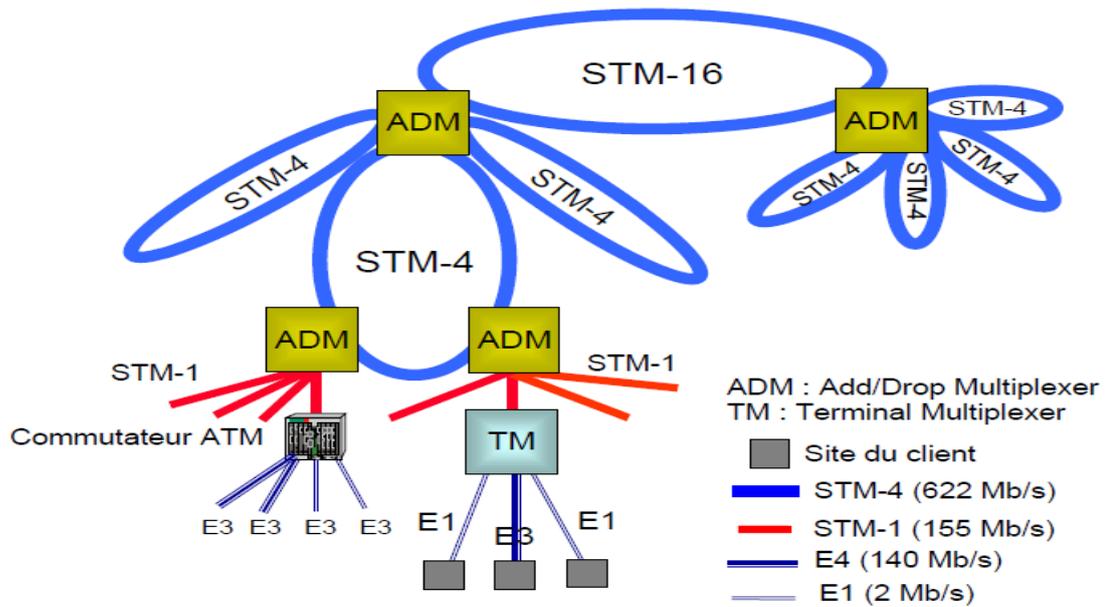


Figure 2. 13 : Exemple de réseau SDH.

2.5.2 Le multiplexage SDH

Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM-n (Synchronous Transport Module, niveau n). Pour SONET ils sont organisés en STS-n (Synchronous Transport signal, niveau n).

SDH	SONET	Désignation optique	Débit (Mbit/s)
	STS-1	OC-1	51.84
STM-1	STS-3	OC-3	155.52
STM-4	STS-12	OC-12	622.08
STM-16	STS-48	OC-48	2488.32
STM-64	STS-192	OC-192	9953.28

Table 2. 1 : Répertoire des débits SDH/SONET.

Lors du multiplexage SDH, les données sont encapsulées dans des blocs (trames) qui seront multiplexés pour donner des blocs de plus en plus gros jusqu'à obtenir une trame STM. Chaque bloc porte un nom, on trouve : Conteneur C, Conteneur Virtuel VC, Tributary Unit TU, Tributary Unit Group TUG, Administrative Unit AU, Administrative Unit group AUG, et Synchronous Transport Module (STM).

Un bloc de données SDH (C, VC, TU, TUG, AU, AUG, STM) est toujours transmis en 125 µs, c'est la période clef des transmissions SDH. Comme les blocs ne contiennent pas le même volume de données, cela

suppose l'utilisation d'horloge de plus en plus rapide au fur et à mesure qu'on avance dans l'arbre de multiplexage.

Le multiplexage SDH se fait en deux étapes. Un premier niveau, dit niveau inférieur **LO** (Low Order) suivi d'un deuxième niveau, dit niveau supérieur **HO** (High Order). Dans le premier niveau les VC-LO sont multiplexés pour former les VC-HO, en suite, dans le 2^{ème} niveau, les VC-HO sont multiplexées pour former la trame STM.

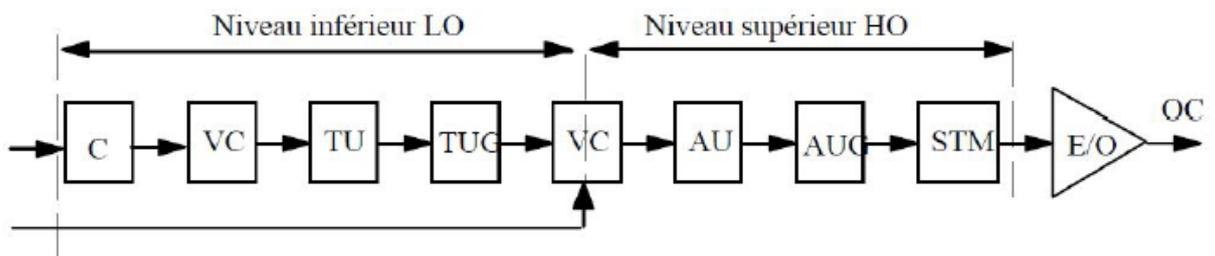


Figure 2. 14 : Les niveaux de multiplexage SDH.

2.6 D-WDM

La capacité de transport de la fibre optique continue d'augmenter régulièrement grâce au multiplexage en longueur d'onde. Dans le même temps, le débit de chaque longueur d'onde ne cesse de progresser. On estime qu'il a été multiplié par deux tous les six mois de 2000 à 2004, date à laquelle on a atteint près de 1 000 longueurs d'onde. Comme, sur une même longueur d'onde, la capacité est passée pour la même période de 2,5 à 40 Gbit/s et bientôt 160 Gbit/s, des capacités de plusieurs dizaines de térabits par seconde (Tbit/s, ou 10¹² bit/s) sont aujourd'hui atteintes sur la fibre optique.

Le multiplexage en longueur d'onde, ou WDM (Wavelength Division Multiplexing), consiste à émettre simultanément plusieurs longueurs d'onde, c'est-à-dire plusieurs lumières, sur un même cœur de verre. Cette technique est fortement utilisée dans les cœurs de réseau. On l'appelle DWDM (Dense WDM) lorsque le nombre de longueur d'onde devient très grand.

Les principaux avantages de la fibre optique sont les suivants :

- Très large bande passante, de l'ordre de 1 GHz pour 1 km,
- Faible encombrement,
- Grande légèreté,
- Très faible atténuation,
- Très bonne qualité de transmission,
- Bonne résistance à la chaleur et au froid,
- Matière première bon marché (silice),

- Absence de rayonnement.

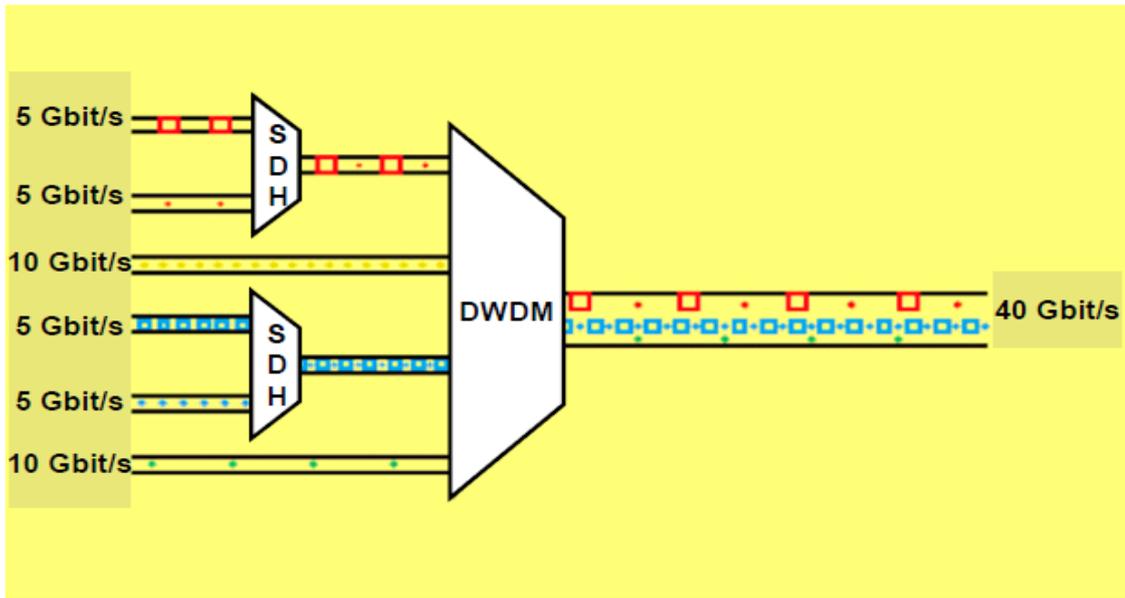


Figure 2. 15 : Multiplexage D-WDM.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre on a vu les différents supports de transmission et d'où provient l'information à transmettre, elle est multiplexée pour pouvoir être mise dans un débit élémentaire E1, comment les E1 se multiplexent pour former un E2 et comment transporter ces E1 et quel support sont utilisée pour cela ainsi un aperçu sur les faisceaux hertziens en évoquant les différents éléments qui agissent dans les transmissions point à point, comme on a pu détailler le principe des hiérarchies PDH et SDH utilisées notamment dans les réseaux numériques téléphoniques.

3.1 Introduction

Ce chapitre représente le corps de notre travail pratique, notre application est la planification d'un réseau 3G chez l'opérateur *Ooredoo* dans la région de bab-ezzouar ALGER à l'aide du logiciel Mentum Elipse, et le calcul de capacité d'un réseau 3G entre le RNC et le NodeB hôte est pour cela on a élaboré un programme de calcul à l'aide du logiciel MATLAB.

3.2 Présentation des outils

3.2.1 Mentum Elipse

Il existe plusieurs logiciels de planification, mais le choix de l'opérateur téléphonique Ooredoo s'est porté sur le logiciel mentum Elipse pour sa fiabilité de ses résultats.

Mentum Ellipse soutient l'ensemble du cycle de vie de backhauling mobile et d'autres réseaux de transmission. Avec Mentum Ellipse, les ingénieurs de la planification micro-ondes de liaison et de transmission peuvent améliorer le ROI de leurs réseaux de transport et de backhaul et d'accroître leur efficacité opérationnelle.

Mentum Ellipse offre une technologie de planification et la fréquence state-of- the-art liaison hertzienne avec le soutien à la fois de point à point et point -à-multipoint réseaux à micro-ondes. Avec des fonctionnalités de planification des transports innovants du logiciel, les ingénieurs de transmission peuvent planifier et optimiser la topologie du réseau, le routage du trafic et utilisation de la liaison. En intégrant les données de gestion des performances du réseau en direct et les charges de trafic dans le processus de planification , les ingénieurs de transmission peuvent optimiser la capacité du réseau de backhauling pour correspondre réels et prévus des charges de trafic et d'éviter les goulots d'étranglement , tout en répondant aux objectifs de disponibilité [12].

3.2.2 MATLAB

Il existe plusieurs langages de programmations en informatique qui offrent différents possibilités d'abstraction, et une notation proche de l'algèbre permettant de décrire de manière concise et facile à saisir les opérations de manipulation de données et l'évolution du déroulement du programme en fonction des situations. Mais notre choix s'est porté sur le logiciel « MATLAB R2009b ».

MATLAB (« matrix laboratory ») est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom, il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The MathWorks, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB (environ un million en 2004) sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Matlab peut s'utiliser seul ou avec des toolbox (« boîte à outils ») [8].

3.3 Calcul de capacité d'un lien entre RNC et NodeB [9]

Pour calculer la capacité d'un lien nous avons choisis la zone de bab Ezzouar. Nous avons un tableau dans lequel il y a des données à propos des NodeB ces données sont : le nom du NodeB, le mode avec lequel il fonctionne s'il est dual carrier ou single carrier, le nombre des NodeB cascadiés la figure suivante nous la montre :

Nom du site	Capacité du site	Site cascadié									
AL0075	7*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL0075	0	0	0	0	0
AL5941	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5021	AL5941	0	0	0	0
AL6266	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5021	AL6266	0	0	0	0
AL5021	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5021	0	0	0	0	0
AL4839	7*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5333	AL5041	AL4985	AL5217	AL4839	0
AL5217	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5333	AL5041	AL4985	AL5217	0	0
AL4985	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5333	AL5041	AL4985	0	0	0
AL5041	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5333	AL5041	0	0	0	0
AL6539	#N/A	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5333	AL6539	0	0	0	0
AL5333	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5333	0	0	0	0	0
AL5975	#N/A	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5498	AL5975	0	0	0	0
AL5498	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	AL5498	0	0	0	0	0
AL1634	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	AL1634	0	0	0	0	0	0
AL1655	42*3	AL4942	AL1633	AL1655	0	0	0	0	0	0	0
AL5083	42*3	AL4942	AL1633	AL5083	0	0	0	0	0	0	0
AL5216	42*3	AL4942	AL1633	AL5216	0	0	0	0	0	0	0
AL5215	42*3	AL4942	AL1633	AL5479	AL5215	0	0	0	0	0	0
AL5479	42*3	AL4942	AL1633	AL5479	0	0	0	0	0	0	0
AL1633	42*3	AL4942	AL1633	0	0	0	0	0	0	0	0
AL0059	#N/A	AL4942	AL1645	AL1654	AL0059	0	0	0	0	0	0
AL5221	42*3	AL4942	AL1645	AL1654	AL5221	0	0	0	0	0	0
AL1654	42*3	AL4942	AL1645	AL1654	0	0	0	0	0	0	0
AL5002	42*3	AL4942	AL1645	AL5002	0	0	0	0	0	0	0
AL5982	42*3	AL4942	AL1645	AL5056	AL5982	0	0	0	0	0	0
AL5056	42*3	AL4942	AL1645	AL5056	0	0	0	0	0	0	0
AL5408	42*3	AL4942	AL1645	AL5099	AL4957	AL5408	0	0	0	0	0
AL4957	42*3	AL4942	AL1645	AL5099	AL4957	0	0	0	0	0	0
AL5099	42*3	AL4942	AL1645	AL5099	0	0	0	0	0	0	0
AL6545	42*3	AL4942	AL1645	AL6545	0	0	0	0	0	0	0

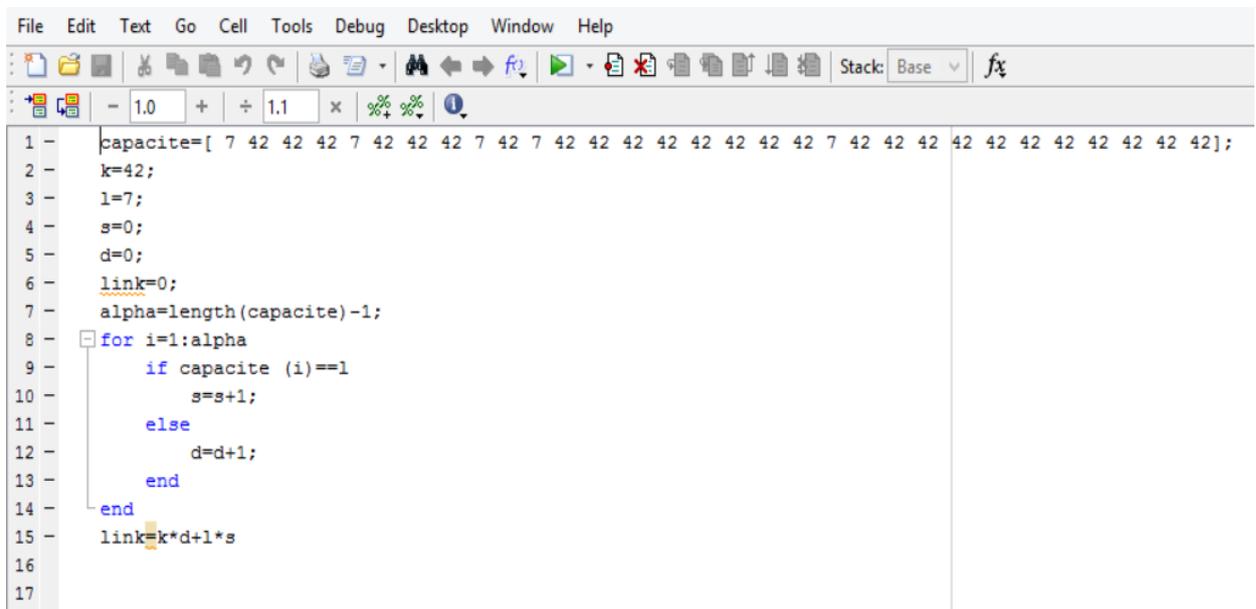
Figure 3. 1 : Les NodeB cascadiés fournis.

Dans ce tableau les NodeB son cascaded, et on donne deux exemples :

- Le NodeB AL1633 avec qui il y a 17 NodeB cascaded donc lui c'est le 18ème,
- Le NodeB AL1645 avec qui il y a 10 NodeB cascaded donc lui le 11ème.

Donc on veut calculer la capacité dans cette zone entre le RNC et le NodeB AL4942 (cascaded avec AL1633 et AL1645) et on a le mode qu'utilise chaque NodeB, si on fait ça manuellement on calcule le nombre de NodeB qui utilise le mode dual carrier (42Mbps) fois 42 plus le nombre de NodeB qui utilise le mode single carrier (7Mbps) fois 7, dans ce cas il y a 25 NodeB qui utilise le dual carrier et 5 NodeB qui utilise le single carrier on aura 1085Mbps à la fin.

On à élaborer un programme qui calcul la capacité du lien reliant le RNC et le NodeB hôte qui est le suivant :



```
1 - capacite=[ 7 42 42 42 7 42 42 42 7 42 7 42 42 42 42 42 42 42 7 42 42 42 42 42 42 42 42];
2 - k=42;
3 - l=7;
4 - s=0;
5 - d=0;
6 - link=0;
7 - alpha=length(capacite)-1;
8 - for i=1:alpha
9 -     if capacite (i)==1
10 -        s=s+1;
11 -     else
12 -        d=d+1;
13 -     end
14 - end
15 - link=k*d+1*s
16
17
```

Figure 3. 2 : le programme qui calcul la capacité.

Après exécution du programme (cliquer sur RUN), on obtient les résultats suivants :

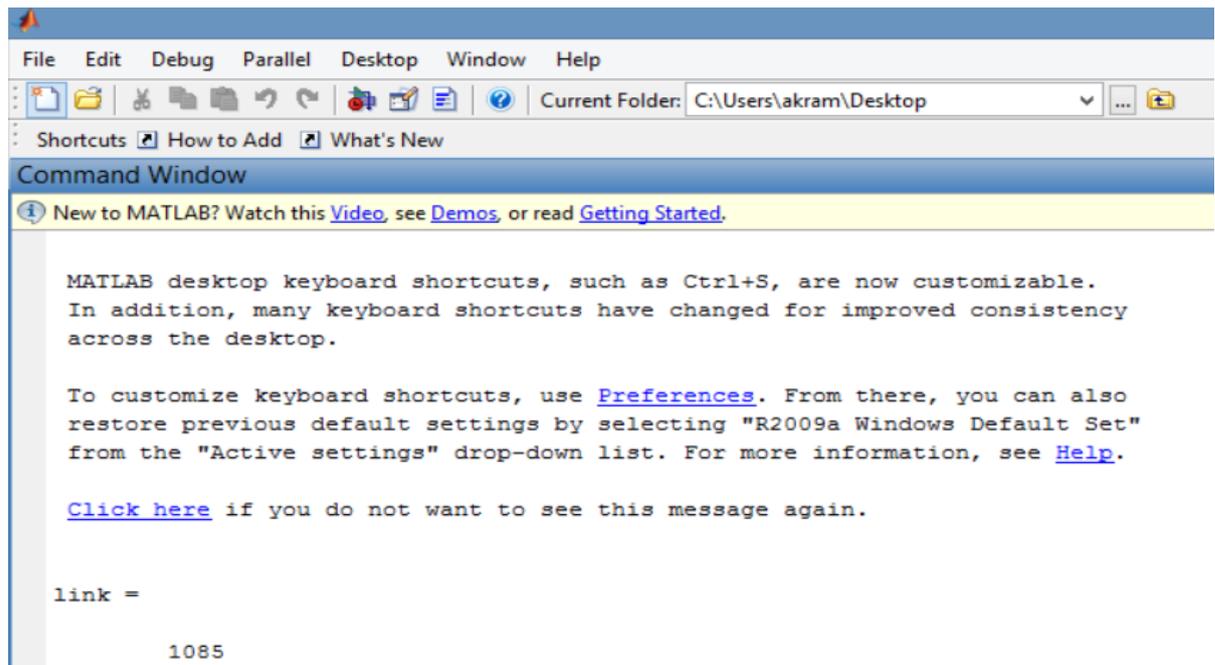


Figure 3.3 : le résultat du calcul.

Le résultat trouvé de la capacité est de 1085Mbps entre le RNC et le NodeB hôte, ce résultat sera divisé par la suite entre les NodeB cascades.

3.4 Planification d'un nouveau site

L'opérateur téléphonique *Ooredoo* utilise le logiciel Mentum Ellipse pour l'organisation de nouveaux sites, dans cette partie on va décrire les étapes servant à planifier des sites nouveaux :

- On ouvre le logiciel Mentum Ellipse (figure 3-4),

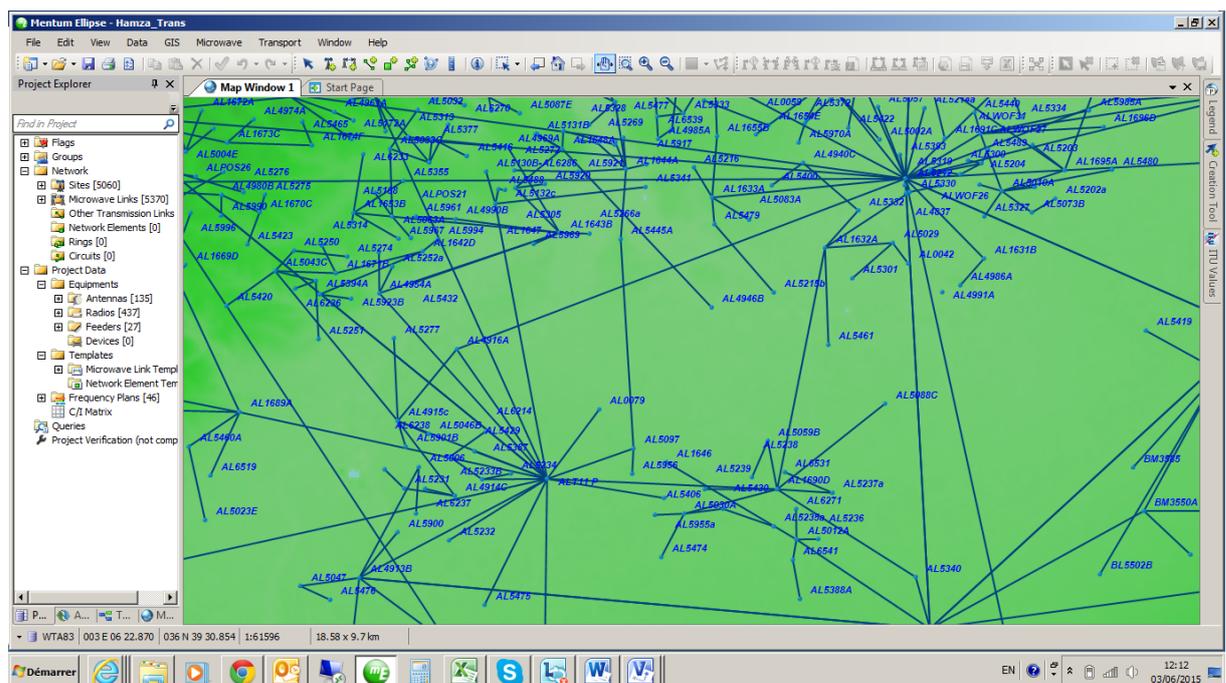


Figure 3.4 : Interface du logiciel Mentum Ellipse.

On constate que plusieurs sites sont connectés entre eux, dont le NodeB principale est l'ALT01 (AL4942) qui est à son tour connecté au RNC.

Pour ajouter un nouveau site on doit cliquer sur « site création » (figure 3-5).

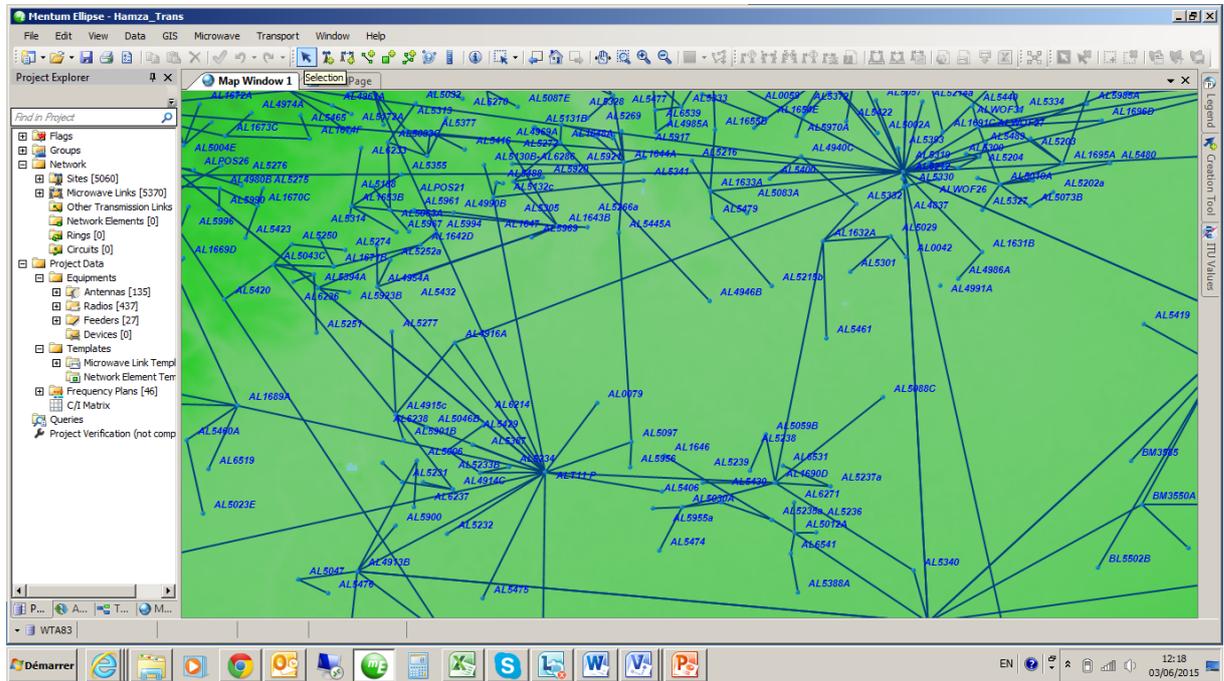


Figure 3. 5 : Création d'un nouveau site.

- On doit inscrire le nom du site, ces coordonnées GPS sont automatiquement intégrer dans un tableau (figure 3-6).

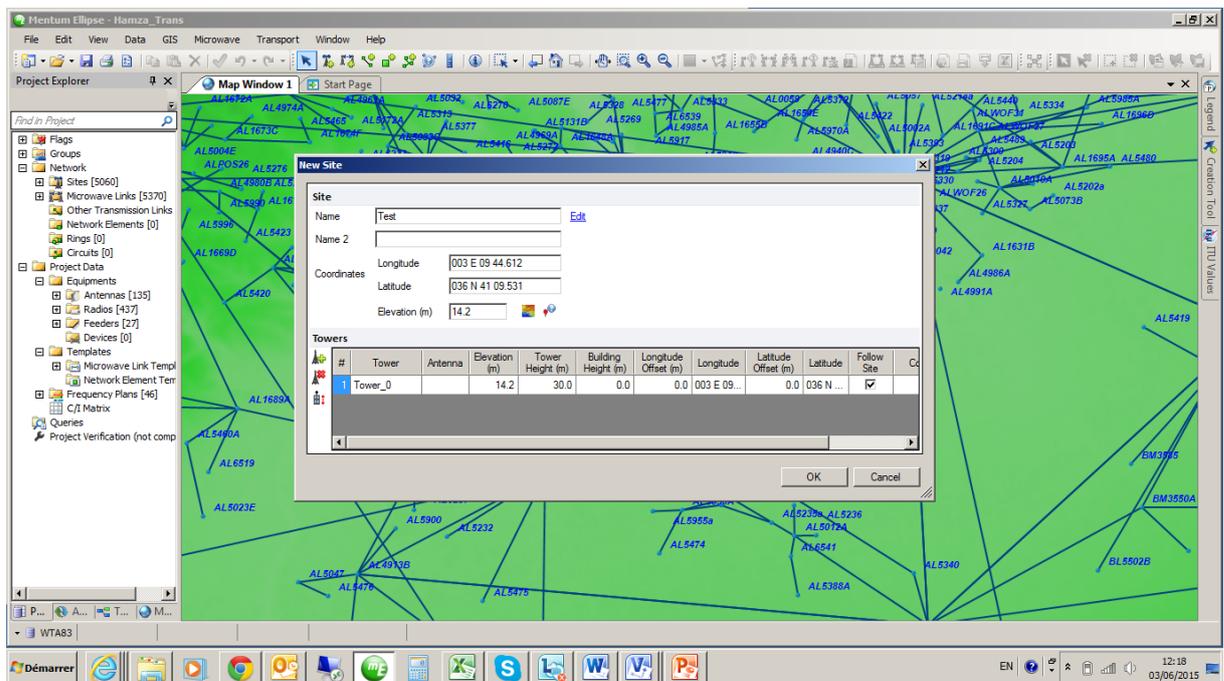


Figure 3. 6 : Coordonnées GPS du site.

- On choisit l'endroit où implémenter ce nouveau site (figure 3-7).

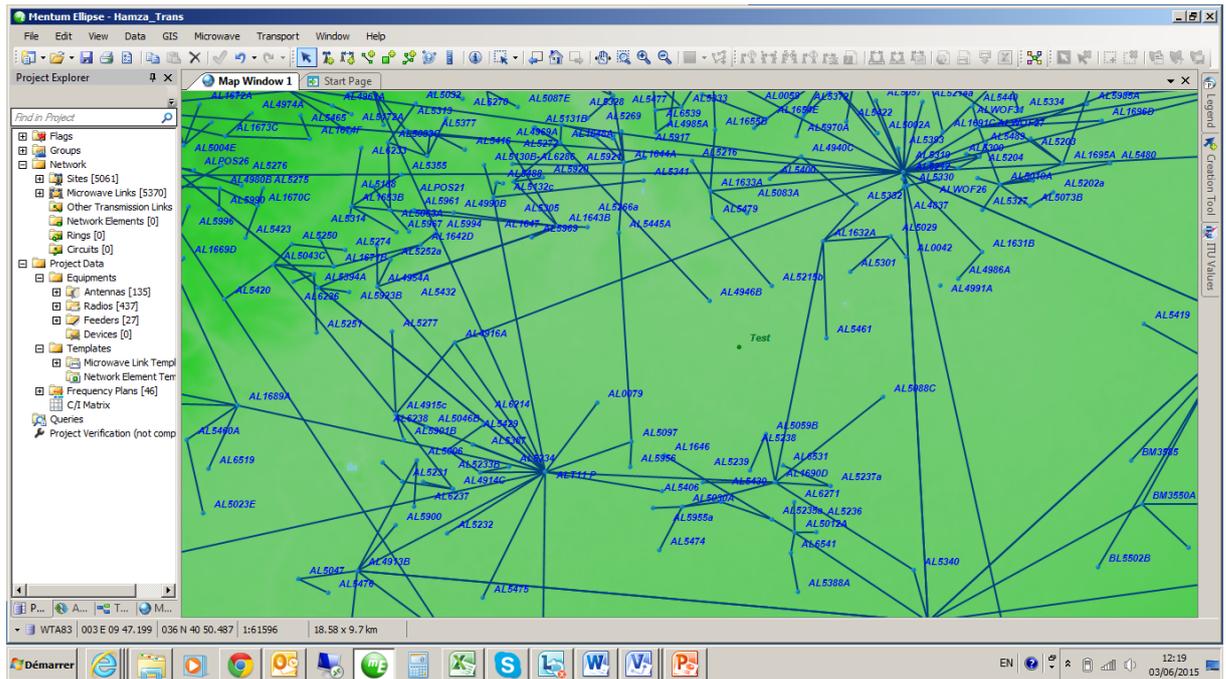


Figure 3. 7 : L'emplacement du site.

- On voit apparaître un tableau pour la configuration de la hauteur par rapport au niveau de la terre (figure 3-8).

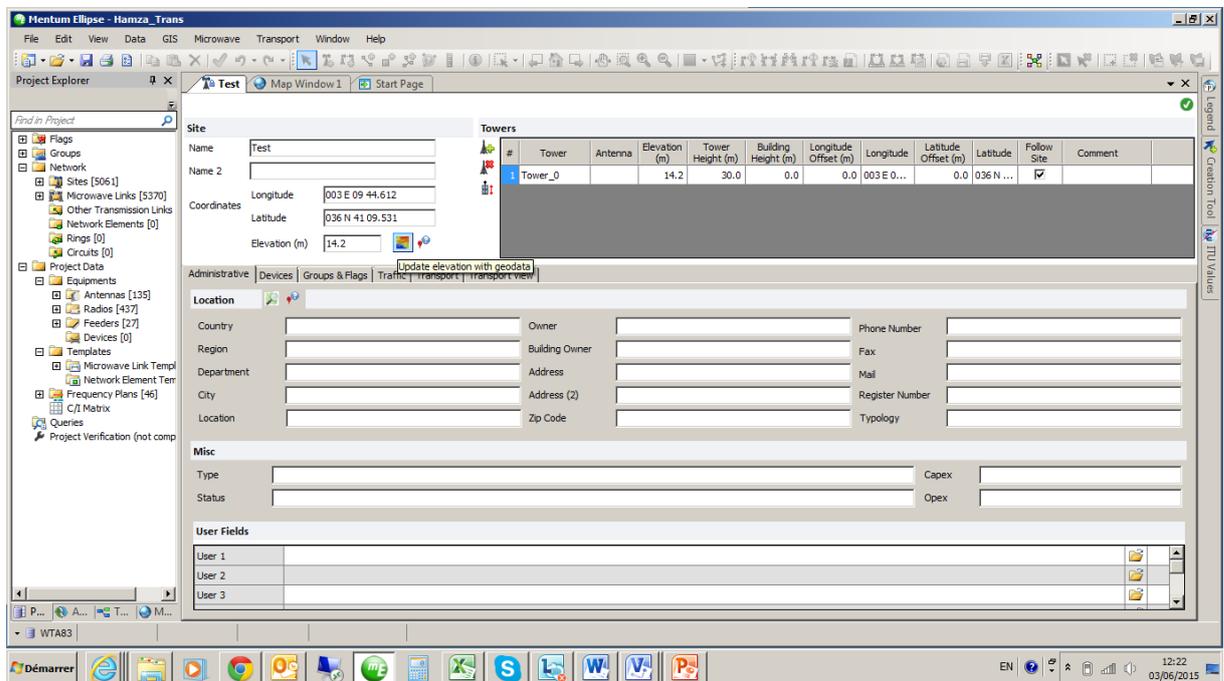


Figure 3. 8 : Paramètres du site.

- On doit cliquer sur « Distance measurement » pour voir la distance et la topologie entre le nouveau site et l'ancien dans ce cas on aura trois possibilités sur la couleur du lien : vert, orange ou rouge (figure 3-9 figure 3-10 figure 3-11)

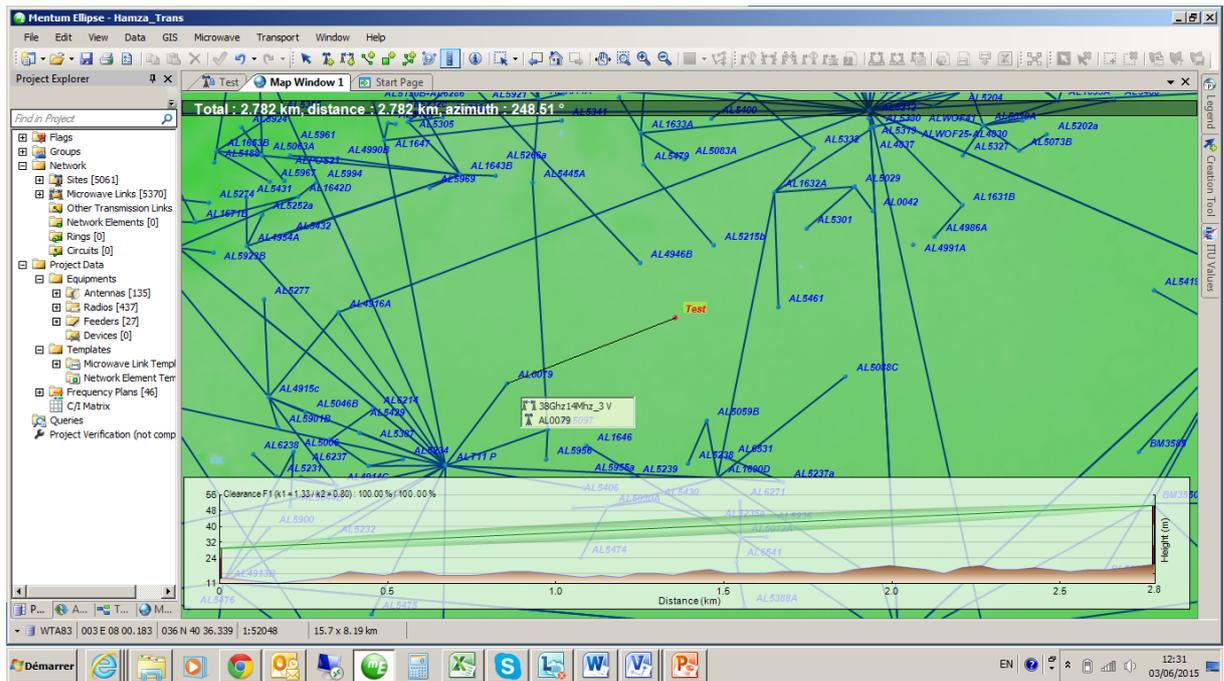


Figure 3. 9 : Le lien entre le nouveau site et l'ancien 1.

- Le lien est vert donc on peut relier les 2 NodeB.

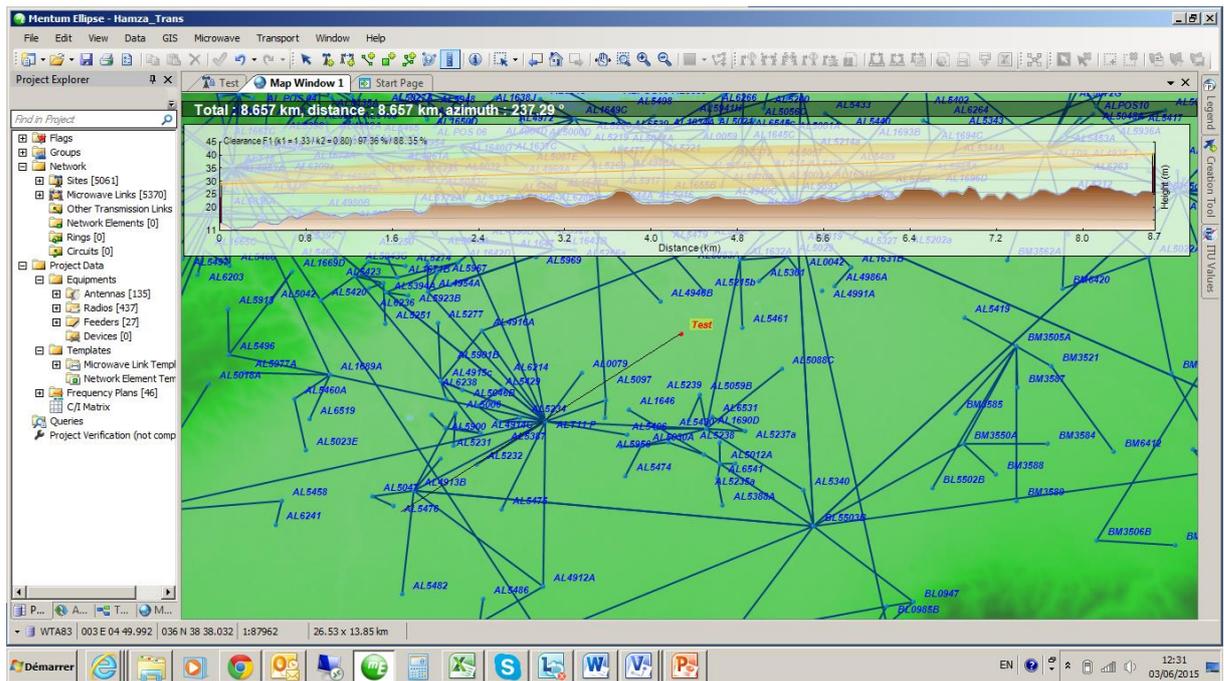


Figure 3. 10 : Le lien entre le nouveau site et l'ancien 2.

- Le lien est orange entre les 2 NodeB car il y a un petit obstacle dans ce cas on ne les relie pas pour éviter le mauvais signal.

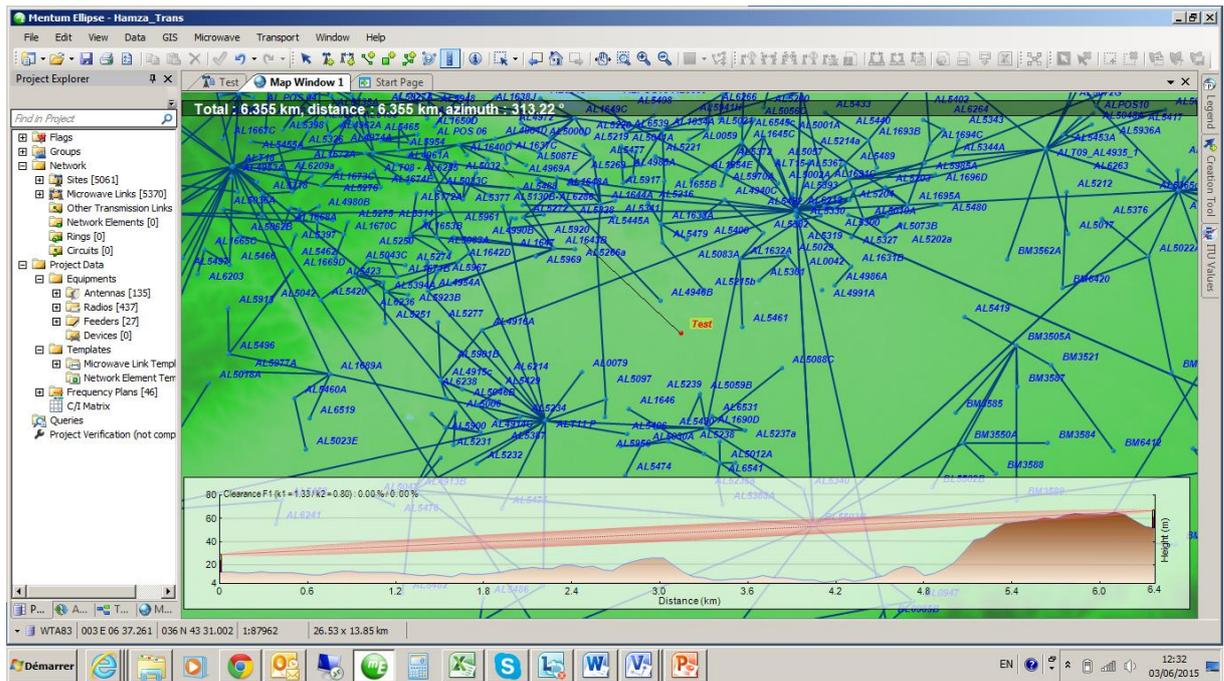


Figure 3. 11 : Le lien entre le nouveau site et l'ancien 3.

- Le lien est rouge entre les deux NodeB à cause d'un obstacle que ce soit une montagne ou bien une infrastructure.
 - Dès que le champ entre les deux NodeB est vert nous passerons à l'installation du nouveau site.
- Par la suite on clique sur « Other transmission Link création » indiqué dans la figure 3-12.

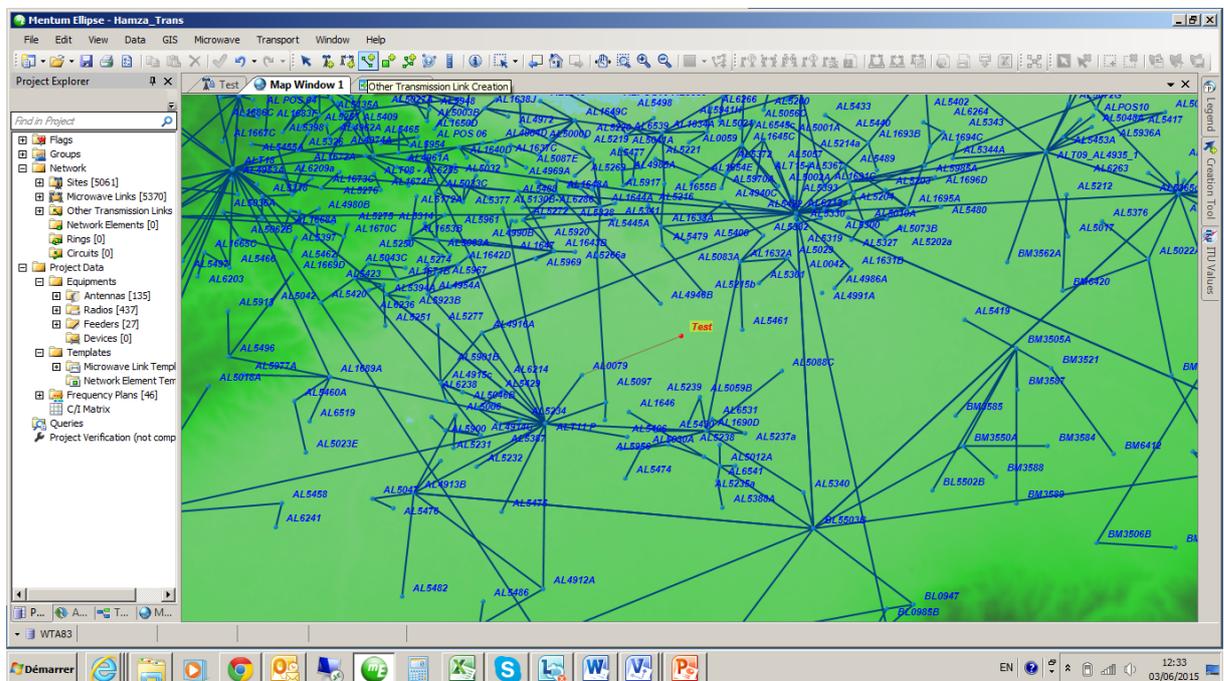


Figure 3. 12 : Mise en place des deux sites.

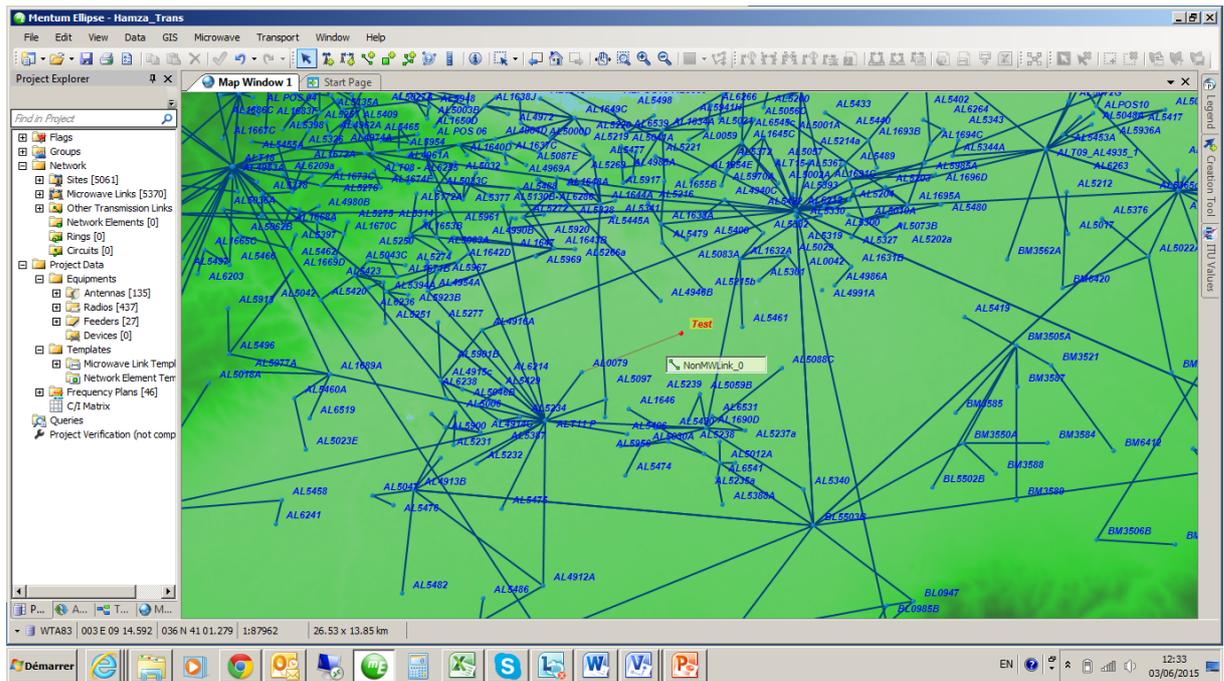


Figure 3. 13 : Avant la configuration des paramètres.

On clique sur le lien entre le nouveau site et l'ancien « figure 3-13 » on voit apparaître un tableau pour la configuration de plusieurs paramètres comme :

- Le choix du type d'antenne « la distance entre les deux sites si elle est grande on utilise un grand diamètre et vice et versa »,
- La hauteur « zone urbain, sub urbain, montagne ... »,
- L'azimut « par rapport à la direction horizontal »,
- Tilt « vertical....ça dépend de la zone et le lieu du site »,
- Frequency « une grande distance une petite fréquence et vice et versa »,
- Tx power,
- hauteur de la structure.

Mais avant ça nous avons un tableau sur lequel il y a les données sur les types d'antennes et quelle bande de fréquence utilisé et tout ça dépend de la distance. Ce tableau nous a été fourni par l'opérateur *Ooredoo* [9].

Modulation	Bandwidth				
	7 Mhz	14 Mhz	28 Mhz	40 Mhz	56 Mhz
Capacity Mbps					
C-QPSK	8	16	33	-	-
4 QAM	10	21	46	65	94
16 QAM	21	42	94	133	189
32 QAM	25	54	115	167	237
64 QAM	30	63	138	197	285
128 QAM	35	72	160	229	326
256 QAM	41	81	180	257	369
512 QAM	50	95	200	286	406

Table 3. 1 : Traffic capacities fixed or adaptative modulation.

Un exemple : Si on veut 54 Mbps on choisira la bande de fréquence 14Mhz et la modulation 32QAM.

NB : Prochainement *Ooredoo* utilisera la modulation 1024QAM.

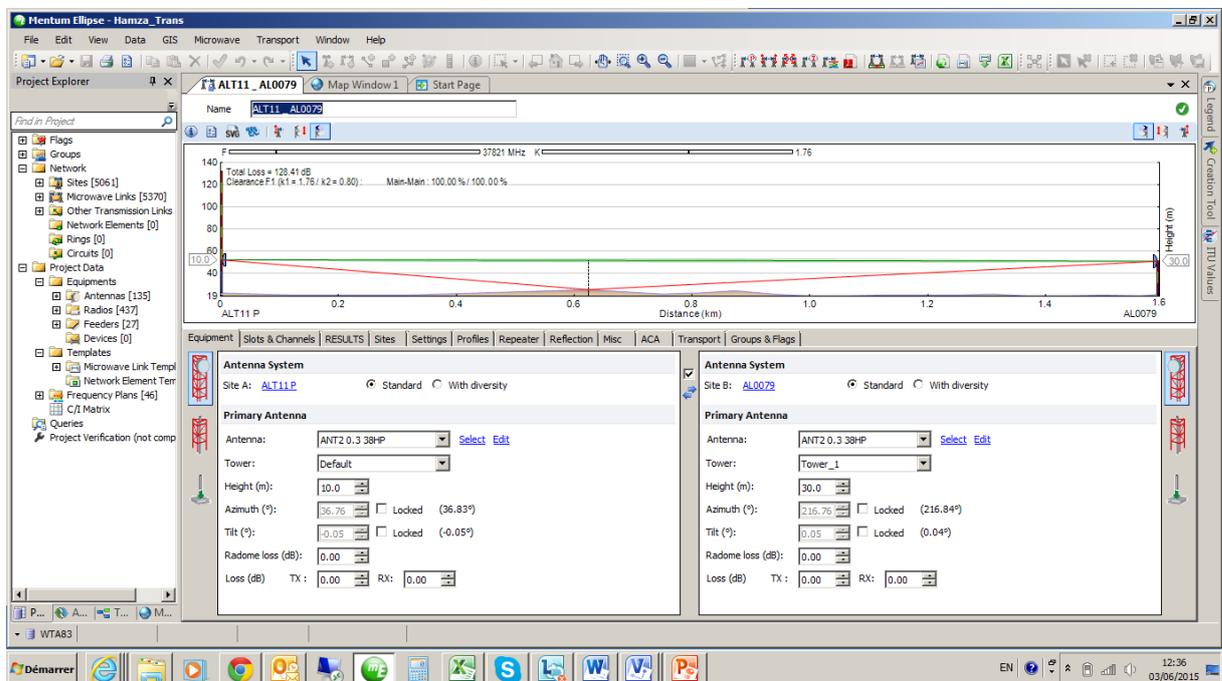


Figure 3. 14 : Configuration des paramètres du site.

- Dans ce tableau on remarque la distance entre les deux antennes, le signal direct et le signal réfléchi, le type d'antenne (ANT2 0.3 38HP) le 0.3 pour le diamètre et le 38 la fréquence en GHz, la hauteur de l'antenne, et l'angle azimut horizontal et le tilt vertical, les pertes atmosphérique, les pertes de l'antenne.

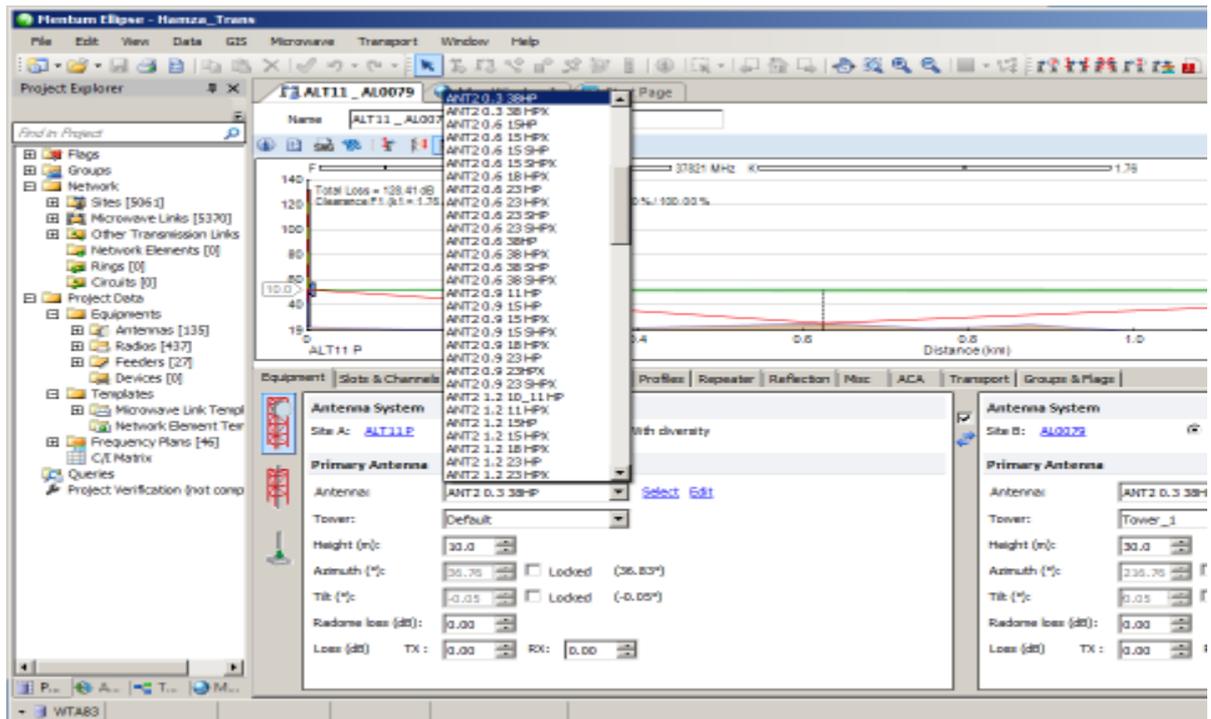


Figure 3. 15 : Paramètres d'antennes.

➤ Les différents types d'antenne qu'on peut choisir.

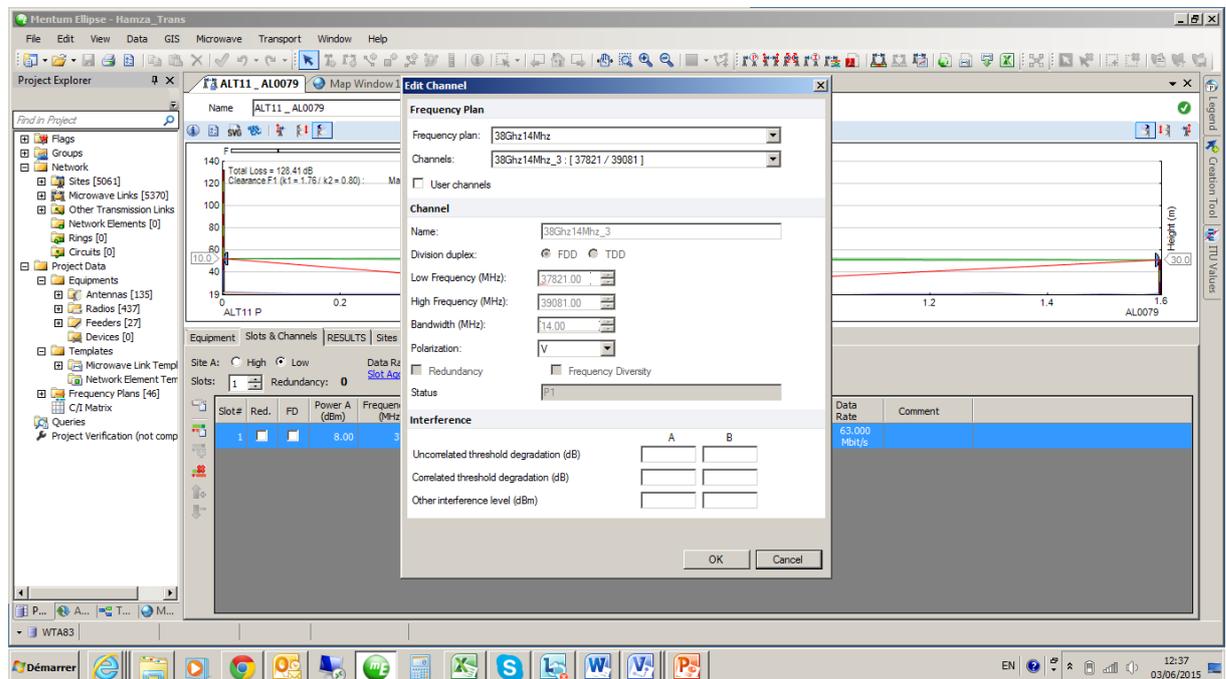


Figure 3. 16 : Paramètres de fréquences.

➤ Les différentes fréquences qu'on peut utiliser.

Après avoir créé le nouveau site et finalisé la configuration nous allons calculer le signal entre les deux sites pour voir s'il y a une interférence ou non comme la montre la figure ci-dessous :

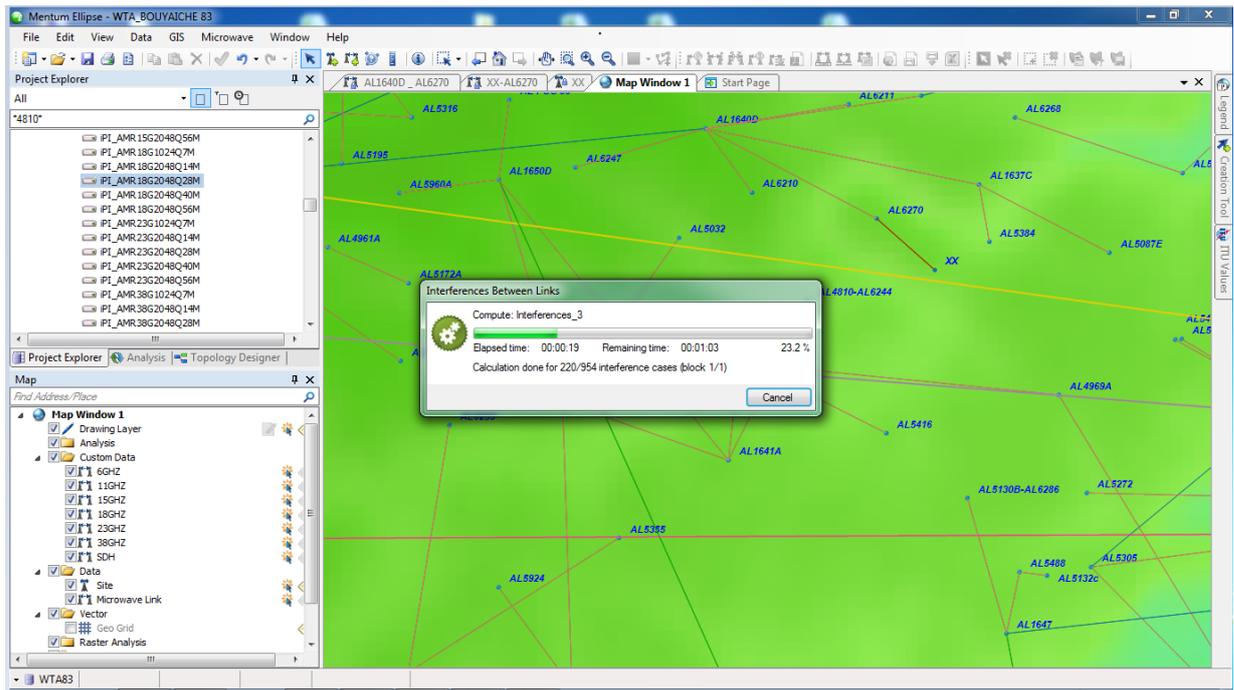


Figure 3. 17 : Calcul de l'interférence entre les deux sites.

➤ En cas d'une grande interférence le calcul prendra du temps « figure 3-17 ».

Le résultat du calcul est dans la figure 3-18.

The screenshot shows the "Interference Results - Interferences_4" window. On the left, there is a tree view of "MW Links" with a list of links. On the right, there is a table titled "Per MW Link Result" with columns for "Channel #1" and "Channel #2". The table contains 18 rows of results, with most cells in green and one cell in red.

	Channel #1	Channel #2
AL1637C _ AL1640D	38Ghz14Mhz_4 V	
AL1637C _AL5087E	38Ghz14Mhz_3 H	
AL1637C _AL5384	38Ghz7M_1 H	
AL1640D _AL4984D	38 Ghz28M_3 H	
AL1640D _AL6210	38Ghz14Mhz_7 H	
AL1640D _AL6247	38Ghz14Mhz_3 H	
AL1640D _AL6270	38Ghz14Mhz_3 V	
AL1641A _AL5033C	38 Ghz28M_5 H	
AL1641A _AL5377	38Ghz14Mhz_3 V	
AL1650D _AL1641A	38 Ghz28M_3 H	38 Ghz28M_3 V
AL4810 _AL1641A	38 Ghz28M_6 V	
AL4969A _AL5313	38Ghz7M_1 H	
AL5377 _AL5416	38Ghz14Mhz_4 H	
XX-AL6270	38Ghz14Mhz_3 V	

Figure 3. 18 : Le résultat du calcul.

➤ On remarque que toutes les cases sont en vert qui veut dire que l'interférence n'existe pas et dans le cas où les cases du lien entre les 2 NodeB sont en rouge explique qu'il y a une grande interférence.

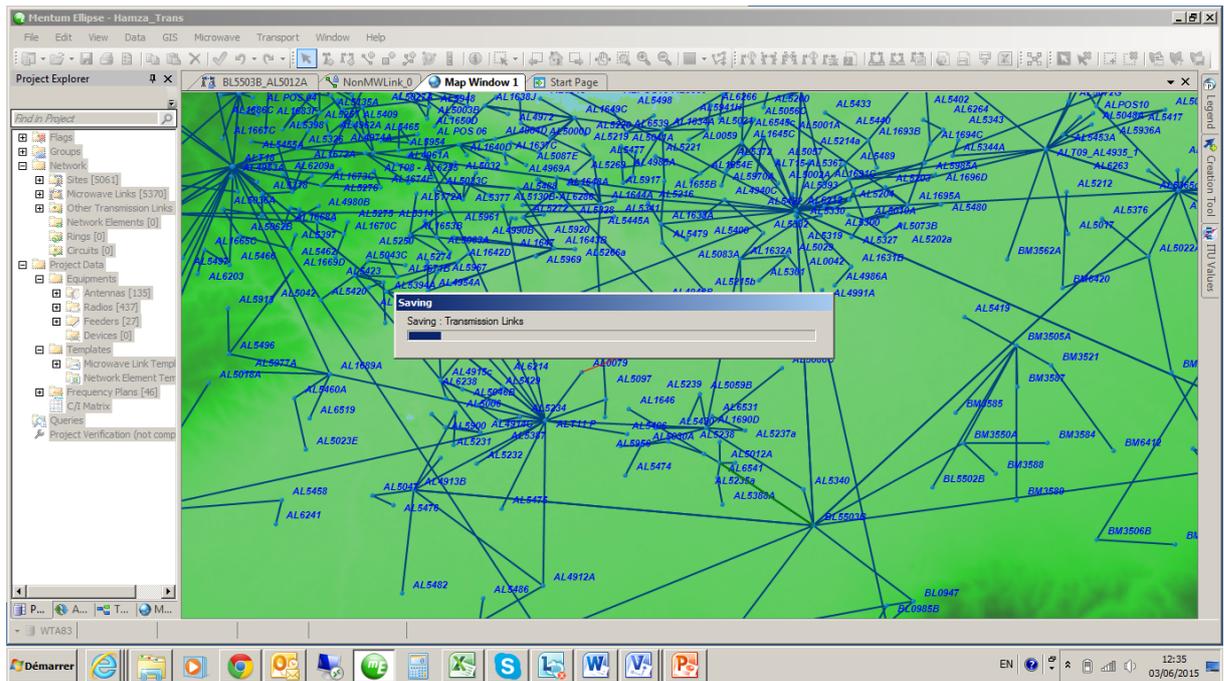


Figure 3. 19 : Sauvegarde du nouveau site.

➤ Le tableau suivant nous montre les fréquences et les diamètres des antennes en dépit de la distance entre les deux NodeB « tableau 3-3 » [9].

Distance (km)	Diamètre de l'antenne(m)	0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4,5	5	6	7	10	20	30+
38G	0,2															
	0,3															
	0,6															
23G	0,3															
	0,6															
	0,9															
15G	0,6															
	1,2															
	1,8															

Table 3. 2 : les différentes fréquences et diamètre de l'antenne qu'OOREDOO utilise.

➤ Dès que l'équipe de transmission aura atteint les résultats escomptés, elle les transmettra à l'équipe d'implémentation « voir figure 3-20 et tableau 3.4 explicatifs suivants » [9].

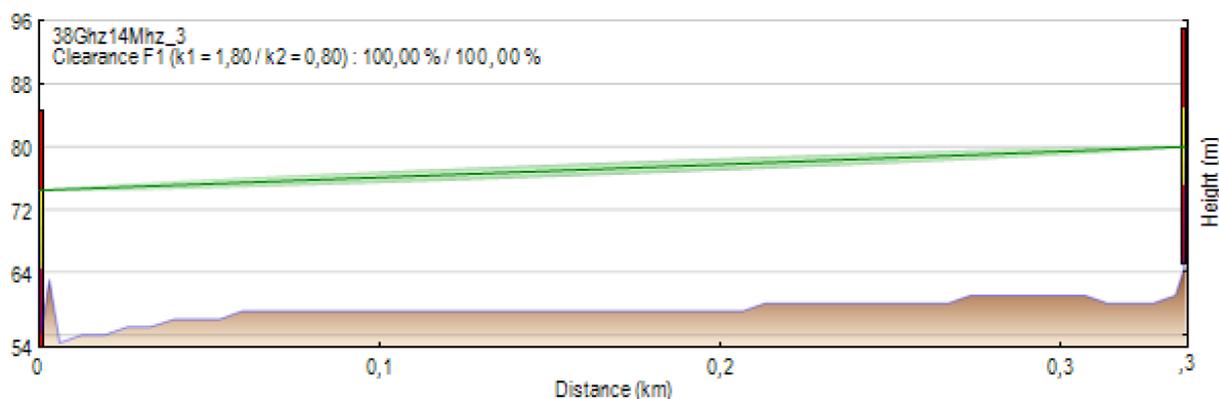


Figure 3. 20 : Le signal obtenu entre les deux sites.

TEST-AL6270			
Channel - 38Ghz14Mhz_3_V (Slot No1)			
Link	Unit		-
Distance	Km	0.34	-
Channel Bandwidth	MHz	14	-
IP Throughput	Mbit/s	63,000	-
Flag : configuration	-	1+0	
TX	Unit	A->B	B->A
Site	-	TEST	AL6270
Tower Coordinates (Dms)	DMS	003 E 06 31.145 036 N 43 30.903	003 E 06 21.002 036 N 43 38.199
Frequency	MHz	39081	37821
Polarization	-	V	V
Clearance	%	100	100
TX Radio		TN 38 2X 64Q 14M	TN 38 2X 64Q 14M
TX Antenna	-	ANT2 0.2 38HP	ANT2 0.2 38HP
Slot	Unit	A->B	B->A
User Modulation		63undefined-64QAM	63undefined-64QAM
Radio Data : 63undefined-64QAM			
BER 1E-6	Unit	A->B	B->A
TX Power	dBm	0	0
RX Level	dBm	-39,9	-39,61
Total Performance			
Total Performance (Year)	Unav. Time	0,83s	0,83s

Table 3. 3 : le rapport de transmission.

3.5 Conclusion

Ce chapitre présente la partie la plus importante du projet. En effet la planification d'un réseau 3G sur l'ensemble de la région d'Alger Est n'a pas été facile.

Au cours de cette opération, on a rencontré plusieurs problèmes (les infrastructures, les montagnes....) qu'on a essayé de contourner afin de garantir une large couverture et une bonne qualité du signal.

Aussi, nos efforts nous ont permis d'atteindre notre objectif.

Conclusion Générale

Notre objectif principal était de planifier et de calculer la capacité d'un réseau 3G, ceci n'a pas été sans entraves, dans la région d'Alger Est, vu tous les obstacles rencontrés.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté d'une façon générale les différentes générations de téléphonie mobile et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de différents supports de transmission, on a donné un aperçu sur les faisceaux hertzien et le principe des hiérarchies PDH et SDH.

Et pour le dernier chapitre, et suite à cette étude, nous avons mis en place l'utilisation des outils de planification et de programmation.

Les informations acquises au niveau de l'opérateur téléphonique *Ooredoo* ont beaucoup contribué au bon avancement de nos recherches sur le sujet ainsi qu'à l'élaboration de ce mémoire.

Bibliographie

- [1] Mémoire de M.BELKADI Smail, Etude de l'incompatibilité de la technologie Minilink TN et Minilink E pour la surveillance des BTS dans le réseau Nedjma, 2009/2010 Université de bejaia.
- [2] Mémoire de M.BOUCHEMTOUF Hadjer, BOUDGHENE STAMBOULI Riyad. ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE), 2012/12013 université de oran
- [3] Mémoire de M.ZEROUAL Ishak, M.KOUMNI Moussa. Etude et simulation de la liaison descendante dans la norme 3GPP LTE, 2010/2011 université de oran.
- [4] Pearson France - Architecture des réseaux - Danièle Dromard, Dominique Seret, 2010.
- [5] http://ylescop.free.fr/mrim/cours/support_transmission.pdf.
- [6] http://www.efort.com/r_tutoriels/Transmission_EFORT.pdf
- [7] <http://www.infovista.com/products/mobile-backhaul-network-planning-network-optimization>.
- [8] <http://fr.wikipedia.org/wiki/MATLAB>.
- [9] Document officiels Ooredoo, 2014/2015.

- [10] LTE et les réseaux 4G, Groupe Eyrolles, 2012.
- [11] M.BOUCETTA Mohamed Imad Eddine, M.HADDAD Malik, Planification et Ingénierie Des Réseaux 2G et 3G, 2012/2013.
- [12] <http://www.efort.com>