REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Superieur et de la Recherche Scientifique

Université M'hamed Bougara de Boumerdes

جامعة امحمد بوقرة

Faculté des sciences de l'ingénieur

كلية علوم المهندس

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie électrique

Option : Signal et Communication

Thème

Dimensionnement et planification des liens de transmission dans les réseaux de téléphonie mobile

Réalisé par :

Mme. Asmaa BOULAKAKEZ
Mme. Zineb OGGAD

Promotrice :

Mme. S MASSOUT.

Encadreur :

Mr. A TOUAT

Devant le jury composé de :

Président : Mr. KHALFI .

jury 1: Mr . AKROUM.

Jury 2: Mr. BOURKACH.

Promotion: 2015/2016

Dédicaces

Je dédie ce travail

En premier lieu à **mes parents** qui me sont très chers en témoignage à leur soutien pendant toute ma vie car aucun mot ne pourra exprimer ma haute gratitude et profonde affection.

A mes chères sœurs : **Salima, Samia, Amina, Hadjer, Khadidja** ET **Meriem.**

A le plus cher frère **Brahim.**

A **mes grands parents** ET mes nièces **Rebouh, Merouan, Abdou** et **Ouahab.**

A tous **mes collègues** de **MGE 2014/SC.**

A tous mes amis en vie :

Zoulikha G, Amel DJ, Souad B, Zahia M, Nadia B, Khadidja B, Hadjer D, Zahra B, Nabila O, Houda S ET **Nadjat.**

Et à toutes personnes chez **la direction générale MOBILIS** qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail surtout :

Mr **TOUAT Abdennour, Mr Nacer, Mr Mouhamed, Mr DJOUBEIR, Mr CHETIBI Kamel.**

Je le dédie aussi :

A mon cher fiancé **Saber** et **sa mère** qui sont toujours à coté de moi et à ma belle amie **Zineb**

BOULAKAKEZ Asmaa

Je dédie ce mémoire :

A mes parents ***Aicha*** *et* ***Omar*** *pour leurs amour inestimable, leurs confiance, leurs soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer*

A mes très chères sœurs : ***Hafida, Fahima, Amina, Nacira, Sihem*** *ainsi qu'a mes beaux frères :* ***Mahdi, Khaled, Mouhamed, Abd el Aziz, Ahmed et Fouad***

A mes nièces

A mon mari ***Younes*** *pour son amour et sa gentillesse*

A mes amies :

Asmaa, Nadia, Samia, Zahou, Nassima, Sihem, Nadjet *et* ***Youssra***

A tout l'équipe de transmission chez ATM Mobilis surtout :

M. TOUAT, M. DJOUBIR *et* ***M. Mouhamed***

A toute la famille ***OGGAD*** *et* ***SMINE*** *et bien sur la famille de mon mari* ***BOUHZILA*** *surtout* ***Sihem, Sabrina*** *et* ***Salah.***

OGGAD Zineb

Remerciements

Avant tout, Nous remercions ***ALLAH*** *le tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.*

Nous remercions aussi, Mme. MASSOUT Samia, Directrice de ce mémoire. Pour nous avoir dirigé ce travail, pour la confiance et l'intérêt qu'il a témoigné tout au long de la réalisation de ce travail, pour sa disponibilité ainsi de nous avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques.

Nous remercions également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

Nous tenons également à remercier tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, qui ont participé à l'élaboration de ce travail, spécialement KHELIFA Saber.

Boumerdès, **le 23 / 06 /2016**

……

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE XVII

Chapitre 01 ..... *1*

INTRODUCTION AUX RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE 1

1.1. Introduction 1
1.2. Historique 1
1.3. Concept Cellulaire 2
1.4. Réseau GSM 3
1.4.1. Définition du GSM 3
1.4.2. Objectif du GSM 4
1.4.3. Caractéristiques techniques du GSM 5
1.4.4. Architecture du réseau GSM 5
1.4.5. Présentation des interfaces 10
1.5. Réseau GPRS 12
1.5.1. Architecture du GPRS 12
1.5.2. Passage du GSM au GPRS 13
1.5.3. Concept de la mobilité 13
1.6. Réseau EDGE 14
1.7. Réseau UMTS 15
1.7.1. Architecture du réseau UMTS 15
1.8. Réseau LTE 18
1.8.1. Définition du réseau LTE 18
1.8.2. Caractéristiques de réseau LTE 18
1.8.3. Architecture du réseau LTE 18
1.9. Conclusion 19

Chapitre 02 ..... *20*

RESEAUX DE TRANSMISSION 20

2.1. Introduction 20
2.2. Transmission analogique et numérique 21
2.3. Supports de transmission 21
2.4. Caractéristiques d'un réseau de transmission 22
2.5. Multiplexage 23
2.5.1. Principe du FDM 24

2.5.2. Principe du TDM 24
2.5.3. Principes du WDM 24
2.6. Accès multiple 24
2.6.1. FDMA (Frequency Division Multiple Access) 25
2.6.2. TDMA (Time Division Multiple Access) 25
2.6.3. CDMA (Code Division Multiple Access) 27
2.7. Technologies de transmission 28
2.7.1. Technique MIC (Modulation par Impulsion Codée) 28
2.7.2. Hiérarchie PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) 30
2.7.3. Evolution du PDH vers SDH (Synchronous Digital Hierarchy) 31
2.8. Notion de conteneur 33
2.9. Conclusion 33

Chapitre 03 34

INGENIERIE FAISCEAUX HERTZIENNE. 34

3.1. Introduction 34
3.2. Faisceaux hertziennes 34
3.2.1. Définition des faisceaux hertziens 34
3.2.2. Organisation fonctionnelle d'un émetteur-récepteur FH 35
3.3. Antennes 37
3.3.1. Définition d'une antenne 37
3.3.2. Caractéristiques des antennes 37
3.4. Défauts de propagation 41
3.4.1. Diffraction 41
3.4.2. Réflexion 42
3.4.3. Réfraction (Diffusion) 42
3.4.4. Transmission 42
3.5. Atténuation d'un signal pendant une propagation 43
3.5.1. Atténuation atmosphérique 43
3.5.2. Atténuation en espace libre (free space) 44
3.5.3. Pertes dans les câbles (feeders) 46
3.6. Interférences 46
3.7. Bilan de liaison 47
3.8. Modulation numérique 49
3.8.1. Modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 51
3.8.2. Modulation QAM (Quadrature Amplitude Shift Keying) 51
3.9. Equipements technique d'un site 52
3.10. Configuration des équipements 55

3.10.1. Configuration non sécurisée (1+0) 55
3.10.2. Configuration sécurisée 55
3.11. Conclusion 57

Chapitre 04 58

DIMENSIONNEMENT ET PLANIFICATION. 58

4.1. Introduction 58
4.2. AT MOBILIS 58
4.2.1. Description 58
4.2.2. Organisation de Mobilis 59
4.2.3. Missions de l'Entreprise 60
4.2.4. Objectifs de l'Entreprise 60
4.2.5. Les régions ATM MOBILIS 61
4.2.6. LES MSC_s ATM MOBILIS 62
4.2.7. LES HLR_s ATM MOBILIS 62
4.2.8. Les sous direction de transmission à ATM MOBILIS 62
4.3. Description de logiciel Mentum Linkplanner 62
4.3.1. Dimmentionnement 62
4.3.2. Plannification 67
4.4. Dimmentionnement et plannification des liens de transmission à faisceau hertzien 69
4.4.1. Dimensionnement et planification d'un nouveau lien 353007-16050 BSC Reghaia région d'Alger 69
4.4.2. Dimensionnement et planification d'un nouveau lien 19737-19740 wilaya de Sétif région de Sétif 74
4.5. Conclusion 78

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 79

Liste des figures

Figure 1.1. Représentation d'un motif élémentaire **3**

Figure 1.2. Représentation d'un ensemble de motifs dans un réseau **3**

Figure 1.3. Architecture globale du réseau GSM **6**

Figure 1.4. Représentation d'un BSS sans l'entité MS **6**

Figure 1.5. Schématisation d'un system mobile MS **7**

Figure 1.6. Représentation d'une BTS **7**

Figure 1.7. Représentation de la relation entre une BSC et un ensemble d'un BTS **8**

Figure 1.8. Représentation d'un réseau NSS et un GMSC **9**

Figure 1.9. Architecture d'un réseau GPRS **13**

Figure 1.10. Représentation de mécanisme Handover **14**

Figure 1.11. Architecture classique du réseau UMTS **15**

Figure 1.12. Architecture du réseau UTRAN **16**

Figure 1.13. Architecture du réseau cœur CN **16**

Figure 1.14. Architecture générale de réseau LTE **19**

Figure 2.1. Supports physique de transmission **22**

Figure 2.2. Principe de l'accès multiple par répartition en fréquence **25**

Figure 2.3. Principe de l'accès multiple par répartition en temps **26**

Figure 2.4. Principe de l'accès multiple par répartition en fréquence et en temps **27**

Figure 2.5. Principe de l'accès multiple par répartition en code **28**

Figure 2.6. Structure générale de la trame MIC **29**

Figure 2.7. Trame SDH **31**

Figure 2.8. Les niveaux de multiplexage SDH **33**

Figure 2.9. Conteneur **33**

Figure 3.1. Les canaux utilisables par ATM MOBILIS dans la bande 6GHz **36**

Figure 3.2. Représentation d'une liaison entre deux antennes (émetteur/récepteur).....**37**

Figure 3.3. Les différentes formes représentatives d'un diagramme de rayonnement.....**38**

Figure 3.4. Plan de vibration électrique.....**39**

Figure 3.5. Polarisation verticale **40**

Figure 3.6. Polarisation Horizontale.....**40**

Figure 3.7. polarisation verticale /horizontale **40**

Figure 3.8. Branchement d'une polarisation verticale / horizontale.....**40**

Figure 3.9. Schématisation des défauts de propagation.....**43**

Figure 3.10. Transmission en espace libre.....**44**

Figure 3.11. Ellipsoïde de Fresnel.....**45**

Figure 3.12. Ellipsoïde de Fresnel en présent d'un obstacle **45**

Figure 3.13. Schéma illustratif des différentes pertes **47**

Figure 3.14. Schéma illustratif du bilan de liaison.....**49**

Figure 3.15. Schéma d'un système de transmission numérique **49**

Figure 3.16. Distribution des composantes de modulation QPSK.....**51**

Figure 3.17. Un site GSM.....**52**

Figure 3.18. Une antenne radio et antenne transmission dans un site.....**53**

Figure 3.19. un pylone.....**53**

Figure 3.20. Installation outdoor.....**54**

Figure 3.21. Installation indoor.....**54**

Figure 3.22. Une configuration non sécurisée (1+0).....**55**

Figure 3.23. Une configuration (1+1) hot standby single antenna **55**

Figure 3.24. Hybride (coupleur) **56**

Figure 3.25. Une configuration (1+1) hot standby-Space diversity Double antenna.....**56**

Figure 3.26. Une configuration (1+1) Twin path –Frequency diversity.....**56**

Figure 3.27. Une configuration (2+0) **57**

Figure 4.1. Région ATM MOBILIS **61**

Figure 4.2. Fenêtre du Création d'un nouveau projet **63**

Figure 4.3. Fenêtre du Création d'une version sur un nouveau projet **63**

Figure 4.4. Fenêtre cartographique **64**

Figure 4.5. Fenêtre de la création d'un site **64**

Figure 4.6. Fenêtre de la visibilité **66**

Figure 4.7. Lien entre deux sites **66**

Figure 4.8. Teste de visibilité directe par la methode de miroir **67**

Figure 4.9. Fenêtre de lien crée **67**

Figure 4.10. Fenêtre de choix d'équipement **68**

Figure 4.11. Fenêtre de calcul d'interférences **68**

Figure 4.12. Bilan de la liaison crée **69**

Figure 4.13. Fenêtre de la céation du site 353007 ..... **70**

Figure 4.14. Fenêtre d'étude de la visibilité **70**

Figure 4.15. Fenêtre du lien 353007-35106 ..... **71**

Figure 4.16. Fenêtre de la configuration de lien 350037-35106 ..... **71**

Figure 4.17. Fenêtre du calcul de threshold…… **72**

Figure 4.18. Fenêtre du calcul d'interférences **72**

Figure 4.19. Bilan de la liaison 353007-35106 ..... **73**

Figure 4.20. Fenêtre de la création du site 19740 ..... **74**

Figure 4.21. Fenêtre de la visibilité **74**

Figure 4.22. Fenêtre de choix d'équipement compatible **75**

Figure 4.23. Fenêtre de configuration du lien 19740-19735 ..... **75**

Figure 4.24. Bilan de la liaison 19740-19737 ..... **76**

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Caractéristiques technique du GSM **5**

Tableau 1.2. Interfaces du réseau GSM **11**

Tableau 2.1. Débits de la Hiérarchie SDH **32**

Tableau 3.1. Modulation 4-QAM. **52**

Listes des Acronymes et Symboles

Acronymes

1G	**1**ère Génération
2G	**2**ère Génération
3G	**3**ère Génération
4G	**4**ère Génération
5G	**5**ère Génération
3GPP	**3**rd **G**énération **P**artnership **P**roject

Symboles

A

Auc: Authentication **C**enter

AU: Administrative **U**nit

B

BSS: Base **S**tation **S**ub-system

BTS: Base **T**ransceiver **S**tation

BSC: Base **S**tation **C**ontroller

C

CEPT: Conférence **E**uropéenne des administrations des **P**ostes et **T**élécommunications

CCU: Cannel **C**odac **U**nit

CDMA: Code **D**ivision **M**ultiple **A**ccess (**A**ccès **M**ultiple par **R**épartition en **C**ode **AMRC**)

D

DCS 1800: Digital **C**ellular **S**ystem ou **D**igital **C**ommunication **S**ystem

E

ETSI: European **T**elecommunications **S**tandards **I**nstitute

EIR: Equipment **I**dentity **R**egister

EDGE: Enhanced **D**ata Rates for **G**SM **E**volution

EPC: Evolved **P**acket **C**ore

E-UTRA: Evolved-**U**niversal **T**errestrial **R**adio **A**ccess

eUTRAN: evolved **U**TRAN

eNodeB: evolved **NodeB**

F

FH: Faisceau **H**ertzien

FDMA: Frequency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess **(**L'**A**ccès **M**ultiple par **R**épartition en **F**réquence **AMRF)**

FDD: Frequency **D**ivision **D**uplexing

F_{ech}**: F**réquence d'**éch**antillonnage

F_{max}**: F**réquence **max**imale du message

G

GSMC: Global **S**ystem for **M**obile **c**ommunications

GPRS: General **P**acket **R**adio **S**ervice

GSM: Global **S**ystem for **M**obile

GSN: GPRS **S**upport **N**odes

GGSN: Gateway **G**PRS **S**upport **N**ode

GPS: Global **P**ositioning **S**ystem

H

HLR: Home **L**ocation **R**egister

HSPA: High **S**peed **P**acket **A**ccess

HSDPA: High **S**peed **D**ownlink **P**acket **A**ccess

HSOPA: High **S**peed **O**FDM **P**acket **A**ccess

I

IMSI: International **M**obile **S**ubscriber **I**dentity

IMEI: International **M**obile **E**quipment **I**dentity. En français « identité internationale d'équipement mobile »

IT: Intervalle de **T**emps

IP: Internet **P**rotocol

L

LTE: Long Term Evolution

M

MS: Mobile **S**ystem

MSC: Mobile **S**witching **C**enter

MMS: MultiMedia **M**essaging **S**ervice en français c'est service de messagerie multimédia

MIC: **M**odulation par **I**mpulsion **C**odée (***P**ulse **C**ode **M**odulation* **PCM**)

Mbps: Mega **b**its **p**er **s**econd

MME: Mobility **M**anagement **E**ntity

N

NSS: Network **S**witching **S**ub-System

O

OSS: Operation **S**upport **S**ub-system

OMC: centre d'opération et de maintenance (**O**peration and **M**aintenance **C**enter)

OFDMA: Orthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

P

PLMN: Public **L**and **M**obile **N**etwork**,** appelé **réseau public terrestre**

PCU: Packet **C**ontroller **U**nit

PTP: Point **T**o **P**oint

PTMP: Point **T**o **M**ulti**p**oint

PSTN: Public **S**witched **T**elephone **N**etwork ou en français **RTCP R**éseau **T**éléphonique **C**ommuté **P**ublic

PDH: Plesiochronous **D**igital **H**ierarchy

POH: Path **O**ver Head

PDN-GW: Packet **D**ata **N**etwork **G**ateway

Q

QAM: Quadrature **A**mplitude **M**odulation

QPSK: Quadrature **P**hase **S**hift **K**eying

R

RNIS: **R**éseau **N**umérique à **I**ntégration de **S**ervices (**ISDN** en anglais **I**ntegrated **S**ervices **D**igital **N**etwork)

RNC: Radio **N**etwork **C**ontrollor

RRC: Radio **R**esource **C**ontrol

RNS: **R**adio **N**etwork **S**ub-System

S

SOH: Section **O**ver **H**ead

SDH: Synchronous **D**igital **H**ierarchy

STM: Synchronous **T**ransfert **M**odule

SIM: Subscriber **I**dentity **M**odule

SMS: Short **M**essage **S**ervice

STM-n: Synchronous Transport Module level n

SGSN: Serving **G**PRS **S**upport **N**ode

SC-FDMA: Single **C**arrier-**F**requency **D**ivision **M**ultiplexing **A**ccess

SGW: Serving **G**ateway

T

T_{ech}: Temps d'**éch**antillonnage

TDMA: Time **D**ivision **M**ultiple **A**ccess (**A**ccès **M**ultiple à **R**épartition dans le **T**emps **AMRT)**

TS: Time **S**lot

U

UTRAN: Universal **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork en français réseau universel d'accès radio terrestre

USIM: Universal **S**ubscriber **I**dentity **M**odule

UE : User **E**quipement

UMTS: Universal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem

UIT: Union **I**nternationale des **T**élécommunications

V

VLR: Visitor **L**ocation **R**egister

W

WAP: Wireless **A**pplication **P**rotocol

Wi-Fi: Wireless **F**idelity

W-CDMA: Wideband **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess (en français multiplexage par code à large bande)

INTRODUCTION GENERALE

La concurrence dans le marché des télécommunications mobiles devient de plus en plus agressive, et les opérateurs doivent faire face à cette rivalité en réduisant au maximum le coût à déployer dans le réseau tout en assurant les demandes en trafic et en couverture des utilisateurs qui ne cessent d'augmenter.

Au début de la vie d'un réseau mobile, la partie radio coûte trop chère comparée à la partie transmission, mais au fur et à mesure que le réseau s'élargie et s'évolue : 2G, 2.5G, 2.75G, 3G et 4G, (GSM, GPRS, EDGE, UMTS, et LTE ; respectivement) la partie réseau devient aussi coûteuse et donc elle doit faire sujet à une dimensionnent et une planification dès le départ.

Ce projet de fin d'étude s'intéresse au dimensionnement et planification des liens de transmission dans les 5 réseaux mobiles cités précédemment, et détermine la résolution du problème de localisation des sites d'installation.

ATM MOBILIS est parmi les opérateurs algérien qui s'intéresse au déploiement de ses réseaux mobile dans le pays et de renforcer sa couverture. Donc l'objectif de notre rapport est d'étudier le déploiement des réseaux ATM MOBILIS, ci pour cela que nous avons choisi de faire créer, dimensionner, et planifier quelque site GSM d'ATM MOBILIS.

Notre travail a été effectué avec le logiciel de dimensionnement et planification « **Mentum LinkPlanner**», il est basé sur la configuration des liens de transmission et le calcul de bilan de la liaison de ces liens.

Nous avons choisi deux sites à créer : le site 353007 situé à la wilaya de Boumerdès région d'Alger, et le site 19737 situé à la wilaya de Sétif région de Sétif.

Pour introduire le sujet, le lecteur trouvera dans :

- Le premier chapitre une brève description de l'architecture des réseaux GSM, GPRS, EDGE, UMTS et LTE, et leurs différentes caractéristiques. Cette partie présente aussi les différents composantes des 5 réseaux et montre comment les architectures télécoms des ces réseaux sont complémentaires. Enfin que la mise en place des réseaux évolués ne nécessite pas l'abondance des éléments de l'ancien réseau.

- Dans le deuxième chapitre, nous allons définir les supports de transmission et leurs types, citer les caractéristique d'un réseau de transmission, nous avons expliqué aussi les principes des deux technologies de multiplexage « PDH et SDH ».
- Dans le troisième chapitre, nous allons préciser les faisceaux hertziens comme un support important pour la transmission et pour le déploiement des sites du réseau mobile en Algérie.
- Et finalement le quatrième chapitre sera consacré à la description d'un logiciel évolué et très puissant de dimensionnement et de planification des liens de transmission « **Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31** », il est utilisé pour le déploiement des sites du réseau mobile par ATM MOBILIS.

Enfin, une conclusion générale concernant notre travail.

Chapitre 01

INTRODUCTION AUX RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE

1.1. Introduction

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'ont pas cessé d'accroitre, plusieurs générations ont vues le jour à partir de la première génération (**1G**) avec le mode de transmission analogique. Plusieurs générations de réseaux mobiles se sont défilées après, la 2G (GSM/GPRS/EDGE) qui marqua le passage à l'ère numérique, la 3G (UMTS/HSPA) qui permet d'intégrer des services de voix et de données, et de nos jours, les réseaux de prochaine génération 4G (LTE et LTE-Ad).

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphones mobiles, leurs architectures ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires.

1.2. Historique

Revenons un peu en arrière, en 1982, le ***G**roupe **S**pécial **M**obile*, appelé **GSM**, est créé par la **C**onférence **E**uropéenne des administrations des **P**ostes et **T**élécommunications (**CEPT**) afin d'élaborer les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences des 900 MHz.

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 GSM change de signification et devient ***G**lobal **S**ystem for **M**obile **C**ommunications* (**GSM**), et les spécifications sont adaptées pour des systèmes fonctionnant dans la bande des 1800 MHz **[1]**.

Le réseau GSM est adéquat pour les communications téléphoniques de parole. En effet, il s'agit principalement d'un réseau commuté, à l'instar des lignes fixes et constitués de circuits, c'est-à-dire de ressources allouées pour la totalité de la durée de la conversation. Rien ne fut mise en place pour les services de transmission de données. Or, parallèlement au déploiement du GSM en Belgique, en 1994, la société Netscape allait donner un tour spectaculaire à un réseau de transmission de données, appelé Internet, en diffusant le premier logiciel de navigation grand public, articulé sur le protocole http et communément appelé web.

Comme le réseau GSM ne convenait guère pour la transmission de données, les évolutions récentes ont visé à accroître la capacité des réseaux en termes de débit mais à élargir les fonctionnalités en permettant par exemple l'établissement de communications ne nécessitant pas l'établissement préalable d'un circuit. Pour dépasser la borne des 14,4 **Kbps**, débit nominal d'un canal téléphonique basculé en mode de transmission de données, L'Institut européen des normes de télécommunications « **ETSI** » (**E**uropean **T**elecommunications **S**tandards **I**nstitute) a défini un nouveau service de données en mode paquet : le ***G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice* (**GPRS**) qui permet l'envoi de données à un débit de 115 **Kbps** par mise en commun de plusieurs canaux. D'une certaine manière, le GPRS prépare l'arrivée de la téléphonie de troisième génération, appelée ***U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem* (**UMTS** ou **3G**), qui permettra d'atteindre un débit de **2 Mbps** .Succédant à la 3G et aux évolutions de cette norme (**HSDPA**, **HSUPA**, **HSPA**), la **3GPP** a introduis la **4G - LTE** comme une norme de téléphonie mobile permettant des débits jusqu'a 50 fois plus important que la première énorme.

A partir de la 2ème Génération, la plupart des normes de réseau de téléphonie mobile sont basées sur le *concept cellulaire.*

1.3. Concept Cellulaire

Les premiers services radiotéléphone ont pour principale défaut le traitement d'un nombre très limité d'abonnés. De nouveaux concepts sont alors nécessaires afin de partager les bandes de fréquences radio entre un plus grand nombre d'utilisateurs. En 1964, le concept de partager des ressources est introduit (cellules) dans les réseaux de radiotéléphone.

Une cellule correspond à la zone couverte par une station de base, une station de base est installée sur un site, les cellules sont représentées sous la forme d'un hexagone. En effet, le recours à des motifs de type hexagone permet tout d'abord de couvrir le maximum d'espace avec le minimum de stations de base et d'autre part de permettre un niveau minimum d'interfaces entre

cellules adjacentes. Ces cellules doivent être contiguës sur la surface couverte. Evidemment, le nombre de fréquence accordées au système GSM étant restreint, l'operateur est obligé de réutiliser les mêmes fréquences sur des cellules suffisamment éloignées de telle sorte que deux communications utilisant la même fréquence ne se brouillent pas **[6]**.

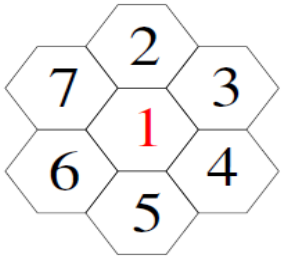


Figure 1.1. *Représentation d'un motif élémentaire* **[7]**.

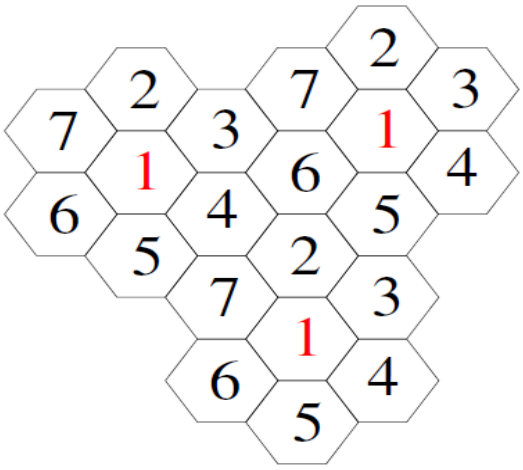


Figure 1.2*. Représentation d'un ensemble de motifs dans un réseau* **[7]**.

Quatre types de cellules sont généralement introduits dans les réseaux à hautes densité :

- La macrocellule: quelque dizaines de kilomètres de rayon, elle représente le milieu rural, dans ce cas les antennes d'émission sont placées sur des sites élevés pour assurer une bonne couverture.
- La minicellule: quelque kilomètre de rayon qui est plus adaptée à l'environnement urbain et dont les antennes sont placées sur les toits des bâtiments.
- La microcellule: quelque centaines de mètres de rayon qui est adaptée à l'environnement urbain dense et dont les antennes sont situées au-dessous de niveau des toits.
- La pico-cellules : quelque dizaines de mètres de rayon qui est adaptée à la propagation à l'intérieur des bâtiments (indoor).

1.4. Réseau GSM

1.4.1. Définition du GSM

GSM est une norme de téléphonie mobile. On parle de réseau GSM pour désigner le réseau numérique de téléphonie mobile. Bien qu'on l'appelle aussi réseau de 2ième génération, c'est en réalité le premier réseau développé avec ampleur dans le monde. On parle aussi de GSM lorsqu'on désigne les téléphones mobiles utilisant ce réseau pour communiquer.

GSM veut dire **G**lobal **S**ystem for **M**obile **C**ommunications. Il présente un fonctionnement cellulaire: au cœur de chaque cellule, qui désigne une zone géographique plus ou moins étendue, il y a une antenne relais qui permet de faire le lien entre les téléphones mobiles et le réseau. Le réseau permet de passer d'une cellule à une autre sans interrompre la communication et sans que l'utilisateur ne s'en rende compte.

Le réseau GSM utilise les fréquences situées dans la bande 890-960 MHz. On parle du "GSM 900" dans ce cas.

D'autres réseaux, connus sous un nom différent, sont aussi des réseaux GSM, mais utilisant d'autres bandes de fréquences.

Le "DCS 1800" **D**igital **C**ellular **S**ystem ou **D**igital **C**ommunication **S**ystem utilise des fréquences radio dans le sens montant de 1 710 MHz à 1785 MHz et le sens descendant de 1 805 MHz à 1 880 MHz **[7]**.

On retrouve le GSM 900 et le DCS 1800 en Algérie et en Europe (notamment en France).
Il existe d'autres réseaux GSM. Notamment, aux Etats-Unis et au Canada, on trouve :

- ✓ le GSM 850, utilisant les fréquences situées entre 824 et 894 MHz.
- ✓ le GSM 1900 (appelé PCS 1900), utilisant les fréquences entre 1850 et 1990 MHz.

1.4.2. Objectif du GSM

Les objectifs du GSM reprennent et prolongent les précédents systèmes de téléphonie mobile :

- Offrir un vaste éventail de services de télécommunications compatibles avec ceux des réseaux fixes.
- Offrir des services spécifiques due à la mobilité des usagers.
- Assurer la compatibilité d'accès à n'importe quel utilisateur dans n'importe quel pays exploitant le système GSM.
- Assurer la localisation automatique des mobiles sous la couverture globale de l'ensemble des réseaux.
- Permettre une grande variété de terminaux mobiles.
- Disponibilité très large.
- Qualité de service téléphonique.
- Prix abordable pour l'usage.

1.4.3. Caractéristiques techniques du GSM

On peut classer les principales caractéristiques de la norme GSM selon le **tableau 1.1** suivant :

Fréquence d'émission du terminal vers la station de base	**890-915 MHZ**
Fréquence d'émission de la station de base vers le terminal	**935-960 MHZ**
Bande fréquence disponible	**25 MHZ**
Mode d'accès	**TDMA/FDMA**
Espacement des canaux radio	**200 KHZ**
Espacement du duplex	**45 MHZ**
Nombre de canaux radio par sens	**124**
Nombre de canaux de parole plein débit	**8**
Type d'émission	**Numérique**
Débit brut d'un canal radio	**270 kbit/s**
Débit brut d'un canal phonie à plein débit	**22.8 kbit/s**
Débit d'un codec à plein débit	**13 kbit/s**
Type de codage	**RPE-LTP**
Type de modulation	**GMSK**
Puissance maximale d'une station de mobile	**8 w**
Puissance maximale d'un portatif	**2 w**
Rayon d'une cellule	**200m ~30 km**
Débit maximal de transmission de données	**9600 bit/s**

Tableau 1.1. *Caractéristiques technique du GSM.*

1.4.4. Architecture du réseau GSM

Un réseau GSM est constitué de trois sous-systèmes **[1] [7]** :

- ✓ Le sous-système radio **BSS** (**B**ase **S**tation **S**ub-system).
- ✓ Le sous-système réseau ou d'acheminement **NSS** (**N**etwork **S**witching **S**ub-System).
- ✓ Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance **OSS (O**peration **S**upport **S**ub-system).

Ainsi, on peut représenter schématiquement un réseau radiomobile de la manière suivante :

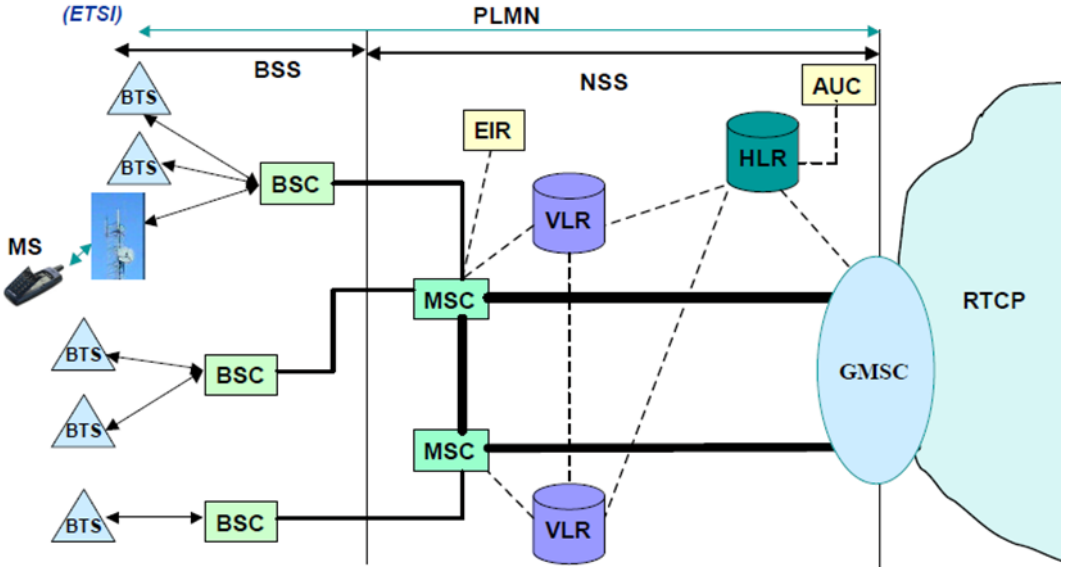


Figure 1.3. *Architecture globale du réseau GSM.*

1.4.4.1. Sous-système radio BSS

Le sous-système radio (**B**ase **S**tation **S**ub-system) gère la transmission radio. Il est constitué de plusieurs entités dont le système mobile **MS** « **M**obile **S**ystem », la station de base **BTS** « **B**ase **T**ransceiver **S**tation », et un contrôleur de station de base **BSC** « **B**ase **S**tation **C**ontrollor » **[1] [7]**.

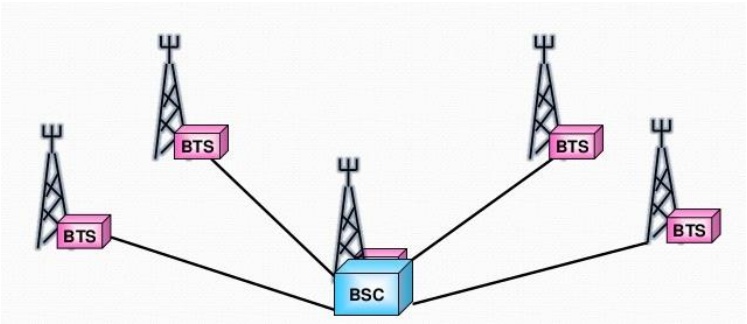


Figure 1.4. *Représentation d'un BSS sans l'entité MS.*

- ✓ ***Système mobile***

Le téléphone et la carte **SIM (S**ubscriber **I**dentity **M**odule**)** sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements **[1] [7]**.

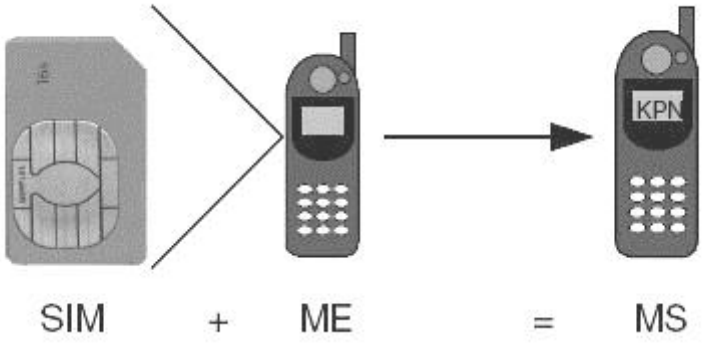


Figure 1.5. *Schématisation d'un system mobile MS.*

✓ ***Station de base (BTS)***

La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur-récepteur **[7]**, appelés TRX (Transmission/Réception Unit), est un émetteur-récepteur qui gère une paire de fréquences porteuses une en voie montante, une en voie descendante) **[2]**, elle a la charge de la transmission radio : modulation, démodulation, codage, correcteur d'erreur…

Typiquement la capacité maximale d'une BTS est de 12 porteuses TRX ; Chaque TRX prend 7 abonnées alors on peut avoir environ 84 communications simultanées par BTS.

Figure 1.6. *Représentation d'une BTS.*

✓ **Le contrôleur de station de base (BSC)**

Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles par le biais de l'interface A-bis. Ce contrôleur remplit différentes fonctions tant au niveau de la communication qu'au niveau de l'exploitation.

Le BSC remplit le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre

d'exploitation et de maintenance. Il alimente aussi la base de données des stations de base.
En effet, le contrôleur gère les transferts inter-cellulaires des utilisateurs dans sa zone de couverture, c'est-à-dire quand une station mobile passe d'une cellule dans une autre.

Il doit alors communiquer avec la station de base qui va prendre en charge l'abonné et lui communiquer les informations nécessaires tout en avertissant la base de données locale **VLR** (***V**isitor **L**ocation **R**egister*) de la nouvelle localisation de l'abonné **[7]**.

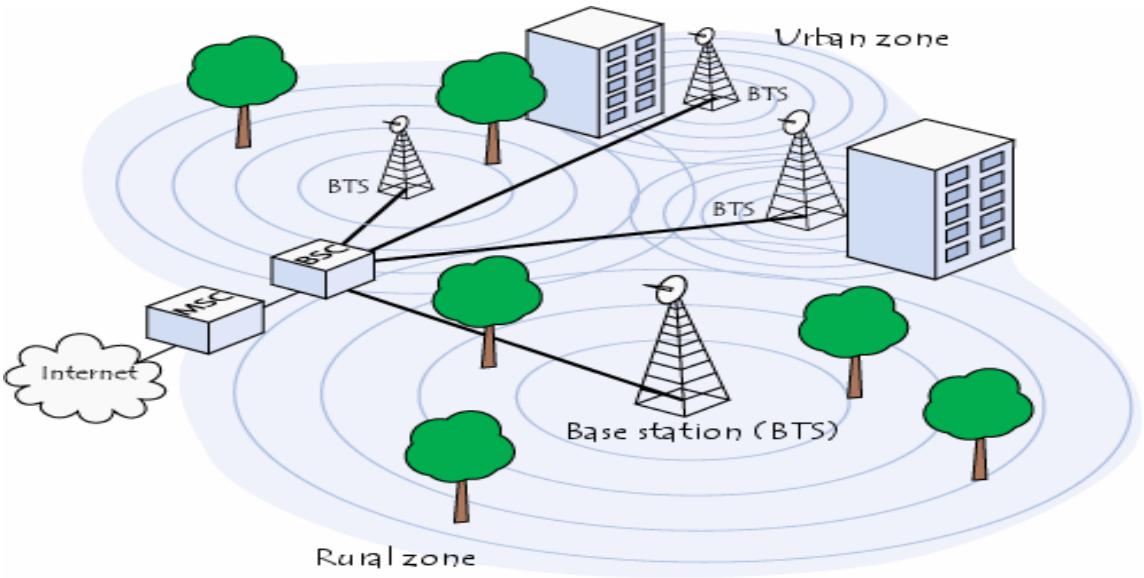


Figure 1.7. *Représentation de la relation entre une BSC et un ensemble d'un BTS.*

1.4.4.2. Sous-système réseau NSS

Le sous-système réseau, appelé ***N**etwork **S**witching **S**ub-system* (**NSS**), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du *NSS* prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification ou roaming **[7]**.

Le ***NSS*** est constitué de :

- *Mobile Switching Center* (MSC).
- *Home Location Register* (HLR).
- *Authentication Center* (AuC).
- *Visitor Location Register* (VLR).
- *Equipment Identity Register* (EIR).

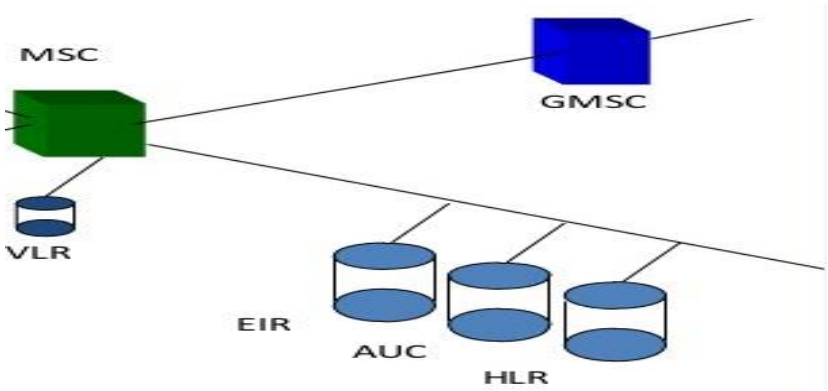


Figure 1.8. *Représentation d'un réseau NSS et un GMSC.*

✓ **Centre de commutation mobile (MSC) :**

Le centre de commutation mobile est relié au sous-système radio via l'interface **A**. Son rôle principal est d'assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du Réseau Téléphonique Commuté Public **RTCP** ou en anglais **PSTN** « **P**ublic **S**witched **T**elephone **N**etwork » ou de son équivalent numérique, le réseau **RNIS** (**ISDN** en anglais). D'un point de vue fonctionnel, il est semblable à un commutateur de réseau **ISDN**, mis à part quelques modifications nécessaires pour un réseau mobile. De plus, il participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie. Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (**HLR** et **VLR**) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau. Les commutateurs **MSC** d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des **MSC** servant de passerelle (***G**ateway **M**obile **S**witching **C**enter*, **GMSC**) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une inter-opérabilité entre réseaux d'opérateurs **[7]**.

✓ **Enregistreur de localisation nominale HLR (H**ome **L**ocation **R**egister) **:**

Il existe au moins un enregistreur de localisation (HLR) par réseau (PLMN). Il s'agit d'une base de données avec des informations essentielles pour les services de téléphonie mobile et avec un accès rapide de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible.

Le HLR contient toutes les informations relatives aux abonnés : le type d'abonnement, la clé d'authentification ; Cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM, les services souscrits, le numéro de l'abonné **IMSI (I**nternational **M**obile **S**ubscriber **I**dentity), ainsi qu'un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau, et l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication, libre, . . .) **[7]**.

Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC. Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement **[7]**.

✓ **Centre d'authentification (AuC) :**

Lorsqu'un abonné passe une communication, l'opérateur doit s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur. Le centre d'authentification remplit cette fonction de protection des communications.

On distingue trois niveaux de protection **[1]** :

- La carte SIM qui empêche un utilisateur non enregistré d'avoir accès au réseau.
- Le codage des communications destiné à empêcher l'écoute de celle-ci.
- La protection et l'identité de l'abonné.

✓ **L'enregistreur de localisation des visiteurs VLR (V**isitor **L**ocation **R**egister) **:**

Cette base de données ne contient que des informations dynamiques, Elle est liée à un **MSC**. Il y en a donc plusieurs dans un réseau **GSM**. Elle contient des données dynamiques qui lui sont transmises par le **HLR** avec lequel elle communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre **VLR**; les données suivent l'abonné en quelque sorte **[1]**.

✓ **Enregistreur des identités des équipements EIR** (**E**quipment **I**dentity **R**egister) **:**

L'**EIR** est une base de données contenant les identités des terminaux **IMEI** (***I****nternational* ***M****obile* ***E****quipment* ***I****dentity*). Elle peut être consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier que le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau .L'accès au réseau peut être refusé parce que le terminal n'est pas homologué, qu'il perturbe le réseau ou bien parce qu'il a fait l'objet d'une déclaration de vol **[7]**.

1.4.4.3. Sous-système exploitation et maintenance OSS

L'OSS (**O**peration **S**ub-**S**ystem) comprend deux entités fonctionnelles relatives au sous système réseau (**NSS**) et au sous système radio (**BSS**) administrés par un système centralisé **[7]**.

1.4.5. Présentation des interfaces :

Une interface est le lien entre deux entités du réseau, sur lequel transitent des informations particulières. Par exemple, la BTS et le BSC sont connectés, il existe donc une interface entre ces deux entités, mais le HLR n'est pas directement lié à la BTS, donc il n'existe pas d'interface entre ces deux entités.

Chaque interface, désignée par une lettre, est totalement spécifiée par la norme, c'est-à-dire que les informations sont transmises dans des messages précis, sous un format et à un emplacement du

message précis, à des moments précis. Cela permet théoriquement d'utiliser les équipements de différents constructeurs sans aucune incompatibilité.

Interface	Equipements	Fonction Principale
Um	BTS-Mobile	Interface radio FDMA/TDMA. Cette interface est normalisée.
Abis	BTS-BSC	Supervision de la BTS. Activation/désactivation des ressources radio. Cette interface n'est pas normalisée.
A	BSC-MSC	Etablissement et libération de la communication Allocation des ressources et gestion du Handover.
B	MSC-VLR	Echange d'informations usager et mis à jour de zone de localisation. Cette interface est non normalisée car les fonctions du MSC et du VLR sont souvent intégrées dans un seul équipement.
C	GMSC-HLR	Interrogation du HLR pour joindre un abonné mobile.
D	VLR-HLR	Le VLR informe le HLR de la localisation du mobile, Le HLR fournit au VLR les informations relatives à l'abonné.
E	MSC-MSC	Gestion du Handover.
	MSC-GMSC	Transport des SMS.
G	VLR-VLR	Gestion du changement de zone de localisation.
F	MSC-EIR	Vérification de l'identité du terminal.
H	HLR-AuC	Echange des informations nécessaires au chiffrement et à l'authentification.

***Tableau 1.2**. Interfaces du réseau GSM.*

1.5. Réseau GPRS

Le standard **GPRS** (**G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice) est une évolution de la norme GSM. Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération **3G**, on parle généralement de **2.5G** pour classifier le standard **GPRS**.

Le **GPRS** permet d'étendre l'architecture du standard **GSM**, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums. Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. Le standard **GPRS** permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût **[8]**.

Le **GPRS** permet de nouveaux usages que ne permettait pas la norme GSM, généralement catégorisés par les classes de services suivants **[8]**:

- Services point à point (PTP), c'est-à-dire la capacité à se connecter en mode client-serveur à une machine d'un réseau IP.
- Services point à multipoint (PTMP). c'est-à-dire l'aptitude à envoyer un paquet à un groupe de destinataires (Multicast).
- Services de messages courts (SMS).

1.5.1. Architecture du GPRS

L'intégration du **GPRS** dans une architecture GSM nécessite l'adjonction de nouveaux nœuds réseau suivants **[8] [9]**:

- ✓ **GSN** (GPRS **S**upport **N**odes) situés sur un réseau fédérateur (backbone).
- ✓ **SGSN** (**S**erving **G**PRS **S**upport **N**ode) soit en français Nœud de support **GPRS** de service, routeur permettant de gérer les coordonnées des terminaux de la zone et de réaliser l'interface de transit des paquets avec la passerelle **GGSN**.
- ✓ **GGSN** (**G**ateway **G**PRS **S**upport **N**ode) soit en français Nœud de support **GPRS** passerelle), passerelle s'interfaçant avec les autres réseaux de données (internet). Le **GGSN** est notamment chargé de fournir une adresse **IP** aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion **[21]**.

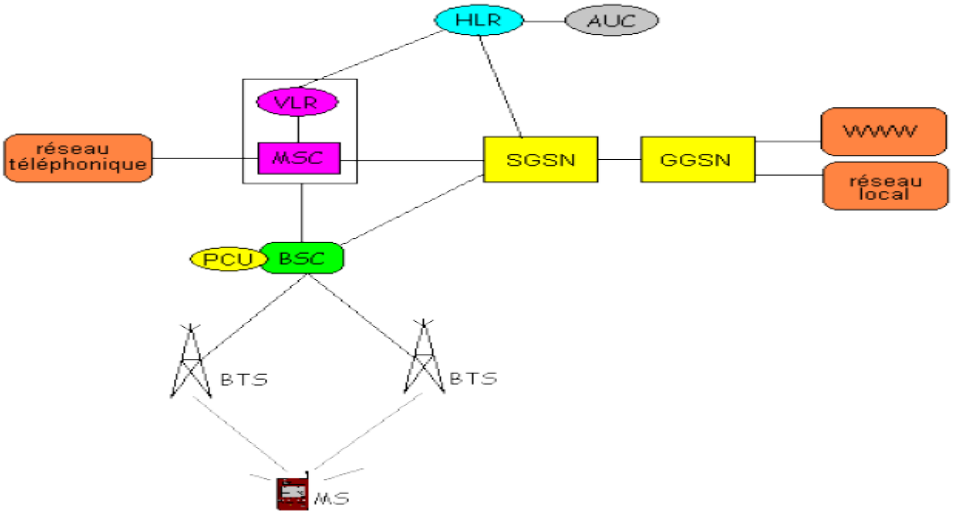


Figure 1.9. *Architecture d'un réseau GPRS.*

1.5.2. Passage du GSM au GPRS

La mise en place d'un réseau GPRS ne nécessite pas de couvrir le territoire avec de nouvelles antennes puisque l'architecture GSM est réutilisée.

Néanmoins, des modifications sont apportées en ajoutant des composants sur les structures de couverture du réseau GSM **[19]**.

- ✓ Sur les antennes, les BTS-est ajouté un module **CCU** (**Ch**annel **C**odac **U**nit). Cette entité permet de gérer les envois d'informations vers le module SGSN.
- ✓ La norme GPRS introduit également un équipement appelé **PCU** (**P**acket **C**ontroller **U**nit) a pour fonction de gérer l'échéancier de transmission et l'acquittement des blocs sur les canaux de données.

1.5.3. Concept de la mobilité

Les problèmes liés à la mobilité d'un terminal en communication sont réglés conjointement par la structure fixe et le mobile.

La mobilité des abonnées dans un réseau cellulaire a deux conséquences:

- Pour établir une communication, il faut savoir dans quelle cellule se trouve l'abonné. C'est la fonction de gestion de localisation.
- Il doit y avoir continuité de la communication lorsque l'abonné passe d'une cellule à une autre (transfert inter-cellulaire) communément appelé Handover.

Le Handover est la procédure de transfert automatique intercellulaire. Elle permet d'éviter les coupures de communication en bordure de cellule et réduit significativement l'interférence crée dans le réseau. Comprenant une phase de macrodiversité, Pendant cette phase, le mobile est en communication avec 2 ou 3 stations de bases, et les signaux reçus des différentes liaisons sont recombinés de façon à conserver le meilleur.

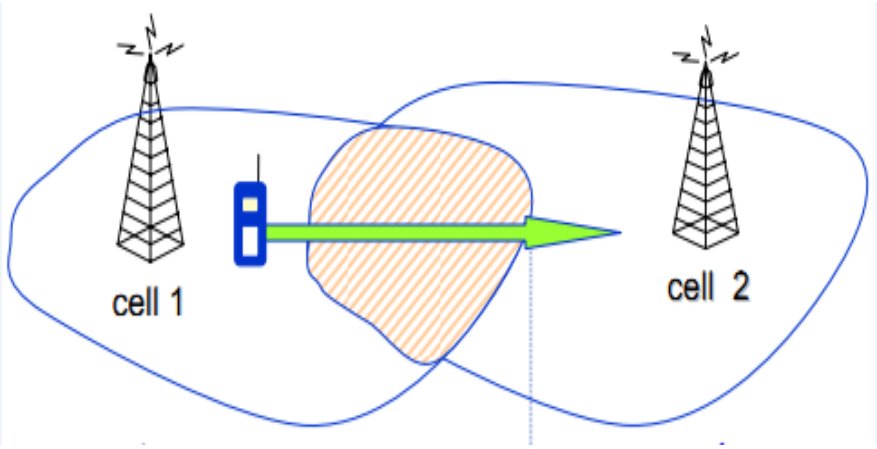


Figure 1.10. *Représentation de mécanisme Handover.*

1.6. Réseau EDGE

E*nhanced* ***D****ata Rates for* ***G****SM* ***E****volution ;* est une évolution du GPRS qui est elle-même une extension du GSM. EDGE est considéré comme une technologie pré-3G et souvent utilisé en complément d'un réseau UMTS pour offrir des services à haut débit à davantage d'utilisateurs en zone rurale ou zone suburbaine non dense plutôt qu'à ceux en zone urbaine et d'autre part il a aussi été une étape dans l'attente du lancement des réseaux 3G qui sont une solution plus performante pour les utilisateurs, mais plus coûteuse pour les opérateurs mobiles. Ce n'est pas une nouvelle norme de télécommunication mobile à proprement parler, comme l'UMTS **[10]**.

Il s'agit d'une simple évolution de la technologie GSM/GPRS permettant d'obtenir des débits moyens de 130 kb/s en réception et de 60 kb/s en émission, 6 à 10 fois plus importants que le GPRS. Mais c'est beaucoup moins performant que la 3G avec ses 250 kb/s de débit moyen en téléchargement, et autant performant en émission, voire un peu plus (50 kb/s). Les taux de transfert plus élevés autorisent un plus grand confort d'utilisation de son terminal mobile. Les téléchargements et envois de données (sonneries, jeux, MMS, e-mails, messagerie instantanée), ainsi que l'accès aux contenus WAP et i-mode sont plus rapides. En outre, il est plus facile d'accéder à de nouveaux types de services multimédias comme la vidéo (clips ou télévision en direct) ou la musique en streaming...

Les professionnels nomades, quant à eux, pourront exploiter la fonction modem d'un téléphone EDGE ou bien opter pour une PC Card, afin de connecter leur PC portable à l'internet (et à des débits corrects) en situation de mobilité, là où la 3G et le Wi-Fi ne sont pas présents **[11]**.

1.7. Réseau UMTS

Universal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem (**UMTS**) est l'une des technologies de téléphonie mobile de troisième génération (**3G**).

Les réseaux existant GSM et GPRS apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Data, le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia.

La mise en place d'un réseau UMTS va permettre à un opérateur de compléter son offre existant par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS.

Elle est basée sur la technologie **W-CDMA**, standardisée par le **3GPP** et constitue l'implémentation dominante, d'origine européenne, des spécifications **IMT-2000** de **l'UIT** pour les systèmes radio cellulaires **3G**. **L'UMTS** est parfois appelé **3GSM**, soulignant la filiation qui a été assurée entre **l'UMTS** et le standard **GSM** auquel il succède. Elle est également appelée **3G**, pour troisième génération.

1.7.1. Architecture du réseau UMTS

La mise en place du réseau UMTS implique la mise en place de nouveaux éléments sur le réseau, Le réseau UMTS possède l'architecture classique suivante :

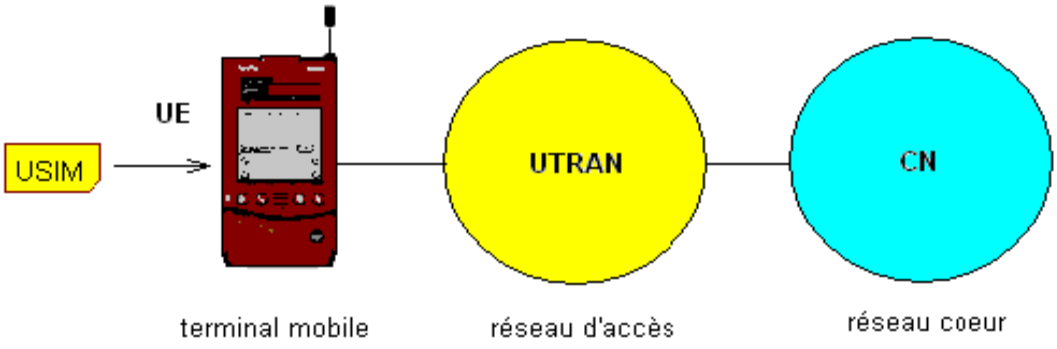


Figure 1.11. *Architecture classique du réseau UMTS.*

Le terminal mobile (**UE** : **U**ser **E**quipment) est constitué d'un équipement **ME** (**M**obile **E**quipment) et d'une carte à puce **USIM (U**niversal **S**ubscriber **I**dentity **M**odule**)** analogue à la carte **SIM**. Le réseau d'accès est appelé interface **UTRAN** (**U**MTS **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork).

Le réseau cœur **CN** (**C**ore **N**etwork) permet la connexion aux réseaux classiques. L'architecture globale est donc similaire à celle du réseau GSM ou GPRS.

L'UTRAN comprend des stations de base (Node B) associées à un contrôleur **RNC** (**R**adio **N**etwork **C**ontroller). Une Node B n'est associé qu'à un contrôleur unique. Un ensemble RNC et les Node B correspondants est appelé **RNS** (**R**adio **N**etwork **S**ub-System).

On notera qu'un mobile peut être en relation avec plusieurs Nodes B (dans le cas du handover notamment).

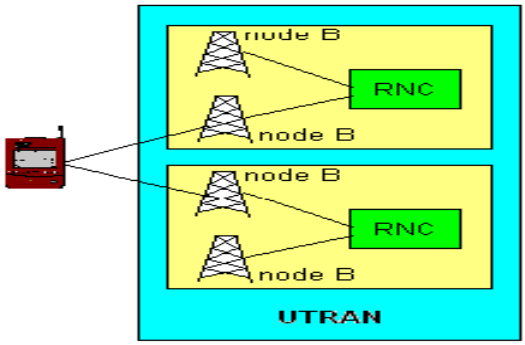


Figure 1.12. *Architecture du réseau UTRAN.*

Le réseau cœur comprend 3 domaines : le domaine circuit assez analogue à GSM, le domaine paquet assez analogue à GPRS et un domaine commun.

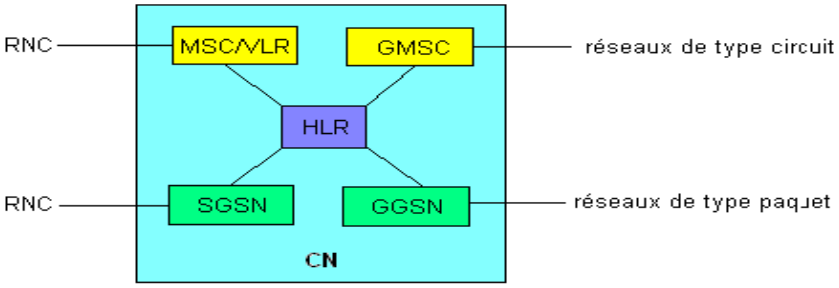


Figure 1.13*. Architecture du réseau cœur CN.*

La Node B

Les Node B sont des antennes réparties géographiquement sur l'ensemble du territoire, les Node B sont au réseau UMTS ce que la BTS est au réseau GSM. Elles gèrent la couche physique de l'interface radio et régit le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement. Elles communiquent directement avec le mobile sous l'interface dénommée U_u.

Le RNC (Radio Network Controllor)

Le **RNC** est un contrôleur de Node B, qui est encore ici l'équivalent du **BSC** dans le réseau **GSM**. Il contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole **RRC** (**R**adio **R**essource **C**ontrol) pour définir les procédures et les communications entre mobiles et le réseau (par l'intermédiaire des Node B). Il s'interface avec le réseau pour les transmissions en mode paquet et en mode circuit, il est directement relié à une Node B.

❖ Le **RNC** gère alors :

• Le contrôle de charge et de congestion des différents Node B.
• Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio (entrée d'un mobile dans la zone de cellules gérées …).

❖ Il existe deux types de **RNC** :

• Le **Serving RNC** qui sert de passerelle vers le réseau.
• Le **Drift RNC** qui a pour fonction principale le routage des données.
L'ensemble des Node B et des **RNC** constitue l'équivalent de la sous architecture BSS vue Précédemment en réseau **GSM**. En réseau **UMTS**, on parlera de sous architecture **UTRAN** (**U**niversal **T**errestrial **R**adio **A**ccess **N**etwork).

La carte USIM :

La carte **USIM** (***U**niversal **S**ubscriber **I**dentity **M**odule)* assure la sécurité du terminal et la confidentialité des communications. Des algorithmes de cryptage à clés publiques sont utilisés. Un certain nombre de possibilités sont prévues pour les cartes **USIM** de troisième génération. Par exemple, la détection des fausses stations de base, l'utilisation de clés de cryptage plus longues ou encore la protection des données d'identité de l'abonné et de son terminal.

La carte **USIM** est l'équivalent en 3G de la carte **SIM** en 2G. Les fabricants de carte travaillent aujourd'hui sur une carte bi-mode **GSM** / **UMTS** permettant un accès aux deux réseaux par activation / désactivation des modes **2G** ou **3G**.

Le Mobile :

Les technologies de l'informatique et des télécommunications se rapprochent par l'intégration de système d'exploitation et d'applications sur les terminaux UMTS. Les terminaux s'adapteront sur différents réseaux et devront être capables de fonctionner sur quatre environnements :

• Dans une zone rurale,
• Dans des espaces urbains,
• Dans un bâtiment,
• Avec un satellite.

Le terminal utilisera ainsi les réseaux GSM / GPRS / UMTS pour une couverture nationale tout en faisant appel aux réseaux de satellites pour une couverture mondiale si nécessaire. Le terminal sera équipé d'un navigateur, une évolution du browser **WAP** (**W**ireless **A**pplication **P**rotocol) présent dans le système GSM actuel.

1.8. Réseau LTE

1.8.1. Définition du réseau LTE

La **4G** (ou Quatrième génération) sous la norme **LTE** (Long Term Evolution) constitue une nouvelle avancée technologique dans la téléphonie mobile qui propose une multiplication des débits pouvant atteindre 150 Mbit/s (Downlink) grâce à deux phénomènes. Le premier consiste à faire circuler les appels vocaux directement sur internet (**VoLTE**). Ensuite, le réseau 4G recourt au multiplexage **OFDMA** (Downlink) et **SC-FDMA** (Uplink), ou plusieurs types d'information passant par un même canal, ce qui permet d'augmenter la quantité d'information transmise. La 4G se définit ainsi comme le très haut débit mobile.

1.8.2. Caractéristiques de réseau LTE

- Débit de données trois à quatre fois plus important que celui de l'UMTS/HSPA.
- Une efficacité spectrale trois fois plus élevée que la version de l'UMTS appelée HSPA.
- Un temps de latence proche de 10 ms (contre 70 à 200 ms en HSPA et UMTS).
- l'utilisation d'OFDMA pour la liaison descendante et du SC-FDMA pour la liaison montante.
- Une large gamme de bandes de fréquences hertziennes supportées une large gamme de bandes de fréquences hertziennes supportées

1.8.3. Architecture du réseau LTE

Le réseau **LTE** est constitué de deux parties (Sous-systèmes) : une partie radio (**eUTRAN**) et un cœur de réseau « **EPC** » (Evolved Packet Core) :

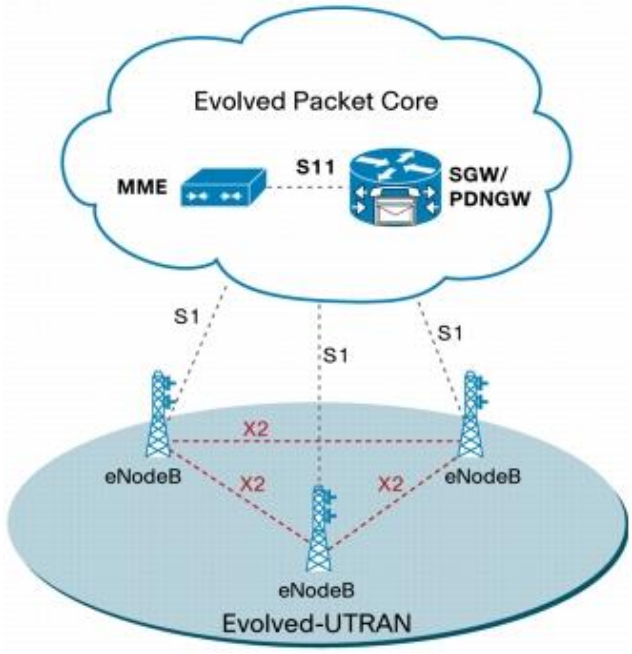


Figure 1.14. *Architecture générale de réseau LTE*

- **eNodeB** : la station de base.
- **SGW** (**S**erving **G**ateway) : qui transportent le trafic de donnée et concentrent le trafic de plusieurs **eNodeB.**
- **MME**: qui gèrent la signalisation et donnent l'accès aux bases de données et contenant les identifiants et les droits des abonnés.
- **PDN-GW** (**P**acket **D**ata **N**etwoek **G**ateway): Il achemine les données entre l'utilisateur et l'internet.

1.9. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté brièvement le réseau GSM, GPRS, EDGE et UTMS et LTE, et aussi les architectures, les caractéristiques de chaque réseau, Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter les supports de transmission utilisé dans les divers réseaux de transmissions et aussi les multiples modes de multiplexages.

Chapitre 02

RESEAUX DE TRANSMISSION

2.1. Introduction

Pour que la transmission de données puisse s'établir, il doit exister une ligne de transmission, appelée aussi voie de transmission ou canal entre les deux équipements. Ces voies de transmission sont constituées de plusieurs tronçons permettant de faire circuler les données sous forme d'ondes électromagnétiques, électriques, lumineuses ou même acoustiques. On a donc un phénomène vibratoire qui se propage sur la ligne de transmission.

Les systèmes de transmission comprennent essentiellement les lignes de transmission proprement dites, c'est-à-dire les supports de transmission et les équipements de groupement des signaux à transmettre. Ce groupement est appelé multiplexage.

Le réseau de transmission implante les technologies **PDH (P**lesiochronous **D**igital **H**ierarchy**)** et **SDH (S**ynchronous **D**igital **H**ierarchy**)**.
La hiérarchie numérique plésiochrone **PDH** est née au début des années 70 avec la numérisation du téléphone.

L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s après quoi on lui préfère la **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy). Les débits de SDH sont appelés STM-i avec le STM-1 égal à 155 Mbit/s. STM signifie Synchronous Transfert Module. Le STM-4 correspond à un débit de 622 Mbit/s, le STM-16 correspond à un débit de 2,5 Gbit/s et le STM-64 représente un débit de 10 Gbit/s. La SDH est concurrencée par Ethernet. En effet, SDH est une technique originellement conçue pour gérer les communications en mode circuit, typiquement les communications téléphoniques. Or, depuis les années 2000, le volume de données de type paquet a supplanté en quantité celui des données de type téléphonique, laissant SDH un peu inadapté aux nouveaux services qu'on lui demande aujourd'hui.

2.2. Transmission analogique et numérique

La transmission de la source à la destination met en œuvre des systèmes de transmission. On distingue grosso-modo les systèmes de transmission numériques et les systèmes de transmission analogiques **[13]**.

- Un système de transmission analogique transmet les signaux analogiques sans se préoccuper de leur contenu (ex : voix, fréquences de modem) et essaie de les restituer le plus fidèlement possible à l'extrémité distante. Les signaux étant atténués avec la distance, il faut ré-amplifier les signaux après une certaine distance, ce qui introduit de la distorsion dans le signal, le bruit étant aussi amplifié ; cette distorsion s'accumule avec le nombre d'amplificateurs selon la distance parcourue. Le signal subit encore d'autres perturbations le long du trajet de transmission (interférences…) **[14]**.
- Le système de transmission numérique transmet des signaux numériques en se préoccupant de leur contenu (la valeur discrète de chaque moment). Lorsqu'après une certaine distance, le signal numérique est atténué et distordu et que la distinction de la valeur du moment risque d'être ambiguë, le signal numérique est reconstitué via des équipements appelés régénérateurs (ou parfois répéteurs). L'erreur qu'on peut commettre est évidement de se tromper sur la valeur du moment, ce qui influe sur la qualité de l'information transmise en terme de BER (« Bit Error Rate ») **[14]**.

2.3. Supports de transmission

Les supports physique de transmission sont les éléments permettant de faire transmettre une information (sous forme d'un signale ou d'une onde) entre deux équipements de transmission. On peut distingue deux types de transmission :

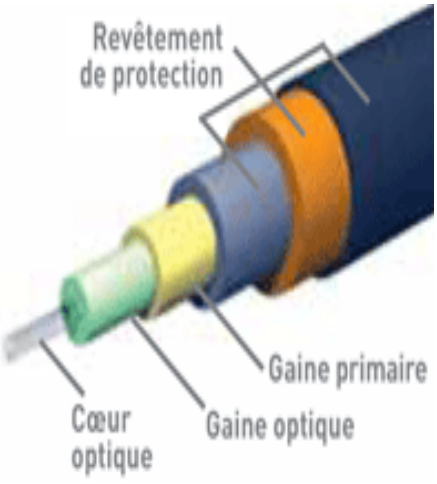
- Transmission guidée : dans ce cas l'information à transmettre est guidée par un câble ou par une fibre optique.
- Transmission libre : une information peut être transmise dans l'air ou dans le vide en utilisant une onde électromagnétique (porteuse) d'une fréquence élevée généralement.

Alors, on classe généralement ces supports physiques en trois catégories :

- **Les supports métalliques** : permettant de faire circuler une grandeur électrique dans un câble en cuivre.
- **Les supports optiques** : permettant de transmit des informations sous forme lumineuse (fibre optique) **[3]**.

- **Les supports aériens** : désignant l'air ou le vide, ils permettent de transmettre les ondes électromagnétiques ou radioélectriques (faisceau Hertzien) **[4]**.

a. Représentation d'un câble en cuivre.



b. Schématisation d'une fibre optique.

Figure 2.1. *Supports physique de transmission.*

2.4. Caractéristiques d'un réseau de transmission

Le réseau de transmission est caractérisé par :

- les milieux de transmission utilisés (paire de cuivre, coaxial, fibre optique, faisceau hertzien,
- les systèmes de transmission qui sont mis en œuvre sur ces milieux ; les systèmes de transmission sont composés d'équipements de transmission : terminaux de transmission, aux extrémités, modulateur, multiplexeurs, répéteurs,...
- la topologie : arborescence, étoile, anneau (boucle), ...

L'information émise par la source (voix, texte, image) via un terminal, est présentée sous une forme analogique (signal électrique produit par un téléphone) ou sur une forme numérique (une série de bits produit par un PC).

Cette information, pour être émise, est convertie en un signal d'entrée (ou message) qui peut être numérique ou analogique. Fondamentalement, un signal est toujours une grandeur physique analogique et cette discrimination réfère donc au contenu de l'information qu'il transporte.

Un signal analogique prend des valeurs continues et varie en amplitude, fréquence et phase ; un signal numérique prend une série de valeurs discrètes représentées par un signal élémentaire appelé moment (par exemple : amplitude avec 2 valeurs discrètes 0 ou +V pour un moment binaire, amplitudes -V, O, +V pour un moment ternaire,…etc.

Les signaux analogiques peuvent être convertis en signaux numériques et inversement par des équipements appelés codeur/décodeur (CODEC) ou modems (modulateur/démodulateurs).

- Le CODEC est un équipement qui est destiné à convertir le signal de source analogique, (la voix) en signal numérique. Le codage sera donc conçu pour que le signal vocal original puisse être transmis et reconstitué à l'arrivée le plus fidèlement possible **[14]**.
- Le modem est un équipement qui est destiné à convertir un signal de source numérique (train de bits) en un signal analogique. Si le signal doit passer à travers le réseau téléphonique (PSTN), le codage sera donc conçu pour que le signal numérique original puisse être transmis à travers un tel réseau (conçu pour transporter des signaux analogiques avec une bande passante limitée) et reconstitué à l'arrivée le plus fidèlement possible (avec le moins de bits erronés).

Le signal d'entrée n'est généralement pas adapté au milieu de transmission ; il devra être mis en forme par l'émetteur pour constituer le signal émis. (Cette mise en forme peut mettre en œuvre diverses techniques de codage et de modulation). Il en de même à la réception.

La voix est un signal analogique dont les caractéristiques spectrales (énergie, intelligibilité). Pratiquement, une bande passante de 3,1 kHz (de 300 Hz à 3,4 kHz) est suffisante et doit être respectée par les nœuds et les ressources de transmission du réseau téléphonique qui vont supporter la communication. Ce signal est dans la plupart des cas numérisé et donc converti en signal numérique. Ce point sera développé en détail dans le module consacré à la transmission mais le principe est relativement simple.

2.5. Le multiplexage

Les liaisons de transmission sont par définition coûteuses et offrent une capacité en débit (kbit/s) supérieure à celle requise par une seule communication ; celle-ci peut donc être utilisée par plusieurs communications simultanément au moyen de techniques dites de **multiplexage [14]**.

Cette notion est souvent associée à celle de méthode d'accès, dite d'accès multiple, des différents usagers à une ressource commune, par exemple TDM/TDMA ("Time Division Multiplexing") ("Time Division Multiple Access") bien qu'il s'agisse de notions différentes : le multiplexage concerne la technique de partage des ressources entre plusieurs usagers; l'accès multiple concerne les processus de partage des ressources entre ces usagers. L'accès multiple nécessite des règles (protocoles, algorithmes) et des systèmes de commande par lesquels un utilisateur peut accéder aux ressources (temps, fréquence) partagées.

Deux types de multiplexage de base sont largement utilisés en transmission : le FDM : "Frequency Division Multiplexing" (MRF : multiplexage à répartition en fréquence) mis en œuvre pour des signaux analogiques et le TDM : "Time Division Multiplexing" (MRT : multiplexage à répartition dans le temps) mis en œuvre pour des signaux numériques.

2.5.1. Principe du FDM

Les signaux de communication (la voix en téléphonie qui occupe une bande passante de 3,1 kHz) sont modulés sur des porteurs différents assignés à chaque communication. Une bande de garde sépare les différentes voies. La méthode d'accès est appelée FDMA et consiste très simplement à allouer une voie pendant la durée de la communication. Une communication occupe donc une partie du spectre disponible pendant toute la durée de la communication. Ce système a été utilisé à partir des années 60 pour les "longues distances" **[14]**.

2.5.2. Principe du TDM

Les signaux de communication occupent tour à tour pendant un temps bref, appelé intervalle de temps IT ("TS Time-slot") toute la ressource spectrale de la liaison de transmission. Un temps de garde peut dans certains cas séparer les différents IT's.
Remarque : on retrouve le même concept que dans la commutation par paquets **[14]**.

2.5.3. Principes du WDM

("Wavelength Division Multiplexing")/DWDM (« Dense WDM».
Utilisée dans les systèmes de transmission sur FO, il s'agit d'une évolution récente bénéficiant des progrès de l'amplification optique et qui augure de la tendance à aller vers un réseau de transport « tout optique » : dans une même fibre, plusieurs porteuses avec des longueurs d'onde (λ) différentes véhiculent des flux de bits distincts. Par exemple, au lieu de transporter 10 Gbit/s sur 1 longueur d'onde, on transporte 4 systèmes de 2,5 Gbit/s sur 4 longueurs d'onde. L'avantage dans ce cas est de pouvoir augmenter la distance sans répéteurs. Deux autres applications importantes sont la possibilité d'étendre la capacité du réseau de fibres actuelles (sans devoir poser de nouvelles fibres) et la possibilité d'allouer dans une même fibre une longueur d'onde (on parle de « couleur ») à des utilisateurs distincts et à des flux de bits structurés différemment **[14]**.

2.6. L'accès multiple

La bande de fréquence est une ressource rare qu'il faut partager entre tous les utilisateurs. Il est

donc nécessaire de transmettre simultanément sur un même canal le plus grand nombre de messages possibles. On fait appel pour cela aux techniques de multiplexage. On considère trois techniques de découpage du spectre alloué, ou plus précisément du plan temps–fréquence **[12]** :

2.6.1. FDMA (Frequency Division Multiple Access)

C'est la technique la plus ancienne qui était la seule lorsque le téléphone était purement analogique. A chaque interlocuteur, ou chaque message, est alloué une bande de fréquence. En pratique le message est utilisé pour moduler (à l'origine en amplitude, parfois avec suppression de porteuse) une fréquence porteuse. Les différentes porteuses ainsi modulées sont juxtaposées et l'ensemble transmis sur le canal. A la réception des filtres sélectifs isolent les différentes porteuses qui sont démodulées. Si les fréquences porteuses sont parfaitement connues ou restituées, il est possible d'effectuer une démodulation cohérente (synchrone) **[12]**.

- **Principe du FDMA :**

L'**A**ccès **M**ultiple par **R**épartition en **F**réquence **(AMRF)**, est une technique de contrôle d'accès au support utilisé en et téléphonie mobile. Il s'agit d'un découpage en bandes de fréquences de manière à attribuer dynamiquement une partie du spectre à chaque utilisateur. De cette manière, chaque utilisateur se voit attribuer une ou plusieurs bandes de fréquences distinctes.

Nous pouvons schématisés ce multiplexage par la figure suivante où nous avons choisi comme un simple exemple le découpage que en quatre parties :

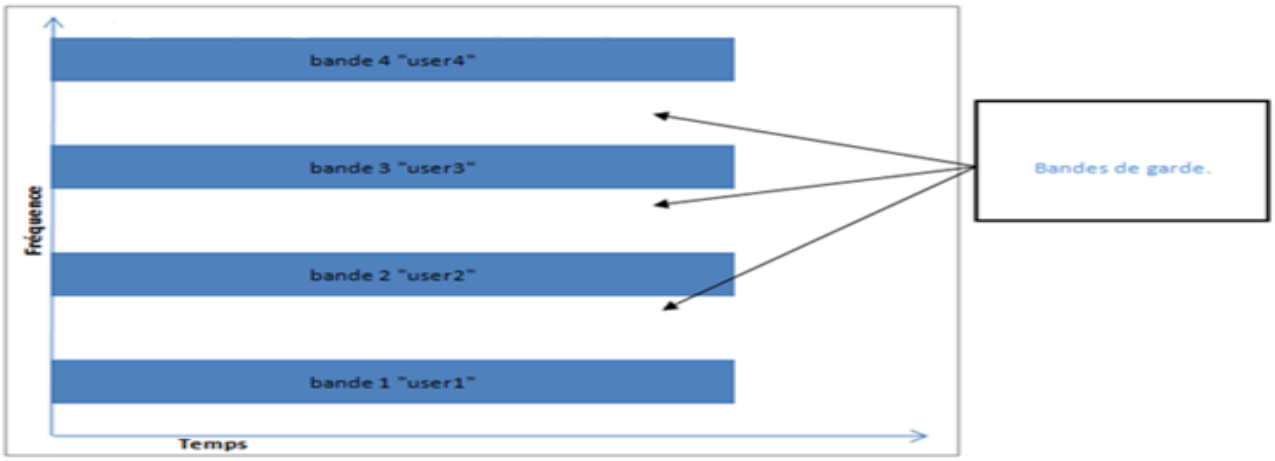


Figure 2.2. *Principe d'accès multiple par répartition en fréquence.*

2.6.2. TDMA (Time Division Multiple Access)

Chaque correspondant ou message occupe la totalité de la bande **[12]**, mais pendant un temps très

court. C'est la technique retenue pour le système « MIC ». Les échantillons issus d'un message sont intercalés avec ceux des autres, un tri se fait à la réception **[12]**.

La ressource spectrale étant rare, les deux techniques sont généralement combinées. La bande totale est partagée en plusieurs sous bandes autour de porteuses, et chaque porteuse est partagée en temps entre plusieurs utilisateurs **[12]**.

- **Principe du TDMA :**

Accès **M**ultiple à **R**épartition dans le **T**emps (**AMRT)** est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal ou une seule bande de fréquence. Il s'agit d'une division temporelle de la bande passante, dont le principe est de répartir le temps disponible entre les différents utilisateurs. Par ce moyen, une fréquence (porteuse) ou une longueur d'onde peut être allouée à plusieurs abonnés simultanément.

Cette technologie est par exemple utilisée dans la norme GSM, où chaque porteuse (canal physique) supporte huit intervalles de temps **IT** (time slot **TS**) attribués à huit communications, c'est-à-dire que 8 personnes utilisent la même bande de fréquence, mais ils parlent l'un après l'autre.

Un inconvénient de cette technique est qu'il faut transmettre une synchronisation (horloge) qui soit la meilleure possible pour que chaque utilisateur puisse récupérer ses données reçues et en émettre sans interférence avec les autres abonnés.

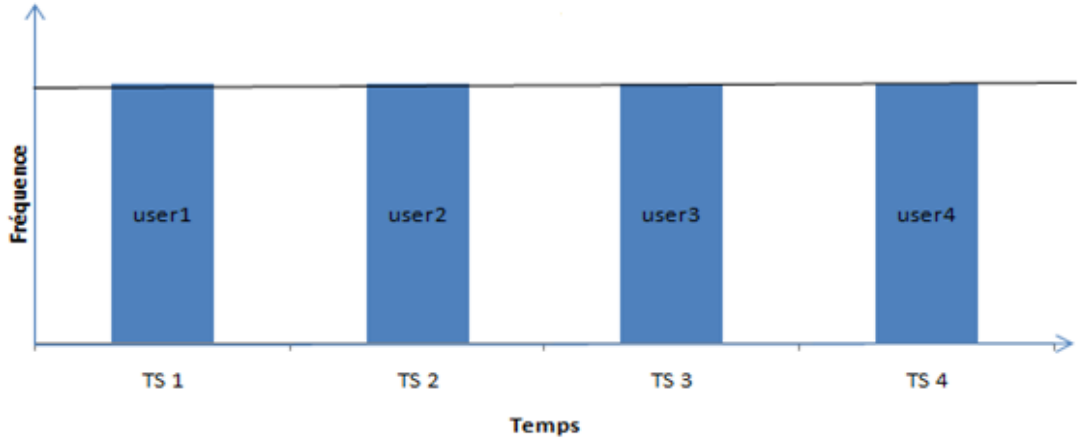


Figure 2.3. *Principe d'accès multiple par répartition en temps.*

Le GSM utilise le multiplexage TDMA auquel on ajoute la FDMA pour optimiser les ressources fréquentielles ; on peut schématiser ce multiplexage par la figure suivante où nous avons pris que quatre canaux de toute la bande passante :

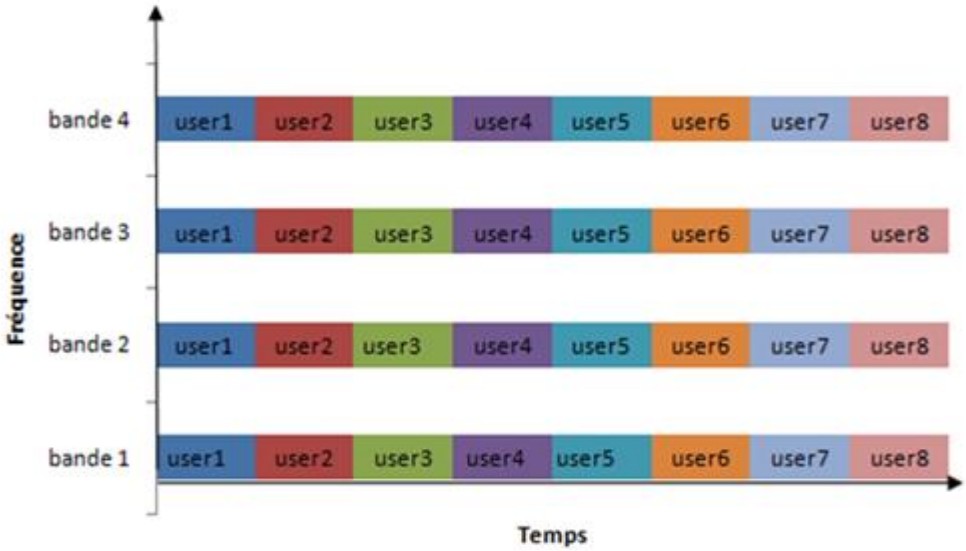


Figure 2.4. *Principe d'accès multiple par répartition en fréquence et en temps.*

2.6.3. CDMA (Code Division Multiple Access)

Tous les utilisateurs ou messages ont accès simultanément à la totalité de la bande, ils sont distingués à la réception grâce à des codes distincts pour chacun d'entre eux **[12]**. La commission générale de terminologie et de néologie propose le terme **A**ccès **M**ultiple par **R**épartition en **C**ode, abrégé en **AMRC**.

- **Principe du CDMA :**

Développé dans les années 1980 pour les communications par satellite, le CDMA consiste à étaler le spectre au moyen d'un code alloué à chaque communication. Le récepteur utilise ce même code pour démoduler le signal qu'il reçoit et extraire l'information utile. Le code lui-même ne transporte aucune information. Ainsi les utilisateurs peuvent communiquer simultanément dans une même bande de fréquence. La distinction entre les différents utilisateurs s'effectue alors grâce à un code qui leur est attribué et connu exclusivement par l'émetteur et le récepteur. L'opération nécessite d'importantes capacités de calcul, donc des composants plus coûteux pour les terminaux grand public. En revanche, les opérateurs ont recours au CDMA pour les liaisons par satellite de leur réseau fixe.

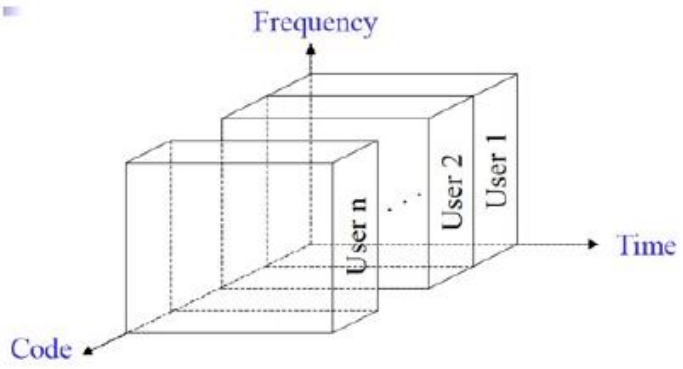


Figure 2.5. *Principe d'accès multiple par répartition en code.*

2.7. Technologies de transmission

2.7.1. Technique MIC (Modulation par Impulsion Codée) :

La modulation par impulsion et codage (**MIC**) ou ***P**ulse **C**ode **M**odulation(***PCM**), est une représentation numérique d'un signal électrique résultant d'un processus de numérisation. Le signal est d'abord échantillonné, puis chaque échantillon est quantifié indépendamment des autres échantillons, et chacune des valeurs quantifiées est convertie en un code numérique.

La modulation par impulsion codée est toujours la première phase de la numérisation d'un signal électrique analogique. Le traitement indépendant de chaque échantillon implique qu'il n'y a ni chiffrement, ni compression de données.

Nous pouvons présenter cette technique en trois étapes essentielles :

- ✓ **Echantillonnage** : L'échantillonnage consiste en une représentation d'un signal par un prélèvement de sa grandeur, généralement à intervalles de temps réguliers T_{ech}(temps d'échantillonnage). Le Théorème d'échantillonnage de Nyquist-Shannon stipule que les fréquences plus hautes que la moitié de fréquence d'échantillonnage ne peuvent pas être reconstruites. La fréquence d'échantillonnage se définit comme l'inverse de la durée entre deux échantillons successifs.

- ✓ $\mathbf{F_{ech}}$: Fréquence d'échantillonnage.
- ✓ $\mathbf{F_{max}}$: Fréquence maximale du message.

$$F_{ech} \geq 2F_{max}$$

- ➢ **Quantification** : La quantification convertit une valeur prise dans un ensemble continu en une autre, correspondant à un nombre fini d'intervalles de valeurs possibles. Dans les applications musicales, et quand le signal numérique doit être traité, la quantification est linéaire. Quelle que soit

la finesse des intervalles, il y a toujours une différence entre la valeur analogique et la valeur quantifiée. Quand cette différence est supérieure au bruit de fond, elle est corrélée au signal et se perçoit comme une forme de distorsion. Pour l'éviter, on ajoute artificiellement du bruit au signal, dans un procédé connu surtout sous son nom anglais de dither.

- **Codage :** Le codage fait correspondre à chaque intervalle de quantification un code unique ; Le plus souvent, ce code est un nombre binaire, plusieurs types de code binaire sont d'usage courant, selon qu'on envisage le signal par rapport à la valeur extrême, sans signe, ou bien à sa valeur médiane, en positif ou en négatif, et dans ce cas, soit avec un bit de signe, soit en complément à 2.

- **Trame MIC :**

La numérisation téléphonique, entamée dans les années 1970. À l'époque, pour des raisons de coût, d'encombrement et de consommation, il n'était pas possible de numériser les signaux chez l'abonné. La numérisation était effectuée au central de raccordement pour 30 abonnés simultanément. Le système utilisait une **M**odulation par **I**mpulsion **C**odées **MIC** (ou **PCM** en anglais : **P**ulse **C**ode **M**odulation) et un multiplexage temporel, c'est le principe du **MIC 30 voies**. Chaque voie de 1 à 30 est filtrée dans la bande 300 - 3400 Hz puis échantillonnée à 8kHz (période de 125µs).
La trame de 125µs est découpée en 32 intervalles de temps (**IT**) de 3.9µs ; les instants échantillonnés sont décalés d'une voie sur l'autre.

Les échantillons analogiques, numérisés sur 8 bits, sont ensuite multiplexés temporellement. La trame de 125µs contient donc 32 octets dont 30 correspondent à des voies téléphoniques ; le débit utile est alors de 32 * 8 bits * 8000 trames soit 2 048 kbit/s (c'est le E1=2 048 kbit/s).

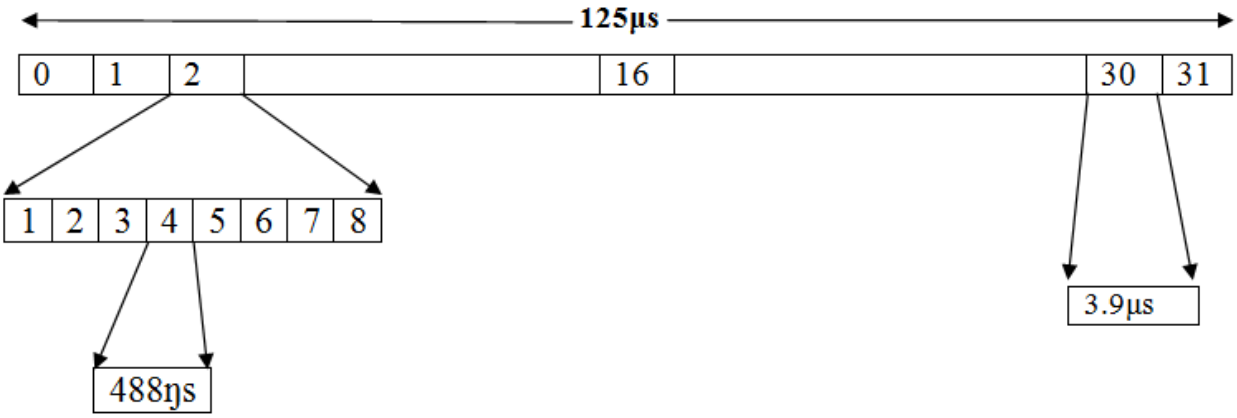


Figure 2.6. *Structure générale de la trame MIC.*

2.7.2. Hiérarchie PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

La hiérarchie PDH est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » vient du grec **plesio** (proche) et **chronos** (temps) et reflète le fait que les réseaux PDH utilisent des éléments identiques mais non parfaitement synchronisés : ils ont un même débit nominal pour toutes les artères du même type mais ce débit diffère légèrement en fonction de l'horloge de traitement local. Les versions européennes et américaines du système différent légèrement mais reposent sur le même principe, nous décrirons dans ce chapitre le système européen.

- **Trame 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. Le débit exact des données dans le flux de 2 Mbit/s est contrôlé par une horloge dans l'équipement générant les données.

Le débit exact varie légèrement autour de 2 048 kbit/s. 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 **[13]**.

Chaque flux de 2 Mbit/s n'étant pas nécessairement au même débit, des compensations doivent être faites. L'émetteur combine les quatre flux en assumant qu'ils utilisent le débit maximum autorisé. Occasionnellement le multiplexeur essaiera donc d'obtenir un bit qui n'est pas encore arrivé ! Dans ce cas, il signale au récepteur qu'un bit est manquant ce qui permet la reconstruction des flux à la réception. 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 sont nommés E*n* avec :

- E1 correspondant à 2 048 kbit/s.
- E2 correspondant à 8 Mbit/s.
- E3 correspondant à 34 Mbit/s.

2.7.3. Evolution du PDH vers SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

L'inconvénient de la PDH est qu'il faut démultiplexeur complètement l'ensemble des différents ordres de multiplexage pour extraire un signal **[12]**. 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 palier ces problèmes, une nouvelle hiérarchie de système de transmission a vu le jour **[15]** :

- **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. Il y a quelque part une horloge atomique qui distribue le rythme pour l'ensemble des nœuds du réseau national. Ce rythme est transmis de proche en proche sur fibre optique à tous les équipements de transmission SDH du pays. C'est pour cette raison que ce mode de transmission est appelé synchrone **[15]**.

2.7.3.1. Trame SDH

L'hiérarchie numérique synchrone est un ensemble de protocole pour la transmission des données numérique à haut débit **[16]**. La trame de base appelée STM-1 correspond au premier niveau de l'hiérarchie numérique synchrone, la trame SDH se présente se forme d'une matrice de taille 9x270 octets dont la transmission faite de gauche à droite et de haut en bas. Chaque octet correspond à un canal de 64kbit/s, On obtient un débit global de 155Mbit/s.

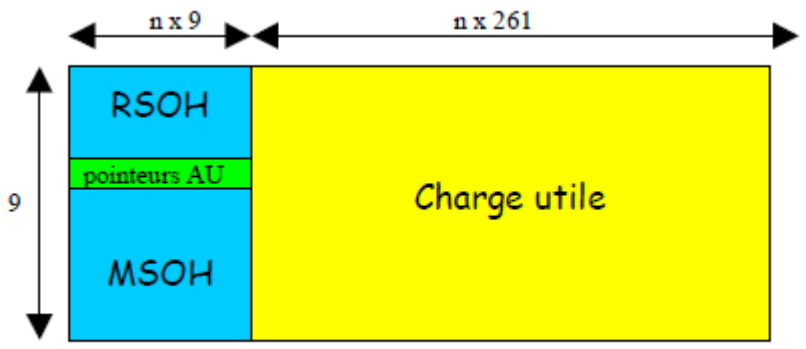


Figure 2.7. *Trame SDH.*

La trame est composée d'une zone de sur débit de section **SOH** (**S**ection **O**verhead) contenant des informations pour les régénérateurs et les multiplexeurs sur la route empruntée par la charge utile « payload » (l'information), appelée unité administrative **AU** (**A**dministrative **U**nit).

2.7.3.2. Constitution des Trames SDH

La structure des trames dans un réseau plésiochrone PDH ne comporte qu'un nombre réduit de bits alloués à l'exploitation et ne permettent pas la gestion du réseau. Par contre, la technologie SDH, ayant été conçue pour fonctionner sur fibre optique, 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 **[17].**

2.7.3.3. Multiplexage SDH

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

STM-n	Débit (Mbps)
STM-0	51.84
STM-1	155.52
STM-4	622.08
STM-16	2488.32
STM-64	9953.28

Tableau 2.1. *Débits de la Hiérarchie SDH* **[23]**.

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 trames STM. Chaque bloc porte un nom, on trouve : Conteneur (C), Conteneur Virtuel (VC), Tributaire Unit (TU), Tributary Unit Group (TUG), Administrative Unit (AU), Administrative Unit (AUG), et Synchronous Transport Module (STM). Un bloc de données SDH (C, VC, TU, TUG, AU, AUG, STM) est toujours transmis en 125µs, 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 **[17]**.

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 2ème niveau, les VC-HO sont multiplexés pour former la trame STM.

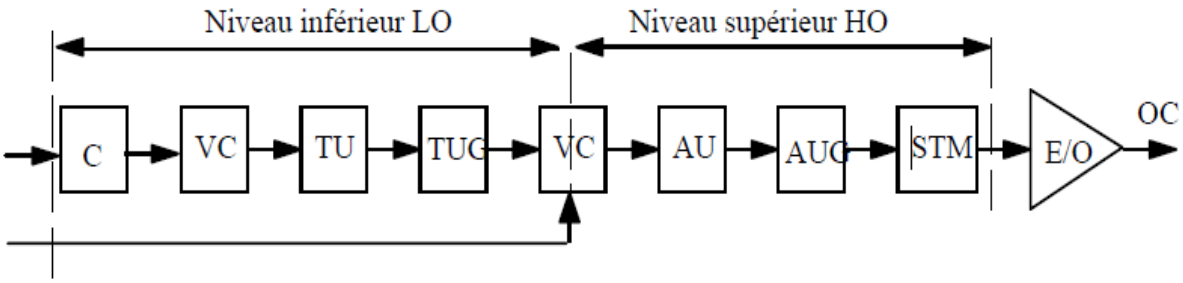


Figure 2.8. *Les niveaux de multiplexage SDH* **[17]**.

2.8. Notion de conteneur

Les signaux à transporter proviennent de liaisons qui peuvent être synchrones ou asynchrones. Pour faciliter leur transport, on les segmente en petit blocs appelés conteneurs. Un conteneur contient un paquet de données utiles (payload) arrivés au rythme du débit de l'affluent pendant 125µs plus un certain nombre d'octets de bourrage dont le rôle est d'adapter le débit incident à la structure de la trame.

- **Conteneur**

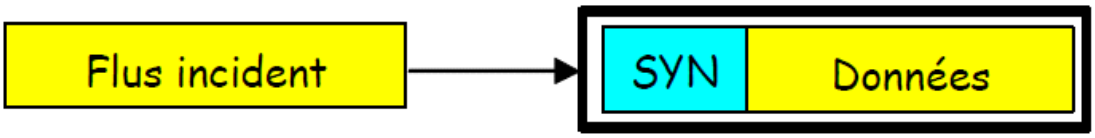


Figure 2.9. *Conteneur* **[15]**.

2.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en premier lieu les supports de transmissions qui sont très importants pour réaliser une liaison de transmission, ensuite nous avons décris les principes du multiplexage (FDMA –TDMA-CDMA), et aussi les technologies de transmission précisément les hiérarchies PDH et SDH.

Chapitre 03

INGENIERIE FAISCEAUX HERTZIENNE

3.1. Introduction

Les systèmes radio sont des supports de transmission qui utilisent la propagation des ondes radio électriques pour véhiculer les informations d'un point à un autre, on les appelle généralement faisceaux hertzien **FH**. Dont un faisceau hertzien est un système de transmission numérique ou analogique, entre deux points fixes par ondes électromagnétique de l'espace.

Les ondes radio sont transmises en faisceaux sur une fréquence porteuse dans la gamme des micro-ondes (généralement entre 1 et 40 GHz) par le biais d'antennes directives. Les antennes utilisées, le plus souvent des paraboles, ont une directivité élevée. Elles sont installées sur des emplacements convenables afin de couvrir de longues distances (visibilité directe quasi optique). Malgré de grandes largeurs de bande, une bonne directivité des antennes permet une utilisation économe du spectre des fréquences à disposition.

Dans ce chapitre nous allons répondre sur la question suivante : Quels sont les outils télécoms et les équipements nécessaires pour l'installation des sites ?

3.2. Les faisceaux hertziennes

3.2.1. Définition des faisceaux hertziens

Un **faisceau hertzien** est un système de transmission des signaux (actuellement numériques) entre deux point fixes. Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1GHz à 40 GHz (domaine des micro-ondes) **[24]**, très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

Ces émissions sont notamment sensibles aux obstacles et masquages (relief, végétation, bâtiments…), aux précipitations, aux conditions de réfractivité de l'atmosphère, aux perturbations électromagnétiques et présentent une sensibilité assez forte aux phénomènes de réflexion (pour les

signaux analogiques mais la modulation numérique peut, au moins en partie, compenser le taux d'erreur de transmission dû à ces nuisances).

À cause des limites de distance géographique et des contraintes de « visibilité », le trajet hertzien entre deux équipements d'extrémité est souvent découpé en plusieurs tronçons, communément appelés « bonds », à l'aide de stations relais. Dans des conditions optimales (profil dégagé, conditions géo-climatiques favorables, faible débit, etc.), un bond hertzien peut dépasser 100 km.

3.2.2. Organisation fonctionnelle d'un émetteur-récepteur FH

La liaison par voie radioélectrique peut se décomposer en 3 parties : l'émetteur, le canal de transmission et le récepteur. Le rôle de l'émetteur est de convertir le message à transmettre sous forme d'un signal électrique modulé et transposé à la fréquence d'émission, puis d'amplifier en puissance et d'émettre sur l'antenne.

Quant au récepteur, à partir d'une autre antenne, il devra restituer le message le plus fidèlement possible.

- **Traduction :** permet de convertir un signal (par exemple la voix) en un signal électrique, via un microphone piézo-électrique par exemple. Inversement, elle convertit un signal électrique en un son via un haut-parleur.
- **Traitement :** il peut s'agir simplement d'une amplification linéaire, de préaccentuation (gain variable avec la fréquence). En numérique, il peut s'agir aussi du codage de l'information pour avoir une confidentialité, une sécurité (détection d'erreur) ou pour optimiser la rapidité de la transmission (compression).
- **Modulation :** En télécommunications, le signal transportant une information doit passer par un moyen de transmission entre un émetteur et un récepteur. Le signal est rarement adapté à la transmission directe par le canal de communication choisi, hertzien, filaire, ou optique. La **modulation** peut être définie comme le processus par lequel le signal est transformé de sa forme originale en une forme adaptée au canal de transmission, par exemple en faisant varier les paramètres d'amplitude et d'argument (phase/fréquence) d'une onde sinusoïdale appelée porteuse. Le dispositif qui effectue cette modulation, en général électronique, est un modulateur. L'opération inverse permettant d'extraire le signal de la porteuse est la démodulation.
- **Canal :** Un canal indique le milieu dans lequel se propage le signal. Mais il indique aussi la partie plus ou moins large du spectre occupé.

Chaque opérateur a le droit de choisir les canaux (fréquences) compatibles à ces équipements et les acheter de l'ARPT (Autorité de Régulation de la Poste et des Télécommunication), cette dernière laisse des bandes séparant entre les canaux appelées « bandes de gardes » pour évités les interférences entre deux opérateurs.

MOBILIS exploite 7 fréquences porteuses:

- 6 GHz, 8GHz, 11GHz : réserver pour les grandes capacités et langue distances (liée les BSC au MSC).
- 15GHz, 18GHz, 23GHz, 38GHz : pour les petites capacités.

L'ARPT autorise à MOBILIS d'utiliser les canaux (1, 3, 5 et 7) dans la bande de 6GHz :

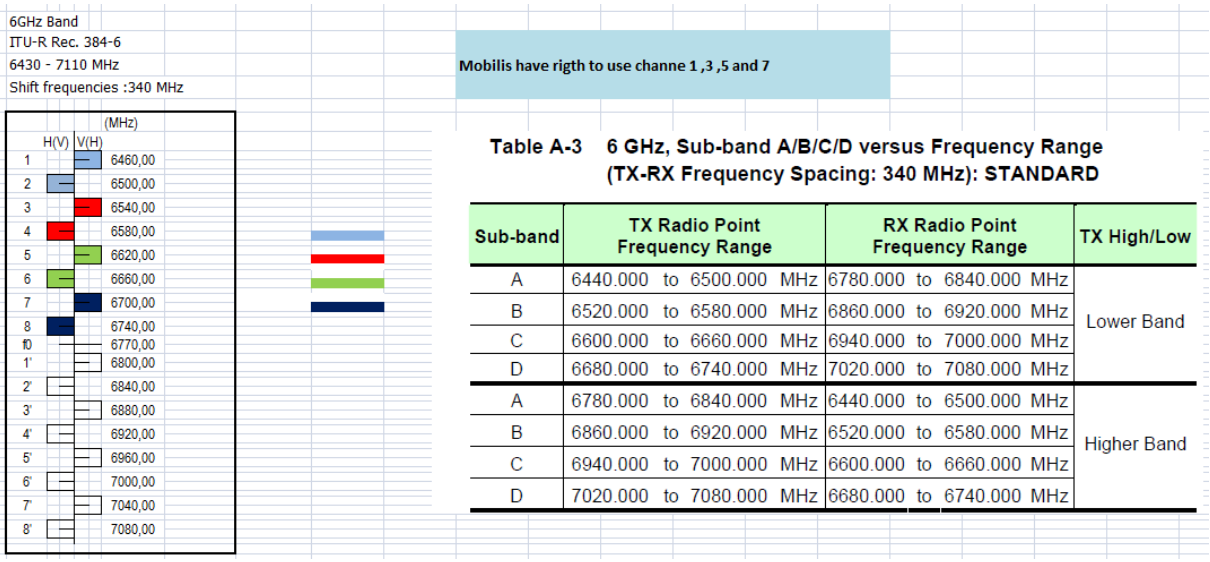


Table A-3 6 GHz, Sub-band A/B/C/D versus Frequency Range (TX-RX Frequency Spacing: 340 MHz): STANDARD

Sub-band	TX Radio Point Frequency Range	RX Radio Point Frequency Range	TX High/Low
A	6440.000 to 6500.000 MHz	6780.000 to 6840.000 MHz	Lower Band
B	6520.000 to 6580.000 MHz	6860.000 to 6920.000 MHz	
C	6600.000 to 6660.000 MHz	6940.000 to 7000.000 MHz	
D	6680.000 to 6740.000 MHz	7020.000 to 7080.000 MHz	
A	6780.000 to 6840.000 MHz	6440.000 to 6500.000 MHz	Higher Band
B	6860.000 to 6920.000 MHz	6520.000 to 6580.000 MHz	
C	6940.000 to 7000.000 MHz	6600.000 to 6660.000 MHz	
D	7020.000 to 7080.000 MHz	6680.000 to 6740.000 MHz	

Figure 3.1. *Les canaux utilisables par AT MOBILIS dans la bande 6GHz.*

- **Démodulation :** c'est l'opération qui, à partir du signal modulé reçu du canal de transmission, permet de reconstituer le signal informatif (après traitement).
- **Amplificateur (Emetteur-Récepteur) :** il a pour fonction d'augmenter le niveau du signal, les amplificateurs les plus courants sont à transistors.
- **Filtres :** ils ont pour fonction de séparer les signaux utiles des autres, ils sont omniprésents, et à base de condensateurs et de bobines.
- **Antenne :** c'est une interface entre le milieu dans lequel les ondes se propagent et l'appareil où elles sont guidées. Les antennes pour mobiles sont en général peu directives et parfois électriquement petites (vis-à-vis de la longueur d'onde). Ces antennes sont fréquemment réalisées en technologie imprimée afin de réduire les coûts de production en série.

3.3. Antennes

3.3.1. Définition d'une antenne

Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur.

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement).

Les antennes sont utilisées sur une large gamme de fréquence (ou de longueur d'onde) pour un grand nombre d'applications différentes.

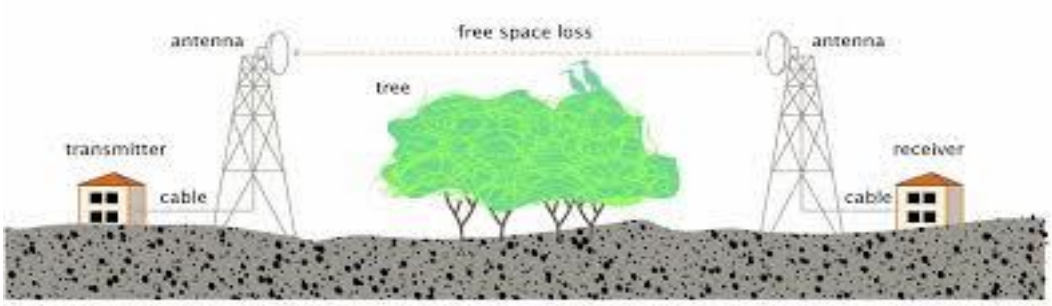


Figure 3.2. *Représentation d'une liaison entre deux antennes (émetteur/récepteur).*

3.3.2. Caractéristiques des antennes :

Dans cette partie, nous allons considérer uniquement des antennes émettrices. Cependant, il est nécessaire de supprimer toute distinction entre antenne émettrice et antenne réceptrice, en introduisant le principe de réciprocité : toute structure qui reçoit une onde électromagnétique peut transmettre une onde électromagnétique. Une antenne passive peut réciproquement être utilisée en émission et en réception. Les propriétés de l'antenne resteront les mêmes qu'elle soit utilisée en émission ou en réception.

3.3.2.1. Diagramme de Rayonnement :

La répartition dans l'espace de l'énergie rayonnée ou reçue est caractérisée par le diagramme de rayonnement de l'antenne.

Les antennes sont rarement omnidirectionnelles et émettent ou reçoivent dans des directions Privilégiées. Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par

l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il indique les directions de l'espace (θ_0, φ_0) dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale. Il est important de noter que le diagramme de rayonnement n'a de sens que si l'onde est sphérique.

On trace dans le diagramme de rayonnement la fonction caractéristique de rayonnement r (θ, φ) qui varie entre 0 et 1 selon la direction. Celui-ci peut se représenter sous différentes formes comme la figure 3.3 nous montre. En général, le diagramme de rayonnement d'une antenne est représenté dans les plans horizontaux (θ = 90°) et verticaux (φ = constante), ou bien dans les plans E et H **[13]**.

$$\boldsymbol{r_{(\theta,\varphi)} = \frac{P_{(\theta,\varphi)}}{P_{0(\theta 0,\varphi 0)}}} \quad \textbf{(3-1)}$$

Avec :

$P_{(\theta,\varphi)}$: Puissance rayonnée dans une direction quelconque.

$P_{0(\theta 0,\varphi 0)}$: Puissance rayonnée maximale.

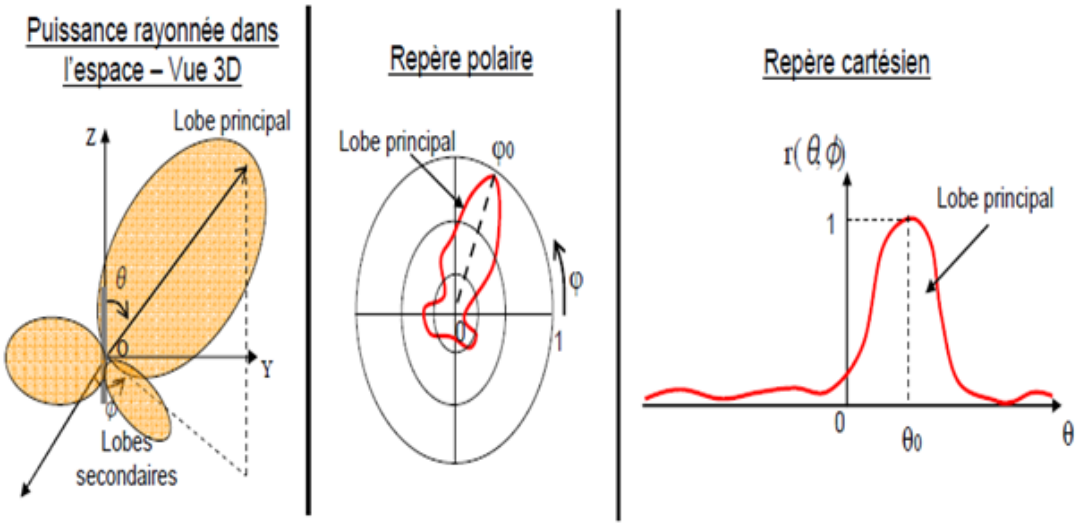


Figure 3.3. *Les différentes formes représentatives d'un diagramme de rayonnement* **[13]**.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est principalement relié à sa géométrie mais peut aussi varier avec la fréquence. Hormis les antennes omnidirectionnelles, les antennes ne rayonnent pas la puissance de manière uniforme dans l'espace. Dans ce cas, la fonction caractéristique de rayonnement est égale à 1 quel que soit la direction considérée. En général, la puissance est concentrée dans un ou plusieurs « lobes ». Le lobe principal correspond à la direction privilégiée de rayonnement. Les lobes secondaires sont généralement des lobes parasites. Dans ces directions, l'énergie rayonnée est perdue donc on cherche à les atténuer **[13]**.

3.3.2.2. Gain

Le gain G (θ, φ) d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée P (θ, φ) sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes. En général, le gain G correspond au gain dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, φ_0). Cette propriété caractérise la capacité d'une antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction **[13].** Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans pertes, son gain vaut 1 ou 0 dB. Le gain est généralement exprimé en dB ou en dBi car une antenne isotrope est utilisée comme référence. On trouve aussi parfois le gain exprimé en dBd, lorsqu'une antenne dipôle est utilisée comme référence.

3.3.2.3. Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE)

La puissance isotrope rayonnée équivalente d'une antenne (PIRE ou EIRP en anglais) est un terme souvent utilisé en télécommunications (principalement dans les bilans de liaison) qui définit, dans la direction de rayonnement maximal, la puissance électrique qu'il faudrait apporter à une antenne isotrope pour obtenir la même puissance rayonnée dans cette direction **[13] :**

$$\mathbf{PIRE = G \times P_e} \quad \text{.....} \quad \mathbf{(3\text{-}2)}$$

3.3.2.4. Polarisation d'une antenne :

L'onde électromagnétique est rayonnée selon un plan de polarisation. Elle est composée de deux "vecteurs en quadrature" appelés "champ électrique" ou E et "champ magnétique" ou H. Elle définie par l'orientation de champs électrique par rapport à la direction de propagation.

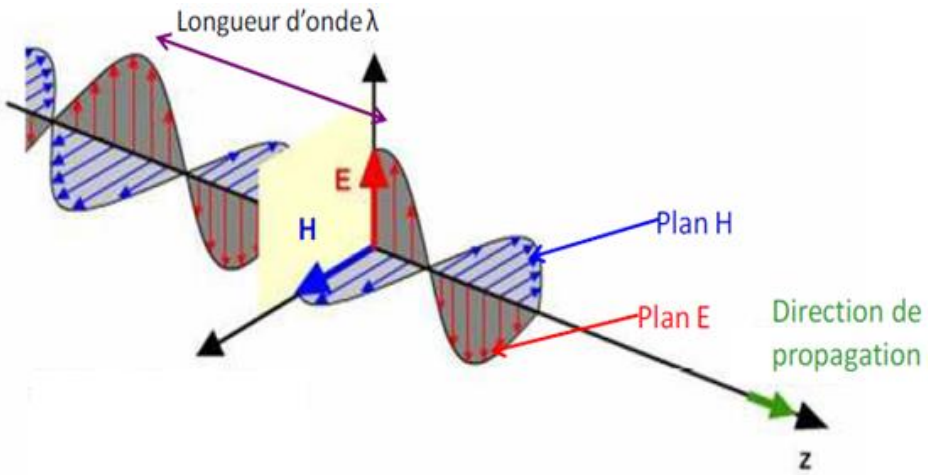


Figure 3.4. *Plan de vibration électrique* **[13]**.

Lorsque la configuration de l'antenne place le champ électrique verticalement, on dit que la polarisation est verticale. À l'inverse, lorsque la configuration de l'antenne place le champ électrique horizontalement, on dit que la polarisation est horizontale. Dans certaines conditions, la polarisation peut être aussi "circulaire droite ou circulaire gauche".

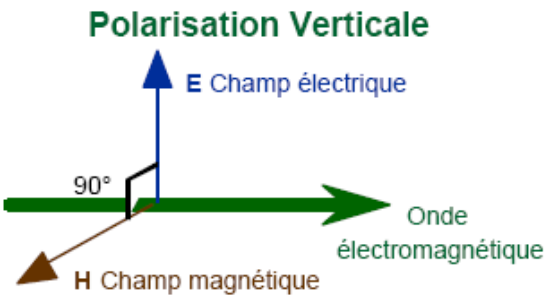


Figure 3.5. *Polarisation verticale.*

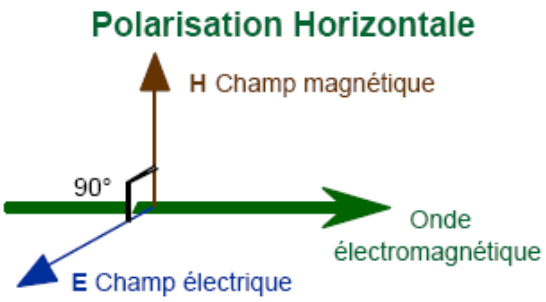


Figure 3.6. *Polarisation Horizontale.*

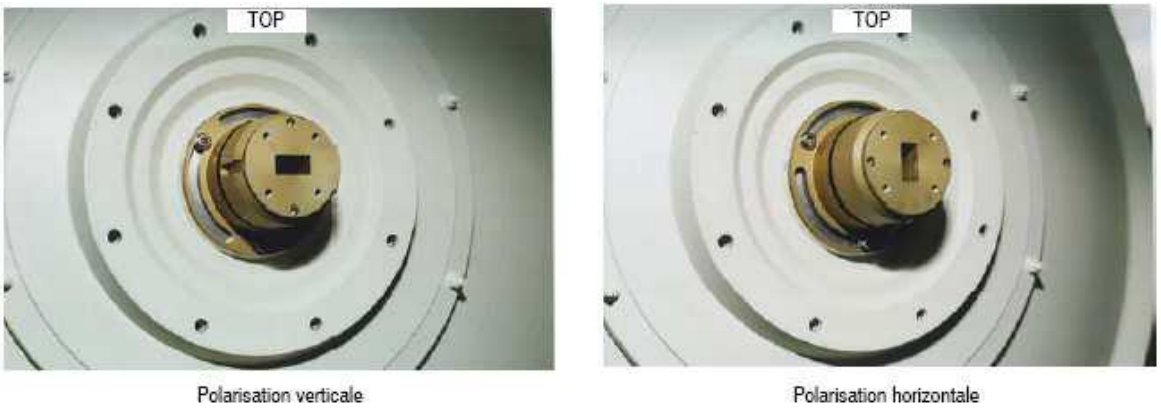


Figure 3.7. *polarisation verticale /horizontale.*

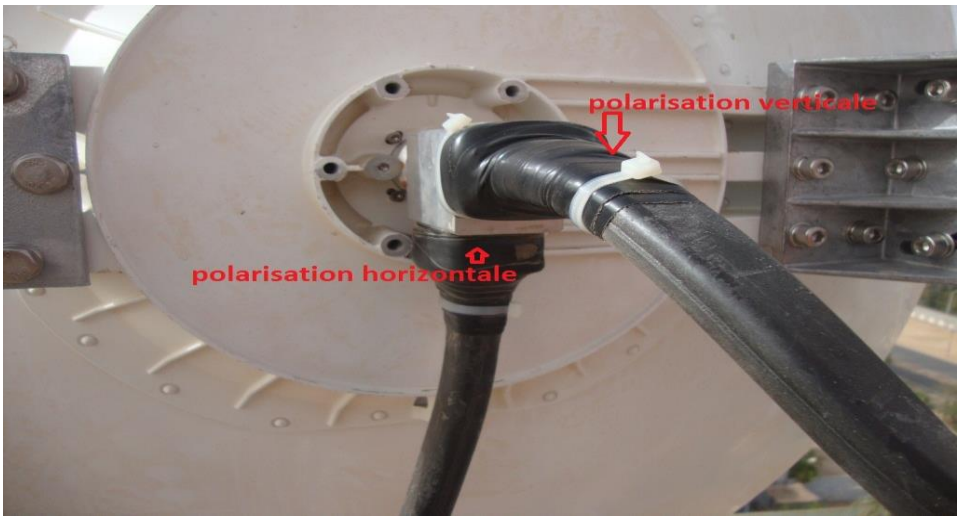


Figure 3.8. *Branchement d'une polarisation verticale / horizontale.*

3.3.2.5. Directivité

L'antenne n'émet pas la puissance uniformément dans toutes les directions. Ceci semble évident pour des antennes ne présentant pas la même forme selon la direction d'observation. La directivité définie comme le rapport entre l'intensité de rayonnement de l'antenne dans une direction particulière et la valeur moyenne de cette intensité pour toutes les directions de l'espace, elle s'exprime en (dB).

3.3.2.6. Surface équivalente de réception

Elle définie par le rapport ente la densité de puissance d'une onde sphérique de l'antenne de réception et la puissance reçu par ce dernier.

$$\mathbf{A} = \frac{P}{S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{(3-3)}$$

Avec :

A : coefficient (surface équivalent de l'antenne).

P : puissance reçu.

S : densité de puissance.

3.4. Défauts de propagation

Dans la pratique il est fréquent que deux ou plusieurs phénomènes s'appliquent simultanément au trajet d'une onde : réflexion et, diffusion et réfraction... Ces phénomènes appliqués aux ondes radioélectriques permettent souvent d'établir des liaisons entre des points qui ne sont pas en vue directe.

3.4.1. Diffraction :

Sur le plan économique on a intérêt à ce que les antennes soient les plus basses possibles de la terre, donc à ce que le rayon passe très près du sol. Il faut donc trouver une règle donnant le dégagement minimum nécessaire sur un bon hertzien pour que la diffraction du rayon sur les obstacles éventuels soit négligeable.

Les études sur la diffraction montrent que la puissance reçue en espace libre varie en fonction de la distance du rayon à l'obstacle. Pour être sur d'avoir une puissance réception suffisante, on cherche à obtenir un de dégagement du rayon au dessus de l'obstacle de sorte que si M est un Point de l'espace au-dessus de l'obstacle, E et R étant les extrémités du bond. Le dégagement est caractérisé par :

EM+MR=ER+ λ /2 …….…. (3-4)

3.4.2. Réflexion :

Les réflexions sur le sol peuvent être à l'origine des évanouissements Profonds par interférences entre faisceau direct et faisceau réfléchi, lorsqu'ils arrivent en opposition de phase et que le coefficient de réflexion est élevé. C'est notamment le cas sur les eaux calmes miroitantes. La profondeur de l'évanouissement est le rapport exprimé en décibels Entre la puissance reçue calculée à l'espace libre et la puissance reçue au moment de l'évanouissement.

3.4.3. Réfraction (Diffusion)

L'établissement d'un projet de faisceaux hertzien nécessite la connaissance de la valeur moyenne et des variations possibles de la courbure des rayons. Des mesures de l'indice de réfraction ont mis en évidence que dans une zone donnée et dans les premières couches atmosphériques, l'indice pouvait souvent être considéré de façon très grossière comme une fonction linéaire de l'altitude.

Le gradient vertical d'indice varie non seulement en fonction de la localisation mais aussi de façon statistique au cours du temps. Certaines observations statistiques ont permis de retenir que la variation apparente de hauteur d'un obstacle situé à une distance A de l'extrémité d'un bond et B de l'autre extrémité est donnée par la formule suivante :

h=(AB)*(1-K)/2K …….……... (3-5)

3.4.4. Transmission

Lorsque l'onde traverse un milieu elle subit une atténuation qui dépend de ce milieu de transmission, une partie de l'onde pénètre à l'intérieur de l'objet. L'énergie de l'onde incidente est divisée entre l'onde réfléchie et transmise.

Plus le milieu de propagation comprend d'obstacles, plus l'exposant d'atténuation va être élevé et l'atténuation de l'onde en fonction de la distance sera d'autant plus importante.

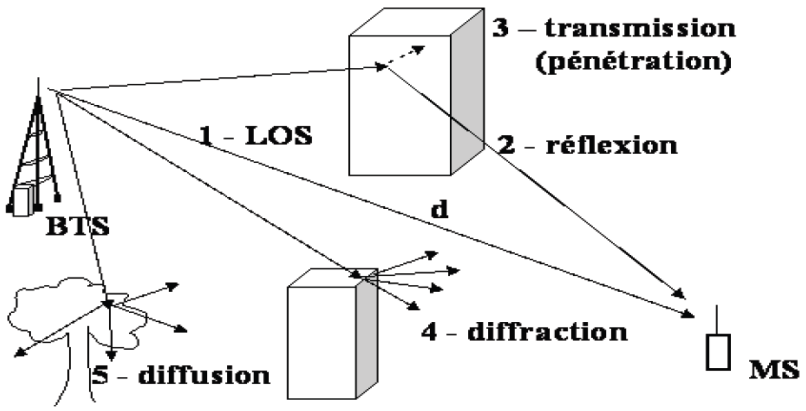


Figure 3.9. *Schématisation des défauts de propagation.*

3.5. Atténuation d'un signal pendant une propagation

En électronique, l'**atténuation** ou **affaiblissement** est la diminution relative de la puissance d'un signal au cours de sa transmission. C'est le rapport entre la valeur efficace du signal à la sortie par celle à l'entrée de la section considérée.

Atténuation = (valeur efficace en sortie) ÷ (valeur efficace en entrée)

Ce rapport, toujours inférieur à 1 par définition, s'exprime souvent en décibels. La définition de l'atténuation est identique à celle du gain. L'atténuation est un gain inférieur à 1, s'il est exprimé en rapport, ou négatif, s'il est exprimé en décibels.

L'onde hertzienne subit principalement quatre types d'atténuation lorsqu'elle se propage **[5]**.

3.5.1. Atténuation atmosphérique

3.5.1.1. Atténuation par les gaz de l'atmosphère

L'oxygène et la vapeur d'eau absorbent une partie de l'énergie du rayon. Cette absorption est de l'ordre de quelques centièmes de décibels par km pour les fréquences inferieures à 15 GHz. L'absorption croit avec la fréquence. A 20 GHz par exemple l'absorption due à l'oxygène est de 0.02 dB/km, celle due à la vapeur d'eau (7.5g/cm3) est égale à 0.09dB/km et au total on a 0.11dB/km. L'oxygène a une raie d'absorption à 118, 74 GHz et une série de raies entre 50 et 70 GHz.

3.5.1.2. Atténuation et transpolarisation par les hydrométéores

La transpolarisation ou dépolarisation résulte du mécanisme par lequel une partie de l'énergie rayonnée avec une certaine polarisation se trouve après propagation avec la polarisation

orthogonale ; au-delà de 6 GHz, les principaux effets sont produits par les hydrométéores c'est-à-dire par la pluie et les cristaux de glace.

En effet, la pluie cause une absorption et une diffusion qui donnent lieu à un affaiblissement qui dépend de l'intensité de la précipitation et de la fréquence. Comme l'intensité des précipitations varie d'un point à un autre en fonction du temps, il résulte que l'onde radioélectrique rencontre des conditions pluviométriques différentes le long du trajet.

Les gouttes de pluie ont une forme lenticulaire pendant la chute, leur axe de révolution étant vertical, l'atténuation diffère selon que l'onde est polarisée horizontalement ou verticalement et il se produit un transfert d'énergie d'une polarisation à l'autre qui est appelé transpolarisation.

3.5.2. Atténuation en espace libre (free space)

Les ondes électromagnétiques se propagent uniformément entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception. Entre les deux antennes il n'y a pas d'obstacle **[18]**.

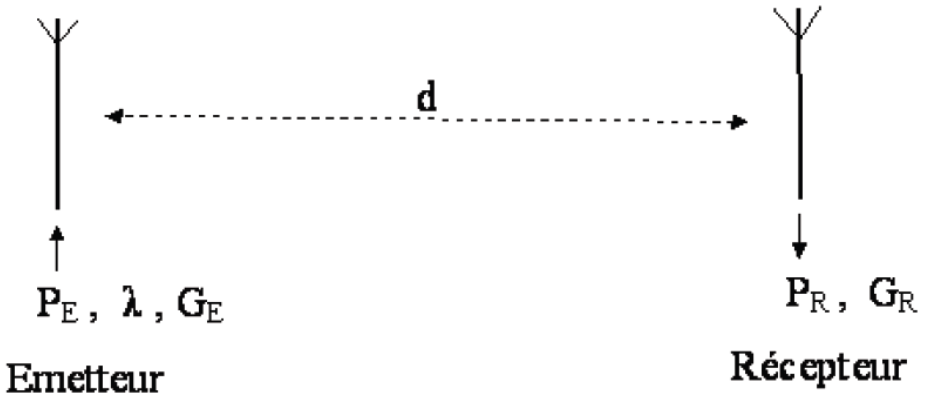


Figure 3.10. *Transmission en espace libre* **[18]**.

Les ondes radioélectriques des FH se propagent d'une antenne à l'autre.

Il faut que les antennes soient en visibilité directe et que le premier Ellipsoïde de Fresnel soit dégagé.

- **Ellipsoïdes de Fresnel**

Elles sont le lieu des points M pour lesquels la différence de trajet **[(EM + MR) –ER]** est égale à un nombre entier de demi longueurs d'onde. La plus grande partie de l'énergie issue de l'émetteur est contenue à l'intérieur du premier ellipsoïde, définie par :

$$EM + MR = d * \lambda/2 \quad (3\text{-}6)$$

Le premier ellipsoïde de Fresnel délimite la région où est contenue la plus grande partie de l'énergie électromagnétique, Comme la fréquence est relié inversement avec la distance donc : plus la fréquence est faible (grande distance), plus l'ellipsoïde sera grand.

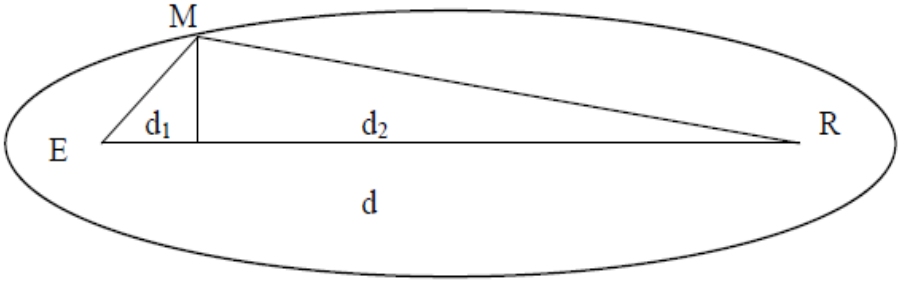


Figure 3.11. *Ellipsoïde de Fresnel.*

- ***Remarque***

Il suffit que 60% du premier ellipsoïde de Fresnel soit dégagé de tout obstacle pour que le niveau reçu soit égal au niveau d'espace libre.

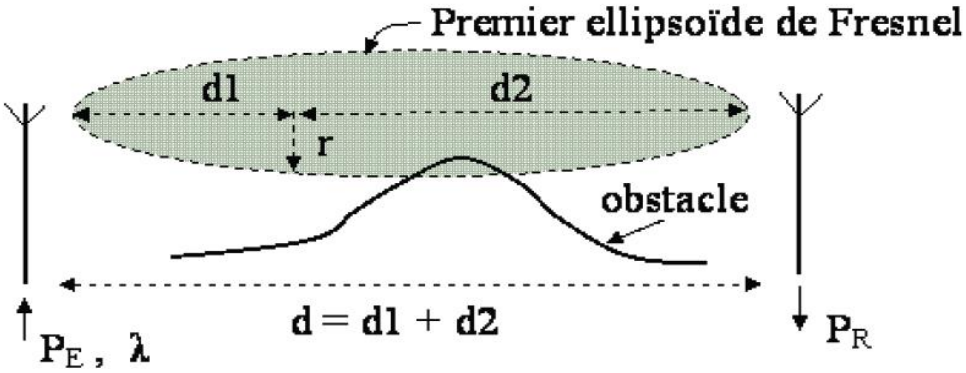


Figure 3.12. *Ellipsoïde de Fresnel en présent d'un obstacle.*

$$r = \sqrt{\frac{\lambda\, d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad \text{(3-7)}$$

$$r_{max} = \frac{1}{2}\sqrt{\lambda d} \quad \text{(3-8)}$$

S'il existe un obstacle (relief, bâtiment, végétation…) entre les deux antennes on aura des pertes qui peuvent être calculés à l'aide de la formule suivante **[20]**:

$$A_0 = 92.4 + 20\log(D * f) = 92.4 + 20\log(D) + 20\log(f) \quad \text{(3-9)}$$

Avec :

A_0 : atténuation en espace libre (dB).

D : Distance entre les deux antennes (Km)

f : fréquence de travaille (GHz).

3.5.3. Pertes dans les câbles (feeders) :

Les pertes dans les feeders sont calculées par le produit de son atténuation spécifique et sa longueur :

$$\boldsymbol{P_f = L_f * A} \quad \textbf{(3-10)}$$

P_f : Pertes dans le feeder (dB).

L_f : Longueur de feeder considéré (m).

A : Atténuation spécifique de feeder considéré (dB/m).

3.6. Interférences :

La réception des signaux dans les systèmes de télécommunication peut être gâchée par les interférences, qui peuvent provenir d'une variété de source. Bon nombre de ces sources sont d'origine de brouillage dans le même canal (causé par un autre signale résident dans la même fréquence que le signale désiré) ou du brouillage entre canaux adjacents (causé par une fuite de signale voisin utilisant une fréquence adjacente dans le canal opérationnel).

Les interférences peuvent survenir de :

- Sources locales (émetteurs couplés aux récepteurs en champs proche via les antennes).
- Signaux utiles et interférences corrélés.
- Signaux utiles et interférences corrélés non corrélés.
- Différents services partageant la même bande de fréquence (interférences générés par les liaisons radio d'autres opérateurs).

On peut calculer l'interférence dans un lien de transmission à l'aide de l'équation suivante :

$$\boldsymbol{L = P_{T_X} + \left[G_{T_X} - D_{T_X}(\theta')\right] + \left[G_{R_X} - D_{R_X}(\theta)\right] - L(d)} \quad \textbf{(3-11)}$$

Avec :

L : niveau d'interférence reçue [dBm].

$\boldsymbol{P_{T_X}}$ **:** la puissance transmise par la station [dBm].

$\boldsymbol{G_{T_X}/G_{R_X}}$ **:** le gain d'antenne émetteur /récepteur [dB].

$\boldsymbol{D_{T_X}(\theta')/\ D_{R_X}(\theta)}$ **:** Discrimination d'antenne émetteur/récepteur [dB].

$\boldsymbol{L(d)}$ **:** path loss [Db].

Les mesures effectuées contre les interférences sont:

- ✓ Augmentation de la puissance émise.
- ✓ Utilisation des canaux déférents dans des liens voisins.
- ✓ Changement de polarisation (vertical, horizontal).

3.7. Bilan de liaison

Dans une liaison sans fil, le signal envoyé par l'émetteur est atténué et la fraction arrivant au récepteur est réduite, malgré les gains des antennes et de l'amplificateur. Le signal est donc dégradé. En outre, divers éléments introduisent une puissance de bruit qui va également dégrader les performances.

La grandeur intéressante pour l'évaluation de ces performances est le rapport signal à bruit S/B. La probabilité d'erreur sur les symboles binaires reçus doit être raisonnable, compte tenu de l'ensemble des dégradations. L'évaluation du rapport S/B au récepteur se fait à l'aide du bilan de liaison qui recense l'ensemble des dégradations aux divers endroits de la liaison.

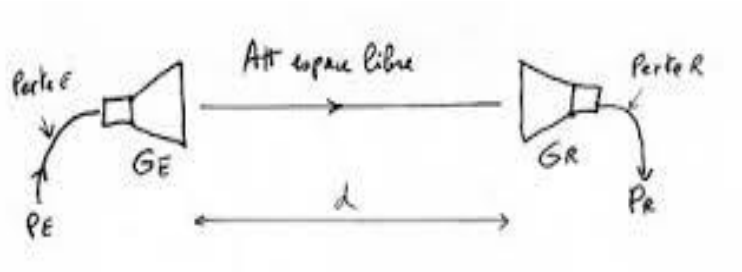


Figure 3.13. *Schéma illustratif des différentes pertes.*

P_E : Puissance d'émission.

G_E : Gain d'émission.

P_R : Puissance de réception.

G_R : Gain de réception.

d: distance entre deux antennes.

Att espace libre : Atténuation en espace libre (LOSS).

- **Puissance d'émission P_E**

C'est la puissance envoyée par l'antenne émettrice, elle est généralement comprise entre 20 et 30 dBm.

- **Puissance de réception P_R :**

C'est la puissance reçue par l'antenne réceptive. Elle est donnée par la formule :

$$\boldsymbol{P_R = P_E - P_A < P_S} \quad \textbf{(3-12)}$$

$\boldsymbol{P_A}$: puissance d'atténuation.

$\boldsymbol{P_S}$: seuil de réception.

- **Gain d'émission G_E Gain de réception G_R**

La forme des antennes est principalement parabolique, apportent un gain de puissance comprise entre 25 et 45 dB (dépend de diamètre de l'antenne).

- **Rapport signal sur bruit S/B**

On appelle bruit, toute perturbation affectant un signal. Le bruit dégrade le signal utile et introduit des erreurs. On l'évalue généralement en mesurant le rapport signal sur bruit S/B ou C/N en anglais.

- **Seuil de réception (Treshold)**

Définis par rapport à un taux d'erreur binaire donné (TEB=10^{-3} ou 10^{-6}), ils traduisent la capacité pour le récepteur à traiter le signal affaibli après propagation. Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation.

- **La marge de sécurité**

C'est la différence entre la puissance de réception et le seuil de réception (Treshold) :

Marge de sécurité $= P_R - P_S$.

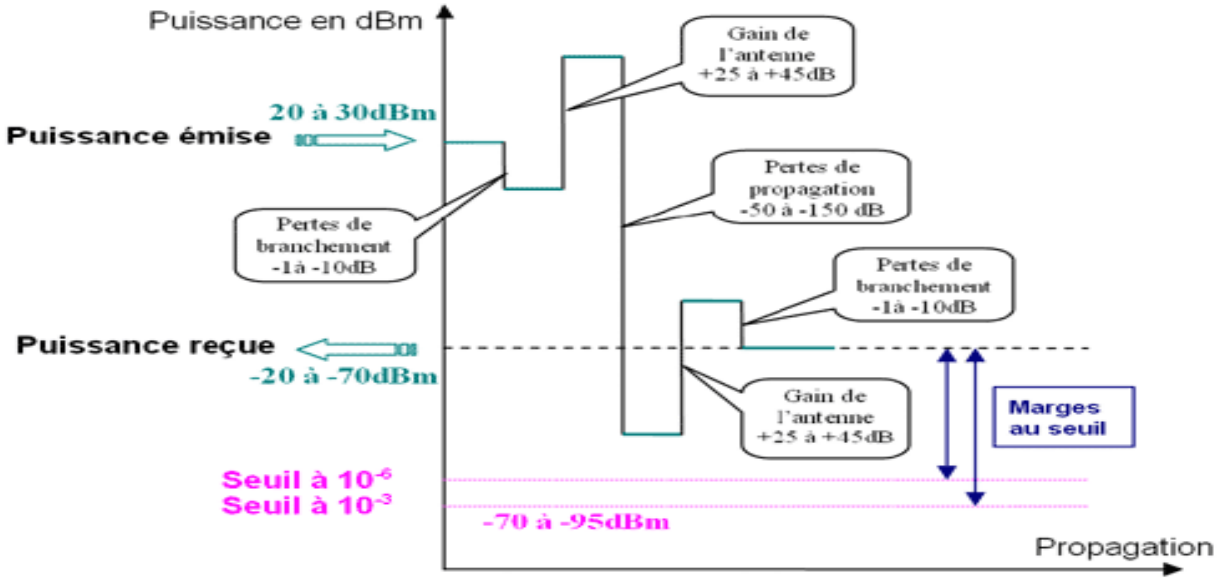


Figure 3.14. *Schéma illustratif du bilan de liaison.*

3.8. Modulation numérique

Les systèmes de transmission numérique véhiculent de l'information entre une source et un destinataire en utilisant un support physique comme le câble, la fibre optique ou encore, la propagation sur un canal radioélectrique. Les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique, comme dans les réseaux de données, soit d'origine analogique (parole, image...) mais convertis sous une forme numérique. La tâche du système de transmission est d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible.

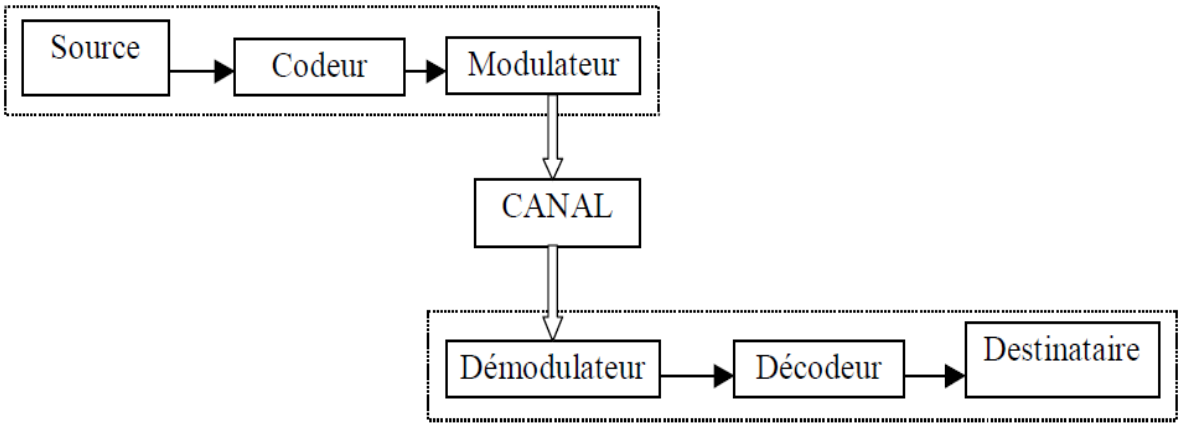


Figure 3.15. *Schéma d'un système de transmission numérique.*

Les ondes radio sont des ondes sinusoïdales. Les modulations possibles sont des modulations d'amplitude, de fréquence et de phase.

Etant donné que les signaux à transmettre sont de signaux numériques, ils ne peuvent prendre

que quelques états possibles, ce qui permet d'utiliser des techniques optimales de modulation et de démodulation **[20]**.

L'opération de modulation a pour objet de fournir à chaque niveau du signal un état d'amplitude, de fréquence ou de phase d'une onde porteuse sinusoïdale. L'encombrement spectral autour d'une fréquence porteuse après modulation dépend du débit d'informations à transmettre et du type de modulation choisi.

La transmission des signaux dans le domaine de télécommunication utilise deux types de modulation :

- Modulation de phase QPSK (**Q**uadrature **P**hase **S**hift **K**eying) pour la technologie PDH.
- Modulation QAM pour la technologie SDH.

- Un symbole est un élément d'un alphabet. Si M est la taille de l'alphabet, le symbole est alors dit M-aire. Lorsque M=2, le symbole est dit binaire. En groupant, sous forme d'un bloc, *n* symboles binaires indépendants, on obtient un alphabet de $M = 2n$ symboles M-aires. Ainsi un symbole M-aire véhicule l'équivalent de $\boldsymbol{n = \log_2 M}$ **bits**.

- La rapidité de modulation R se définit comme étant le nombre de changements d'états par seconde d'un ou de plusieurs paramètres modifiés simultanément. Un changement de phase du signal porteur, une excursion de fréquence ou une variation d'amplitude sont par définition des changements d'états. La "rapidité de modulation" $R = \frac{1}{T}$ s'exprime en "bauds".
- Le débit binaire D se définit comme étant le nombre de bits transmis par seconde. Il sera égal ou supérieur a la rapidité de modulation selon qu'un changement d'état représentera un bit ou un groupement de bits. Le "débit binaire" $D = \frac{1}{Tb}$ s'exprime en "bits par seconde".

- taux d'erreur par bit

$$\textbf{T.E.B} = \frac{\textbf{nombre de bits faux}}{\textbf{nombre de bits transmis}} \quad \textbf{(3-13)}$$

L'efficacité spectrale d'une modulation se définit par le paramètre $h = \frac{D}{B}$ s'exprime en "bit/seconde/Hz".

D : débit binaire.

B : la largeur de la bande occupée par le signal modulé.

3.8.1. Modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

En modulation QPSK, le transport de l'information binaire s'effectue en modifiant la phase et l'amplitude d'un signal sinusoïdal, d'un angle de 0° ,90°,180° ou 270°.

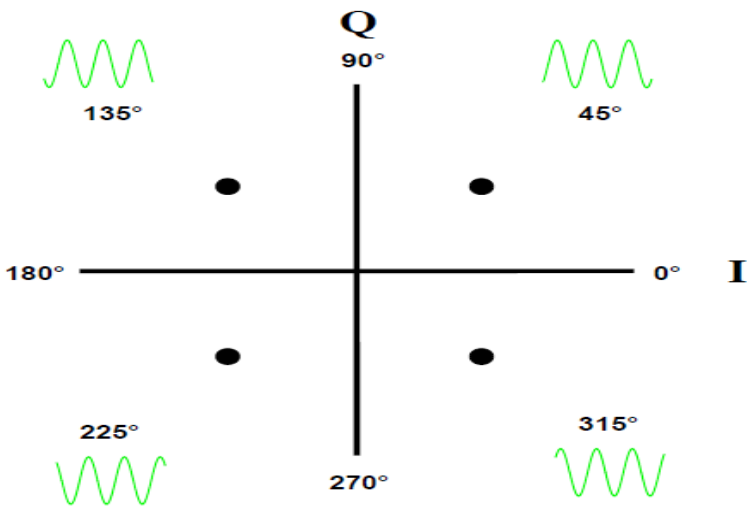


Figure 3.16. *Distribution des composantes de modulation QPSK.*

3.8.2. Modulation QAM

Les modulations Amplitudes-phase couplent les principes de modulation d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying) et de phase PSK (Phase Shift Keying).

4-QAM : ce type de modulation est identique à une QPSK, il s'agit d'une 4-QAM, en pratique on ne distingue pas ces deux modulations et on parle exclusivement de QPSK **[23]**.

Cas général : modulation a2^{2K} états (2^{2K} -QAM)

Pour transmettre 2K bits pendant une période :

- ✓ 8-QAM,
- ✓ 16-QAM,
- ✓ 64-QAM,
- ✓ 128-QAM.

Modulation à 4 états : (4-QAM) : utilisation de 2 amplitudes et de 2 phases :

Bits à transmettre	00	01	10	11
Phase	0	π/2	0	π/2
Amplitude	E	E	-E	-E
Signal transmis	$\boldsymbol{E \sin 2\pi f_0 t}$	E cos $2\pi f_0 t$	$\boldsymbol{-E \sin 2\pi f_0 t}$	-E cos $2\pi f_0 t$

Tableau 3.1. *Modulation 4-QAM* **[23]**.

3.9. Equipements technique d'un site :

Une station radio mobile est un site GSM constitué soit d'un mat, pylonet ou d'un pylône ainsi que d'autres équipements électriques placés sur une remorque BTS conçu pour être une partie intégrante d'un réseau de téléphonie mobile.

Figure : 3.17. *Un site GSM.*

Chaque site se compose d'une antenne radio , antenne transmission , pylone, ODU(Outdoor Unit) et d'un IDU(Indoor Unit).

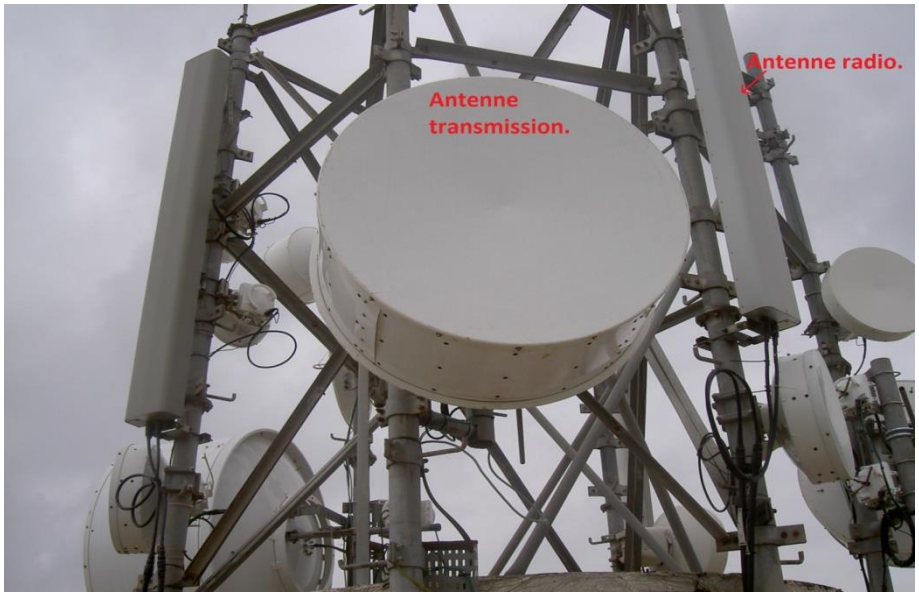


Figure 3.18. *Une antenne radio et antenne transmission dans un site.*

- pylone :
  - Un mat : si la hauteur de support comprise entre 0 et 9 mètres.
  - Un pylonet : si la hauteur comprise entre 9 et 15 mètres.
  - Un pylône : si la hauteur est supérieur à 15 mètres.

Figure 3.19. *un pylone.*

- ODU : contien l'amplificateur et le filtre.

Figure 3.20. *Installation outdoor.*

- IDU :c'est un modem qui gere la modulation et la demodulation .

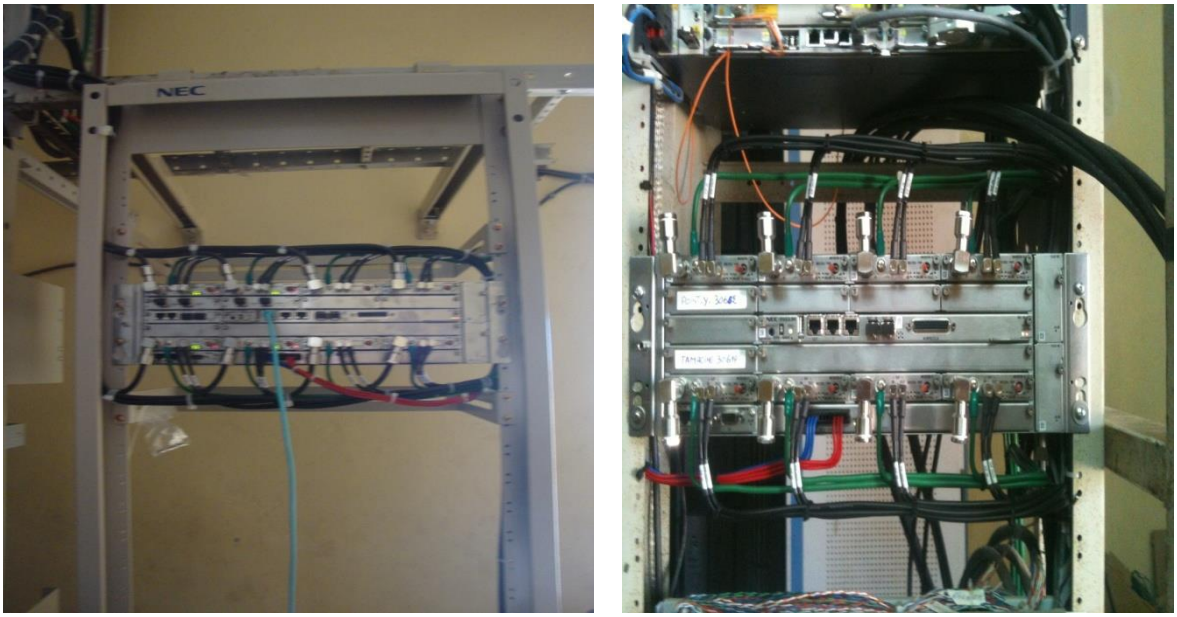


Figure 3.21. *Installation indoor.*

3.10. Configuration des équipements

Pour la configuration des matériels il existe plusieurs types de configuration :

- Configuration non sécurisée.
- Configuration sécurisée.

3.10.1. Configuration non sécurisée (1+0)

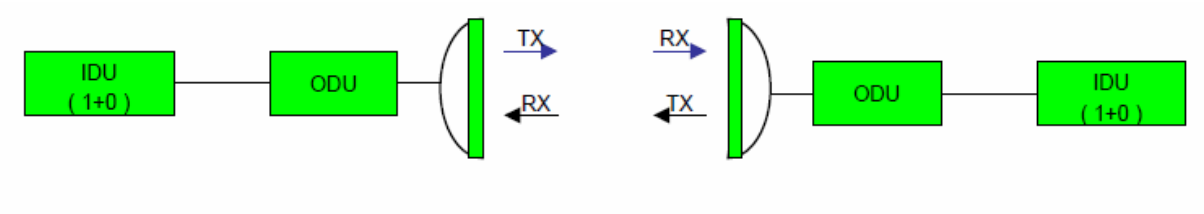


Figure 3.22. *Une configuration non sécurisée (1+0)* **[25]**.

On trouve deux antennes qui fonctionnent en émission et en réception simultanément, avec une même fréquence et une même polarisation.

3.10.2. Configuration sécurisée :

Dans ce cas on distingue divers types :

- Configuration (1+1) :
  - ✓ (1+1) hot standby Single antenna configuration: elle est basée sur l'émission et la réception entre deux antennes (de même polarisation et même fréquence) composées par deux ODU, qui sont couplés par un hybride (H).

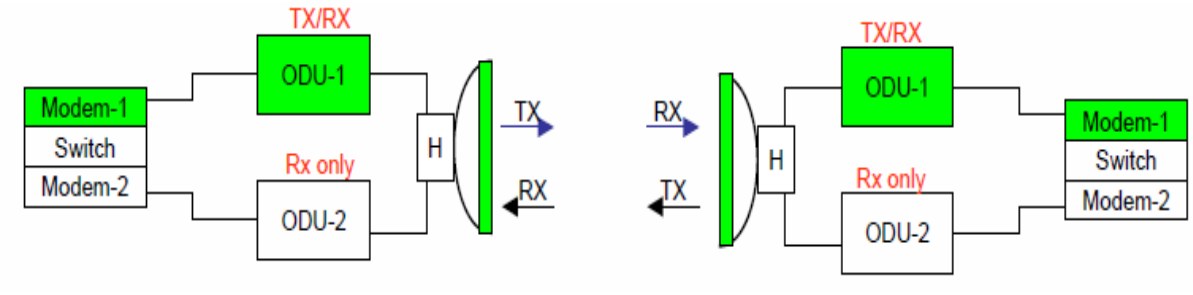


Figure 3.23.*Une configuration (1+1) hot standby single antenna* **[25].**

Figure 3.24. *Hybride (coupleur)* **[25]**.

- ✓ (1+1) hot standby –Space diversity Double antenna configuration: deux antennes (même fréquence et même polarisation) dans chaque site, l'une fait l'émission et la réception et l'autre réservée pour la réception.

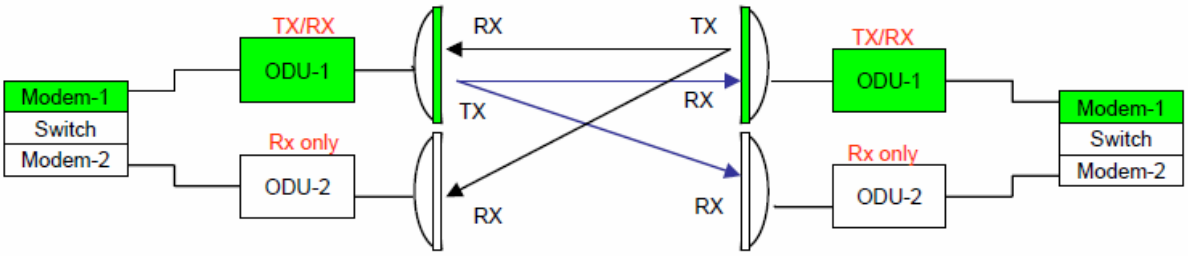


Figure 3.25. *Une configuration (1+1) hot standby-Space diversity Double antenna* **[25]**.

- ✓ (1+1) Twin path –Frequency diversity: deux antennes dans chaque site fonctionnent simultanément avec différentes fréquences et polarisations.

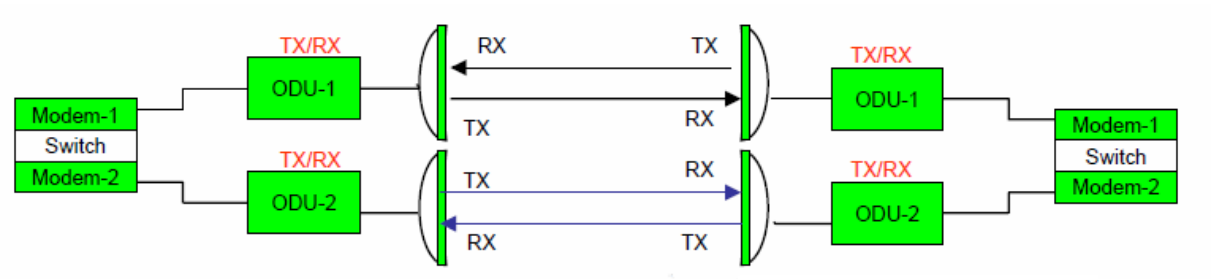
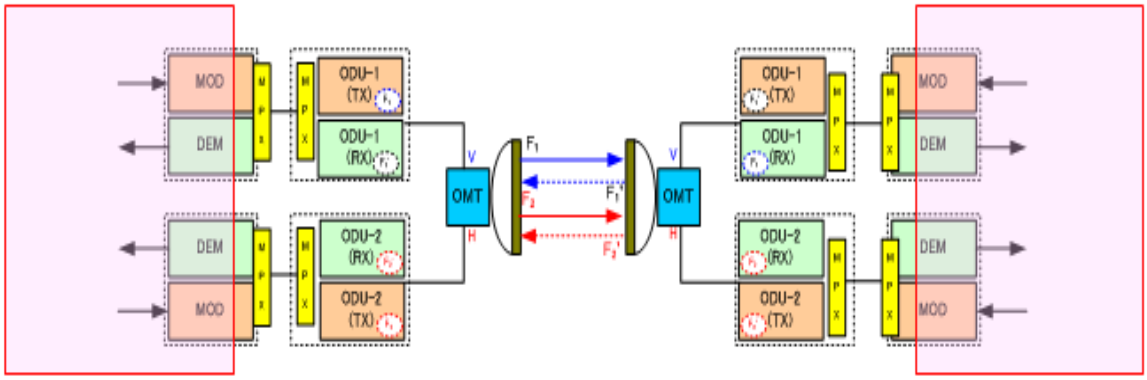


Figure 3.26. *Configuration (1+1) Twin path –Frequency diversity* **[25]**.

➢ Configuration (2+0) :



➢ ***Figure 3.27.*** *Une configuration* (2+0) **[25]**.

3.11. Conclusion

Dans ce chapitre on a parlé des systèmes de transmission « faisceaux hertziennes » et leurs organisation fonctionnelle, les antennes et leurs caractéristiques, puis les phénomènes de base de propagation d'un signale propageant leur atténuation, la modulation numérique, les équipements technique d'un site et la configuration de matériel.

Chapitre 04

DIMENSIONNEMENT ET PLANIFICATION.

4.1. Introduction

Dans notre travaille de fin d'étude nous allons utiliser un outil de simulation très puissant et connu appelé « **Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31**» qui nous permettant de créer, planifier, optimiser, et de réaliser des liens de transmission réels.

Dans ce chapitre nous avons choisi de :

- créer un site imaginaire 'A' situé à la wilaya de Boumerdès (région d'Alger) afin d'expliquer la fonctionnalité de logiciel, et les étapes suivi pour la création d'un site.
- Créer un site 353007 à la wilaya de Boumerdès région d'Alger,
- Créer un site 19740 à la wilaya de Sétif région de Sétif.

4.2. ATM MOBILIS

4.2.1. Description

ATM Mobilis, filiale de l'opérateur de téléphonie Algérie Telecom, est le premier opérateur de téléphonie mobile en Algérie. Devenu autonome en août 2003, elle propose à ses clients une large gamme de produits et de services innovants et de haute qualité ; offres post et pré payées adapté à tous les budgets, SMS vers tous les opérateurs en Algérie et à l'étranger, Roaming à l'international, messagerie vocale, ...

Entreprises innovante, Mobilis utilise la convergence entre Internet et le téléphone mobile dans la gestion de sa communication devenant ainsi une véritable entreprise « Internet mobile ».

Pour offrir des services de qualité à ses clients, Mobilis a lancé un vaste chantier de déploiement de son réseau GSM à travers le territoire national. Aujourd'hui, plus de 96,7 % de la population

algérienne est couverte par un réseau de haute qualité. ATM Mobilis compte aujourd'hui plus de dix millions d'abonnés actifs.

Mobilis c'est aussi :

- ✓ Une couverture réseau totale de la population.
- ✓ Un réseau commercial en progression atteignant ainsi les 143 Agences Mobilis.
- ✓ Plus de 60.000 points de vente indirecte.
- ✓ de plus de 4500 Stations de Base Radio (BTS).
- ✓ Mobilis, s'affirme une entreprise dynamique, innovante, loyale et transparente et continue sa compétition saine, dans un marché très concurrentiel ou le sérieux, la crédibilité et la proximité sont les clés de la réussite.

4.2.2. Organisation de Mobilis

Mobilis est organisée selon les standards mondiaux de management, dirigé par un président-directeur général (PDG) et entouré de Divisionnaires, Directeurs Centraux et Régionaux et de Conseillers. Son conseil d'administration est composé de membres issus d'horizons professionnels différents, qui valident les choix stratégiques de la direction.
La remise à niveau de Mobilis a été opérée sur tous les plans ; technologiques, financiers, commerciaux, humains et a nécessité :

- ✓ l'introduction de nouveaux outils d'audit, qualité, revenue assurance, géomarketing, veille marketing et technologique, communication interne on-line et système d'information.
- ✓ le lancement d'une vaste campagne de recrutement pour renforcer toutes les structures de l'entreprise.
- ✓ le lancement du programme de formation du personnel pour assurer une vraie montée en compétence de ses salariés.
- ✓ la définition de la vision, de la stratégie et de l'organisation d'ATM Mobilis.
- ✓ la redéfinition complète des procédures et processus touchant toutes les activités de l'entreprise.

4.2.3. Missions de l'Entreprise

ATM Mobilis a pour mission principale d'offrir un service de téléphonie mobile de grande qualité, simple, efficace et accessible au plus grand nombre de personnes. Elle exerce son domaine d'activité sur l'ensemble du territoire national pour :

- Installer, développer, exploiter et gérer les réseaux de la téléphonie mobile ;
- Maintenir et monter des équipements de téléphonie mobile;
- Fournir des prestations et mettre à la disposition de ses clients des produits de la téléphonie mobile;
- Etablir, exploiter et gérer les interconnexions permettant à tout opérateur de réseaux de téléphone mobile national ou international d'assurer la communication entre les clients;
- Assurer en permanence la disponibilité de ses produits pour l'ensemble des clients sur tout le territoire;
- Exercer ses activités dans le respect de la concurrence;

Offrir ses produits et services dans le mobile en provenance et à destination des pays étrangers dans le respect des règles définies par le règlement international dans le domaine d'activité.

4.2.4. Objectifs de l'Entreprise

Chaque entreprise doit définir ses objectifs à tous les niveaux (objectifs commerciaux, financiers, marketing, etc.). Elle doit se fixer des buts pour l'ensemble de l'entreprise, puis pour chaque domaine d'activité stratégique. Les objectifs d'ATM Mobilis sont :

- ✓ Développer le parc d'abonnés et acquérir de nouvelles parts de marché.
- ✓ Améliorer la couverture radio et la maintenir opérationnelle.
- ✓ Introduire les nouvelles technologies et devenir leader sur le marché.
- ✓ Devenir l'opérateur multimédia par excellence.
- ✓ Déploiement du service UMTS (3G).
- ✓ Extension du réseau (4G) lancé récemment.
- ✓ Devenir opérateur corporatif.
- ✓ Déploiement des services MVPN, VPN.
- ✓ Développer le réseau commercial.
- ✓ Employer une démarche marketing innovante et une politique de communication efficace.

4.2.5. Les régions ATM MOBILIS :

ATM MOBILIS a divisé l'Algérie en huit régions différentes :

- ✓ Région d'Alger : comporte les wilayas d'Alger, Boumerdès, Blida, Tipaza, Bouira, et Tizi-Ouzou.
- ✓ Région de Chlef : Chlef, Tissemsilt, Relizane, Tiaret, Médéa, Djelfa et Khmis « Ain Adefla ».
- ✓ Région d'Oran : Oran, Mostaghanem, Sidi Belabbas, Mascara, Ain Temouchent, Saida et Tlemcen.
- ✓ Région de Sétif : Sétif, Borj bouariridj, Jijel, Msila et Bejaia.
- ✓ Région de Constantine : Constantine, Batna, Khenchla, Mila, Batna et Omelbouagui.
- ✓ Région d'Annaba : Annaba, Skikda, Taref, Guelma, Souk Ahras et Tébessa.
- ✓ Région de Bechar : Bechar, Naama, El Bayadh, Tindouf et Adrar.
- ✓ Région de Ourgla: Ourgla, Biskra, El Ouad, Laghouat, Ghardaïa, Ilizi et Tamanrasset.

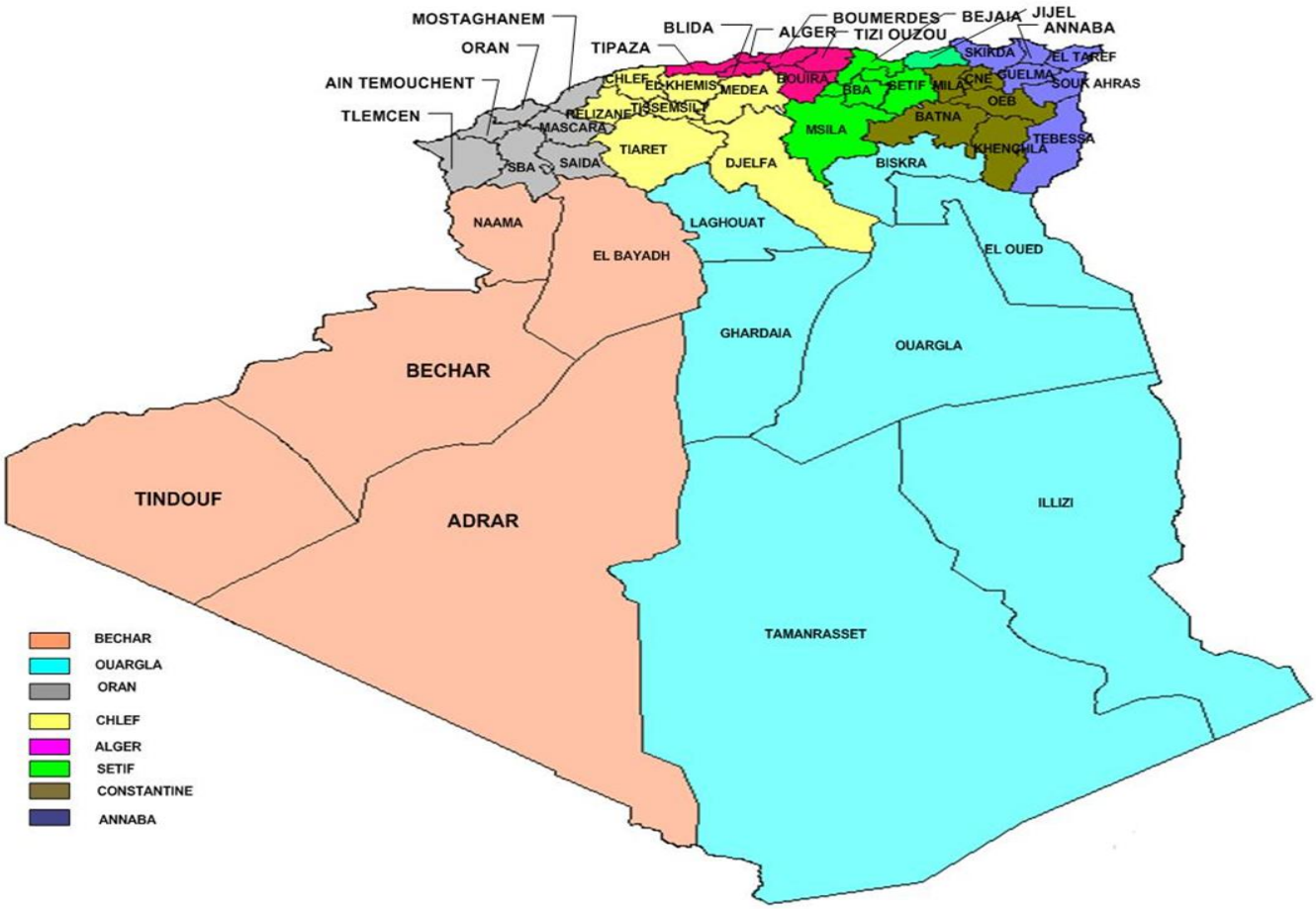


Figure 4.1.*Régions ATM MOBILIS.*

4.2.6. LES MSC$_s$ ATM MOBILIS

- 4 MSC à Alger [BMR-Mustafa- Tizi-Ouzou - Blida].
- 3 MSC à Oran [1MSC à Sidi Belabbas- 2MSC à Oran].
- 3 MSC à Constantine [1MSC à Massinissa- 1MSC Batna- 1MSC Ali Menjli].
- 1 MSC à Annaba.
- 1 MSC à Ouargla.
- 2 MSC à Chlef [1 MSC à Khmis- 1 MSC à Chlef].
- 1 MSC à Sétif.
- 1 MSC à Bechar.

4.2.7. LES HLR$_s$ ATM MOBILIS:

ATM MOBILIS a 6 HLR au niveau de toute l'Algérie :

- HLR de Tizi-Ouzou relié avec HLR de Blida.
- HLR de BMR relié avec HLR d'Oran.
- HLR de Mustafa relié avec HLR de Constantine.

Remarque :

Si l'HLR de Tizi-Ouzou sera endommagé par exemple, nous pouvons facilement récupère les abonnés de cet HLR à partir de l'HLR de Blida et vice versa.

4.2.8. Les sous direction de transmission à ATM MOBILIS

Les sous direction de transmissions disponible à la direction générale ATM MOBILIS sont :
Sous direction d'accès : qui gère l'ingénierie et le déploiement des liens d'accès de petites et moyennes capacités.
Sous direction de transport : qui gère l'ingénierie de liens d'accès de grandes capacités.
Sous direction d'exploitation : qui gère l'exploitation de réseau de transmission (liens micro-ondes grande capacité, liens en fibre optique, les Ring, DWDM).

4.3. Description de logiciel Mentum Linkplanner

4.3.1. Dimmentionnement

- **Ouverture de Mentum :**

Pour ouvrir une fenêtre sur logiciel mentum, il suffit de cliquer une double clique sur l'icône correspondant

.

➢ **Création d'un nouveau projet :**

il suffit de choisir « File » ensuit « New » puis « Project ».

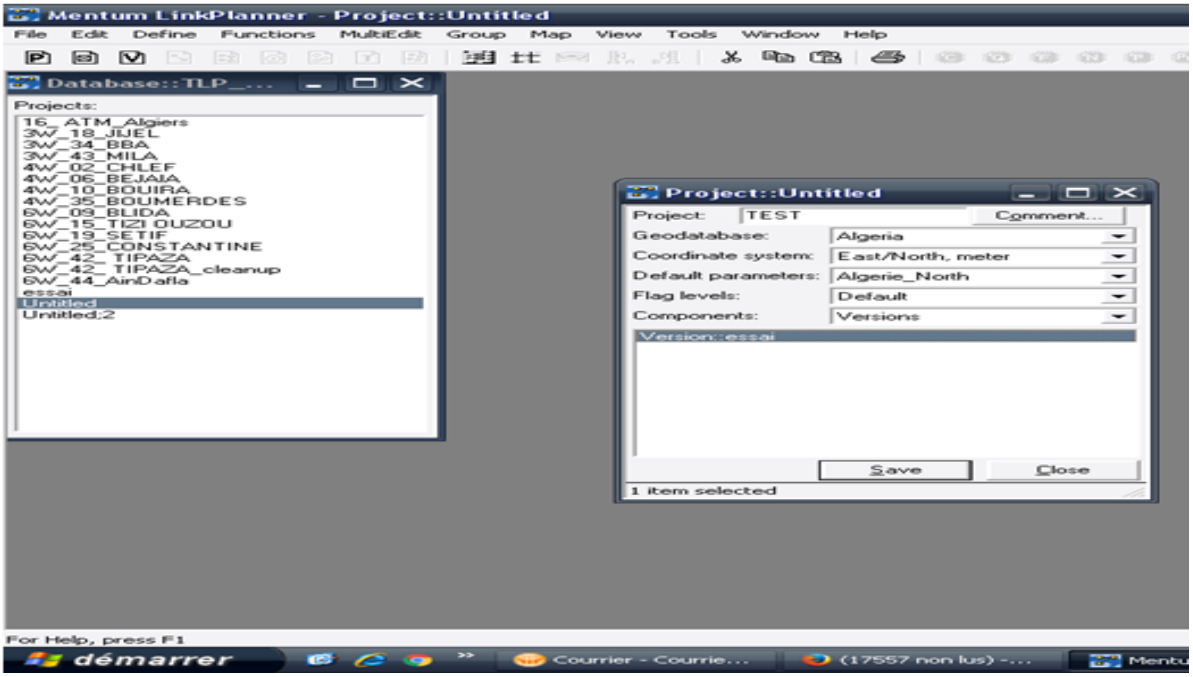


Figure 4.2. *Fenêtre de création d'un nouveau projet.*

➢ **Création d'une version sur un nouveau projet :** dans ce nouveau projet on doit crée une nouvelle version, on choisi « File » ensuit « New » puis « version ».

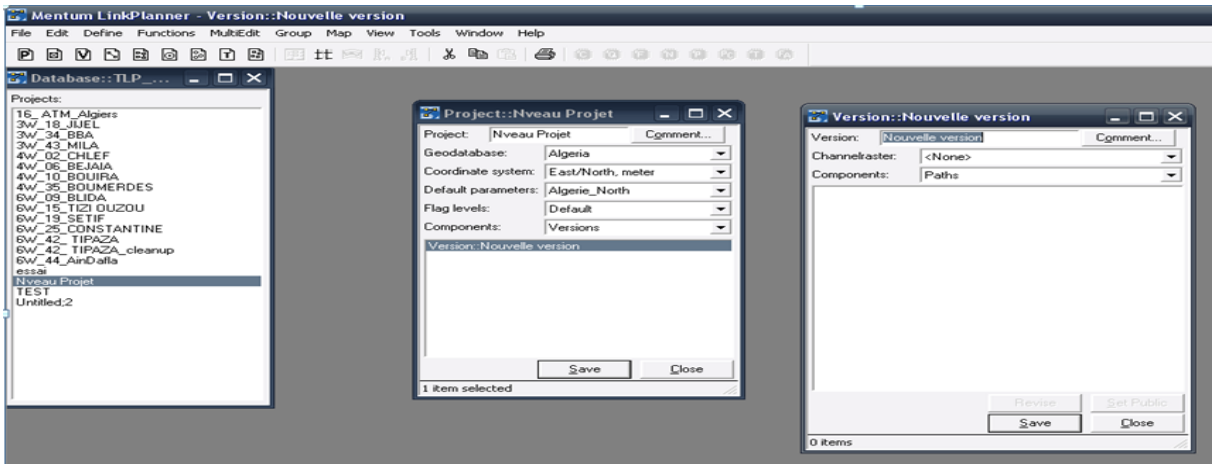


Figure 4.3. *Fenêtre du Création d'une version sur un nouveau projet.*

Enfin, nous avons crée une version mentum prete à etre utilisé .

➢ **Ouverture d'une fenetre :** pour ouvrir une fenetre sur cette version on clique sur l'icône qui se trouve dans la barre d'outile « Open Map Window ».

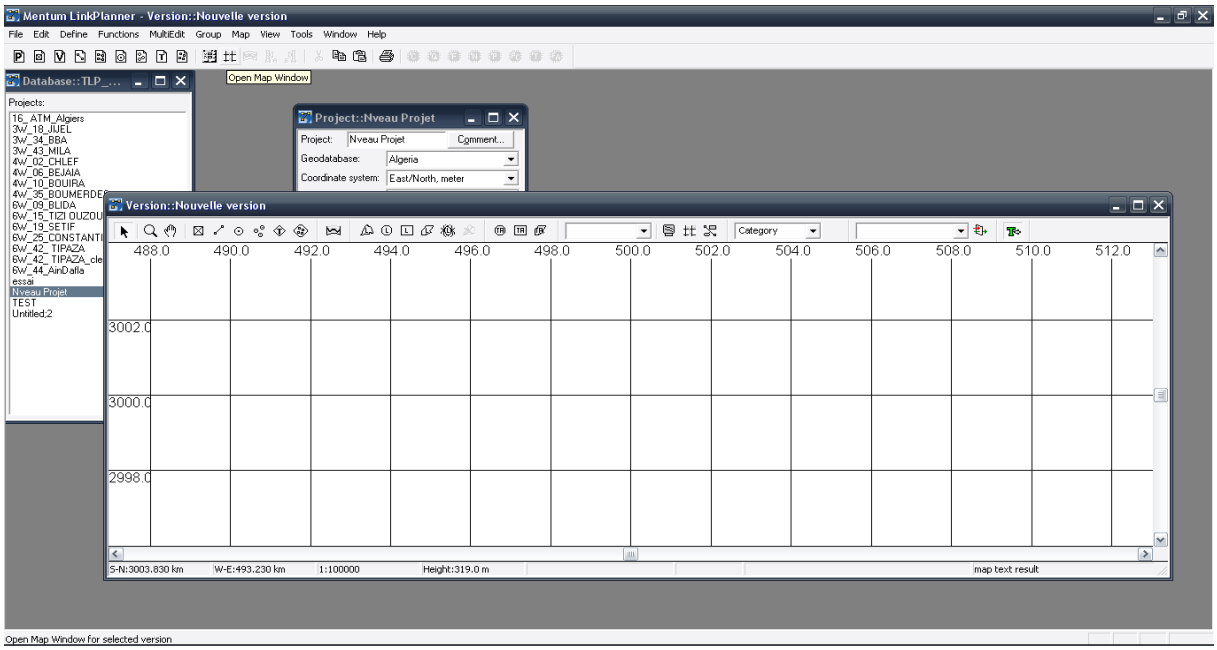


Figure 4.4. *Fenêtre cartographique.*

Dés que cette fenêtre cartographique s'affiche, nous pouvons créer un site GSM.

Création d'un site GSM « Site A » : on choisir l'icône pour la création

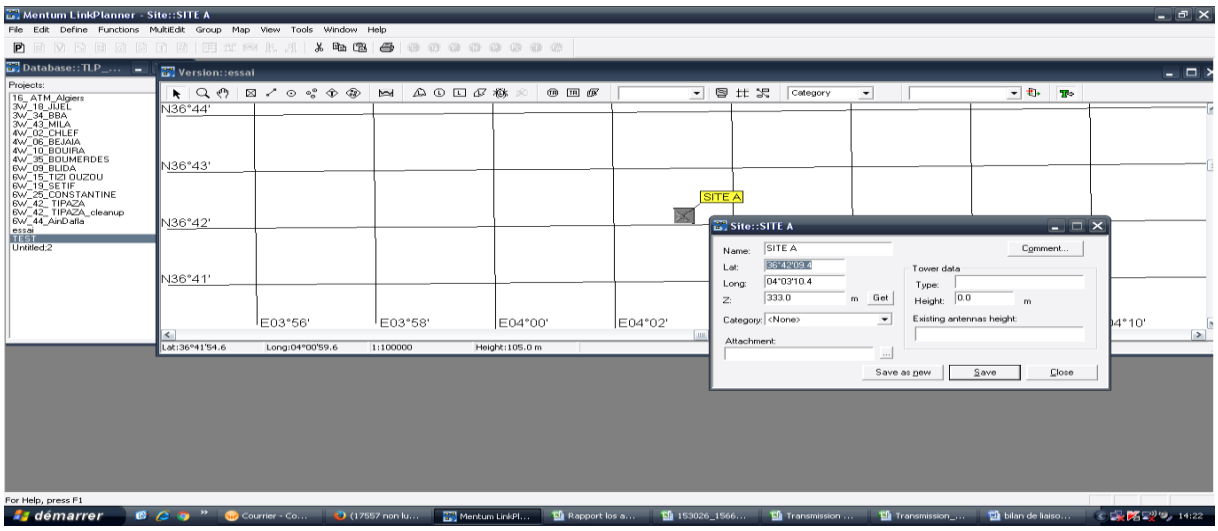


Figure 4.5. *Fenêtre de la création d'un site.*

Nous allons introduire les données correspond au lieu convenable au site, les données utilisés sont :

- **Les coordonnées GPS:**

C’est les coordonnées géographique représentés par :

- **Longitude :**

C’est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression du positionnement est-ouest d'un point sur Terre La longitude de référence sur Terre est le méridien de Greenwich; (04°03’10.4’’).

- **Latitude :**

C’est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur Terre, au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence ; (36°42’09.4’’).

Ces coordonnées peuvent s’écrire par l’une des façons suivantes : {36°42’09.4’’ / 36 42 09.4 / 36, 42,09.4}. Telle que (°) en degré, (’) en minute, et (’’) en seconde.

- **Nom du site :**

Nous avons nommé ce site par « site A ».

- **Altitude:**

C’est l'élévation verticale d'un lieu ou d'un objet par rapport à un niveau de mer, elle est désignée par la lettre « Z » ; (333m).

- **Test de visibilité directe (Line Of Site LOS) :**

Pour tester la visibilité et nonvisibilité, on clique sur l’un des 5 types des icones (demi-cercle, cercle, rectangle, une forme quelconque,) . Et on suivre les étapes suivantes :

- ✓ Choisir un emplacement (par exemple un site) en le cliquant .

Presser et tenir le bouton de la souris et le déplacer obliquement pour définir un cercle de dimenssion désirée (le rayon maximale chez AT MOBILIS est limité à 40Km); une nouvelle fenetre est affichée.

Sur la nouvelle fenetre on sélectionne la hauteur d’antenne on choisir une couleur « blue » pour le LOS (visibilité) et une autre couleur « verte » pour le NLOS (non visibilité).

On clique sur « calculate ».

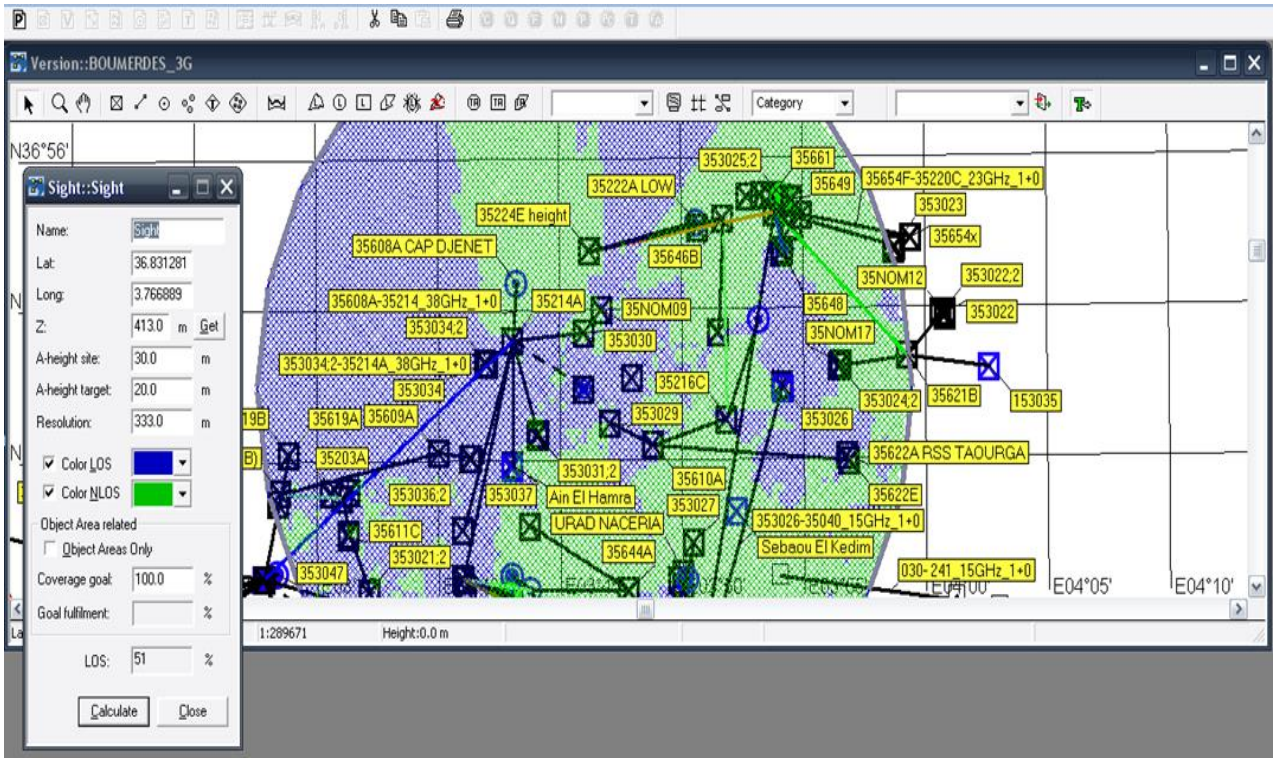


Figure 4.6. *Fenêtre de la visibilité.*

- **Création et configuration d'un lien transmission entre A et B :**

Le lien c'est la liaison entre 2 sites déffirents A à crée et B a été déjà crée. Pour relier le site A au site B, on selectionne licone , on clique sur le site A puis faire glisser le curseur vers le site B, une ligne discontinue apparaitre comme la montre la figure suivante :

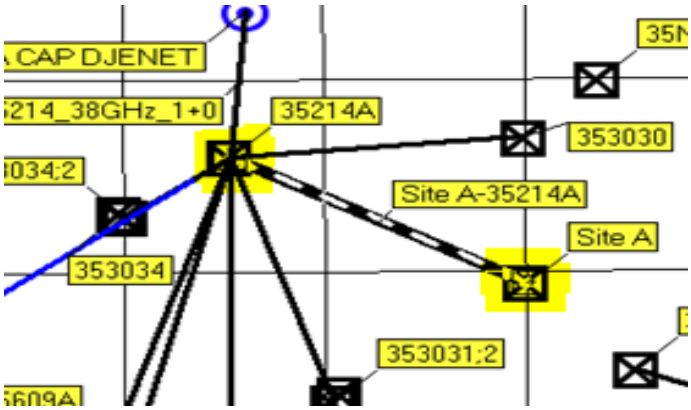


Figure 4.7. Lien entre deux sites.

Après le rapport LOS theorique et la création de la liaison, on doit faire un test de visibilité (directe) pratique utilisant un miroir, Voire la figure suivante :

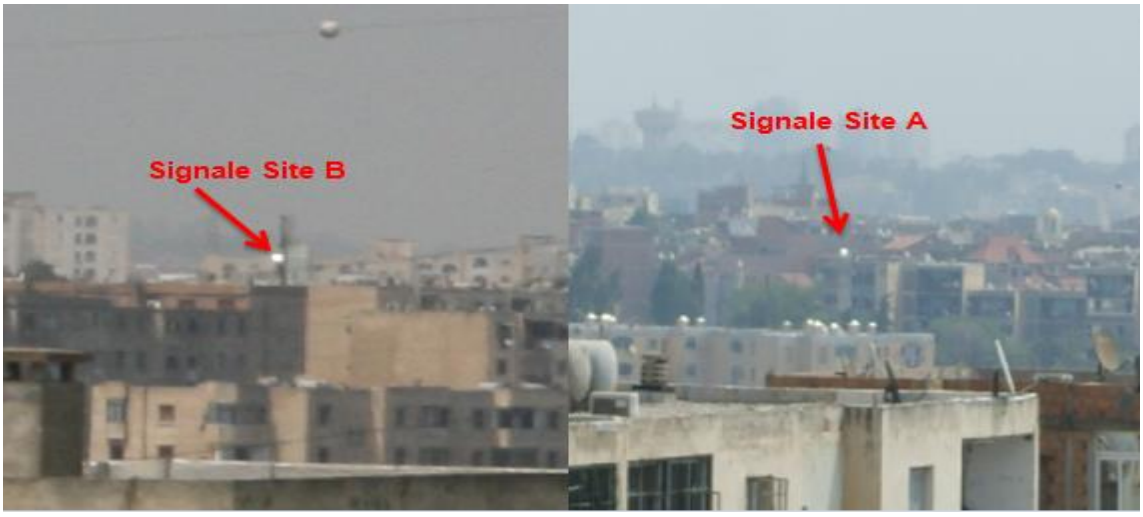


Figure 4.8. *Test de visibilité directe par la méthode de miroir.*

S'il y a une visibilité directe on va passer a la duxiéme étape de notre étude « La plannification ».

4.3.2. Planification

Dans cette partie de plannification on doit choisir la fréquence compatible à la liaison, le diammetre d'antenne, calcule des interférences, finnalemnt on calcule le bilan de la liaison.

Premiérement, on active la liaison après la rempliçage des parametres nécéssaire (une partie pour le site A, une partie pour le site B, et une partie commune entre les deux) :

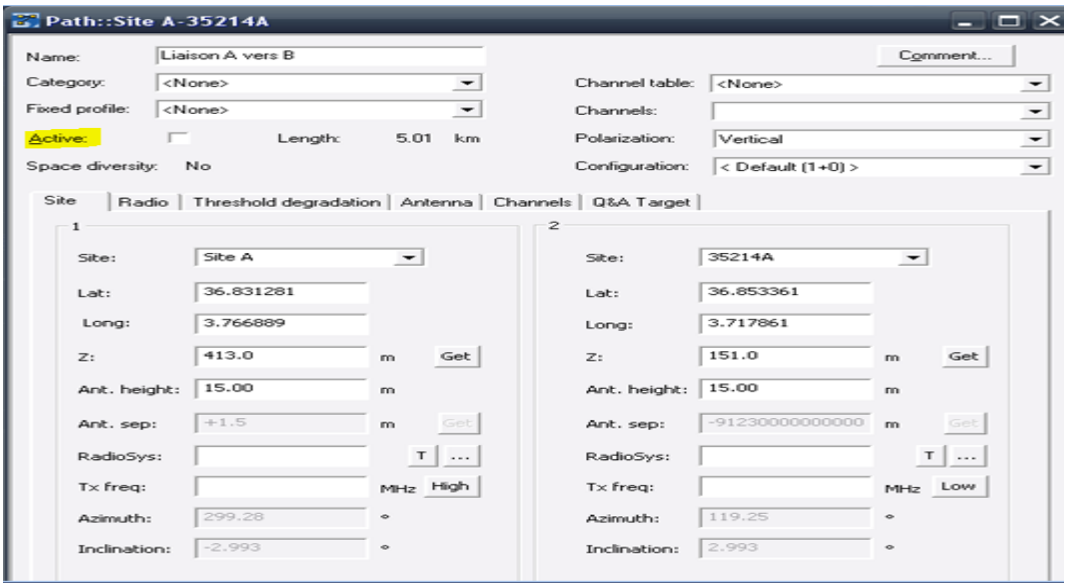


Figure 4.9. *Fenêtre de lien crée.*

- **Le choix de capacité, fréquence, diamètre et configuration:**

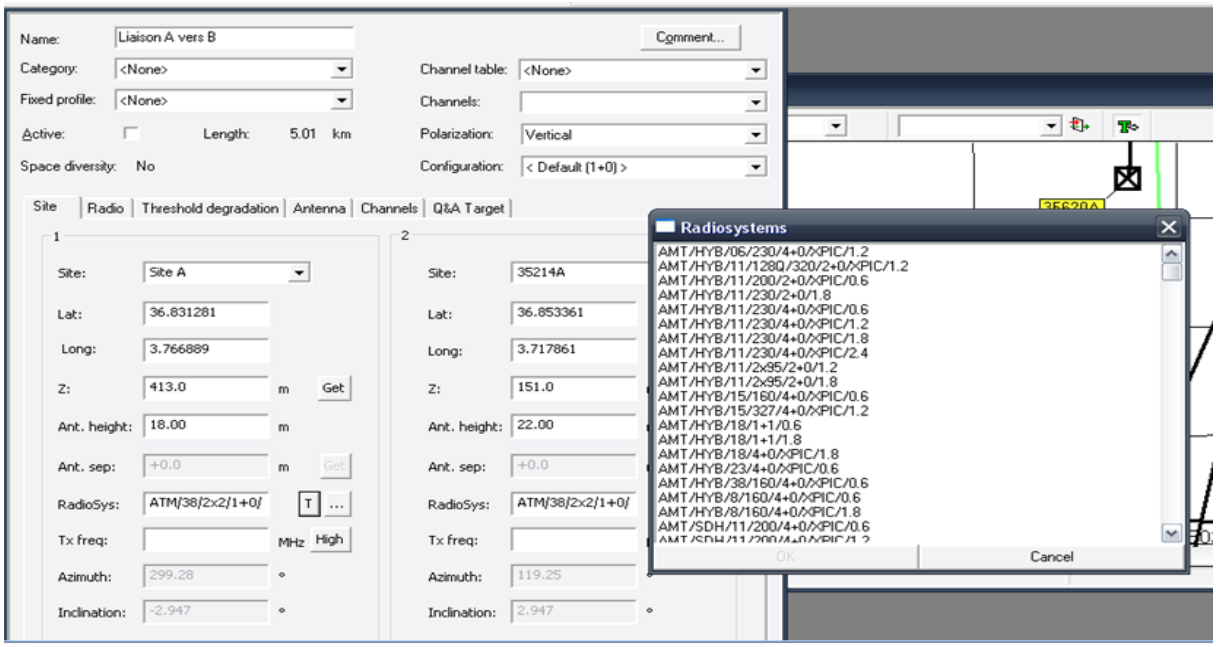


Figure 4.10. *Fenêtre de choix d'équipement.*

➢ Calcul des interférences :

un clique sur l'icône

pour calculer toutes les interférences existent, une fenetre doit s'affiche :

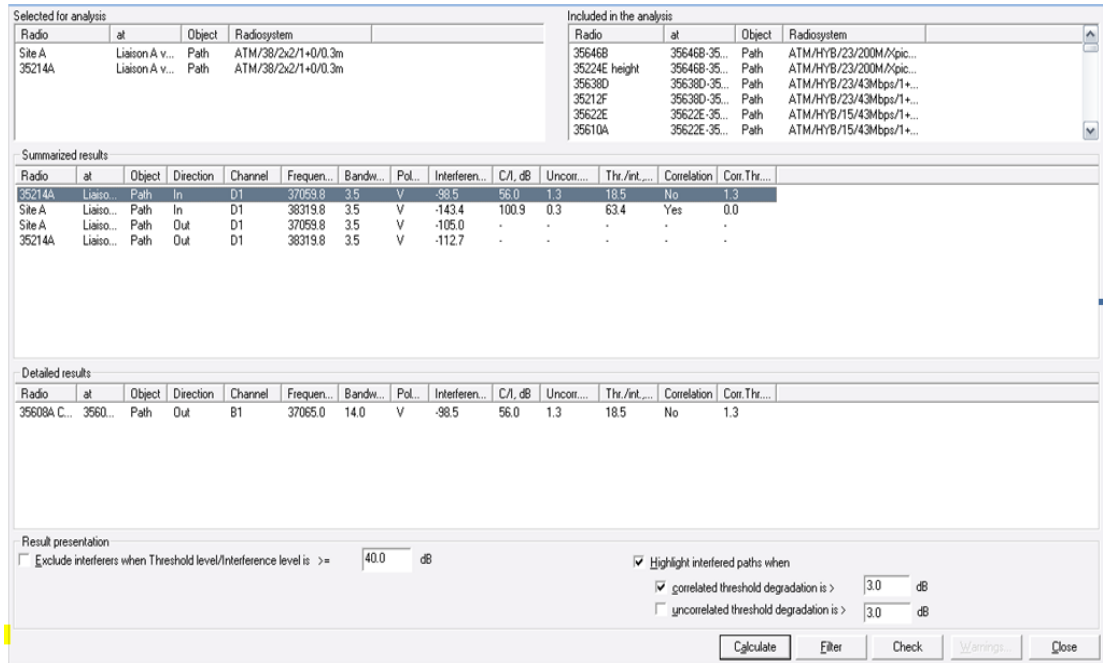


Figure 4.11. *Fenêtre de calcul d'interférences.*

S'il n'y a pas des interférences, nous pouvons passer à la plus importante étape « calcul de bilan de la liaison » :

Les chemins de profile sont générés et affichés en fonction des informations contenues dans la base de données cartographique, Le type d'utilisation des terres est illustré en couleur dans le diagramme de profil du trajet avec une légende, mentionnant les zones forestières, les zones habitées, notamment la hauteur des bâtiments. L'altitude réelle est affichée dans le profil.

- **Pour calculer le bilan de la liaison on clique sur l'icône** :

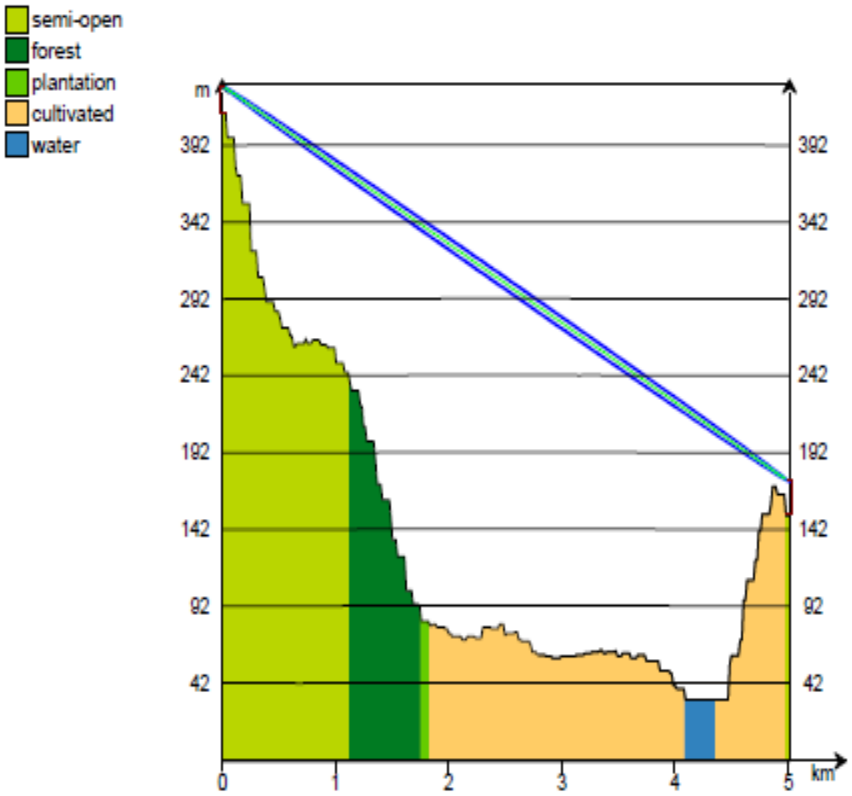


Figure 4.12. *Bilan de la liaison crée.*

4.4. Dimmentionnement et plannification des liens de transmission à faisceau hertzien

4.4.1. Dimensionnement et planification d'un nouveau lien 353007-16050 BSC Reghaia région d'Alger

- Créer un nouveau site 353007.
- Copier les coordonnées du site.

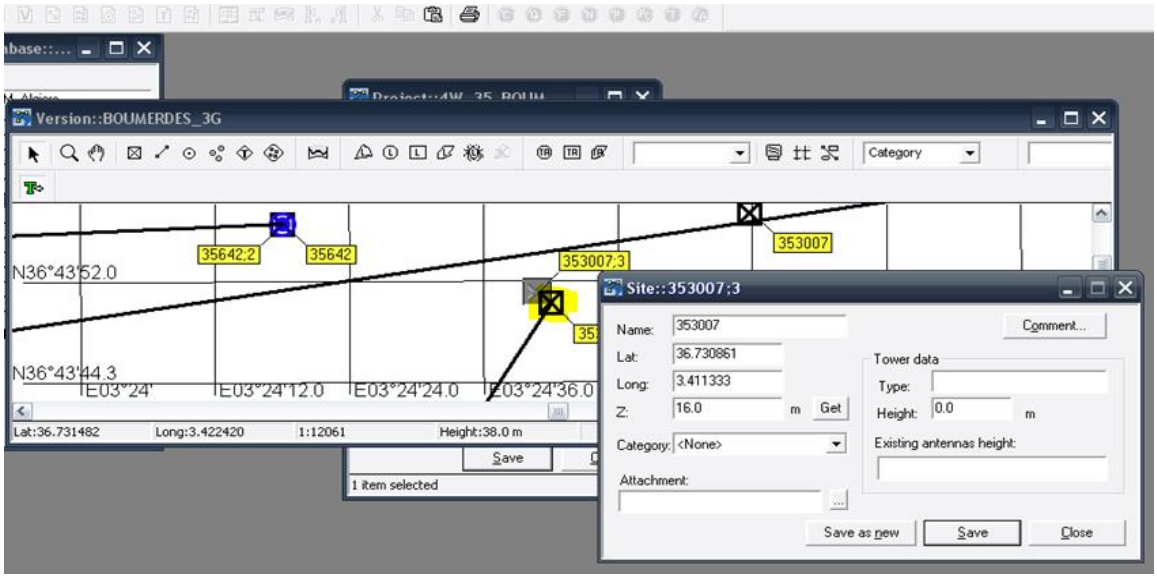


Figure 4.13. *Fenêtre de la céation du site 353007.*

➢ Etude de la visibilité avec les autres sites et choix des couleurs :

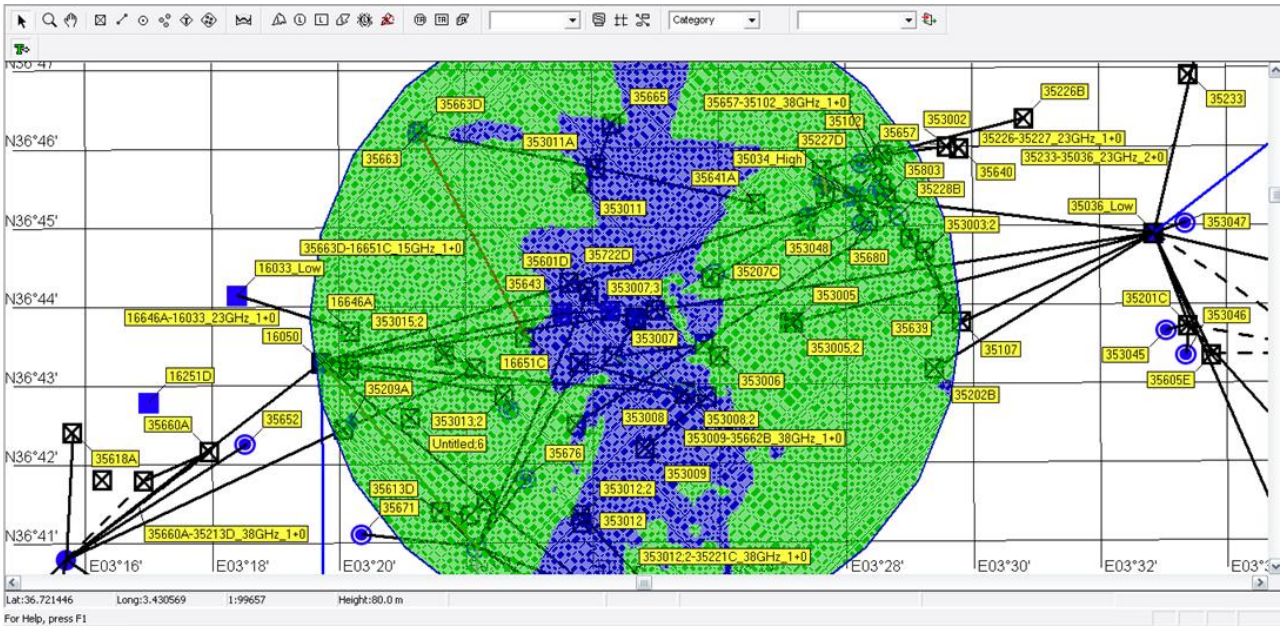


Figure 4.14. *Fenêtre d'étude de la visibilité.*

D'après le diagramme LOS notre site a une moyenne visibilité, on ne peut pas le reliée au BSC Reghaia donc on va choisir un autre site (35106) qui est déjà relié au BSC Reghaia d'après la vérification des conditions suivantes :

- ❖ Visibilité directe vers l'extrémité.
- ❖ Moins d'intersection de lien.
- ❖ Chemin le plus court au BSC.

- ❖ Nature du site (éviter la location).
- ❖ Topologie du site (mat, pylône …) choisir le plus rigide.

➢ Création d'un site 353007 et planification du lien 353007-35106 :

Figure 4.15. *Fenêtre du lien 353007-35106.*

- Pour faire le bilan de la liaison on doit paramétrer le lien (radio système) :
- La distance entre les deux sites est mentionnée dans la création de lien est égale à 1.04Km, on a besoin d'une antenne de diamètre 0.3m qui est disponible dans la bande de 23Ghz et 38 Ghz.
- La configuration utilisée (1+0).
- L'élévation par apport au niveau de mer (Z) est 16m pour le site 353007 et 60m pour le site 35106.

Le choix de canal de transmission dépend de la capacité d'un site, dans notre cas le canal correspondant est B1.

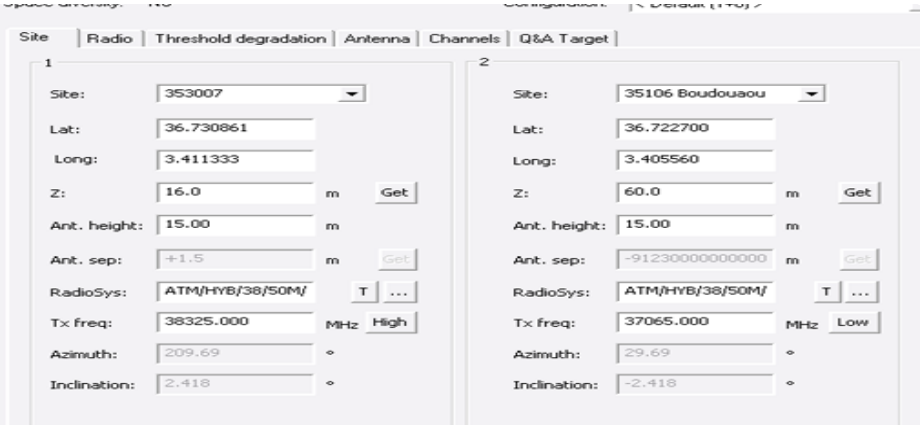
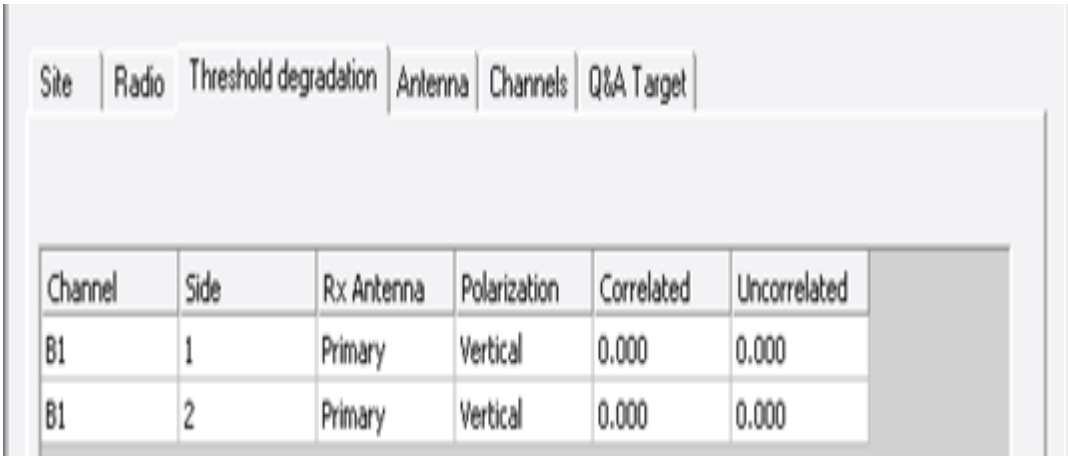


Figure 4.16. *Fenêtre de la configuration de lien 350037-35106.*

➢ Calcul de threshold :



Channel	Side	Rx Antenna	Polarization	Correlated	Uncorrelated
B1	1	Primary	Vertical	0.000	0.000
B1	2	Primary	Vertical	0.000	0.000

Figure 4.17. *Fenêtre du calcul de threshold.*

- Calcul des interférences :

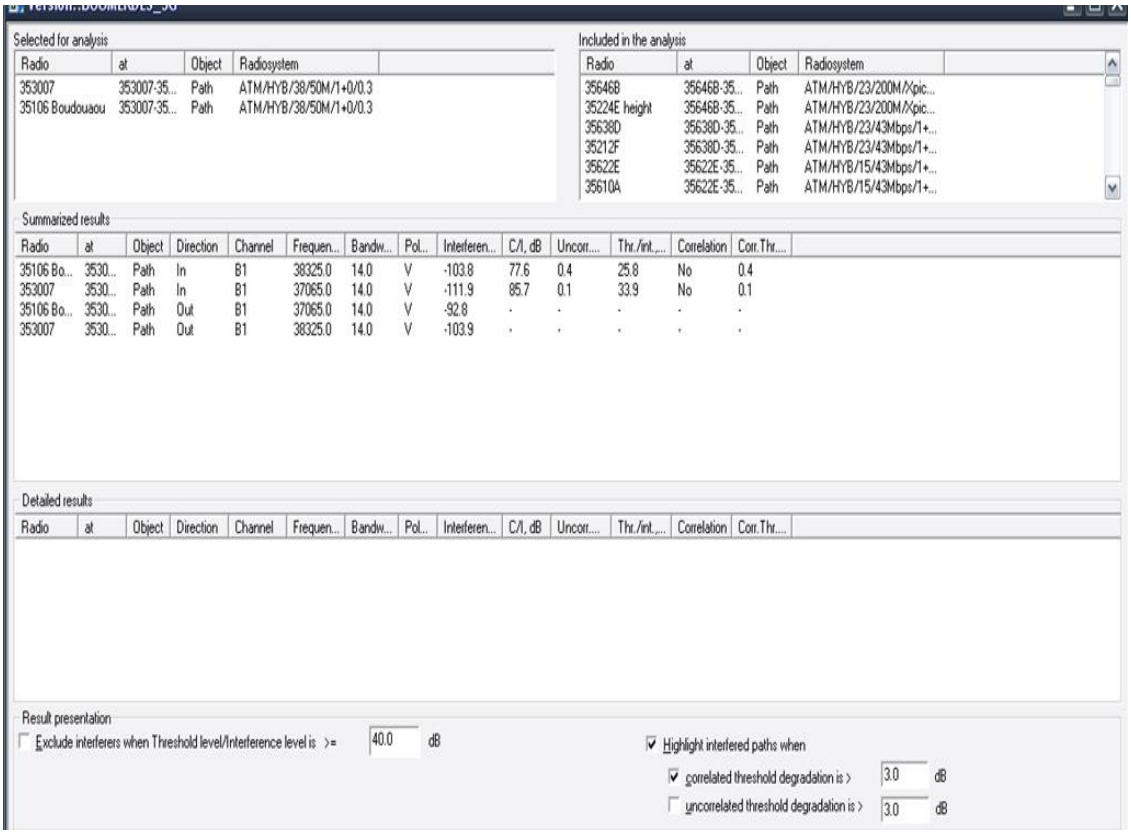


Figure 4.18. *Fenêtre du calcul d'interférences.*

On a trouvé quatre interférences du lien 353007-35106.

{-103.8 dB / -111.9 dB / -92.8 dB / -103.9 dB} ; toutes les interférences trouvés sont inferieur à -80 dB (le threshold de l'équipement utilisé). Alors les interférences sont acceptable.

- Bilan de liaison :

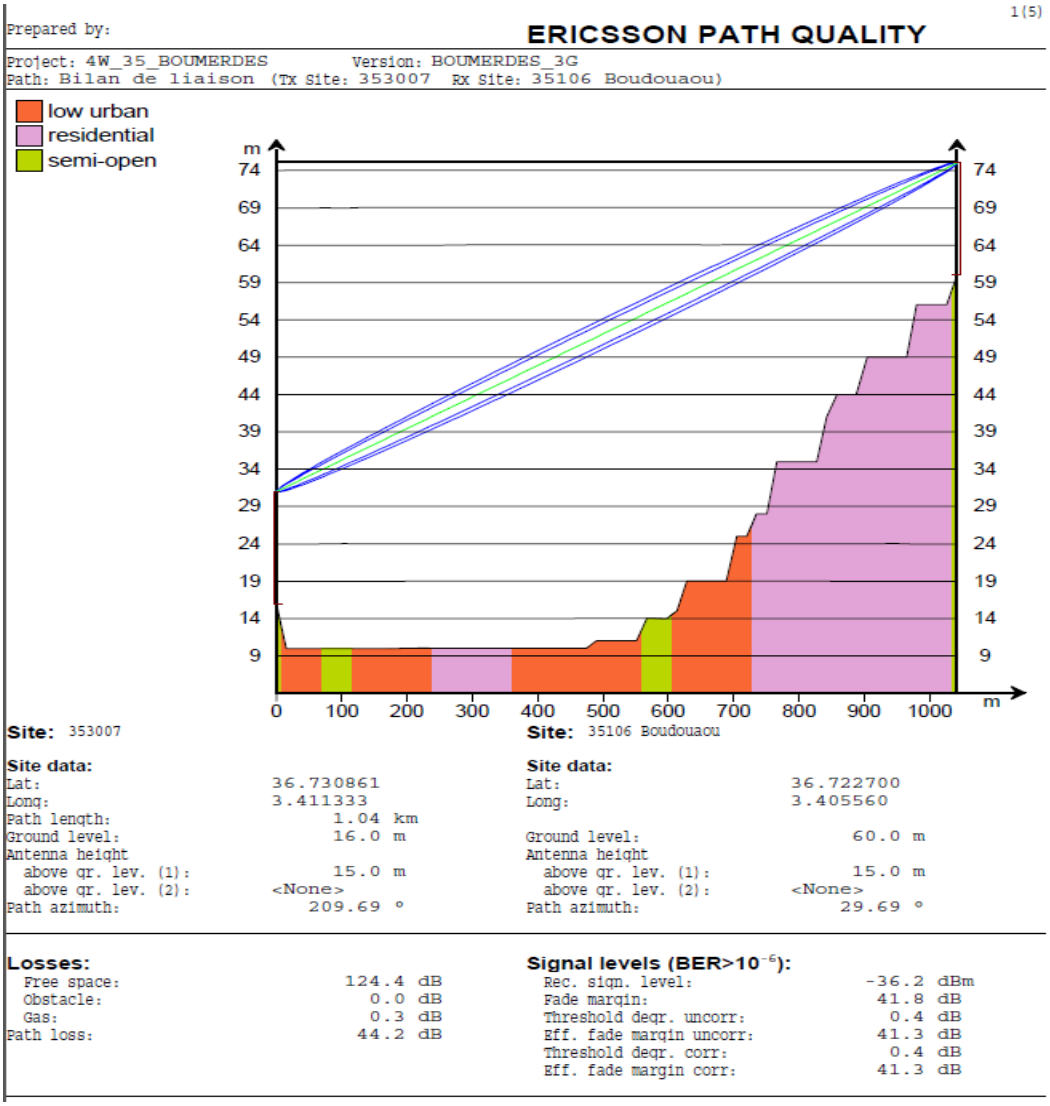


Figure 4.19. *Bilan de la liaison 353007-35106.*

- Pour ce paramétrage :

✓ Il n'y a pas des obstacles 0.0 dB.

✓ Une atténuation en espace libre (Free Space) de 124.4 dB.

✓ Atténuation par les gaz de l'atmosphère 0.3 dB.

✓ Les pertes de trajet (Path Loss) 44.2 dB.

✓ Un bon niveau du signal reçu -36 .2 dB.

✓ La marge de sécurité (Fade margin) 41 .8dB > 30dB.

✓ Le threshold 0.4dB.

Tous les paramètres utilisés par le Mentum Linkplanner pour réaliser ce bilan de liaison se trouve dans l'annexe N°1.

➢ Lien 35106-16050 BSC Reghaia :

Comme le lien est déjà existe donc on n'a pas besoin de refaire l'étude.

4.4.2. Dimensionnement et planification d'un nouveau lien 19737-19740 wilaya de Sétif région de Sétif

- Création d'un nouveau site 19740 :

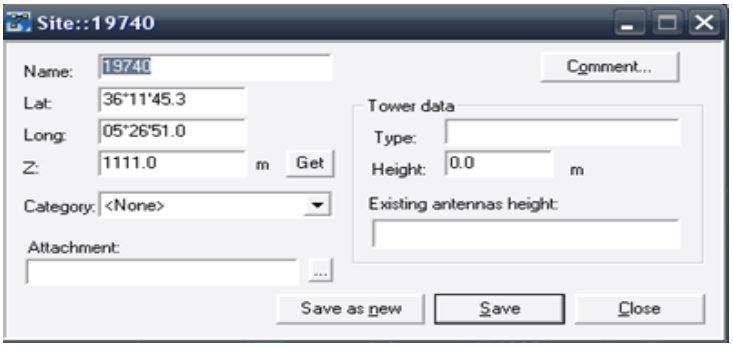


Figure 4.20. *Fenêtre de la création du site 19740.*

- Etude de la visibilité(LOS) :

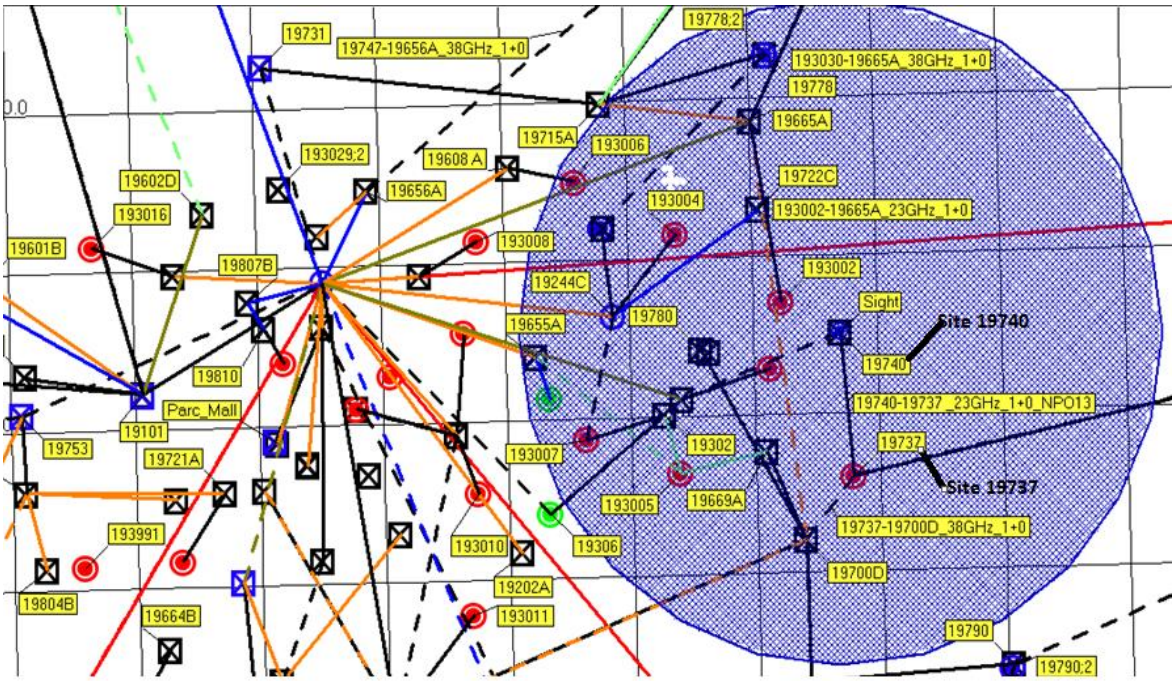


Figure 4.21. *Fenêtre de la visibilité.*

D'après le diagramme LOS on voie qu'il ya une très bonne visibilité (couleur bleu)

- Choisir l'équipement radio :

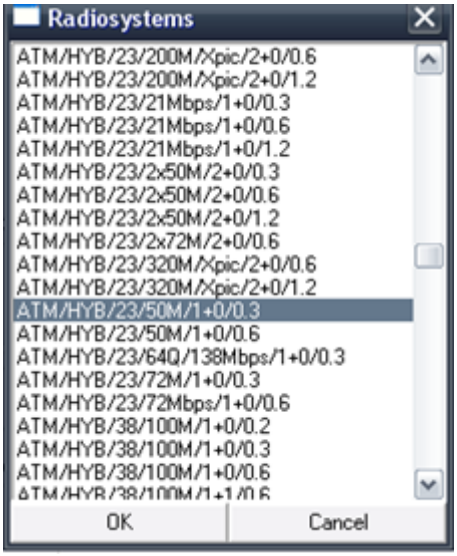


Figure 4.22. *Fenêtre de choix d'équipement compatible.*

- Configuration de lien :

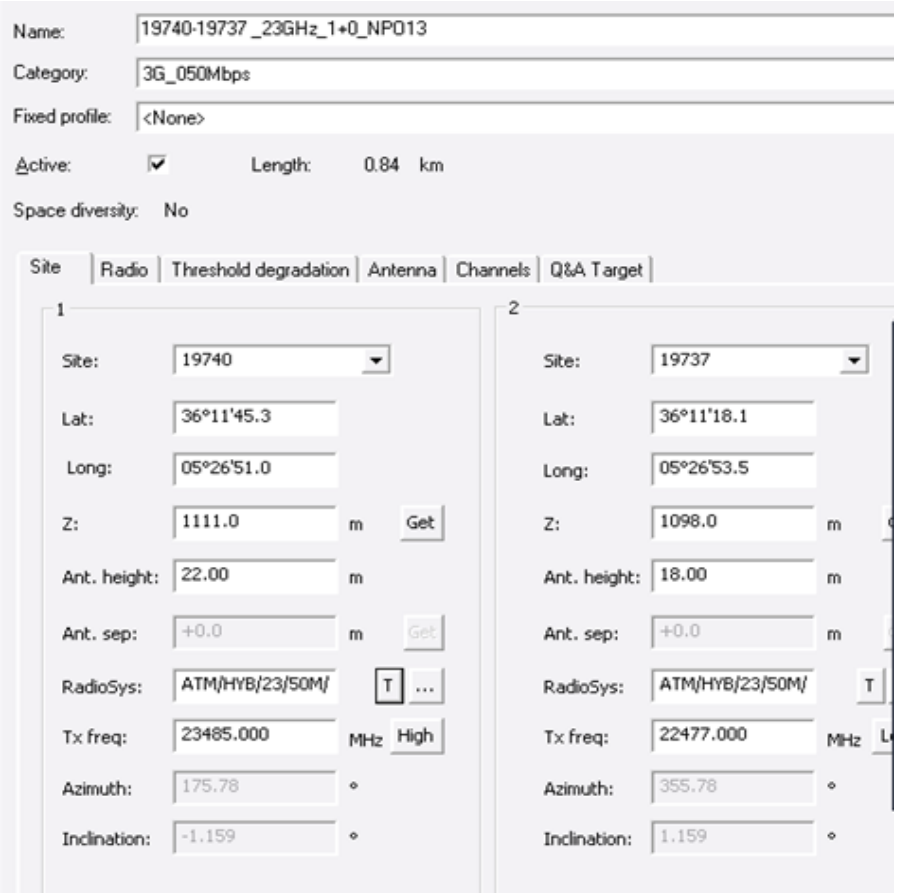


Figure 4.23. *Fenêtre de configuration du lien 19740-19735.*

- Le bilan de liaison :

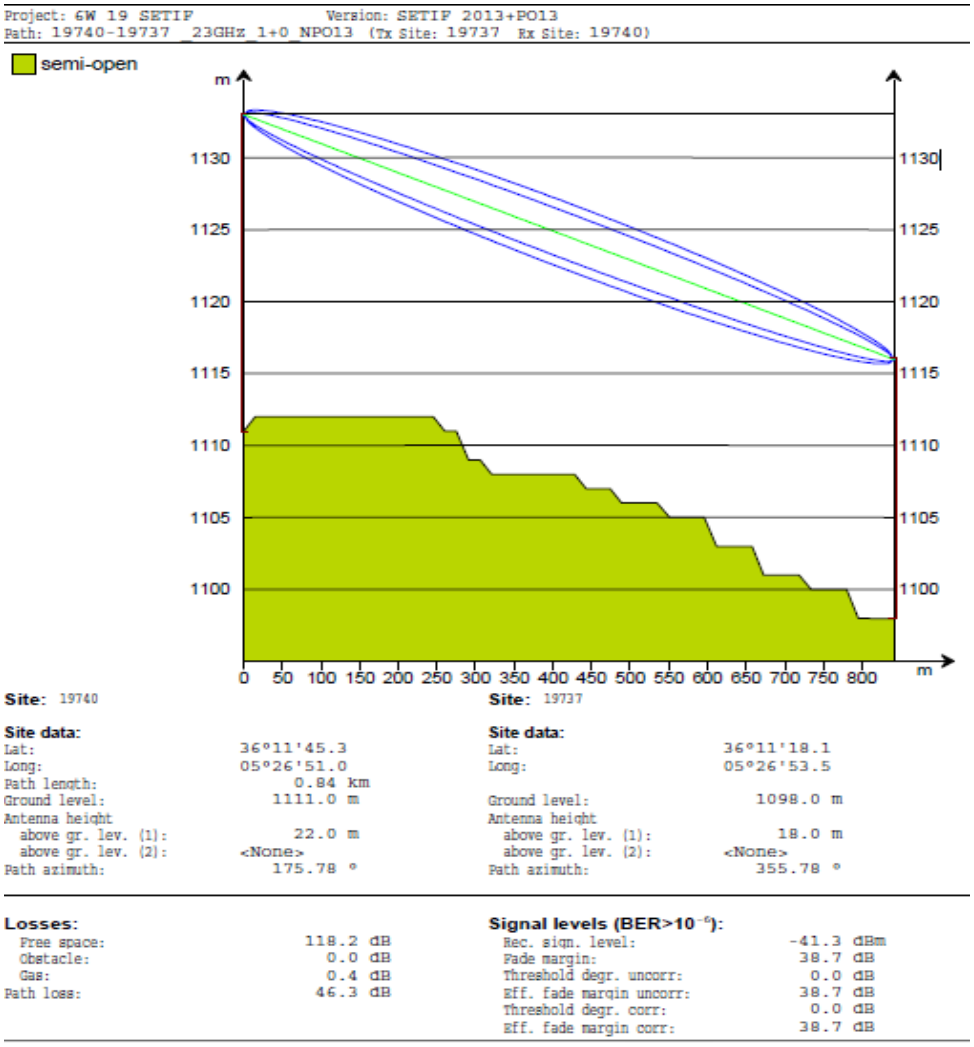


Figure 4.24. *Bilan de la liaison 19740-19737.*

Pour ce paramétrage :

- ✓ Il n'y a pas des obstacles 0.0 dB.
- ✓ Une atténuation en espace libre (Free Space) de 118.2 dB.
- ✓ Atténuation par les gaz de l'atmosphère 0.4 dB.
- ✓ Les pertes de trajet (Path loss) 46.3 dB.
- ✓ Un bon niveau du signal réçu -41 .3 dB.
- ✓ La marge de sécurité (Fade margin) 38 .7dB > 30dB.
- ✓ Le threshold 0.0dB.

Tous les paramètres utilisés par le Mentum Linkplanner pour réaliser ce bilan de liaison se trouve dans l'annexe N°2.

❖ **Calcul de niveau de réception $R_{x\ level}$ (puissance de réception) :**

Pour calculer le niveau de réception d'un équipement théoriquement on utilise les formules suivantes:

$$\mathbf{R}x_{level} = \mathbf{T}_{\mathbf{x_{power}}} + \mathbf{2X_2} + \mathbf{X_1} - \boldsymbol{Atténuation} - \mathbf{7} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \mathbf{(4.1)}$$

On ajoute -7 si la configuration est avec Hybride

Tant que l'ODU de lien 19737-19740 est non sécurisé et son Hybride ATM/HYB/23/50M/**1+0**/0.3

L'équation [4.1] déviant:

$$\mathbf{R}x_{level} = \mathbf{T}_{\mathbf{x_{power}}} + \mathbf{2X_2} - \mathbf{X_1} - \boldsymbol{Atténuation} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \mathbf{(4.2)}$$

Avec :

$R_{x\ level}$: niveau de réception.

$T_{x\ power}$: Output Power.

Atténuation : Toutes les atténuations trouvées.

X_1=92.4+20 log (df).

X_2= 17.8+20 log (Df).

f : La fréquence.

D: Le diamètre d'antenne.

d : la distances entre les deux sites.

f égale à 23 GHz, Atténuation égale à 0.4dB, **D** égale à 0 .3m, **d** égale à 0.8Km, $\mathbf{T_{x\ power}}$ est égale à 5dBm ; toutes ces données sont représentés sur l'annexe N°2.

On remplace ces valeurs dans l'équation [4.2] :

$R_{x\ level}$= 5+ 2 (34.57) – 117.62.

$R_{x\ level}$= -43.48 dB.

Alors, la puissance de réception calculée manuellement est égale à « -43.48 dB » et celle calculée par logiciel est égale à « -41.3 dB ».

4.5. Conclusion

Nous avons étudié dans ce chapitre les étapes à suivre pour dimensionner et planifier des liens du réseau d'ATM MOBILIS, on respectant les critères de planification : la marge de sécurité, la visibilité directe (LOS), les atténuations en espace libre, les interférences ainsi que le niveau de signal reçu qu'on vérifié par calcule.

CONCLUSION GENERALE

Dans notre projet de fin d'étude nous avons d'abord étudié les différents réseaux mobiles (GSM, GPRS, EDGE, UMTS, LTE) leurs structures (Architecteurs) et comment passer de l'un vers l'autre. Nous somme focalisées sur les transmissions: transmission PDH pour les petites capacités et la transmission SDH pour les grandes capacités.

En suite nous avons parlé de l'un des types de transmission qui est la transmission par les faisceaux hertziens leur organisation fonctionnelle et les caractéristiques de leurs équipements.

Nous avons ensuite effectué le dimensionnement et la planification du réseau d'ATM MOBILIS sur certains liens car l'amélioration de la compétitivité du réseau passe par le renforcement continu de la couverture réseau,

Notre projet a porté le dimensionnement et planification de:

- Site imaginaire 'A' situé à la wilaya de Boumerdès (région d'Alger) afin d'expliquer la fonctionnalité de logiciel, et les étapes suivi pour la création d'un site.
- Le lien 353007-35106 à la wilaya de Boumerdès région d'Alger.
- Le lien 19740-19737 à la wilaya de Sétif région de Sétif.

Nous avons aussi étudier les critères de dimensionnement et de planification grâce a un logiciel nommé **mentum Link planner**, en particulier la visibilité directe LOS, le bilan de liaison, le niveau de signal reçue, la marge de sécurité ,les atténuation en espace libre, les interférences, les LOSS ainsi que les performances des liens.

Ce ci nous a permis de définir un réseau de transmission respectant les critères de planification. Le bon dimensionnement et planification permis a l'ATM MOBILIS d'agrandir les liens de transmission et d'augmenter le nombre des abonnés de s'affranchir de la location chez l'AT (Algérie Télécome).

Annexe : Rapport du bilan de la liaison

1. Annexe 1 :

2016-06-05 15:45:52
2 (5)

Probability that BER>10^{-6} (worst month):

Multipath	
Flat:	99.99999999 %
Freq. selective:	100.00000000 %
Total:	99.99999999 %
Clear-air XPD:	100.00000000 %
Refraction:	100.00000000 %
Rain:	99.99998930 %
Rain XPD:	100.00000000 %
Worst month availibility:	99.99998930 %
Worst month unavailibility:	0.00001070 %

Probability that BER>10^{-6} (worst month):

Multipath	
Flat:	43800.00000 min
Freq. selective:	43800.00000 min
Total:	43800.00000 min
Clear-air XPD:	43800.00000 min
Refraction:	43800.00000 min
Rain:	43799.99531 min
Rain XPD:	43800.00000 min
Worst month availibility:	43799.99531 min
Worst month unavailibility:	0.00469 min

Probability that BER>10^{-6} (year):

Multipath	
Flat:	100.00000000 %
Freq.selective:	100.00000000 %
Total:	100.00000000 %
Clear-air XPD:	100.00000000 %
Refraction:	100.00000000 %
Rain:	99.99999942 %
Rain XPD:	100.00000000 %
Worst year availibility:	99.99999942 %
Worst year unavailibility:	0.00000058 %

Probability that BER>10^{-6} (year):

Multipath	
Flat:	525600.00000 min
Freq.selective:	525600.00000 min
Total:	525600.00000 min
Clear-air XPD:	525600.00000 min
Refraction:	525600.00000 min
Rain:	525599.99695 min
Rain XPD:	525600.00000 min
Worst year availibility:	525599.99695 min
Worst year unavailibility:	0.00305 min

Quality and Availability based on ITU-T Rec. QATarget
HRPPortion: National portion, Short Haul network section
Name: G.826(National - Short Haul)

	Calculated	Target	Normalized
ESR (worst month):	0.0000040961	0.0048000000	-
SESR (worst month):	0.0000000000	0.0001280000	-
BBER (worst month):	0.0000000041	0.0000128000	-
Unavailability:			
UATR (year)			
Wave prop. :	0.0000000000	-	-
Hardware:	0.0000130462	-	-
Total:	0.0000130462	0.0003200000	-

QATarget related attributes:

Source:	Based on ITU-T Rec. G.826 & 827
HRP Portion:	National portion, Short Haul network section
Quality Target Ref. :	ITU-R F.1668
Avail. Target Ref. :	ITU-R F.1703
Rate:	>15 - 55 Mbit/s

Route length: 0.0 km

Comments:

Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31

2016-06-05 15:45:52
3 (5)

Site data

Site: 353007

Radio related data:

Radio system:	ATM/HYB/38/50M/1+0/0.
Radio:	MLT38/2X 043/16T S
Capacity:	43.00 Mbit/s
Frequency:	38.00 GHz
Output power:	8.0 dBm
Receiver threshold (primary)	
at BER 10 $^{-6}$:	-78.0 dBm
Receiver threshold (secondary)	
at BER 10 $^{-3}$:	-79.0 dBm
Effective radiated power:	18.4 dBW
Threshold degr. uncorr:	0.1 dB
Threshold degr. corr:	0.1 dB
C/I threshold:	19.0 dB
Bandwidth Tx:	14.0 MHz
Bandwidth Rx:	14.0 MHz
XPIF:	0.0 dB
RF Filter Tx:	
Filter attenuation:	0.0 dB
3 dB bandwidth:	0.000 MHz
40 dB bandwidth:	0.000 MHz
RF Filter Rx:	
Filter attenuation:	0.0 dB
3 dB bandwidth:	0.000 MHz
40 dB bandwidth:	0.000 MHz
Channel/Duplex index:	<None>

Side 1 TX Frequencies:
38325.00 MHz

Antenna data:

Antenna type:	ML 38 0.3m HP Sing
Antenna diagram	
horizontal:	ML 38 0.3m HP Sing
vertical:	ML 38 0.3m HP Sing
Antenna gain:	40.4 dBi
Polarization:	Vertical
Antenna azimuth:	209.69 °
Auto azimuth calc.:	Yes
Antenna tilt:	2.42 °
Auto tilt calc.:	Yes
Antenna amplifier:	<None>
Output power:	<None>
Receiver gain:	<None>
Transmission line	
type:	<None>
length:	<None>
loss:	<None>

Attenuators:

Additional attenuation Tx:	0.0 dB
Additional attenuation Rx:	0.0 dB

HW reliability:

System config.:	Not doubled
MTBFs:	70.0 year
MTTRs:	4.0 h
MTBFu:	0.0 year
MTTRu:	0.0 h
MTBFd:	0.0 year
MTTRd:	0.0 h

Site: 35106 Boudouaou

Radio related data:

Radio system:	ATM/HYB/38/50M/1+0/0.3
Radio:	MLT38/2X 043/16T S
Output power:	8.0 dBm
Receiver threshold (primary)	
at BER 10 $^{-6}$:	-78.0 dBm
Receiver threshold (secondary)	
at BER 10 $^{-3}$:	-79.0 dBm
Effective radiated power:	18.4 dBW
Threshold degr. uncorr:	0.4 dB
Threshold degr. corr:	0.4 dB
C/I threshold:	19.0 dB
Bandwidth Tx:	14.0 MHz
Bandwidth Rx:	14.0 MHz
XPIF:	0.0 dB
RF Filter Tx:	
Filter attenuation:	0.0 dB
3 dB bandwidth:	0.000 MHz
40 dB bandwidth:	0.000 MHz
RF Filter Rx:	
Filter attenuation:	0.0 dB
3 dB bandwidth:	0.000 MHz
40 dB bandwidth:	0.000 MHz

Side 2 TX Frequencies:
37065.00 MHz

Antenna data:

Antenna type:	ML 38 0.3m HP Sing rD
Antenna diagram	
horizontal:	ML 38 0.3m HP Sing rD a
vertical:	ML 38 0.3m HP Sing rD e
Antenna gain:	40.4 dBi
Antenna azimuth:	29.69 °
Auto azimuth calc.:	Yes
Antenna tilt:	-2.42 °
Auto tilt calc.:	Yes
Antenna amplifier:	<None>
Output power:	<None>
Receiver gain:	<None>
Transmission line	
type:	<None>
length:	<None>
loss:	<None>

Attenuators:

Additional attenuation Tx:	0.0 dB
Additional attenuation Rx:	0.0 dB

HW reliability:

System config.:	Not doubled
MTBFs:	70.0 year
MTTRs:	4.0 h
MTBFu:	0.0 year
MTTRu:	0.0 h
MTBFd:	0.0 year
MTTRd:	0.0 h

Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31

2016-06-05 15:45:52
4 (5)

Diversity:

Space diversity:	No
Height difference:	-
Antenna gain difference:	0 dB
Frequency diversity:	No
Frequency difference:	0 MHz
Modulation:	Digital

Input data for prediction of QATarget related parameters:

Path type:	E1
Mean number of bit errors per burst, m:	1

Propagation Algorithms:

Default table:	Algeria ATM 500K

Obstacle attenuation:

Obstacle attenuation algorithm:	Smooth Spherical Earth Method (CHERIEX)

Gas attenuation:

Gas algorithm:	CCIR, Vol V, Rep 719-3

Rain fading:

Rain fading algorithm:	ITU-R, Rec P.530-10

Rain XPD Fading:

Rain XPD algorithm:	ITU-R, Rec P.530-10

Refraction:

Refraction algorithm:	k-Distribution Based Method (ERA)

Flat multipath fading:

Multipath flat propagation algorithm:	ITU-R, Rec P.530-10, Quick

Frequency selective multipath fading:

Frequency selective multipath algorithm:	ITU-R, Rec. P.530-10

Diversity fading:

Diversity fading algorithm:ITU-R, Rec P.530-10

Clear air XPD fading:

Clear air XPD fading algorithm:ITU-R, Rec P.530-10

Quality and Availability Algorithms:

G.821: Ericsson method
G.826, G.828: ITU-R, Rec F.1605

Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31

2016-06-05 15:45:52
5 (5)

Propagation Algorithms Parameter Settings

Gas attenuation:

Temperature:	25 °C
Relative humidity:	80 %
Atmospheric pressure:	1013.25 hPa

Rain fading:

Rain zone:	-
Rain intensity (0.01% of t.):	28 mm/h
SESR fraction of rain fading:	80.0 %
Rain conversion factor Q1:	2.85
Rain conversion factor beta:	0.13

Rain XPD Fading:

Rain XPD U0 parameter:	15.0 dB
Rain XPD conversion factor Q1:	2.85
Rain XPD conversion factor beta:	0.13

Refraction:

Earth Radius Factor:	
k at normal atmosphere:	1.33
k-value statistics:	k distribution PL 2%
Refraction conv. factor Q1:	2.85
Refraction conv. factor beta:	0.13

Flat multipath fading:

Terrain Factor, C:	Average propagation conditions
Latitude:	<= 53° N or S
Longitude:	Europe and Africa
Terrain type:	-
Terrain class:	-
Coastal fraction:	-
Point refractivity gradient:	-250.0 N-unit/km
Area terrain roughness:	1.0 m
PL-factor (av. refr. grad.):	2 %
Lower antenna altitude:	-
Multipath flat conversion factor Q1:	2.85
Multipath flat conversion factor beta:	0.13

Frequency selective multipath fading:

Normalization exponent (n):	1.5
Exponent factor (y):	0.2
Time delay factor (A):	0.043
Time delay factor (B):	28.300
Time delay factor (C):	2.400
Constant (K):	0.300
Taum0:	0.7
C-pb (1):	2.16
Signature width:	14.0 MHz
Signature height:	29.0 dB
Time delay:	6.3 ns
Freq. selective conversion factor Q1:	2.85
Freq. selective conversion factor beta:	0.13

Clear air XPD fading:

Clear air XPD fading conversion factor Q1:2.9
Clear air XPD fading conversion factor beta:0.1

Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31

2. Annexe 2 :

2016-06-05 16:05:45
2 (5)

Probability that BER>10^{-6} (worst month):

Multipath	
Flat:	100.00000000 %
Freq. selective:	100.00000000 %
Total:	100.00000000 %
Clear-air XPD:	100.00000000 %
Refraction:	100.00000000 %
Rain:	100.00000000 %
Rain XPD:	100.00000000 %
Worst month availibility:	100.00000000 %
Worst month unavailibility:	0.00000000 %

Probability that BER>10^{-6} (worst month):

Multipath	
Flat:	43800.00000 min
Freq. selective:	43800.00000 min
Total:	43800.00000 min
Clear-air XPD:	43800.00000 min
Refraction:	43800.00000 min
Rain:	43800.00000 min
Rain XPD:	43800.00000 min
Worst month availibility:	43800.00000 min
Worst month unavailibility:	0.00000 min

Probability that BER>10^{-6} (year):

Multipath	
Flat:	100.00000000 %
Freq.selective:	100.00000000 %
Total:	100.00000000 %
Clear-air XPD:	100.00000000 %
Refraction:	100.00000000 %
Rain:	100.00000000 %
Rain XPD:	100.00000000 %
Worst year availibility:	100.00000000 %
Worst year unavailibility:	0.00000000 %

Probability that BER>10^{-6} (year):

Multipath	
Flat:	525600.00000 min
Freq.selective:	525600.00000 min
Total:	525600.00000 min
Clear-air XPD:	525600.00000 min
Refraction:	525600.00000 min
Rain:	525600.00000 min
Rain XPD:	525600.00000 min
Worst year availibility:	525600.00000 min
Worst year unavailibility:	0.00000 min

Quality and Availability based on ITU-T Rec. QATarget
HRPPortion: National portion, Access network section
Name: National,access

	Calculated	Target	Normalized
ESR (worst month):	0.0000040960	0.0048000000	-
SESR (worst month):	0.0000000000	0.0001280000	-
BBER (worst month):	0.0000000041	0.0000128000	-
Unavailability:			
UATR (year)			
Wave prop. :	0.0000000000	-	-
Hardware:	0.0000130462	-	-
Total:	0.0000130462	0.0000400000	-

QATarget related attributes:

Source:	Based on ITU-T Rec. G.826 & 827
HRP Portion:	National portion, Access network section
Quality Target Ref. :	ITU-R F.1668
Avail. Target Ref. :	ITU-R F.1703
Rate:	>15 - 55 Mbit/s

Route length: 0.8 km

Comments:

Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31

2016-06-05 16:05:45
3 (5)

Site data

Site: 19740

Radio related data:

Radio system:	ATM/HYB/23/50M/1+0/0.3
Radio:	MLT23/2X 045/16S S
Capacity:	45.00 Mbit/s
Frequency:	23.00 GHz
Output power:	5.0 dBm
Receiver threshold (primary)	
at BER 10^{-6} :	-80.0 dBm
Receiver threshold (secondary)	
at BER 10^{-3} :	-81.0 dBm
Effective radiated power:	11.2 dBW
Threshold degr. uncorr:	0.0 dB
Threshold degr. corr:	0.0 dB
C/I threshold:	19.0 dB
Bandwidth Tx:	14.0 MHz
Bandwidth Rx:	14.0 MHz
XPIF:	0.0 dB
RF Filter Tx:	
Filter attenuation:	0.0 dB
3 dB bandwidth:	0.000 MHz
40 dB bandwidth:	0.000 MHz
RF Filter Rx:	
Filter attenuation:	0.0 dB
3 dB bandwidth:	0.000 MHz
40 dB bandwidth:	0.000 MHz
Channel/Duplex index:	<None>

Side 1 TX Frequencies:
23485.00 MHz

Antenna data:

Antenna type:	ML 23 0.3m HP Sing rD
Antenna diagram	
horizontal:	ML 23 0.3m HP Sing rD
vertical:	ML 23 0.3m HP Sing rD
Antenna gain:	36.2 dBi
Polarization:	Vertical
Antenna azimuth:	175.78 °
Auto azimuth calc.:	Yes
Antenna tilt:	-1.16 °
Auto tilt calc.:	Yes
Antenna amplifier:	<None>
Output power:	<None>
Receiver gain:	<None>
Transmission line	
type:	<None>
length:	<None>
loss:	<None>

Attenuators:

Additional attenuation Tx:	0.0 dB
Additional attenuation Rx:	0.0 dB

HW reliability:

System config.:	Not doubled
MTBFs:	70.0 year
MTTRs:	4.0 h
MTBFu:	0.0 year
MTTRu:	0.0 h
MTBFd:	0.0 year
MTTRd:	0.0 h

Site: 19737

Radio related data:

Radio system:	ATM/HYB/23/50M/1+0/0.3
Radio:	MLT23/2X 045/16S S
Output power:	5.0 dBm
Receiver threshold (primary)	
at BER 10^{-6} :	-80.0 dBm
Receiver threshold (secondary)	
at BER 10^{-3} :	-81.0 dBm
Effective radiated power:	11.2 dBW
Threshold degr. uncorr:	0.0 dB
Threshold degr. corr:	0.0 dB
C/I threshold:	19.0 dB
Bandwidth Tx:	14.0 MHz
Bandwidth Rx:	14.0 MHz
XPIF:	0.0 dB
RF Filter Tx:	
Filter attenuation:	0.0 dB
3 dB bandwidth:	0.000 MHz
40 dB bandwidth:	0.000 MHz
RF Filter Rx:	
Filter attenuation:	0.0 dB
3 dB bandwidth:	0.000 MHz
40 dB bandwidth:	0.000 MHz

Side 2 TX Frequencies:
22477.00 MHz

Antenna data:

Antenna type:	ML 23 0.3m HP Sing rD
Antenna diagram	
horizontal:	ML 23 0.3m HP Sing rD
vertical:	ML 23 0.3m HP Sing rD
Antenna gain:	36.2 dBi
Antenna azimuth:	355.78 °
Auto azimuth calc.:	Yes
Antenna tilt:	1.16 °
Auto tilt calc.:	Yes
Antenna amplifier:	<None>
Output power:	<None>
Receiver gain:	<None>
Transmission line	
type:	<None>
length:	<None>
loss:	<None>

Attenuators:

Additional attenuation Tx:	0.0 dB
Additional attenuation Rx:	0.0 dB

HW reliability:

System config.:	Not doubled
MTBFs:	70.0 year
MTTRs:	4.0 h
MTBFu:	0.0 year
MTTRu:	0.0 h
MTBFd:	0.0 year
MTTRd:	0.0 h

Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31

2016-06-05 16:05:45
4 (5)

Diversity:

Space diversity:	No
Height difference:	-
Antenna gain difference:	0 dB
Frequency diversity:	No
Frequency difference:	0 MHz
Modulation:	Digital

Input data for prediction of QATarget related parameters:

Path type:	E1
Mean number of bit errors per burst, m:	1

Propagation Algorithms:

Default table:	Algeria ATM 500K

Obstacle attenuation:

Obstacle attenuation algorithm:	Smooth Spherical Earth Method (CHERIEX)

Gas attenuation:

Gas algorithm:	CCIR, Vol V, Rep 719-3

Rain fading:

Rain fading algorithm:	ITU-R, Rec P.530-10

Rain XPD Fading:

Rain XPD algorithm:	ITU-R, Rec P.530-10

Refraction:

Refraction algorithm:	k-Distribution Based Method (ERA)

Flat multipath fading:

Multipath flat propagation algorithm:	ITU-R, Rec P.530-10, Quick

Frequency selective multipath fading:

Frequency selective multipath algorithm:	ITU-R, Rec. P.530-10

Diversity fading:

Diversity fading algorithm:ITU-R, Rec P.530-10

Clear air XPD fading:

Clear air XPD fading algorithm:ITU-R, Rec P.530-10

Quality and Availability Algorithms:

G.821: Ericsson method
G.826, G.828: ITU-R, Rec F.1605

Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31

2016-06-05 16:05:45
5 (5)

Propagation Algorithms Parameter Settings

Gas attenuation:

Temperature:	25 °C
Relative humidity:	80 %
Atmospheric pressure:	1013.25 hPa

Rain fading:

Rain zone:	-
Rain intensity (0.01% of t.):	21 mm/h
SESR fraction of rain fading:	80.0 %
Rain conversion factor Q1:	2.85
Rain conversion factor beta:	0.13

Rain XPD Fading:

Rain XPD U0 parameter:	15.0 dB
Rain XPD conversion factor Q1:	2.85
Rain XPD conversion factor beta:	0.13

Refraction:

Earth Radius Factor:	
k at normal atmosphere:	1.33
k-value statistics:	k distribution PL 2%
Refraction conv. factor Q1:	2.85
Refraction conv. factor beta:	0.13

Flat multipath fading:

Terrain Factor, C:	Average propagation conditions
Latitude:	<= 53° N or S
Longitude:	Europe and Africa
Terrain type:	-
Terrain class:	-
Coastal fraction:	-
Point refractivity gradient:	-250.0 N-unit/km
Area terrain roughness:	1.0 m
PL-factor (av. refr. grad.):	2 %
Lower antenna altitude:	-
Multipath flat conversion factor Q1:	2.85
Multipath flat conversion factor beta:	0.13

Frequency selective multipath fading:

Normalization exponent (n):	1.5
Exponent factor (y):	0.2
Time delay factor (A):	0.043
Time delay factor (B):	28.300
Time delay factor (C):	2.400
Constant (K):	0.300
Taum0:	0.7
C-pb (1):	2.16
Signature width:	14.0 MHz
Signature height:	29.0 dB
Time delay:	6.3 ns
Freq. selective conversion factor Q1:	2.85
Freq. selective conversion factor beta:	0.13

Clear air XPD fading:

Clear air XPD fading conversion factor Q1:2.9
Clear air XPD fading conversion factor beta:0.1

Mentum LinkPlanner ver: 7.0.1.31

Références Bibliographiques

[1]: C. DEMOULIN, M. VAN DROOGENBROECK :Principes de base du fonctionnement du réseau GSM. Revue de l'AIM, pages 3.18, N04, 2004.

[2]: Meddour Cherrif, direction de transmission Sous direction méthode et outille Mobilis, Rapport d'étude d'un système de transmission GSM.

[3]: CoursB11 : Transmission des télécommunications, partie 2, chapitre 5: transmission sue fibre optique, CNAM-paris, 2005.

[4]: MSidwagnan Cheik, Etude et mise en place d'un réseau de transmission par faisceau Hertzien pour un réseau CDMA cas de ZTE, Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des travaux de télécommunications, Ecole Supérieure Multinationale des télécommunications Dakar-Sénégal,2006-2008.

[5]: Ingverhenne and per thorvaldsen, Plainning of line-of-sight radio relay sesytem, Printed in Bergen, 1999.

[6]: Sami Tabbane, Ingénieur des réseaux cellulaire, Ed : Hermes Science,2002.

[7]: Principes de fonctionnement des réseaux mobiles : Application au GSM / Dpt.R&T**.** -Chatellerault- I.U.T. de Poitiers :Année Universitaire 2010-2011.

[8]: Jean-François PILLOU : Le standard GPRS, Septembre 2015.

[9]: Jean philippe muller: Le réseau GSM et le mobile; version 07/2002.

[10]: ITU-D/imt-2000/ DocumentsIMT2000/IMT-2000.pdf.

[11]: Téléphonie mobile : le point sur la 3G et Edge sur clubic. com, juin 2006

[12]: J AUVRAY Systèmes électroniques 2000-2001 .page : 247-248. Université Pierre et Marie Curie IST SETI.

[13]: INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE, ANTENNES SUPPORT DE COURS ENONCE DE TRAVAUX DIRIGES / Octobre 2011.

[14]: Réseaux publics de télécommunication. INTRO (Ed. 3. 4. Révision : 9/01).

[15]: SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS, Base de transmission, par P.G. Fontolliet, chez DUNOD Collection CNET-ENST

[16]: SDH Principle, ZTE University transmission Course Team.

[17]: LES RESEAUX SYNCHRONES ETENDUS PDH ET SDH, Par Gérard Bouyer, chez Hermes, ISBN : 2-86601-644-0, (EMI : 681.3.5/BOU).

[18]: iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GTR/gsm2/monsite/chapitre1/1.4.htm.

[19]: Simon ZNATY EFORT / GPRS : Principes et architecture.

[20]: INSTALATION ET MISE EN SERVICE FAISCEAU HERTZIEN ALCATEL9400UX, ZIMMER Baptiste, IUT Nancy Brabois.

[21]: X. Lagrange, ENST Bretagne, Ecotel, Cours sur les Réseaux mobiles 2 G et 3G, déc 2004.

[22]: Ivain KESTELOOT, Stéphane RZETELNY, Eric JULLIEN, Nouvelles Technologies Réseaux: SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

[23]: Réseaux R1, Cours 5 : Transmissions sur onde porteuse : modulations numériques 2006-2007.

[24] : Huawei propose une gamme de produits qui supporte cette bande. D'autres constructeurs comme NSN supportent une gamme de fréquence similaire.

[25]: NESIC CAIRO, International Training Center, PASOLINK NEO Training.

ملخص:

تعتبر شبكة الهاتف النقال من أهم الشبكات المستعملة, لذا يهتم كل متعاملين الهاتف النقال في العالم بصفة عامة وفي الجزائر بصفة خاصة بتوسيع هذه الشبكة من اجل ضمان تغطية اكبر عدد ممكن من الزبائن مع ضمان أفضل جودة وأحسن نوعية للتغطية.

تعد موبيليس من بين أهم متعاملين الهاتف النقال في الجزائر, فمي مهتمة بتوسيع شبكتها باستمرار وتحسين تغطيتها ونوعيتها معتمدة على مهندسيها, ومستعملة في ذلك احد أهم وأشهر البرامج المتمثل في mentum Link planner الذي يقوم بإجراء دراسة شاملة لإمكانية توسيع الشبكة وفق مرحلتين هما: التحليل و التخطيط.

Résumé :

Le réseau mobile est considéré comme le plus important réseau utilisé dans le monde, pour cela tous les opérateurs de téléphones mobiles dans le monde en général -et en Algérie en particulier- est intéressé au déploiement du ce réseau afin d'assurer la couverture du plus grand nombre possible de clients avec la meilleure qualité de la couverture.

ATM MOBILIS est parmi les opérateurs les plus importants de téléphone mobile en Algérie, elle est intéressé à étendre son réseau et constamment améliorer la couverture et la qualité en fonction de ses ingénieurs, en utilisant un programme très important et puissant mentum Link Planner qui effectue une étude approfondie de la possibilité d'étendre le réseau en conformité avec les deux phases: l'analyse et la planification.

Abstract:

The mobile network is considered the largest network used around the world, one for the mobile network that all mobile operators in the world in general-and in Algeria in particular-is interested in the deployment of this network in order to ensure coverage of the largest possible number of customers with the best quality of coverage.

ATM Mobilis is among the largest mobile telephone operators in Algeria, she is interested in expanding its network and continuously improve the coverage and quality for its engineers, using a very important program and powerful mentum Link Planner that performs depth study of the possibility of expanding the network in accordance with the two phases: analysis and planning.