REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU

FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE

OPTION: TELECOMMUNICATIONS ET RESEAUX

THÈME

ETUDE ET PLANIFICATION D'UNE LIAISON FHN HYBRIDE 2G, 3G

Proposé et dirigé par :

M^{r} M.TAHANOUT

Co-Promoteur T. LAHDIRI

Co-promoteur M.ABRICHE

Présenté par :

M^{elle} MOUAS Dhrifa

M^{elle} MOUSSAOUI Malha

Promotion : 2012/2013

REMERCIEMENT

D'abord, nous tenons à remercier le bon dieu de nous avoir accordée la force et le courage de munir à terme ce mémoire.

Ensuite, Nos remerciements LES plus vifs s'adressent à notre promoteur ***Mr M .TAHANOUT*** *enseignant à l'université De TiziOuzou, pour les efforts qu'il a déployé.*

Nous remerciements s'adressent aussi à nos Co-promoteur ***Mr T.Lahdiri,*** *chef de service de transmissionà mobilis de Tizi-Ouzou.*

Nous remercions vivement ***Mr M.ABRICHE ,****sous directeur de transmission à mobilis d'Alger et toute l'équipe du service en particulier* ***Mr. N.OUNISSI*** *Pour l'intéressante documentation qu'ils ont mise à notre disposition, Pour leurs conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'ils nous ont apportées durant notre stage et réalisation de ce projet.*

Nos remerciement vont également au président et aux membres du jury qui nous ferons l'honneur d'évaluer notre modeste travail, ainsi qu'à tous les enseignants qui ont contribué a notre formation.

Sans omettre bien sûr de remercier profondément à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

Dédicaces

Je rends grâce à **Dieu** de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir pu terminer mes études

Je dédie ce modeste travail **:**

A la prunelle de mes yeux et à la lumière de ma vie, à ma très chère mère et père

Pour l'amour et le soutien qu'il m'a apporté,

A mon chèr grand Père,

A ma très chère sœur Ghania et mes chèrs frères, rachid, idir, boulem, yacine, aziz

A mes très chèrs amis (Samira, Sabrina, Karima, Saida ,Lydia,Malika, Lila,

Zahia, Djilali,Yazid, Sliman,Kamal, Krimo, Takfa, Hocine et Said),

A ma très chère amie et binôme Malha et sa famille,

A ma très chère famille sans exception,

Toute la section de Master II Electronique sans exception,

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant mes études.

DHRIFA

Dédicaces

Je rends grâce a **Dieu** de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir pu terminer mes études.

Je dédie ce travail :

Aux deux grands être les plus chères de ma vie, Ma Mère et mon Père, qui m'ont soutenu tout au long de mes études et grâce à qui j'en suis arrivé là.

A ma chère grande mère.

A mes chèrs frères : Nourdine, sa femme Hassiba et ses enfants, Samir et Boussad.

A mes chères sœurs : Hammama, Yamina, son mari et ses enfants, Zahoua, son mari et ses enfants, Naima, son mari et ses enfants, Abla et son mari.

A tous mes chèrs amis surtout (Sabrina, Samira, Ghania et Slimane, Malika, Lila, Zahia, Djamel, Krimo, Takfa, Hocine, said et Kamel).

A ma très chère amie et binôme Dhrifa et sa famille.

Toute la section de Master II Electronique sans exception.

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant mes études

MALHA

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale……...1

Chapitre I : évolution de la téléphonie mobile

I.1. Introduction 3

I.2. Infrastructure d'un réseau GSM 3

I.2.1. Le concept cellulaire 4

I.2.2. Architecture d'un réseau GSM 5

I.2.2.1. Le sous-système radio (BSS) 6

I.2.2.1.1. Station mobile (MS – Mobile Station) 6

I.2.2.1.2. La station de base (BTS) 6

I.2.2.1.3 Le contrôleur de station de base (BSC) 8

I.2.2.2. Le sous-système réseau (NSS) 9

I.2.2.2.1. Le centre de commutation mobile (MSC) 9

I.2.2.2.2. L'enregistreur de localisation nominale (HLR) 9

I.2.2.2.3. Le centre d'authentification (AuC) 10

I.2.2.2.4. L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) 10

I.2.2.2.5. L'enregistreur des identités des équipements (EIR) 10

I.2.2.3. Sous-système opération (OSS) 11

I.2.2.3.1. le centre d'exploitation et de maintenance (OMC) 11

I .2.2.3.2. Le centre de gestion de réseau(NMC) 11

I .2.2.3.3. Administration du réseau de télécommunications (TMN) 11

I.2.3. Fonctions et protocoles d'un système GSM 11

I.2.4. Interfaces réseau 13

I.2.5. caractéristiques du réseau GSM 15

I.2.5.1. bande de fréquence 15

I.2.5.2. La modulation GMSK 16

I.2.5.3. Méthode d'accès d'abonnés au réseau GSM 17

I.2.5.3.1. Le partage en fréquence FDMA (Frequency Division Multiple Access) 17

I.2.5.3.2. Le partage en temps TDMA (Time Division Multiple Access) 18

I.3. l'infrastructure d'un réseau GPRS 20

I.3.1. l'architecture d'un réseau GPRS 20

I.3.2. Les interfaces réseau GPRS 23
I.3.3. l'acheminement en mode paquet ..... **Erreur ! Signet non défini.**
I.4. L'émigration vers l'UMTS ou le réseau EDGE 25
I.5. Infrastructure d'un réseau UMTS 25
I.5.1. les avantages de l'UMTS 25
I.5.2. l'architecture d'un réseau UMTS 26
I.5.2.1. Le réseau d'accès radio UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) 26
II.5.2.2. cœur du réseau 27
I.5.3. les interface utilisées dans le réseau UMTS 28
I.5.4. caractéristiques techniques 28
I.5.4.1. méthodes d'accès 28
I.5.4.2. modes d'accès 30
I.5.4.3. le spectre des fréquences 31
I.5.4.4. couverture globale du l'UMTS 32
I.5.5. UMTS vs GSM 33
I.6. conclusion 33

Chapitre II :Technique de transmission

II.1. Introduction 34
II.2. Cas de transport de la capacité TDM 35
II.2.1. La hiérarchie PDH 35
II.2.1.1.La trame de base E1 35
II.2.1.2. Limitations de la PDH 36
II.2.2. Evolution vers un système synchrone SDH ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.2.2.1. Le multiplexage SDH 40
II.2.2.1.1. Les conteneurs de niveau n(C-n) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.2.2.1.2. Le conteneur virtuel (VCn) 41
II.2.2.1.3. L'unité d'affluent (TU-n) 42
II.2.2.1.4. Le groupe d'unités d'affluent (TUG-n) : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.2.2.1.5. L'unité administrative (AU-n) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.2.2.1.6. Le groupe d'unités administratives (GUA-n) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.2.2.1.7. L'arbre de multiplexage SDH ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.2.2.1.8. La trame de base STM1 ..... **Erreur ! Signet non défini.**
II.2.2.1.9. La trame STM-n ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.2.17.Structure de la trame STMn……..46

II.2.2.2 Topologies du réseau SDH..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.2.3. Infrastructure du réseau SDH..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2.2.3.1. Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS) 48

II.2.2.3.2.Multiplexeurs insertion/extraction (MIE) 48

II.2.2.3.3.Brasseur (DXC : Digital Cross-Connect) 49

II.2.2.4. Les interfaces utilisés dans le réseau SDH..... 49

II.2.2.5. La synchronisation du réseau SDH 50

II.2.2.5.1. La sécurisation de la synchronisation..... 51

II.2.2.6. Insertion d'affluents dans un STM1 51

II.2.2.6.1. Insertion d'un affluent de 140 Mbit/s dans une STM-1 :..... 51

II.2.2.6.2.Insertion d'affluent 34Mbit/s dans un STM1..... 52

II.2.2.6.3. Insertion d'affluent 2Mbit/s dans un STM1..... 52

II.2.2.7. La protection de fonctionnement dans les réseaux SDH 53

II.2.2.7.1. La protection de carte..... 53

II.2.2.7.2.La protection de la section de multiplexage MSP..... 54

II.2.2.7.3.Protection SNCP..... 55

II.3 Cas de transport de la capacité Ethernet (IP)……..56

II.3.1. La trame Ethernet..... 56

II.3.2. Les champs de la trame Ethernet..... 56

II.3.3.Types de réseaux Ethernet..... 57

II.3.3.1. Fast Ethernet..... 57

II.3.3.2. Gigabit Ethernet..... 57

II.3.3.3. 10 Gigabit Ethernet..... 57

II.4. les VLAN (virtual local area network)..... 57

II.4.1. Les avantages des VLANs sont les suivants..... 58

II.4. CONCLUSION..... 59

Chapitre III LES Faisceaux hertziens numériques

III.1.Généralités sur les faisceaux hertziens..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2. Equipements d'une liaison hertzienne..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2.1. IDU ..... **Erreur ! Signet non défini.**1
III.2.1.1. Les cartes interface 62
III.2.1.2. Les cartes modem 62
III.2.1.3. La carte mère 63
III.2.1.4. La carte d'alimentation 63
III.2.2.Le câble IF 63
III.2.3. L'ODU 63
III.2.4. Le Coupleur Hybride 64
III.2.5. Antenne 64
III.2.6. Pôle 64
III.3. Planification d'une liaison FH 65
III.3.1. Visite technique du terrain 65
III.3.2. Dimensionnement d'un bond 65
III.3.3. Choix optimal des hauteurs de fixation des antennes 66
III.3.4. Plan de fréquence et types de modulation 67
III.3.5.Choix des antennes 67
III.3.6. Protection nécessaire 68
III.3.7. Aide à la planification par logiciel 69
III.4. Mise en service d'une liaison par faisceaux hertziens 70
III.4.1. Pointage des antennes 70
.III.5. Contraintes de propagation en visibilité directe 70
III.5.1. L'équation de la télécommunication 71
III.5.2.Ellipsoïde de Fresnel 73
III.6.Effets de la basse atmosphère sur la propagation 74
III.6.1. Réflexion 74
III.6.2. Diffraction 74
III.6.3. Diffusion 75
III.6.4. Absorption 75
III.7. Atténuation du signal pendent la propagation 75
III.7.1. Atténuation en espace libre 75
III.7.2. Atténuation atmosphérique 76
III.7.2.1. Atténuation due au gaz de l'atmosphère 76
III.7.2.2.Atténuation due à la pluie 76
III.7.3. Atténuation due à l'onde de sol 76

III.7.4. Trajets multiples (multipath) 77
III.7.5. L'interférence 77
III.8. bilan de la liaison 78
III.9. Avantages et Inconvénients d'une liaison par faisceau hertzien 80
III.10. CONCLUSION 81

Chapitre IV: Planification d'un lien FHN en 3G

IV.1. Introduction 82
IV.2. Architecture du réseau Mobilis dans la région de Tizi-Ouzou 82
IV.3. Analyse de données de mesure sur une liaison point à point 83
IV.3.1.caractéristiques de la liaison 83
IV.3.2. Mesure de Puissance émise et reçue de liaison 83
IV.4. Planification de la route FH 86
IV.4.1. Description du logiciel 86
IV.4.2. Dimensionnement de la liaison 87
IV.4.3. Planification des sites 89
IV.4.4. Calcul de l'interférence 96
IV.4.5. Calcul du bilan d'une liaison 98
IV.4.6. Validation de la planification par logiciel 99
IV.5. Configuration des équipements 102
IV.6. Supervision de la route 108
IV.6.1. Description du logiciel de design 109
IV.6.2. Configuration réseau (les nœuds de la route) 109
IV.7. Conclusion 113
ConclusionGénérale… 114

Liste de figures

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Cellules GSM **4**

Figure I.2. Les micros et macros cellules **5**

Figure I.3. Architecture du réseau GSM. **5**

Figure I.4. Schéma fonctionnel globale d'une BTS. **7**

Figure I.5. Protocole GSM. **12**

Figure I.6. Les interfaces dans le réseau GSM. **13**

Figure I.7. Les bandes de fréquence utilisées dans le GSM 900. ..... **15**

Figure I.8. Les bandes de fréquence utilisées dans le GSM1800. ..... **16**

Figure I.9. Modulation GMSK. **17**

Figure I.10. Le partage en fréquence. ..... Erreur ! Signet non défini.

Figure I.11. Canal de transmission GSM. **18**

Figure I.12. Durées de transmission et de restitution. **19**

Figure I.13. La trame E1. ..... **19**

Figure I.14. L'architecture d'un réseau GPRS. **21**

Figure I.15. L'acheminement en mode paquet. **24**

Figure I.16. L'architecture d'un réseau UMTS. **26**

Figure I.17. Répartition de code CDMA. **29**

Figure I.18. Le code de NRZ. **30**

Figure I.19. Le mode FDD. **30**

Figure I.20. Le mode TDD. **31**

Figure I.21. La couverture globale de l'UMTS. **32**

Figure II.1.Multiplexage PDH. **35**

Figure .II.2. La trame E1. ..... **36**

Figure II.3. Gigue du signal. **37**

Figure II.4.Le régénérateur. **37**

Figure II.5. Les zones d'une trame justifiée. **38**

Figure II.6.Les principaux avantages du SDH. ..... Erreur ! Signet non défini.

Figure II.7.L'emplacement de la SDH dans le modèle OSI . ..... Erreur ! Signet non défini.

Figure II.8. Les niveaux de multiplexage SDH. ..... Erreur ! Signet non défini.

Figure II.9. Le conteneur. **41**

Figure II.10.Conteneur virtuel. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure II.11. Unité d'affluent. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure II.12. Groupe d'unité d'affluent. **43**
Figure II.13. Unité administrative. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure II.14. Multiplexage SDH. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure II.15. Structure de la trame STM-1. ..... **44**
Figure II.16. La constitution de la trame STM1. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure II.18. Multiplexage par entrelacement d'octets. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure II.19. Le SOH dans un STM-n. **46**
Figure II.20.Topologie en anneau. **47**
Figure II.21.Topologie en étoile…..…… **47**
Figure II.22. Topologie en bus. **47**
Figure II.23. Infrastructure du réseau SDH. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure II.24. Multiplexeur terminal. **48**
Figure II.25. Multiplexeur insertion/extraction (MIE/ADM). ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure II.26. Interconnexion d'ADM. **49**
Figure III.27. Sous-systèmes fonctionnels d'un brasseur. **49**
Figure II.28.Synchronisation. **50**
Figure II.29. Priorité de source de synchronisation dans une boucle. **50**
Figure II.30. Cas nominale **51**
FigureII.31.Casd'undéfaut……..…51
Figure II.32. Mise en place d'un VC3 et intégration dans un VC4. ..... **52**
Figure III.33. La protection 1+1. …..…… ...54
FigureIII.34.Laprotection……54
Figure II.35. La protection MSP. **54**
Figure II.36. La protection 1+1. ..... **55**
Figure II.37. SNCP sur une topologie en anneau. **56**
Figure II.38. La trame Ethernet. **57**
Figure III.1.Structure d'une liaison FH. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure III.2. les équipements d'une liaison FH. ..... Erreur ! Signet non défini.
Figure III.3. Schéma synoptique d'un émetteur-récepteur d'une liaison FH NumériqueErreur ! Signet non
Figure III.4. Architecture du système IDU. **62**
FigureIII.5. Lecâble IF. **63**

Figure III.6. L'ODU. 63
Figure III.7. Le coupleur hybride. 64
Figure III.8. L'antenne. 64
Figure III.9. La technologie XPIC. 68
Figure III.10. Liaison en visibilité directe. 71
Figure III.11.Energie rayonnée par une source radioélectrique. 71
Figure III.12. L'ellipsoïde de Fresnel. 73
Figure III.13. L'onde de sol. 76
Figure III.14. Schéma illustratif des caractéristiques du bilan de liaison. 80
Figure IV.1. Architecture du réseau mobile de la région. 82
Figure IV.2. Niveaux d'émission (Tx) et de réception (Rx) des radios en dBm (TiziOuzou vers Balloua)……...84
Figure IV.3. Niveaux d'émission (Tx) et de réception (Rx) des radios en dBm (Ballaoua vers Tizi-Ouzou)…….……..84
Figure IV.4. Puissance du Signal émis (Tx) en dBm (Tizi-Ouzou vers Ballaoua) dans l'état pluvieux 4mm/h…….....85
Figure IV.5. Puissance du Signal reçu (Rx) en dBm (Tizi-Ouzou vers Ballaoua) dans l'etat pluvieux 4mm/h……..….....85
Figure IV.6. Logiciel Ellipse(8)……..…..…. 87
Figure IV.7. Image d'un équipement NEC configuré en 4+0……...….88
Figure IV.8. Diamètres d'antennes et Distance entre sites…….....89
Figure IV.9. création d'un nouveau site……..90
Figure IV.10. insértion des cordoonée GPS..... 90
Figure IV.11. La position du 1er site. **90**
Figure IV.12. Création du 2éme site. **91**
Figure IV.13. Position du 2éme site. **91**
Figure IV.14. L'icône de visibilité. **91**
Figure IV.15. La visibilité entre les deux sites. 92
Figure IV. 16. Choisir les types des équipements utilisés. 92
Figure IV. 17. Choisir les caractéristiques du câble coaxial. 93
Figure IV.18. Choisir le nombre de canaux. 94
Figure IV.19. Le chois de 4 canaux 94
Figure IV.20. La configuration de chaque canal..... 95

Figure IV.21. Détermination de la capacité TDM et IP **95**
Figure IV.22. La route reliant le site Bejaia a celui de Tizi-Ouzou **96**
Figure IV.23. Analyse d'interférences **96**
Figure IV.24. Les résultats du lien donnés par le logiciel **99**
Figure IV.25. Vérification de la visibilité par logiciel **101**
Figure IV.26. Fenêtre DOS. **102**
Figure IV.27. Page WEB. **102**
Figure IV.28. Les différents éléments de l'équipement. **103**
Figure IV.29. Le nombre de modems à utilisé **103**
Figure IV.30. Le choix de la technologie XPIC. **104**
Figure IV.31. La bande passante du canal. **104**
Figure IV.32. Le type de la modulation. **104**
Figure IV.33. Le mode radio **104**
Figure IV.34. La fonction MTCP. **104**
Figure IV.35. La configuration de l'AMR. **105**
Figure IV.36. La configuration Radio **106**
Figure IV.37. Configuration des STM-1 **106**
Figure IV.38. Configuration de l'Ethernet. **107**
Figure IV.39. Configuration des VLAN. **107**
Figure IV.40. Configuration de la Synchronisation. **108**
Figure IV.41. L'espace de travail. **109**
Figure IV.42. Choisir le type d'équipement. 110
Figure IV.43. Les nœuds du réseau. 110
Figure IV.44. Le choix du nombre de Modem. 111
Figure IV.45. Le nom de l'élément. 111
Figure IV.46. La plage d'adresse. 112
Figure IV.47. La configuration de l'adresse NTP 112
Figure IV.48. Schéma qui définie l'adresse de chaque site. 113
Figure IV.49. La configuration du site avec une adresseIP 113

Liste des tableaux

Tableau I.1. Les interfaces du réseau GSM.

Tableau I.2. Les interfaces du réseau GSM.

Tableau I.3. Les fréquences utilisées pour le CDMA.

Tableau IV.1. Les interférences existantes dans le lien.

Tableau IV.2. Les niveaux d'interférence.

Tableau IV.3. Résultat de Paramétrage pour toutes les stations planifiées sur le canal en polarisation Horizontale.

Introduction Générale

Introduction générale

Les réseaux de télécommunications sans fil font aujourd'hui partie de notre quotidien et sont devenus indispensables pour notre majorité, aussi bien pour la vie professionnelle que privée. Les exemples d'applications sont multiples : téléphones cellulaires, liaisons satellitaires, liaisons hertziennes, réseaux locaux d'entreprise, internet, etc.

Dans le souci de permettre aux clients de télécommunications de communiquer partout, en temps réel avec la disponibilité qualitative des différents services multimédia, bon nombre des entreprises s'interrogent sur les infrastructures les plus adaptées qui permettraient de répondre correctement à ces exigences. C'est pourquoi, on aperçoit aujourd'hui, ce développement des technologies de l'information et de la communication avec des outils très efficaces déployés sur la quasi-totalité du territoire. Pour assurer un débit suffisant pour un client connecté à un réseau donné, les différents opérateurs de télécommunications ne ménagent aucun effort pour installer des réseaux filaires et sans fil qui répondent aux nouvelles normes des dernières générations des réseaux de télécommunications. La fibre optique reste la plus performante, dans ce cas, pour véhiculer un débit de plus en plus important. Toutefois, dans certaines régions, telles que les régions montagneuses ou à accès difficiles, l'installation d'une fibre optique revient assez chère. C'est pourquoi les liaisons sans fil haut débit du Faisceau Hertzien numérique (FHN) sont un moyen très commode pour remplacer ces fibres optiques même dans certaines parties de réseaux de la téléphonie fixe.

Pour assurer un débit assez élevé, les liaisons FHN travaillent souvent en visibilité direct à des fréquences très élevées de l'ordre de Giga-Hertz en large bande. Comme le signal est transmis directement dans l'air, les perturbations météorologiques, les trajets multiples ou d'autres sources hyperfréquences peuvent venir perturber le bon fonctionnement de ces liaisons, donc, réduire les performances de transmissions et le débit numérique.

Pour avoir une idée de ces phénomènes perturbateurs, notre travail consiste à l'étude d'une liaison FHN 2G dans un premier temps. Ensuite, l'étude d'un système hybride 2G-3G d'une liaison FHN. Dans le premier cas nous nous intéressons à l'acquisition de données dans le système MOBILIS afin d'analyser l'atténuation d'une liaison FHN en mesurant les puissances émises et reçues. Le deuxième cas a pour objectif l'étude des équipements nécessaires pour la 3G, la planification et la configuration d'une liaison FHN hybride pour la cohabitation 2G-3G.

Pour présenter notre travail, ce mémoire est réparti en quatre chapitres. Le premier est consacré à l'évolution de la téléphonie mobile en donnant un aperçu sur l'évolution vers la 3ème génération 3G (réseaux GSM, GPRS et UMTS), leurs architectures, leurs fonctionnements et leurs différentes caractéristiques. Le deuxième chapitre s'intéresse aux techniques de transmission. Nous y avons décris les principes du multiplexage et les technologies de transmission qui reposent sur les hiérarchies numériques de transmission telles que le PDH et le SDH, les caractéristiques de la trame Ethernet et le principe des VLANs (virtuel local area network). Le troisième chapitre donne le détail de l'ingénierie sur les faisceaux hertzien nécessaire au déploiement des sites réseaux et les équipements utilisés en se basant sur les notions théoriques et pratiques des liaisons radiofréquences point à point en visibilité direct. Le quatrième chapitre traite deux parties. Dans la première partie, nous y avons présenté un exemple pratique d'une installation FHN reliant une BTS à un BSC Mobilis dans la région de Tizi-Ouzou et une acquisition de données (Tx, Rx) de cette liaison. Dans la deuxième partie, nous avons présenté un cas pratique de planification et configuration d'une liaison FHN haut débit reliant un site Mobilis de Bejaïa à celui de Tizi-Ouzou à travers de plusieurs stations relais.

CHAPITRE I

Evolution de la Téléphonie Mobile

I.1. Introduction

Après la première génération de la téléphonie mobile qui est apparue dés le début des années 80, caractérisée par une modulation analogique et ayant comme service unique la voix et qui présentait beaucoup d'inconvénients, et la seconde apparue au début des années 90, caractérisée par une modulation numérique et une normalisation internationale mais régionale comme la norme GSM (Global System for Mobile Communication), qui assure le transfert de la voix et des données bas débit avec une meilleure qualité de communication, mais avec la croissance des abonnées la capacité des réseaux 2G n'est plus suffisante, la mobilité à l'échelle mondiale n'est pas toujours garantie en plus d'une limite des offres de services. Pour empêcher ces insuffisances, deux solutions sont adoptées :

- **A court terme :** le passage vers une technologie 2.5 G (GPRS : Global Packet Radio Service) avec un coût d'évolution minime.
- **A long terme :** la conception complète d'un nouveau standard (UMTS : Universal Mobile Telecommunication) avec un coût élevé mais une large panoplie de service.

I.2. Infrastructure d'un réseau GSM

La norme GSM est un réseau de communication cellulaire numérique. A pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC- réseau fixe).Un système GSM offre, avec une qualité sans cesse croissante, plusieurs services tels la téléphonie mobile, la transmission de données et la transmission de messages multimédia sans modification des informations véhiculées.

L'idée d'un système radio mobile basée sur une structure cellulaire a été élaborée au début des années '70, dans les laboratoires de Bell aux USA. Cependant, ce n'est qu'au cours des années '80 qu'on a vu l'implantation et l'exploitation commerciale de réseaux de téléphones cellulaires analogues.

I.2.1.Le concept cellulaire [1]

Un réseau GSM compte une (ou plusieurs) station de base par cellule. La station mobile choisit la cellule selon la puissance du signal. Une communication en cours peut passer d'une cellule à l'autre permettant ainsi la mobilité des utilisateurs.

Le principe du système cellulaire est de diviser le territoire en des petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base (reliée au Réseau Téléphonique Commuté, RTC) à laquelle on associe un certain nombre de fréquences. Comme précédemment, ces fréquences ne peuvent pas être utilisées dans les cellules adjacentes afin d'éviter les interférences. Ainsi, on définit des motifs, appelés motifs ou clusters, constitués de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois.

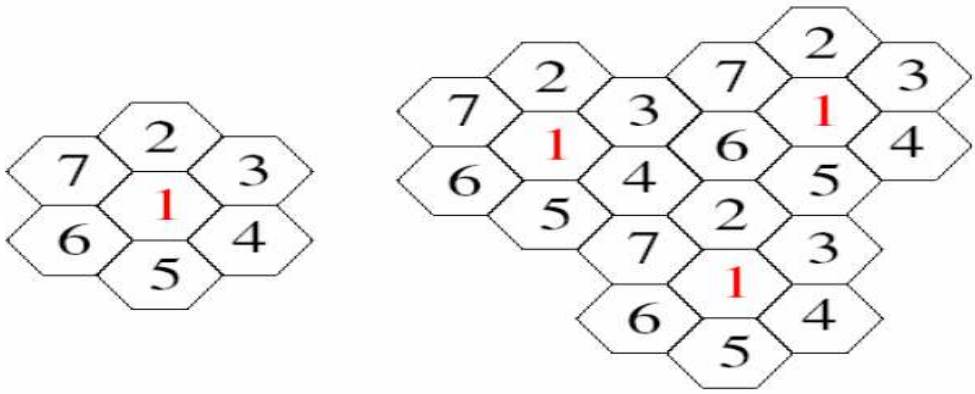


Figure I.1. Cellules GSM

Chaque cellule se caractérise par : sa puissance d'émission, la fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radioélectrique, et le réseau auquel elle est interconnectée.

La taille des cellules n'est pas la même sur tous le territoire. Elle dépend :

- Du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone.
- De la configuration du terrain (plateau, montagnes,..).
- De la nature des constructions (maisons, pavillons, immeubles en bétons,…).
- De la localisation (rurale),suburbaine (ou urbaine).

Et d'après ces paramètres on distingue différents types de cellules, on site les deux principales :

- ✓ **Les macrocellules :** Ce sont des cellules de taille importante adaptées aux zones rurales faiblement peuplées. Vu leurs tailles, les émetteurs s'y trouvant, doivent fournir des puissances très grandes.
- ✓ **Les microcellules :** Adaptées aux zones urbaines denses, ce sont des cellules de très petite taille (quelques centaines de mètres de rayon 500 m).Elles permettent d'écouler un trafic important par unité.

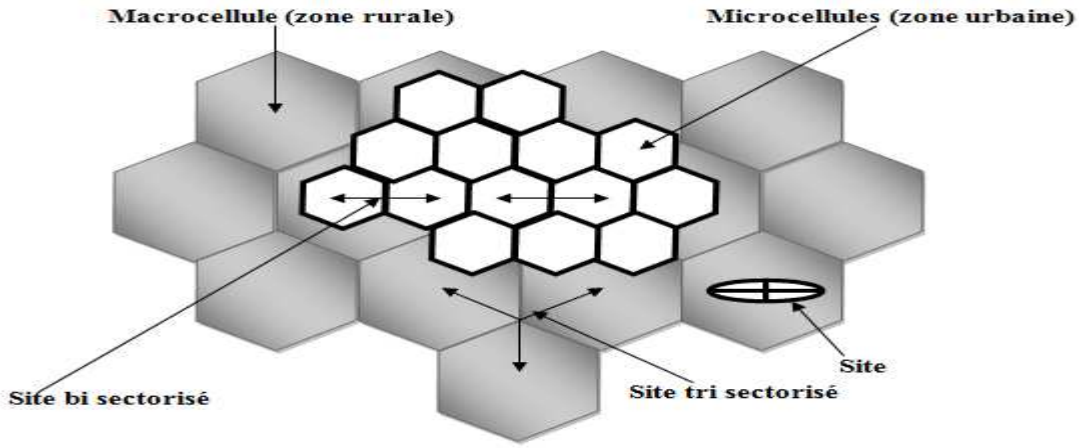


Figure I.2. Les micros et macros cellules

I.2.2.Architecture d'un réseau GSM

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes :

1) Le sous-système radio (BSS) contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur.

2) Le sous-système réseau (NSS) ou d'acheminement.

3) Le sous-système opérationnel (OSS) ou d'exploitation et de maintenance.

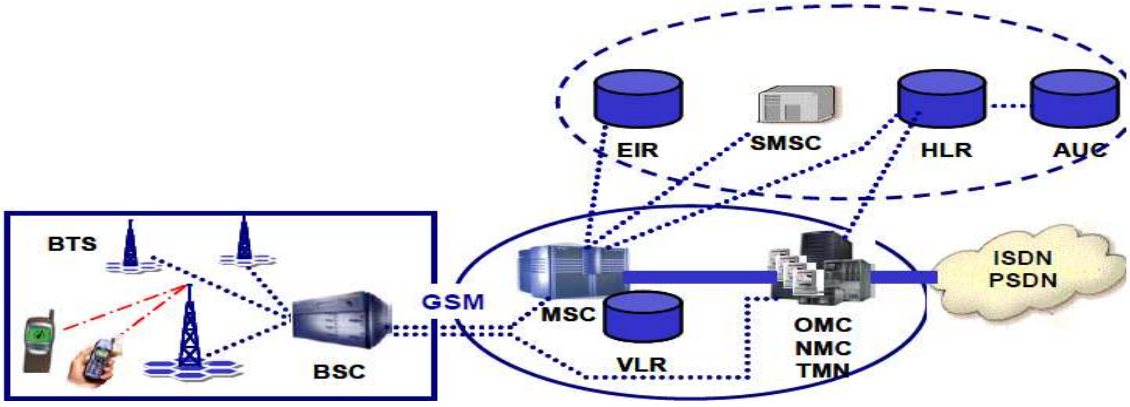


Figure I.3. Architecture du réseau GSM [2]

I.2.2.1. Le sous-système radio (BSS)

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

I.2.2.1.1. Station mobile (MS – Mobile Station)

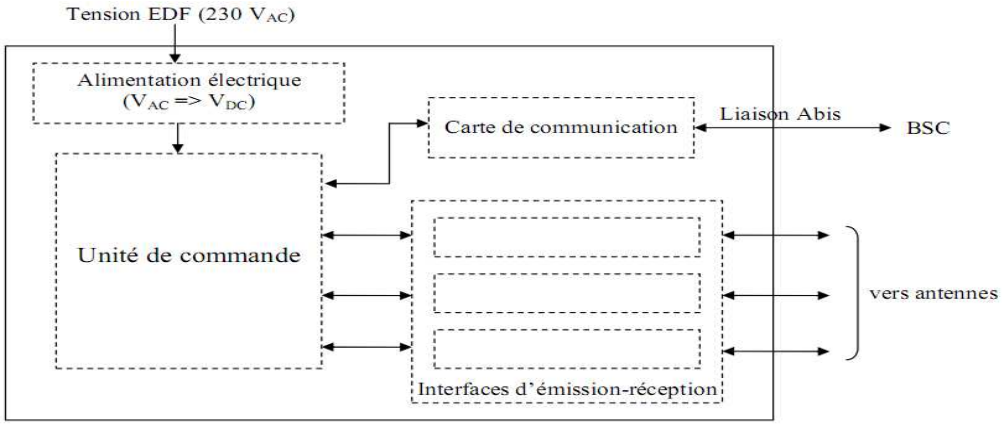
La station mobile est composée d'une part du terminal mobile, et d'autre part du module d'identité d'abonné (SIM – SubscriberIdentity Module), et c'est les seuls éléments aux quels un utilisateur a directement accès. Le terminal mobile est l'appareil utilisé par l'abonné, Chaque terminal mobile est identifié par un code unique IMEI (International Mobile Equipment Identity). Ce code est vérifié à chaque utilisation et permet la détection et l'interdiction des terminaux volés.

La carte SIM est une carte à puces qui contient dans sa mémoire le code IMSI (International Mobile SubscriberIdentity) qui identifie l'abonné, la principale fonction de la carte SIM est de contenir et de gérer une série d'informations, elle se comporte donc comme une mini-base de données.

I.2.2.1.2. La station de base (BTS)

Il s'agit des antennes et des équipements électroniques (amplificateurs, alimentations, …) installés à proximité de celles-ci. Chaque BTS réalise la couverture radio d'un certain territoire (appelé « cellule ») dont le rayon varie entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres.

C'est la station de base qui fait le relais entre le mobile et le sous-système réseau. Comme lemultiplexage temporel est limité à 8 intervalles de temps, une station de base peut gérer tout au plus huit connections simultanées par cellule. Elle réalise les fonctions de la couche physique et de la couche liaison de données.



FigureI.4. Schéma fonctionnel globale d'une BTS**[3]**

Une BTS est composée de trois équipements principaux : équipement d'énergie, équipement de transmission et de protection.

- **Equipement d'énergie**

L'alimentation de l'unité de transmission se fait avec la tension du réseau 220V alternatif. Ensuite, le redresseur convertit cette tension en une tension continue (-60 à + 20 V) pour l'alimentation de tous les éléments de la BTS, qui peut consommer jusqu'à une trentaine d'ampères en fonctionnement à plein régime. Des batteries sont associées à cette alimentation, pour permettre un fonctionnement de plusieurs heures en cas de coupure de courant. Ces batteries sont appelées BBS (Battery Back-up System) qui comporte en général 8 batteries, des fusibles qui dirige et fournie l'énergie nécessaire pour alimenter les équipements de transmission ce qui laisse une sensibilité plus longue de temps de secours pour le fonctionnement. Elle est aussi équipée des alarmes, des unités de climatisation et des convertisseurs et régulateurs de tension.

- **Equipement de transmission**

L'équipement de transmission est modulaire, elle contient des emplacements pour des cartes électroniques qui sont ajoutées suivant les besoins du site. C'est aussi une unité de commande qui est la partie essentielle de la BTS, elle gère tout son fonctionnement. Elle génère les fréquences de référence, crée les différentes porteuses, assure la modulation et la démodulation des signaux, commande les amplificateurs de puissance, fournit les signaux aux TRX, et ceci sur tous les secteurs.

➢ **Protection**

On peut la scinder en trois volés :

- Protection environnementale : la BTS doit être mise dans un abri pour la protéger contre les conditions climatiques (tel que : la pluie, neige, vent...etc.) et les actes de sabotage, vols…etc.
- Protection électrique et magnétique : a l'aide d'un parafoudre qui protège les installations électriques et de télécommunications contre les surtensions en général qui peuvent avoir pour origine la foudre ou la manœuvre d'appareils électriques, et d'un paratonnerre qui a pour rôle de protéger une structure contre les coups directs de la foudre.
- Protection énergétique : la BTS doit avoir une source d'énergie principale (SONALGAZ) et une autre de secours pour assure un fonctionnement continu.

I.2.2.1.3 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 Abis. Ce contrôleur remplit différentes fonctions tant au niveau communication qu'au niveau exploitation. Pour les fonctions de communications, le BSC agit vis-à-vis du trafic abonnée venant des stations de base comme un concentrateur puisqu'il véhicule les communications provenant des différentes stations de base. Dans l'autre sens, le contrôleur commute les données en le dirigeant vers la bonne station de base. Il remplit à la fois le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance et de banque de données installées sur les stations de base.

Une autre fonctionnalité importante est la gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées. En effet,le contrôleur gère les transferts intercellulaires 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 (Visitor Location Register) de la nouvelle localisation de l'abonnée.

I.2.2.2. Le sous-système réseau (NSS)

Le sous-système réseau, appelé Network Sub-System(NSS),joue un rôle essentiel dans un réseau mobile.Les éléments du NSS prenant en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement des connections utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : (chiffrement, authentification ou roaming). Le NSS est constitué de :

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

I.2.2.2.1. Le centre de commutation mobile(MSC)

Cet élément peut être considéré comme le cœur d'un système cellulaire, Il n'y a qu'un MSC par réseau GSM ; il s'agit essentiellement d'un commutateur qui constitue le nœud central du réseau de téléphonie mobile ; il est connecté au réseau de téléphonie fixe, ainsi qu'aux réseaux GSM des opérateurs concurrents. Le MSC comporte des équipements informatiques qui gèrent l'acheminement des informations à travers le réseau GSM. C'est également le MSC qui permet de mettre à jour les différentes bases de données (HLR, VLR et AuC) qui donnent toutes les informations concernant les abonnées et leurs localisations dans le réseau. En principe, la connexion entre le MSC et le BSC est réalisée au moyen de câbles.

Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une interopérabilité entre réseaux d'opérateurs.

I.2.2.2.2. L'enregistreur de localisation nominale(HLR)

Il existe au moins un enregistreur de localisation (HLR) par réseau (PLMNPhone Land Mobile Network – Réseau de téléphonie mobile). Il faut le voir comme une base de données avec des informations essentielles avec un temps d'accès doit être réduit au stricte minimum. Plus la réponse du HLR est rapide et plus le temps d'établissement de la connexion sera petit. Le HLR contient à la fois :

- Toutes les informations relatives aux abonnés:le type d'abonnement, la clé d'authentification Ki cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI) etc.
- Ainsi qu'un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau-en fait, son VLR-et l'état de son terminale (allumé, éteint, en communications, libres,…).

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.

I.2.2.2.3. Le centre d'authentification (AuC)

L'AuC est une base de données protégée qui contient une copie de la clé secrète inscrite sur la SIM de chaque abonné. Cette clé estutilisée pour vérifier l'authenticité (conformité) de l'abonné et pour l'encryptage des données envoyées, pour s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur(pirate).Pour ce faire, la norme GSM prévoit deux mécanismes :

1. Le chiffrement des transmissions radio. Il s'agit d'un chiffrement faible, qui ne résiste pas longtemps à la crypto-analyse.
2. L'authentification des utilisateurs du réseau au moyen d'une clé Ki qui est à la fois présente dans la station mobile et dans le centre d'authentification.

I.2.2.2.4. L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

Cette base de données ne contient que des informations dynamiques et 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 rentre en communication lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de communication mobile auquel elle est rattachée. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR et suivent l'abonné.

I.2.2.2.5. L'enregistreur des identités des équipements(EIR)

Malgré les mécanismes introduits pour sécuriser l'accès au réseau et le contenu des communications, le téléphone mobile doit potentiellement pouvoir accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré.

Pour combattre ce risque, chaque terminal reçoit un identifiant unique (International Mobile Station Equipement Identity, IMEI) qui ne peut pas être modifié sans altérer le terminal. En fonction de données au sujet d'un terminal, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau. Tous les opérateurs n'implémentent pas une telle base de données.

I.2.2.3. Sous-système opération (OSS)

Ce sous-système est branché aux différents éléments du sous-système réseau de même qu'au contrôleur de station de base (BSC). Par une vue d'ensemble du réseau le OSS assure la gestion et la supervision du réseau, cette supervision intervient à des nombreux niveaux :

- ✓ Détection des pannes.
- ✓ Mise en service des sites.
- ✓ Modification de paramétrage.

I.2.2.3.1. le centre d'exploitation et de maintenance (OMC)

Il s'intéresse à la supervision locale des équipements du réseau, on distingue l'OMC-R (radio) relié àtoutes les entités du BSS à travers le BSC qui exploite et maintient le sous-système radio, et l'OMC-S (switching) relié au NSS à travers les MSC qui supervise, détecte et corrige les anomalies du NSS.

I .2.2.3.2.Le centre de gestion de réseau(NMC)

Il a pour fonction la gestion technique globale du réseau, et d'autres fonctions de nature administratives et commerciales au niveau de l'ensemble du réseau.

I .2.2.3.3.Administration du réseau de télécommunications(TMN)

L'administration des premiers réseaux se faisait de manière individuelle sur chaque équipement à partir d'un terminal simple directement connecté.Ainsi les fonctions disponibles étaient liées à la structure matérielle de l'équipement. Ce niveau d'administration est encore utilisable mais il est remplacé par des terminaux déplacés et reliés aux équipements par l'intermédiaire d'un réseau de données.

I.2.3.Fonctionset protocolesd'un système GSM

Les fonctions que doit remplir un réseau GSM comprennent non seulement la transmission de données mais également l'enregistrement, l'authentification, le routage et la mise à jour de la localisation. Ces fonctions sont réalisées par le sous-système réseau.

La figure suivante représente l'architecture des protocoles GSM des différents éléments du réseau.

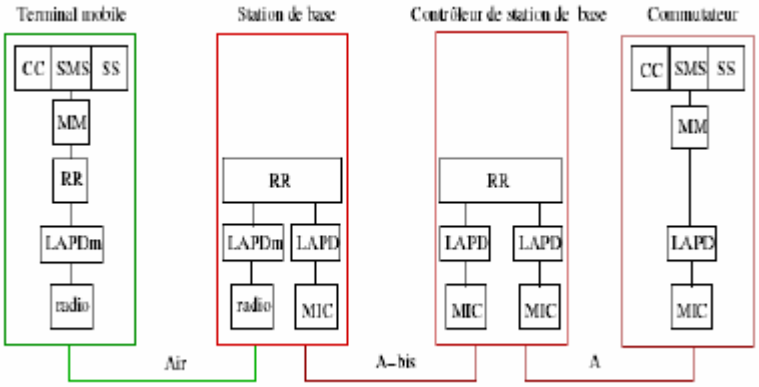


Figure I.5. Protocole GSM**[1]**

Au niveau applicatif, on distingue les protocoles suivants qui relient un mobile à un centre de communication (MSC) :

A. Le protocole Call Control(CC)

Il prend en charge le traitement des appels tels que l'établissement, la terminaison et la supervision.

B. Le protocole Short Message Service(SMS)

Il permet l'envoi des courts messages au départ d'un mobile. La longueur d'un SMS est limitée à 160caractères de 7 bits, soit 140 bytes.

C. Le protocole Supplementary Services(SS)

Il prend en charge les compléments de services, la liste de ces services est longue mais, à titred'exemple, citons leCalling Line Identification Présentation (CLIP),leCalling Line identificationRestriction (CLIR) et le Call ForwardingUnconditional(CFU).

D. Le protocole Mobility Management (MM)

Il gère l'identification, l'authentification sur le réseau et la localisation d'un terminal. Cette applicationse trouve dans le sous-réseau de commutation (NSS) et dans le mobile car ils doivent tous les deuxconnaître la position du mobile dans le réseau.

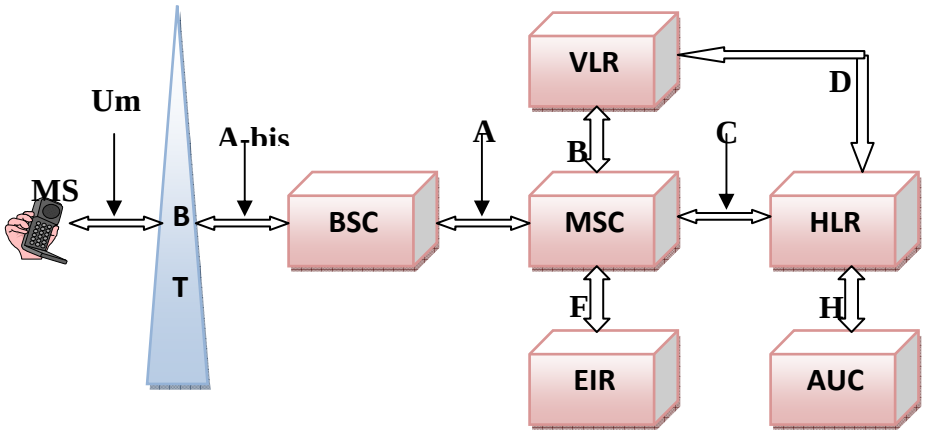
E. Le protocole Radio Ressource management (RR)

Il s'occupe de la liaison radio. Il interconnecte une BTS et un BSC car ce dernier gère l'attribution desfréquences radio dans une zone.

Les trois premiers protocoles applicatifs précités (CC, SMS et SS) ne sont implémentés que dans les terminaux mobiles et les commutateurs ; leurs messages voyagent de façon transparente à travers le BSC etlA BTS.

I.2.4.Interfaces réseau

Les interfaces sont des protocoles permettant de communiquer entre chaque structure du réseau GSM. Elles sont un élément essentiel définit dans la norme GSM car ce sont ces interfaces qui déterminent les interconnexions réseaux au niveau international.



FigureI.6. Les interfaces dans le réseau GSM.**[4]**

Les différentes interfaces utilisées sont :

- **Interface Um(Air)**

L'interface Um encore appelée l'interface Air ou interface radio est localisée entre le terminal et la station de base. Elle permet à tout mobile de communiquer dans la totalité du réseau GSM, il transporte le tarif et les données de signalisation. Sur cette interface la voix est codée sur 13Kbit/s.

- **Interface A-bis**

L'interface A-bis est localisée entre la station de base BTS et le contrôleur de station de base BSC. Elle permet le transfert des communications à savoir des voies de trafic et des voies de commande.

Les différentes fonctions mises en œuvre sur l'interface sont :

- Le trafic de parole et de données.
- La signalisation entre BTS et BSC (gestion des voies).

- Le transport de l'information de synchronisation vers la BTS.

➢ **Interface A**

L'interface A est localisée entre le contrôleur de station de base BSC et le MSC. La signalisation sur l'interface A suit un model en couche. Les messages entre BSS et MSC sont classés en trois catégories :

- Message DTAP (Direct Transfert Application Part) ;
- Message BSSMAP (Base Station System Mobile Application Part) ;
- O&M BSS (Base Station System Operation and Maintenance).

Voici le tableau présentant les interfaces dans un système GSM

Nom	**Localisation**	***Utilisation***
Um	Terminal-BTS	Interface radio
Abits	BTS-BSC	Divers (transfert des communications…
A	BSC-MSC	Divers (transfert de données)
B	MSC-VLR	Divers (transfert de données)
C	GMSC-HLR	Intégration HLR pour appel entrant
D(1)	VLR-HLR	Gestion des informations d'abonnés et de localisation
D(2)	VLR-HLR	Services supplémenta aires
E	MSC-MSC	Exécution des<<handover>>
F	MSC-VLR	Vérification de l'identité du terminal
G	VLR-VLR	Gestion des informations d'abonnés
H	HLR-AUC	Echange des données d'authentification

Tableau I.1. Les interfaces du réseau GSM**[2]**

I.2.5. caractéristiques du réseau GSM

La norme GSM connaît des évolutions : la première génération utilise la bande de fréquence de 900 MHz, alors que la 2ième génération utilise la bande de 1800 MHz.

Chaque canal radio comprend un couple de deux canaux(ou bandes de fréquences), l'un pour la transmission des signaux de la station de base vers les stations mobiles, le canal descendant, l'autre pour la transmission des signaux des stations mobiles vers la station de base, le canal montant. Le GSM exploite à la fois les techniques FDMA et TDMA (fréquence, temps).

I.2.5.1. bande de fréquence

Les systèmes de téléphonie mobile GSM 900 et DCS 1800 fonctionnent respectivement à des fréquences voisines de 900 et 1800 MHz. Dans sa version à 900 Mhz, la norme GSM occupe deux bandes de 25 Mhz espacées de 200 Khz. L'une comprise entre 890 et 915 MHz est utilisée pour la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais, tandis que la bande comprise entre 925 et 960 MHz est utilisée dans le sens inverse. Dans la terminologie GSM, la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais est appelée « voie montante » ou « up-link »; la transmission de l'antenne-relais vers le téléphone mobile est, quant à elle, appelée « voie descendante » ou « down-link».

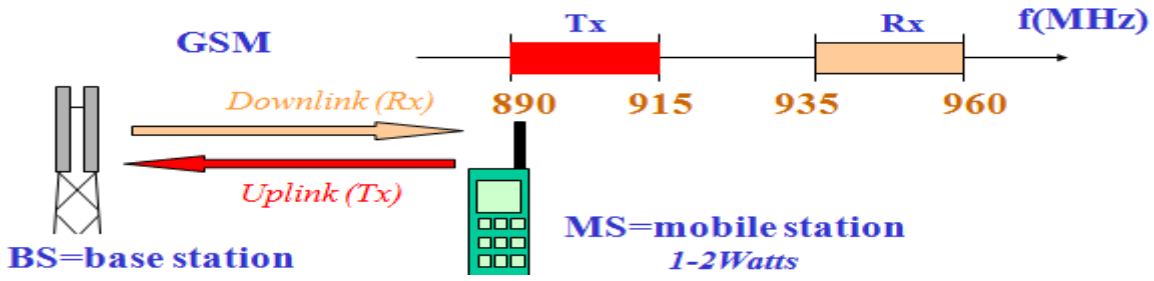


Figure I.7. Les bandes de fréquence utilisées dans le GSM 900**[4]**

D'une manière similaire, le DCS1800 occupe deux bandes de 75Mhz, une pour les voies montantes comprise entre 1710 et 1785Mhz, l'autre pour les voies descendantes comprises entre 1805 et 1880Mhz.

Comme pour chaque canal fréquentiel utilisé pour une communication a une largeur de bande de 200 Khz, cela laisse la place pour 124 canaux fréquentiels à répartit entre les différents opérateurs pour le GSM [900] et 374 canaux pour le DCS [1800].

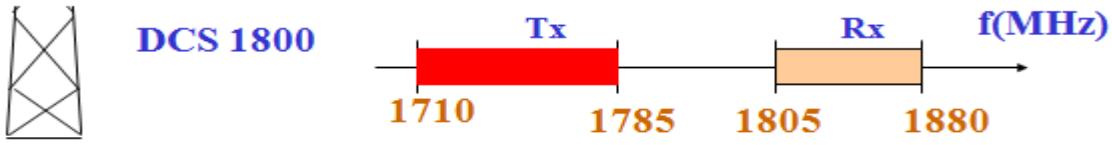


Figure I.8. Les bandes de fréquence utilisées dans le GSM1800**[4]**

I.2.5.2. La modulation GMSK

La modulation utilisée dans la norme GSM est la modulation GMSK (Gaussien Minimum Shift Keying) avec un produit BT (bande temps ou T représente la durée d'un débit et B la fréquence de coupure à 3 dB du filtre gaussien). Pour le GSM, on admet : BT = O.3, le débit binaire en ligne est de 27O, 833 Kbit/s. Cette modulation emprunte à la MSK le principe de déphasage de ± π/2 à chaque transmission d'un symbole binaire. La GMSK est présentée comme une modulation de fréquence (non linéaire) mais l'un de ses principaux avantages est de pouvoir être « linéarisée » avec une très bonne approximation et ainsi d'être traitée comme une modulation antipodale.

Pour engendrer le signal GMSK on peut utiliser, un modulateur de fréquence correspondant à un simple oscillateur contrôlé en tension (VCO, Voltage-ControlledOscillator) ou le signal numérique d'entrée b(t) est préfiltré par un filtre gaussien. Si on supprime ce filtre d'entrée, on obtient un modulateur MSK, le rôle de ce filtre étant de rendre encore plus douce ou molle les transmissions de phase. D'un point de vue mathématique, le VCO fournit un signal cos ($2\pi f_o t$ $+\theta(t)$ $+\theta_o$) dont la phase est le résultat de l'intégration du signal d'entrée :

$\Phi(t) = ko\ \upsilon(\tau)\ d\tau$ I.1

Dans la modulation GMSK, le signal est le résultat d'une convolution : $\upsilon=b*h$ (pour la MSK, $\upsilon=b$).

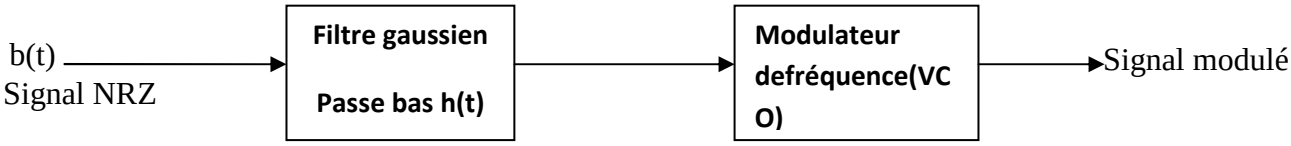


Figure I.9. Modulation GMSK**[4]**

I.2.5.3. Méthode d'accès d'abonnés au réseau GSM

Une liaison entre un téléphone mobile et une antenne-relais utilise deux canaux de transmission : un pour la voie montante et un pour la voie descendante. Un canal est constitué d'une onde radio (la porteuse) dont la fréquence varie dans une plage de 200 kHz de largeur et pendant un huitième du temps.

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

I.2.5.3.1. Le partage en fréquence FDMA (Frequency Division Multiple Access)

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

GSM 900 : $1 < n < 124$ $f(n) = 935 + (0,2*n)$; en MHz

DCS 1800 : $512 < n < 885$ ⟶ $f(n) = 1805,2 + (0,2*(n-512))$; en MHz

La fréquence de la voie montante est calculée en utilisant un écart duplex constant (45 MHz).

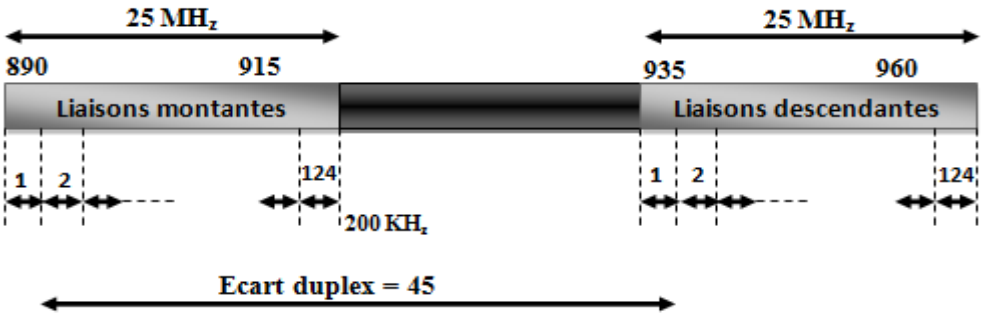


Figure I.10. Le partage en fréquence**[4]**

I.2.5.3.2. Le partage en temps TDMA (Time Division Multiple Access)

Le partage en temps se fait par la méthode d'accès TDMA, il permet aux différents utilisateurs de partager la même porteuse.La figure suivante illustre le principe utilisé : une antenne-relais transmet vers 3 téléphones mobiles, notés P1, P2 et P3, au moyen d'une porteuse dont la fréquence nominale est comprise entre 925 et 960 MHz (cas du GSM 900). Cette fréquence nominale est de 950 MHz dans l'exemple de la figure (I.11).

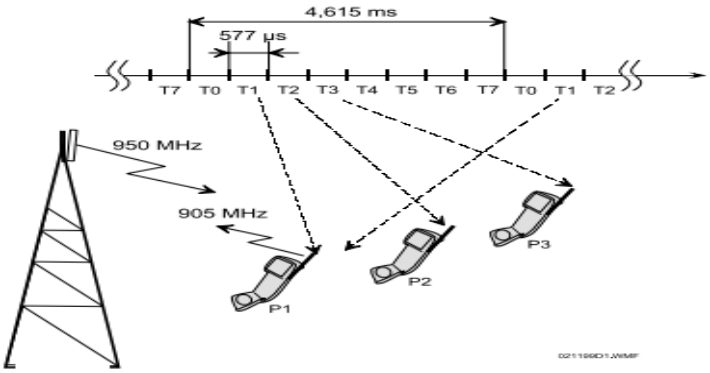


Figure I.11. Canal de transmission GSM

Durant un premier intervalle de temps T1, d'une durée de 577 µs, la porteuse est utilisée pour transmettre vers le téléphone P1 ; cet intervalle de temps est appelé « time slot » dans la terminologie GSM. Ensuite, le téléphone P2 reçoit pendant le second « time slot » T2. De la même manière, le téléphone P3 recevra les informations qui lui sont destinées pendant le troisième « time slot » T3, et ainsi de suite s'il y a d'autres téléphones mobiles dans la cellule. Une porteuse peut ainsi être partagée par 8 téléphones mobiles. A la fin du « time slot » T1, le téléphone P1 devra attendre pendant 7 « time slots » avant de recevoir à nouveau. La transmission d'un canal (c'est-à-dire une conversation) se fait donc de manière discontinue ; ce procédé est appelé « multiplexage temporel » ou encore « time division multiple access »

(TDMA). Il est à noter que cette transmission « saccadée » n'est pas perceptible pour l'utilisateur, car la transmission pendant un « time slot » s'effectue à un débit 8 fois supérieur à celui correspondant à la restitution du signal, autrement dit, la transmission vers le téléphone P1 s'effectue pendant le « time slot » T1 et la restitution du signal vocal occupe 8 « time slots » (c'est-à-dire 4,615 ms). La figure (I.12) illustre ce processus.

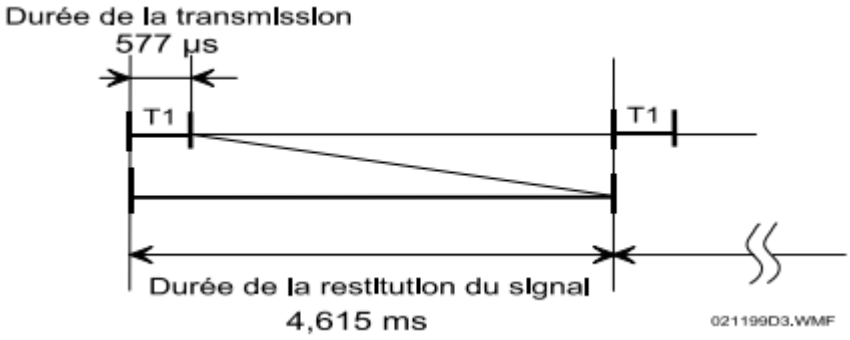


Figure I.12. Durées de transmission et de restitution

- **trame MIC ou E1**

En téléphonie numérique, une seule voie physique est utilisée pour transmettre plusieurs voies logiques ; par exemple le premier regroupement consiste à transmettre 32 canaux de 64 kbit/s sur une seule voie physique.

Dans ces conditions, les 8 bits représentatifs d'un échantillon ne peuvent durer que 3.96 µs (125µs/32) et chaque bit dure 488 ns (3.96µs/8). Chaque trame se compose de trente deux voies dont deux sont réservées (voies de service) ; la voie 0 (IT0) sert au verrouillage de la trame (fanion), la voie 16 (IT16) sert au contrôle de la trame et à la transmission des différentes commandes (signalisation).

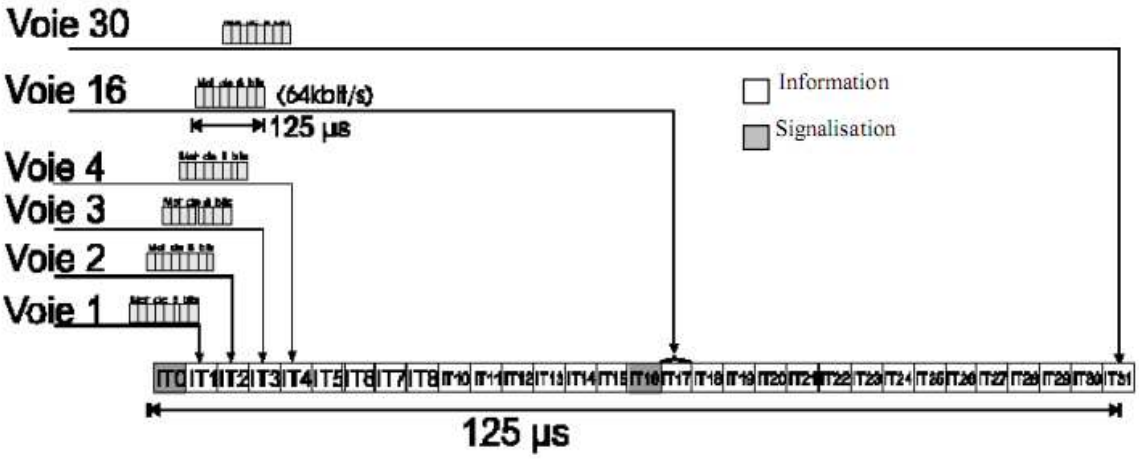


Figure I.13. La trame E1**[5]**

I.3. l'infrastructure d'un réseau GPRS

Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP. Le réseau est donc constitué de routeur IP. L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

- Le nœud de service – le SGSN.
- Le nœud de passerelle – le GGSN.

Une troisième entité – le BG joue un rôle supplémentaire de sécurité.

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type « Data » à ses clients. Le GPRS est en mode paquets.**[3]**

I.3.1. l'architecture d'un réseau GPRS

Le réseau GPRS appuie son architecture sur les éléments du réseau GSM. Le réseau GSM constitue donc en effet une base pour la mise en place du réseau GPRS, les équipements GSM utilisés sont :

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

En plus de ces équipements GSM, le mode GPRS a ajouté un certain nombre de modules.

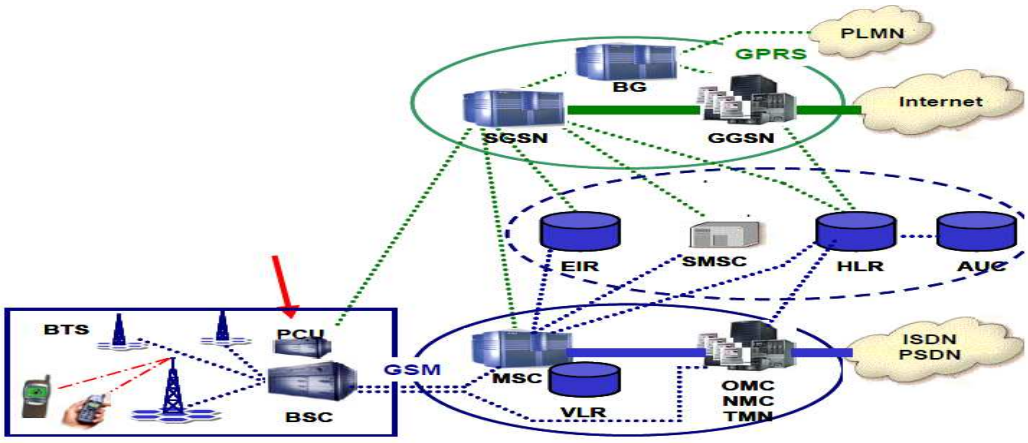


Figure I.14. L'architecture d'un réseau GPRS**[2]**

- **le nœud de service (SGSN)**

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

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

- **le nœud de passerelle (GGSN)**

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

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

- **le module BG pour la sécurité**

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

Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiées par les recommandations.Mais elles jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (Public Land Mobile Network) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (entre réseaux de 2 opérateurs concurrents par exemple).

- **le routeur IP**

L'operateur peut prendre le parti de gérer et d'administrer ses propres routeurs IP afin d'ouvrir le réseau GPRS vers les réseaux de données externes.

- **le module PCU sur les BSC et le module CCU sur les BTS**

La mise en place d'un réseau GPRS au contraire du réseau UMTS 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.

- Sur les antennes – les BTS – est ajouté un module CCU (Channel Code Unit). Cette entité permet de gérer les envois d'informations vers le module SGSN.

- La norme GPRS introduit également un équipement appelé PCU (Packet Control Unit) généralement situé sur les BTS (comme sur notre schéma), les BSC ou le SGSN. Le PCU a pour fonction de gérer l'échéancier de transmission et l'acquittement des blocs sur les canaux de données.

- **le mobile GPRS**

L'usage attendu par le réseau GPRS est la possibilité de consulter de manière interactive des serveurs. Cela nécessite donc un débit plus important sur la voie descendante que sur la voie montante. On parle de mobile multi-slot : le terminal doit être en mesure de recevoir ou de transmettre des informations sur plusieursintervalles de temps. Le coût engendré par ces contraintes techniques amène l'opérateur à proposer à ses abonnés des terminaux plus onéreux.

- **la carte SIM**

La carte SIM utilisée pour l'accès GPRS est une carte SIM similaire à celle requise pour accéder au réseau GSM classique. Quelques fichiers sont simplement ajoutés lors de la phase de personnalisation chez le fabricant de cartes.

I.3.2. Lesinterfacesréseau GPRS

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

Tableau I.2. Les interfaces du réseau GPRS**[2]**

L'ensemble des éléments GSM et GPRS est associé pour fournir un service GPRS.

Deux protocoles sont alors utilisés :

- Le traditionnel protocole IP qui assure une ouverture vers les terminaux fixes extérieurs au réseau (contenu, internet).

- Le protocole SS7 (Signal Sémaphore 7) qui est un protocole interne au réseau GPRS.

I.3.3. l'acheminement en mode paquet

Lorsque le mobile transmet des données vers un terminal fixe, les données sont transmises via le BSS (BTS et BSC) au SGSN qui envoie ensuite les données vers le GGSN qui les route vers le destinataire.

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

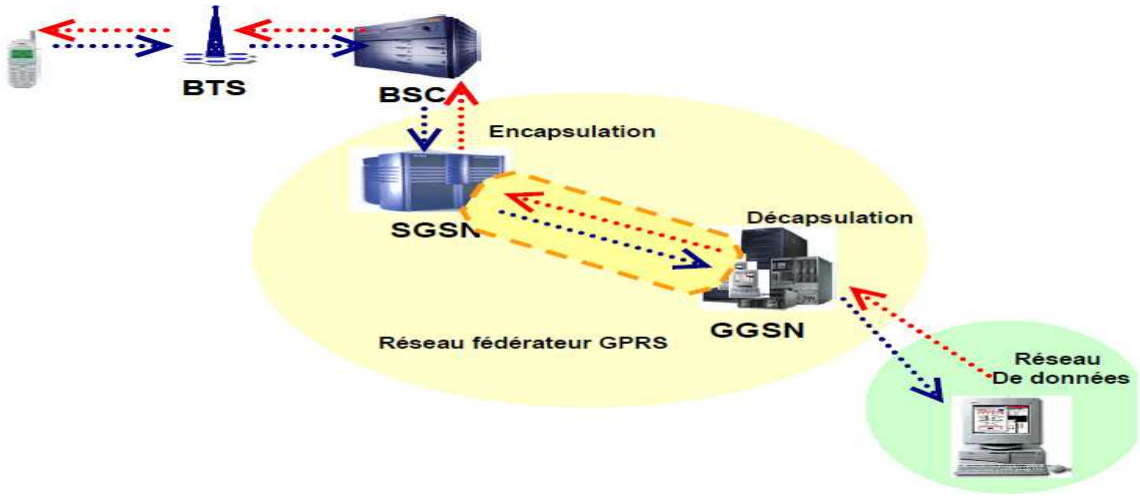


Figure I.15. L'acheminement en mode paquet**[2]**

Ainsi des données recueillies en protocole IP de l'extérieur via un routeur IP pourront être communiquées dans des paquets X25 par le principe du tunnelencapsulation – décapsulation. On parle de protocole PDP (Packet Data Protocol), l'encapsulation consiste ainsi à placer une unité de protocole A dans une unité de protocole B sans que ce dernier ne se préoccupe du format des données transportées.

I.4. L'émigration vers l'UMTS ou le réseau EDGE

Vu la demande croissante en débit et en qualité de transfert de la data, les innovateurs ont visé une nouvelle technologie qui est l'UMTS ou la 3G. Un problème majeur s'est poser, et c'estla nécessité de rénover tout le réseau pour qu'il puisse supporter les équipements de la 3G,La chose qui s'avère très couteuse pour les opérateurs sur court terme de déploiement.Pour cela ils ont essayé de passer par une étape intermédiaire entre la 2.5G et la 3G, et qui estl'EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) où communément appelée la 2.75G.L'idée de base du EDGE est l'augmentation du débit de transfert de la data par rapport a celuidu GPRS par un simple changement de technique de modulation. En effet, contrairement au GSM ou le GPRS, l' EDGE utilise la 8-PSK ou la modulation de phase par huit états ousymboles en plus a celle utilisée par le GSM, ce qui lui permet de représenter 3 bites par unseul symbole. Le débit théorique est sensé être de 473kb/s, mais en pratique le maximum a été fixé par l'ITU pour la norme EDGE à 384 kbit/s.

I.5. Infrastructure d'un réseauUMTS

L'EDGE peut être vu comme une transition du GSM/GPRS vers l'UMTS 'Universal Mobile Telecommunication', qui est le principal système de communications mobiles de $3^{éme}$génération adopté par la famille des IMT – 2000 groupe de l'UIT responsable de la standardisation d'un réseau de télécommunication mobile universel compatible avec les autres réseaux, supportant les applications multimédia avec différentes qualités de service. Le réseau UMTS vient de combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS qui apportent des fonctionnalités respectives de voix et de Data ; le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités multimédia.

I.5.1. les avantages de l'UMTS

L'UMTS, doit satisfaire aux caractéristiques techniques suivantes :

-Garantir des services à haut débit avec un minimum de 144kbps dans tout type d'environnement et jusqu'à 2Mbps dans des environnements intérieurs et avec une mobilité réduite

-Transmettre des données symétriques (même débit montant et descendant) et asymétriques

-Fournir des services à commutation de circuits (idéal pour la voix) et à commutation de paquets (idéal pour la transmission de données)

- Capacité et efficacité spectrale doivent être supérieures à celles des systèmes cellulaires actuels de deuxième génération.
- Possibilité d'offrir des services multimédias lors d'une même connexion avec des qualités de services différentes (débit, taux d'erreurs, …) pour les différents types de médias (voix, audio, données).
- Compatibilité avec les réseaux d'accès radio de deuxième génération.
- Itinérance entre les différents systèmes de troisième génération, c'est-à-dire lacompatibilité entre eux.
- Couverture universelle associant des satellites aux réseaux terrestres.

I.5.2. l'architecture d'un réseau UMTS

L'architecture logique de l'UMTS est semblable à celle du GSM. Elle se décompose de 2 parties :

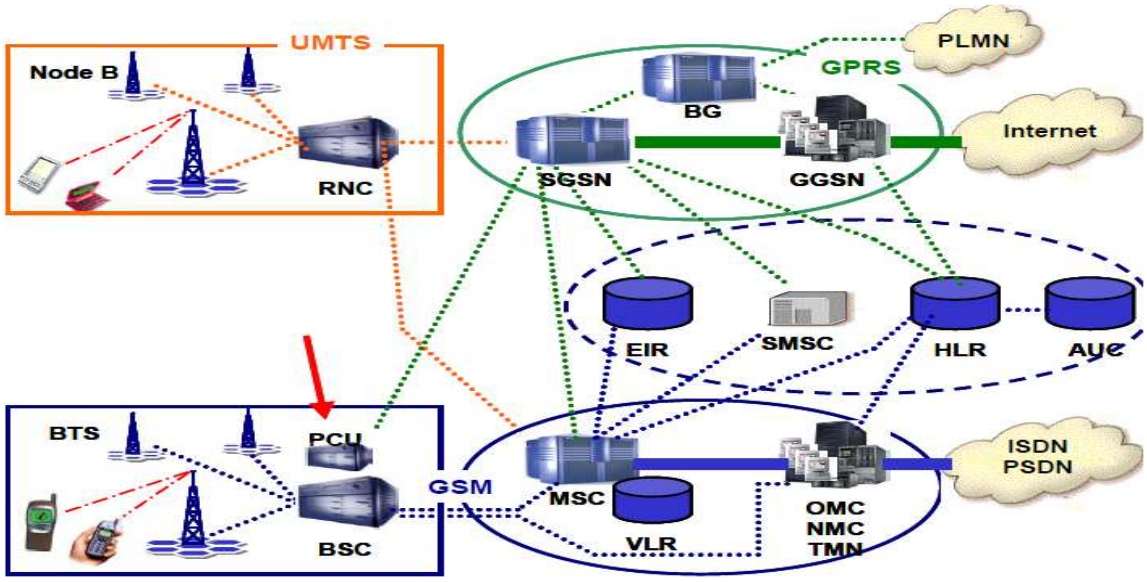


Figure I.16. L'architecture d'un réseau UMTS**[2]**

I.5.2.1. Le réseau d'accès radioUTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

C'est la partie radio du réseau UMTS. La partie radio est la principale évolution qui s'est faite par rapport au GSM avec l'introduction de la nouvelle technique CDMA :

- **RNC :** c'est la partie intelligente de l'UTRAN. Elle est responsable de la gestion des ressources radio, de la gestion de la mobilité, du soft HandOver et du contrôle des node – B.

- **Node – B :** semblable au BTS en GSM, cette entité est responsable de l'acheminement de la communication entre le client et le RNC en plus de la gestion des SofterHandOver.

II.5.2.2. cœur du réseau

C'est la partie fixe du réseau UMTS. Elle est partagée en 2 domaines circuits et paquet et ces équipements sont les mêmes que ceux du GSM/GPRS pour amortir le coût de ces derniers :

- **MSC :** (Mobile – services Switching Center)/ VLR (Visitor Location Register):appartenant au domaine circuit, cette entité est responsable de l'acheminement des communications.le VLR est la base de données qui contient les informations des clients desservis par le MSC.

- **GMSC :** (Gateway MSC) : c'est le MSC qui est interconnecté aux réseaux externes à commutation de circuit (RTC « réseau téléphonique Commuté », RNIS « Réseau numérique à intégration de Services », etc), il fait donc fonction de passerelle en plus des fonctions classiques du MSC.

- **SGSN** (Serving GPRS Support Node) : il a les mêmes fonctions que celles du MSC mais dans le domaine paquet.

- **GGSN :** il fait fonction de passerelle entre le réseau UMTS et les réseaux externes à communication de paquets.

- **HLR :** la base de données contenant toutes les informations des abonnés (IMSI,ISMSDN, etc).

- **AUC :** la base de données contenant les clés, les algorithmes et les procédures utilisés pourl'authentification des clients.

- **EIR :** la base de données contenant les identifiants des terminaux (IMEI).

- **VHE :** ce n'est pas une entité physique mais plutôt un concept de portabilité à travers les réseaux.

I.5.3. les interface utilisées dans le réseau UMTS

Les différentes interfaces ouvertes disponibles :

- **L'interfaceCu**: Correspond à l'interface électrique entre la carte USIM et le terminal. Cette interface suit le format standard des cartes à puces.
- **L'interfaceUu**: Il s'agit de l'interface air WCDMA qui est le sujet de la majeure partie de mon projet et grâce à laquelle le terminal utilisateur a accès à la partie fixe du système. Cette interface est ouverte, ce qui permet à de nombreux constructeurs de terminaux de proposer leurs produits sans nécessairement développer leurs propres stations de base.
- **L'interfaceIu**: Elle relie l'UTRAN au réseau cœur. Similaire aux interfaces A du GSM pour le domaine circuit et Gb pour le domaine paquet, l'interface Iu est ouverte et permet aux opérateurs d'employer des équipements UTRAN et CN de différents constructeurs.
- **L'interfaceIur** qui permet le soft handover entre des RNC de différents constructeurs.
- **L'interfaceIub** qui relie les Node B aux RNC. L'UMTS est le premier système do téléphonie mobile à proposer une interface ouverte à ce niveau. Cela permettra de dynamiser le marché et d'offrir la possibilité à de nouveaux constructeurs de se spécialiser dans le développement et la commercialisation de Node B.

I.5.4. caractéristiques techniques

I.5.4.1. méthodes d’accès

Le principe de base des réseaux radio mobiles est de partager un ensemble limité de canaux pour qu’un maximum d’utilisateurs puisse l’utiliser simultanément.Contrairement au GSM ou les utilisateurs sont déparés par la fréquence (FDMA) et en temps (TDMA), l’UMTS utilise le mode d’accès CDMA en identifiant ainsi les utilisateurs par un code.

- **Accès multiple par répartition de codes CDMA**

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est une technique d’accès multiple grâce à laquelle les différents utilisateurs peuvent communiquer en même temps dans une même bande de fréquences.

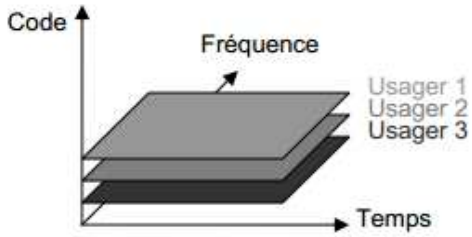


Figure I.17. Répartition de code CDMA**[6]**

C'est l'accès W-CDMA qui est retenu pour le réseau d'accès radio de l'UMTS. Il est dit « à largebande » avec une largeur de bande de 5MHz. Le W-CDMA permet d'avoir :

✓ Gain de traitement plus élevé. En effet, en élargissant la bande, le signal est moins sensible aux interférences. Cela permet aussi d'accroître le nombre d'utilisateurs présents dans une cellule.

✓ Possibilité de transmettre des services à haut débit. Avec 5MHz de largeur de bande, on peut atteindre du 2Mbps en débit.

✓ Meilleures performances pour détecter les trajets multiples. En effet, dans uncanal de propagation à trajets multiples, des versions décalées du signal transmis parviennent à des intervalles de temps différents. Cette propriété qui était un inconvénient dans d'autres systèmes, va être utilisée dans un système CDMA en combinant les signaux pour diminuer le taux d'erreurs et obtenir ainsi de meilleures performances.

✓ Possibilité de déploiement dans un spectre de fréquences déjà utilisé. Cela consiste à faire cohabiter un système W-CDMA et un autre système cellulaire sur un même spectre de fréquences.

- **Le principe d'accès CDMA** : En CDMA, le multiplexage des informations à transmettre est obtenu par une simple multiplication avec la séquence de codes attribuée pour la transmission. Au préalable,les éléments binaires de code et d'information sont encodés NRZ (Non Return to Zero). Le signal de données, D(t) est ensuite simplement multiplié par la séquence de code S(t). Au final, on obtient la séquence S(t) modulée par le signal D(t).

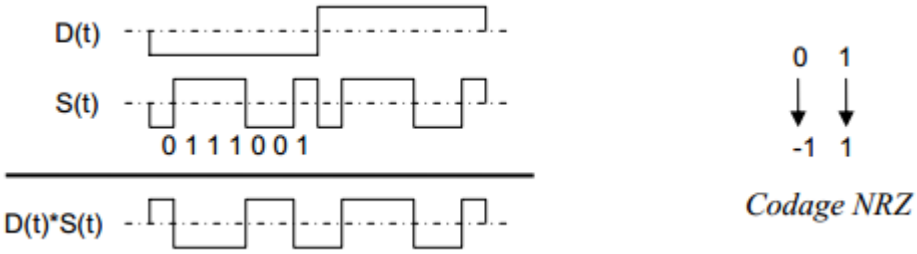


Figure I.18. Le code de NRZ**[7]**

Il est à noter que le débit des éléments binaires de codage est supérieur à celui des éléments binaires d'informations. Dans l'exemple ci-dessus, ce débit est 7 fois supérieur.

I.5.4.2. modes d'accès

Il ya deuxà savoir FDD(Frequency Division Duplex) et TDD (Time Division Duplex).

- **Le mode FDD**

Le concept W-CDMA (Wide bande CDMA) utilise exactement ce mode avec une technique d'étalement de spectre par séquence directe (DS-CDMA). Ce mode consiste à faire un multiplexage en fréquence des deux sens de transmission :

Chaque sens de transmission utilise une porteuse distincte. Cette technique utilise donc un débit chips (3,84 Mchip/s), et une bande de fréquences importante (4,4 à 5 MHz), ce qui permet de bénéficier d'une bonne diversité de fréquences dans la plupart des environnements, et de s'affranchir des évanouissements liés aux trajets multiples.

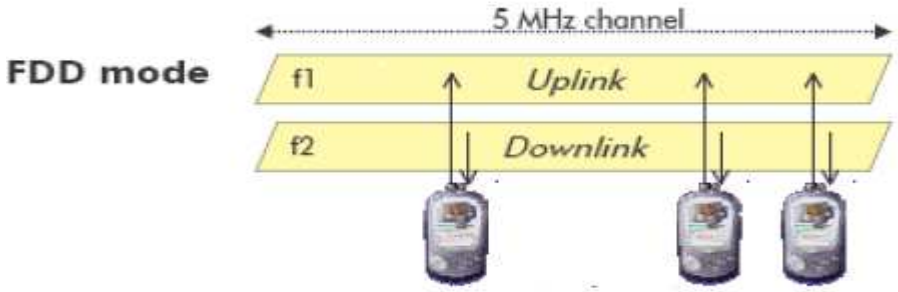


Figure I.19. Le mode FDD**[7]**

- **Le mode TDD**

Le concept TD/CDMA utilise une technique d'accès multiple mixte, comprenant une composante TDMA, et une composante d'étalement de spectre à l'intérieur des intervalles de temps «time slot» avec séparation par codes.

Ainsi, un canal de trafic est défini par une fréquence (porteuse), un intervalle de temps, et un code. Grâce à l'étalement de spectre CDMA, des paquets se distinguant par leurs codes d'étalement peuvent être transmis simultanément dans un intervalle de temps. Ces codes peuvent être alloués à différents utilisateurs ou à un même utilisateur selon le débit de service souhaité et offrent ainsi une bonne qualité de service. Ainsi, le concept TD/CDMA offre une large gamme de débits de services allant jusqu'à 2 Mbit/s, en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un même utilisateur.

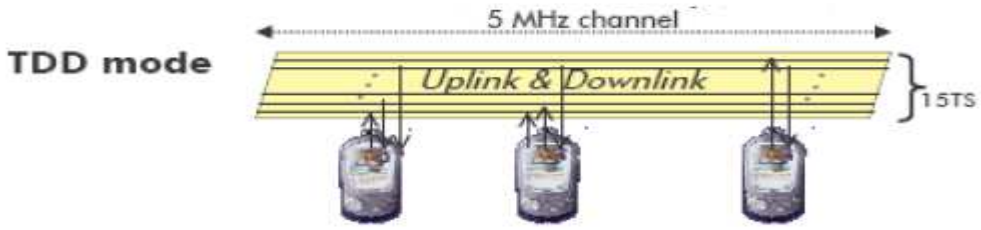


Figure I.20. Le mode TDD**[7]**

I.5.4.3. le spectre des fréquences

La plage de fréquence utilisée pour le WCDMA est :

- UMTS FDD
  - 1920 – 1980 MHz pour l'uplink UL (canal montant).
  - 2110 – 2170 MHz pour le downlink DL (canal descendant).
- UMTS TDD
  - 1900 – 1920 MHz et 2012 – 2025 MHz pour le DL et UL.
- MSS : sera utilisé pour combler les tous de couverture surtout dans les océans
  - 1980 – 2010 pour l'UL.
  - 2170 – 2200 pour le DL.

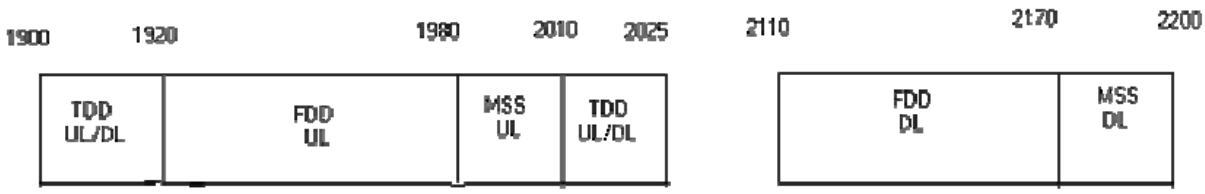


Tableau I.3. Les fréquences utilisées pour le CDMA**[6]**

- **La porteuse :** la largeur de la porteuse en UMTS est de 5 MHz alors qu'en GSM, elle est seulement de 200 KHz

- **La modulation:** La modulation QPSK, duréede la trame radio 10 ms divisé en 15 time slot (au lieu de 4.6152 en GSM 900), rapidité de modulation 384 Kbps (au lieu de 271 Kbps en GSM 900), le code détecteur/correcteur d'erreur utilisé est le code convolutionnel et le turbo code.

I.5.4.4. couverture globale du l'UMTS

La couverture globale de la planète s'organise en une structure cellulaire hiérarchisée qui assurera l'itinérance (roaming) mondiale. Au sommet de la hiérarchie se trouvent les satellites qui assurent une couverture sur l'ensemble de la planète. Le réseau terrestre radio lui s'occupe de la couverture terrestre suivant une répartition en macro, micro et picocellules. Les m5crocellules couvrent les zones suburbaines et rurales, les microcellules les zones urbaines (forte densité d'utilisateurs) et les picocellules les zones bien définies telles les immeubles, les environnements intérieurs (indoor).

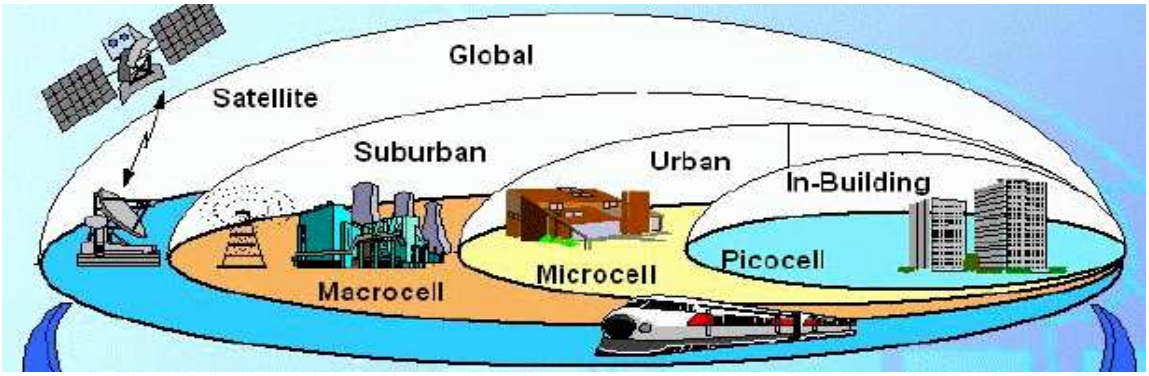


Figure I.21. La couverture globale de l'UMTS**[7]**

I.5.5. UMTS vs GSM

L'UMTS contrairement au GSM :

- Rend possible un accès plus rapide à internet depuis les téléphones portables, par un accroissement significatif des débits des réseaux de téléphonie mobile.
- Améliore la qualité des communications en tendant vers une qualité d'audition proche de celle de la téléphonie fixe.
- Permet de concevoir une norme compatible à l'échelle mondiale, contrairement aux technologies actuelles.
- Répond au problème croissant de saturation des réseaux GSM, notamment en grandes villes.

I.6. conclusion

Après le GSM le réseau GPRS constituait finalement une étape vers le réseau UMTS. Sur le plan technique, les architectures des trois réseaux GSM, GPRS et UMTS sont complémentaires et interconnectées afin d'optimiser la qualité de service rendue à l'abonné.

Le réseau GSM couvre les fonctionnalités nécessaires aux services de type Voix en un mode circuit, le réseau GPRS apporte les premières fonctionnalités à la mise en place de services de type Data en mode paquets, et l'UMTS vient compléter ces deux réseaux par une offre de paquet. Services Voix et Data complémentaires sur un mode.

CHAPITRE II

Techniques de transmission

II.1. Introduction

Du fait de la croissance soutenue du marché des télécommunications, les opérateurs ont sans cesse dû s'adapter à un trafic téléphonique toujours plus important. Cette croissance de la demande a été la source de nombreuses avancées technologiques permettant de répondre aux besoins de la manière la plus économique possible.

Ainsi a-t-on vu, à partir des années 60, le remplacement progressif des réseaux analogiques à multiplexage fréquentiel par des réseaux à modulation PCM (Pulse Code Modulation) qui permettent l'utilisation multiple d'une même ligne par multiplexage numérique temporel (TDM/ Time Division Multiplexing). Le signal téléphonique est alors échantillonné à une fréquence de 8 kHz, puis numérisé et codé sur 8 bits avant d'être transmis à un débit de 64 kbit/s. Le débit de transmission résultant, dit débit primaire, est de 2048 Kbits/s lorsque 30 canaux de communications sont ainsi multiplexés.

Cependant, la demande toujours plus importante de bande passante a nécessité l'introduction de niveaux de multiplexage supplémentaires, ce qui a conduit à la définition de la hiérarchie numérique plésiochrone PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). La définition de cette hiérarchie a été réalisée indépendamment aux Etats-Unis, en Europe et au Japon, ce qui rend très difficile l'interopérabilité des équipements. De plus, l'insertion et la suppression d'un canal de 64 kbit/s au sein d'un niveau de multiplexage supérieur sont des opérations très coûteuses car elles requièrent le démultiplexage puis le remultiplexage complet de toute la trame.

C'est vers la fin des années 80 qu'a été introduite la hiérarchie numérique synchrone SDH (Synchronous Digital Hierarchy).Cette technologie conduit à l'heure actuelle à la mise en place des réseaux (backbone) à très grande capacité dans beaucoup de pays, les grands opérateurs de la téléphonie construisent leurs réseaux SDH qui sont un élément clé de l'infrastructure de transmission des autoroutes de l'information.

L'évolution du domaine de l'information a suscité une évolution du domaine de la Télécommunication en passant de la TDM vers l'IP afin de subvenir à la demande de transport du multimédia. Pour cela on a vu l'apparition d'un système qui est capable de transporter de la data sous haut débit. **[2]**

II.2. Cas de transport de la capacité TDM

II.2.1. La hiérarchie PDH [5]

La hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunication afin de véhiculer les voix téléphoniques numérisées, Son débit se limite le plus souvent à 140 Mbit/s. Cette hiérarchie est basée sur le signal E1 qui est construit de façon octet, les niveaux supérieurs de la hiérarchie sont réalisés par multiplexage bit à bit de 4 signaux de niveau immédiatement inférieur.

Afin de constituer des systèmes de débit plus élevé, on effectue un multiplexage temporel de trames MIC (Modulation Impulsion Codé), assemblées 4 par 4, la difficulté qui provient du fait que les différentes trames, constituées parfois en différents points de réseaux, ne sont pas toujours synchronisées.

Par ailleurs la technologie PDH utilise un multiplexage bit à bit. Il faut multiplexer quatre liens E1 pour obtenir E2, quatre liens E2 pour obtenir E3, et quatre liens E3 pour obtenir un lien E4, il est nécessaire de démultiplexer l'ensemble de flux pour extraire l'information(Figure.II.1).

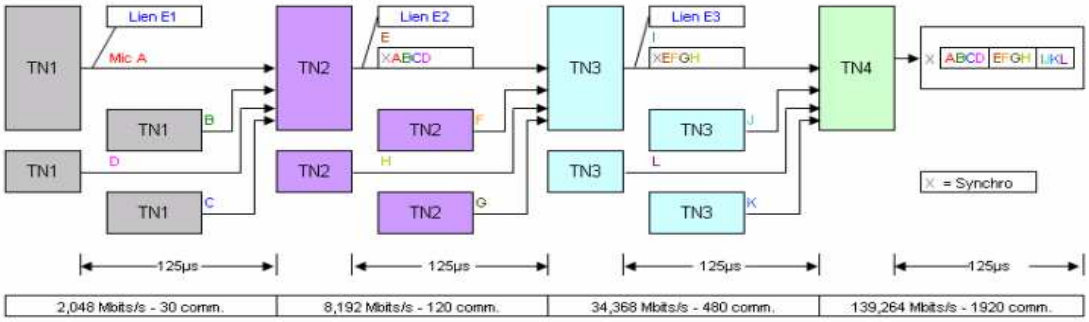


Figure II.1. Multiplexage PDH.

II.2.1.1.La trame de base E1 [9]

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. Chaque transmet définie par une durée de 125µs devisée en 32 IT numérotée de 0 à 31. Les IT 1 à 15 et 17 à 31 sont dédiées aux transferts d'information (Figure .II.2).Les autres IT servent à la signalisation :

- L'IT0 des trames paires est réservé au verrouillage de trame.
- L'IT0 des trames impaires est réservé au service (alarmes,..).

- L'IT16 est généralement réservé au transport de la signalisation des diverses voies du multiplex.

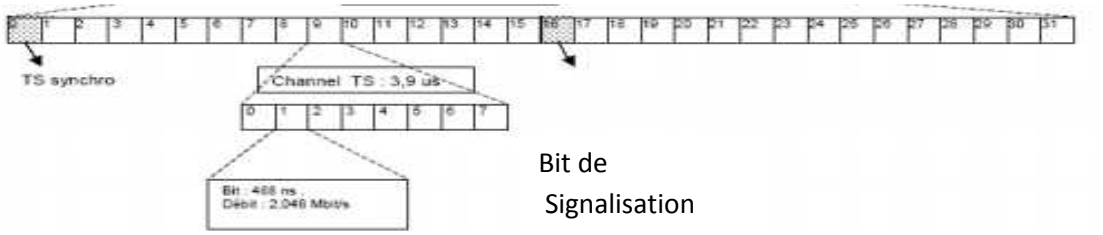


Figure .II.2. La trame E1.

II.2.1.2. Limitations de la PDH

La hiérarchie plésiochrone (PDH), est basée sur un multiplexage des données spécifique, les principaux inconvénients de ce mode de transmission sont :

- il ne permet pas l'accès aux données transmises sans démultiplexage.
- il n'y avait pas de normalisation au niveau du C.C.I.T.T., ce qui veut dire que l'on ne pouvait pas interconnecter deux hiérarchies (U.S.A., EUROPE, JAPON) sans passer par un équipement intermédiaire.

De plus, la synchronisation de chaque émetteur avec chaque récepteur qui est une condition clef à une transmission sans erreurs 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.

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

De plus, même lorsque les différentes horloges du réseau (c'est-à-dire les horloges de chaque voie incidente) sont asservies par une horloge de référence, des écarts d'horloge subsistent et sont aujourd'hui la principale source d'erreur dans le réseau (saut de bit). Il est par conséquence nécessaire avant de multiplexer les données, de corriger les horloges de chaque voie.

Il existe deux altérations qui ont pour conséquence de modifier la fréquence autour de la fréquence moyenne : la gigue est une variation rapide de la fréquence et le dérapage représente une variation lente due au changement des événements environnementaux.

- **Le phénomène de gigue**

La gigue de fréquence est une variation de cette dernière qui est due aux techniques mises en œuvre dans les équipements de multiplexage démultiplexage, elle représente une faible fluctuation de la phase. Elle est définie comme les variations des impulsions électriques du signal codé par rapport à sa idéale dans le temps. Les impulsions ne sont plus à leur place et les intervalles de temps entre impulsions varient également (Figure II.3).

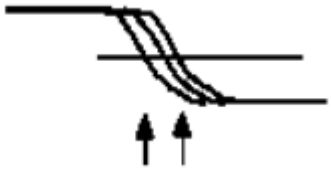


Figure II.3. Gigue du signal.

L'écart de positionnement est mesuré par l'amplitude de gigue ou une variation de phase. L'amplitude est spécifiée par rapport à l'intervalle unitaire (UI = Unit Interval) qui est l'intervalle de temps T entre 2 impulsions d'un signal de référence sans gigue (dans le cas du système 2Mbit/s, UI=488 ns). La gigue est aussi spécifiée en degrés, un UI étant alors égal à 360°. L'amplitude de gigue varie au cours du temps de manière aléatoire. Les variations typiques de gigue ont une fréquence de l'ordre de 10Hz jusqu'à quelques kHz.

Pour remédier aux écarts d'horloges et de débits, la solution retenue est de régénérer le signal reçu pour reconstituer le signal à la fréquence moyenne et de synchroniser les données (Figure II.4).

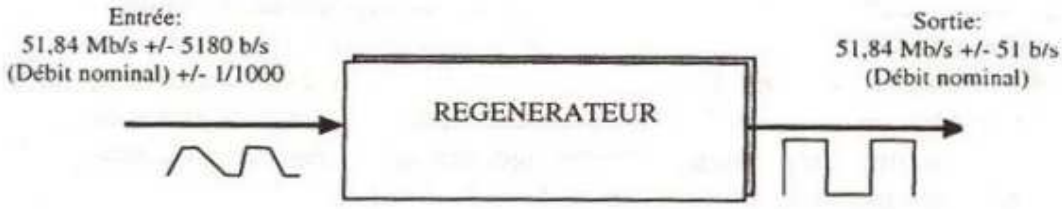


Figure II.4. Le régénérateur.

La surpression de la gigue peut s'effectuer dans un répéteur pourvu d'un dispositif de lissage de fréquence et de mémoires tampons suffisantes qui ont pour but de stocker les bits excédentaires en attente d'une dérive opposé de l'horloge.

Pour la synchronisation, les deux operations résultantes sont :

- chaque affluent inscrit ses données à son débit Di dans la mémoire
- le multiplex lit avec un débit Do, rythme de l'horloge locale de l'autocommutateur. Il y a alors deux cas possibles :

- Do > Di : (lecture > écriture) : manque d'information à lire (ou relecture d'une information déjà lue).
- Do < Di : (lecture < écriture) : à un certain moment la mémoire est remplie, n'est pas lue à temps et est écrasée et donc perte d'information.

Ainsi, pour éviter ce problème on utilise l'opération de justification qui permet de transporter un signal de débit variable dans une trame S de longueur fixe L et de débit fixe L/T_T, parmi les L bits de la trame S on distingue deux types de bits (les bits d'information à transmettre = bit I, et les bits de remplissage= bit R).Et trois zones :zone pour les bits d'information, une zone pour les bits de remplissage positif, appelée zone P, et une zone pour les bits de remplissage négatif, appelée zone N (Figure .II.5).

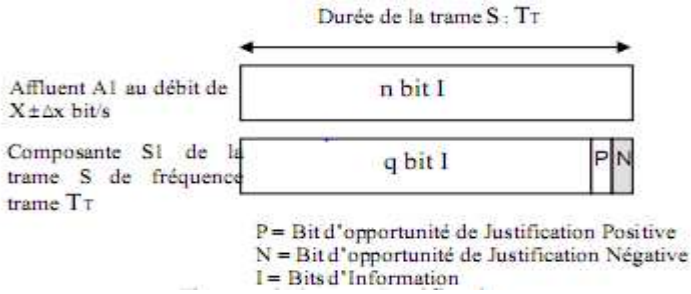


Figure II.5. Les zones d'une trame justifiée.

Le débit de l'affluent varie dans une plage ± Δxbit/s. On distingue trois possibilités :

1- Justification nulle : l'affluent a exactement le même débit L/T_T, dans ce cas P est un bit d'information, N est rempli avec un bit quelconque dit bit de remplissage.

2- Justification positive : l'affluent est au débit x+Δx. P et N sont remplis chacun avec un bit d'information de manière à compenser la variation +Δx.

3- Justification négative : l'affluent et au débit x- Δx, N et P sont des bits de remplissage.

II.2.2. Evolution vers un système synchrone SDH

Avec les autoroutes d'informations, ces larges voies de transmission qui permettent de transporter simultanément les sons, les données, les images, les échanges informatiques s'enrichissent d'images, l'audiovisuel devient interactif, le multimédia se développe. Les télécoms, devenus un outil stratégique pour les entreprises intéressent désormais toute organisation de services. Il s'agit donc des hauts débits, hautement normalisée au plan international.

C'est ainsi qu'est apparue à la fin des années 80 (1988) la nouvelle hiérarchie de transmission appelée 'synchronous digital hierarchy' (SDH). Cette hiérarchie numérique repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte une facilité de brassage et

d'insertion/extraction des niveaux inférieurs. Les concepts de la SDH permettent ainsi de remédier aux inconvénients de la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH). Les débits de base de la hiérarchie synchrone sont 155,520 Mbit/s, 4 fois 155,520 (environ 620 Mbit/s) et 16 fois 155,520 (environ 2,5 Gbit/s), Le passage de la trame de base à un débit supérieur s'effectue simplement par entrelacement d'octet et non bit à bit comme c'est le cas pour la hiérarchisation PDH. Il apparaît aujourd'hui sur le marché les premiers systèmes à 64 x 155,520 Mbit/s soit environ10 Gbit/s.

Ainsi, la SDH introduit de nouvelles possibilités dans les réseaux de transmission telles que : une hiérarchie internationale commune dans le monde entier, une réduction de la qualité d'équipements, une disponibilité élevée, la facilité des gestions des réseaux, une flexibilité et une évolutivité, des interfaces compatibles avec les réseaux plésiochrones, et enfin la compatibilité multifournisseurs (Figure II.6).

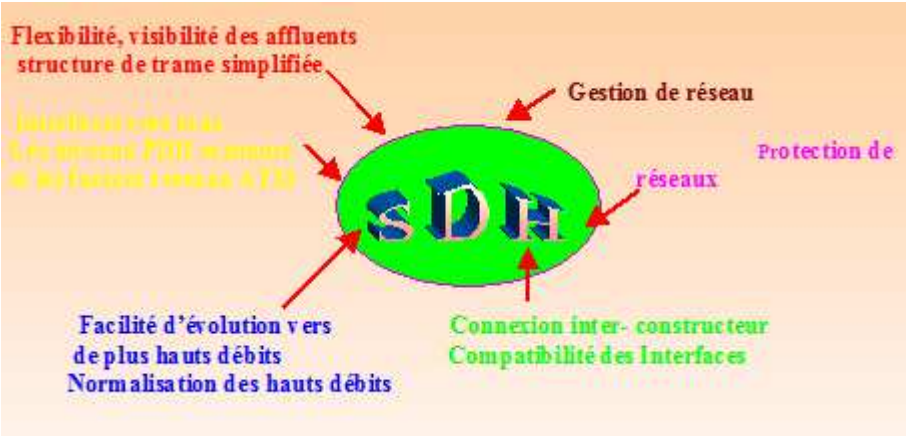


Figure II.6. Les principaux avantages du SDH.

La SDH se situe sur les couches 1 et 2 du modèle OSI (figure .I.7).

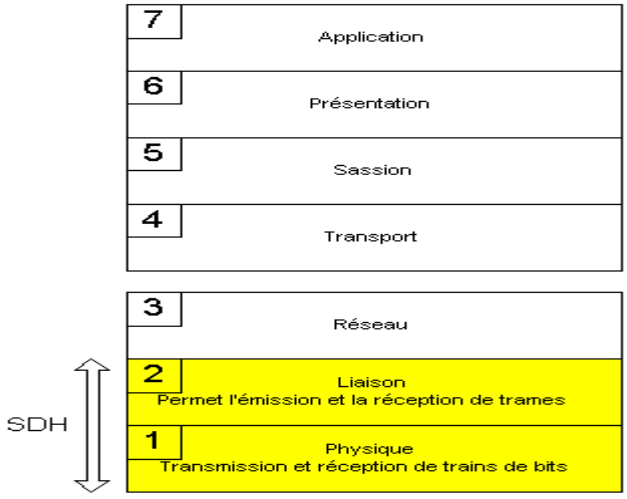


Figure II.7.L'emplacement de la SDH dans le modèle OSI **[10].**

II.2.2.1. Le multiplexage SDH

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), Tributary Unit (TU), Tributary Unit Group (TUG), Administrative Unit (AU), Administrative Unit Groupe (AUG), et Synchronous Transport Module (STM).

Un bloc de données SDH (C, VC, TU, TUG, AU, AUG, STM) est toujours transmis en 125 µs, c'est la période clef des transmissions SDH. Comme les blocs ne contiennent pas le même volume de données, cela suppose l'utilisation d'horloge de plus en plus rapide au fur et à mesure qu'on avance dans l'arbre de multiplexage.

Le multiplexage SDH se fait en deux étapes. Un premier niveau, dit niveau inférieur) suivi d'un deuxième niveau, dit niveau supérieur). Dans le premier niveau les VC-LO sont multiplexés pour former les VC-HO, en suite, dans le 2ème niveau, les VC-HO sont multiplexées pour former la trame STM (Figure II.8).

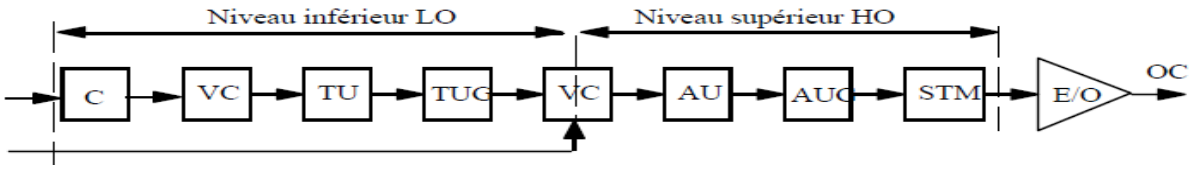


Figure II.8. Les niveaux de multiplexage SDH.

II.2.2.1.1. Les conteneurs de niveau n(C-n)

Pour faciliter leur transport, on les sectionne en petits blocs appelés conteneurs C-n (le 'n' dépend du débit entrant). Un conteneur C-n est une entité dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un débit défini par la CCITT. Le conteneur joue le rôle de génération du signal plésiochrone de départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants.

Ce conteneur est transporté dans le réseau de transmission SDH, le chemin dans le réseau entre le point d'entrée et le point de sortie, constitue ce qu'on appelle un conduit ('path'). Une des propriétés essentielles de la SDH est de pouvoir gérer ce conteneur (indépendamment de son contenu) et son conduit à travers le réseau (Figure II.9).

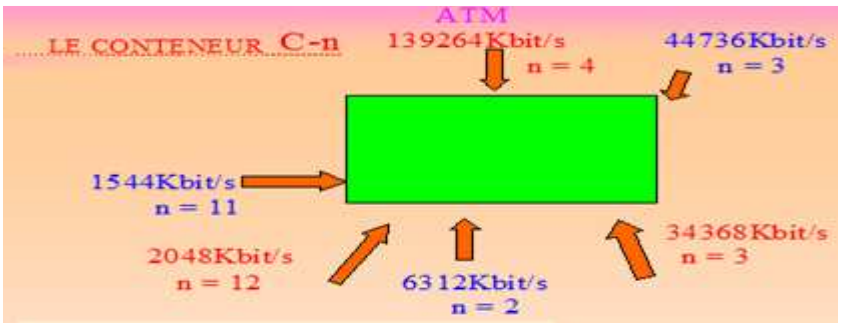


Figure II.9. Le conteneur.

A cette fin, des bits de gestions appelés (sur débit de conduit) sont ajoutés au conteneur. L'ensemble constitue ce qu'on appelle un conteneur virtuel.

II.2.2.1.2. Le conteneur virtuel (VCn) [9]

Le conteneur virtuel VCn est obtenu à partir de conteneur en lui ajoutant un sur débit de conduit POH afin de réaliser les adaptations, ou mappages, des débits d'entrées d'affluentssur le rythme de l'équipement de multiplexage. C'est le conteneur virtuel VC qui est gérée par réseau SDH**(**Figure II.10).

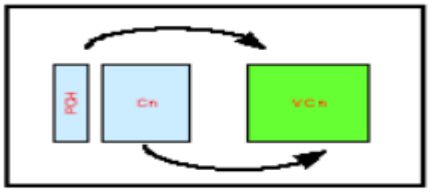


Figure II.10. Conteneur virtuel.

Les VCn sont des éléments de bases transportés par le réseau SDH, ils seront multiplexés pour obtenir des blocs plus grands et ainsi de proche en proche jusqu'à l'obtention d'une trame de base STM-1 constitué de 2430 octets.

C-4 + POH (9 bytes) = **VC-4** (9x261 bytes) (II.1)

C-3 + POH (9 bytes) = **VC-3** (9x85 bytes) (II.2)

C-12 + POH (1 byte) = **VC-12** (35 bytes) (II.3)

Il existe deux types de conteneurs virtuels :

- Les conteneurs virtuels d'ordre inférieur (VC-11, VC-12, VC-2 et VC-3) qui sont transportés dans des conteneurs virtuels d'ordre supérieur.
- Les conteneurs virtuels d'ordre supérieur (VC-3 et VC-4) qui sont multiplexés pour former le signal résultant**. [11]**

II.2.2.1.3. L'unité d'affluent (TU-n)

On appelle unité d'affluent une structure d'informations qui assure l'adaptation entre les couches de conduits de niveau inférieur et supérieur. Elle se compose du VC-n et d'un pointeur PTR associé pour pouvoir remplir un VC avec un affluent et le projeter dans la trame SDH, tout en pouvant le localiser immédiatement, la valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VC-n dans la trame de transport utilisée Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport (figure II.11).

TU-3 = VC-3 + PTR (3 bytes) (II.4)

TU-12 = PTR (one byte) + VC-12 (35 bytes) (II.5)

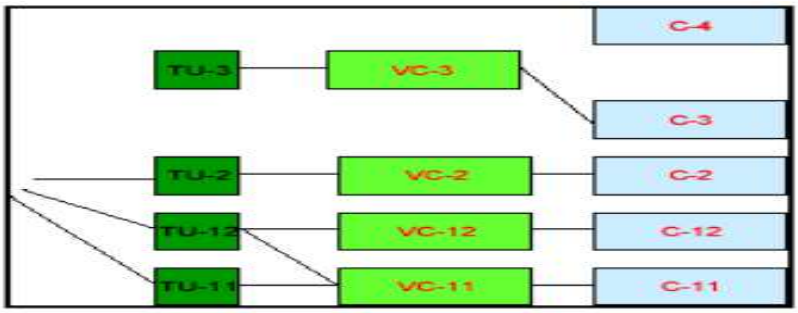


Figure II.11. Unité d'affluent

II.2.2.1.4. Le groupe d'unités d'affluent (TUG-n) :

Le groupe d'unité d'affluent TUG-n représente une structure virtuelle de la trame permettant le multiplexage de TU-n, ce n'est pas une nouvelle entité physique. Il constitue un regroupement de TU-n dans un espace réservé d'une entité supérieure, TUG supérieure ou VC4. On peut considérer que le TUG définit les règles de rangement des TU-n dans cette entité supérieure, et à travers elle, dans la trame de transport, on peut avoir(figure.II.12) :

- Le TUG2 regroupant 3 TU-12 ou 1 TU-2.
- Le TUG3 regroupant 7 TUG-2 ou 1 TU-3.

TUG-3 = TU-3 + 6 Justification Bytes (II.6)

TUG-2 = 3 x TU-12 (II.7)

TUG-3 = 7 x TUG-2(II.8)

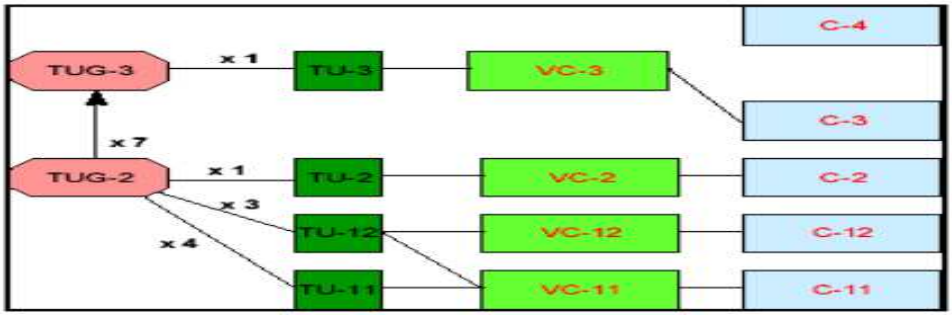


Figure II.12. Groupe d'unité d'affluent.

II.2.2.1.5. L'unité administrative (AU-n)

Elle assure l'adaptation entre la couche du conduit de niveau supérieur et la couche de la section de multiplexage, elle est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du VC4 dans la trame transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4 dans la trame. Deux unités administratives sont définies (Figure II.13) :

- L'unité AU-4 qui se compose d'un CV-4 et d'un PTR.
- L'unité AU-3 qui se compose d'un CV-3 et d'un PTR.

$$AU\text{-}4 = AU\text{-}PTR + VC\text{-}4 \qquad (II.9)$$

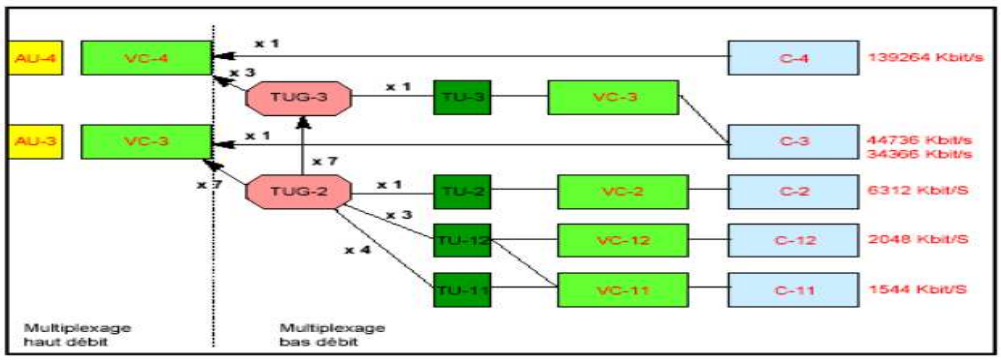


Figure II.13. Unité administrative.

II.2.2.1.6. Le groupe d'unités administratives (GUA-n)

On appelle 'groupe d'unités administratives' une ou plusieurs unités administratives occupant des positions fixes et définies dans la capacité d'une STM. Un groupe AUG se compose soit :

- Trois AU-3
- Une AU-4

Les trames de transport STM-n sont obtenues en multiplexant n AUG (et non n STM1) et en rajoutant un sur débit de section SOH. La trame de base STM1 (155,52Mbit/s) contient 1 AUG et son SOH, la trame STM4 (622,080Mbit/s) contenant 4 AUG et son SOH, la trame STM16 (2488,320Mbit/s) 16 AUG et son SOH.

II.2.2.1.7. L'arbre de multiplexage SDH

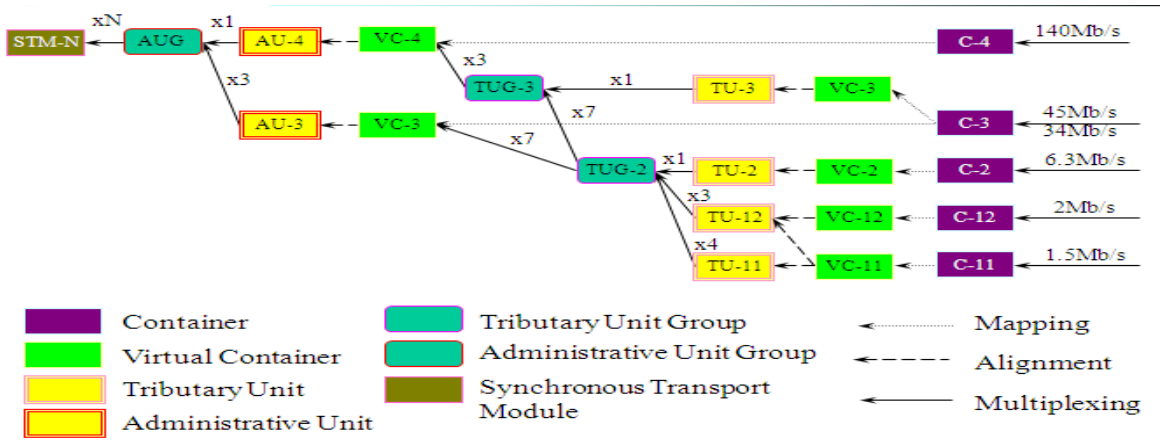


Figure II.14. Multiplexage SDH. **[11]**

II.2.2.1.8. La trame de base STM1 [12]

La trame STM-1 est constituée d'une AUG à laquelle on a ajouté le surdébit RSOH (Regenerator Section Overhead) qui contient les informations utiles aux modules régénérateurs ainsi que le surdébit MSOH (Multiplex Section Overhead) qui contient les informations utiles aux modules de multiplexage (Figure II.15).

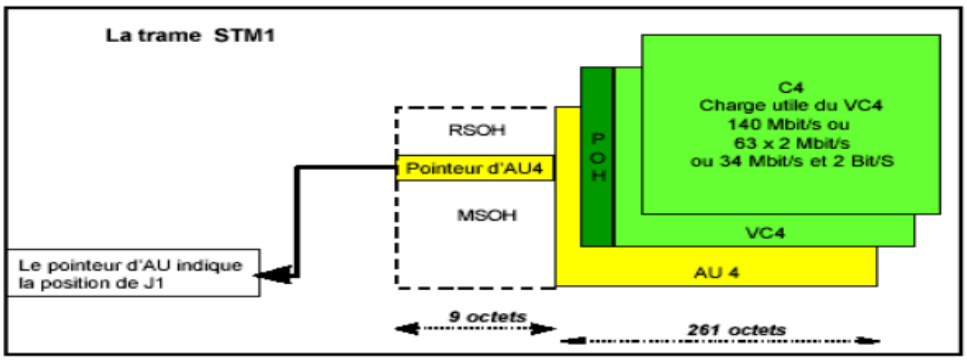


Figure II.15. Structure de la trame STM-1.

La trame de multiplexage s'articule autour d'une trame de base appelée STM-1 qui est organisé en octets. Cette trame possède les caractéristiques suivantes :

- longueur totale : 9*270=2430 octets.
- fréquence de répétition =8kHz.
- durée = 1/8kHz125µs.
- débit=2430*8*1/125*10^{-6}=155,52Mbit/s.

La trame STM-1 est constituée de trois zones réservées aux informations suivantes :

- ✓ la charge utile ou playload : elle correspond à la partie transportant l'information ou l'ensemble AU4. Son débit est de 9*261*64 kbit/s = 150.336 Mbit/s.
- ✓ le surdébit de section SOH (section over head) : il transporte les données de service de la trame, qui se décompose en deux sous-ensembles : le RSOH et le MSOH.
- ✓ Le pointeur PTR (pointer) : il est réservé au dispositif de suivi de données dans la trame, cette zone est utilisée par le groupe d'unités.

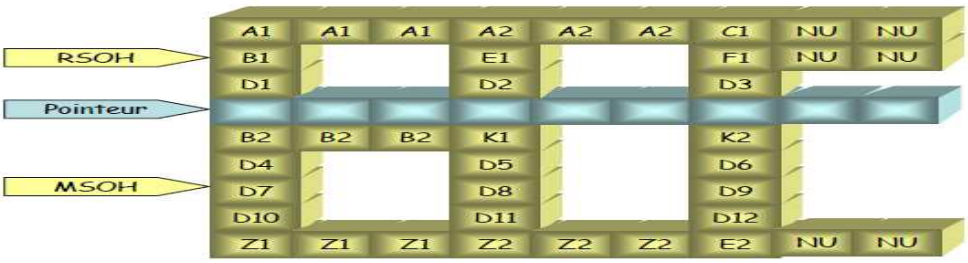


Figure II.16. La constitution de la trame STM1.

Dans le RSOH, les octets A1/A2 permettront de constituer le mot de verrouillage de trame, J0/C1 identifie AUG avant le multiplexage au niveau STM-N, B1 permet la surveillance des erreurs sur les bits de la section élémentaire régénérée, E1 est une voie de service pour des communications vocales entre régénérateurs et l'octet F1 est une voie de données entre régénérateurs réservés aux besoins particuliers de l'utilisateur.

Dans le MSOH, l'octet B2 permet la surveillance des erreurs sur les bits de la section de multiplexage, K1 et K2 sont affectés à la commande de commutation de protection automatique APS (Automatic Protection Switching 1+1 ou 1:n), les octets D4 à D12 formentun canal de communication de données DCC pour une section de multiplexage. L'octet S1contient des bits pour la description de l'état de la synchronisation, c'est-à-dire les quatre niveaux de synchronisation adoptés par le CCITT. L'octet E2 est une voie de service pour les communications vocales entre multiplexeurs.

II.2.2.1.9. La trame STM-n [5]

Une trame STM n est composée d'une capacité utile obtenue par multiplexage de nAUG, et d'un SOH. La trame n'est donc pas le résultat d'un multiplexage de n STM-1. Voir figure ci-contre. La capacité utile d'un STM-n est obtenue par multiplexage de n VC4 qui composent les n AUG. Le multiplexage est réalisé en effectuant un entrelacement des octets de n VC4.

La capacité utile est donc composée de n fois 261 colonnes afin de pouvoir loger (résider) les n VC4.Les pointeurs d'AU sont placés dans la ligne 4 des n fois 9 premières colonnes de la trame(Entre le RSOH et le MSOH).

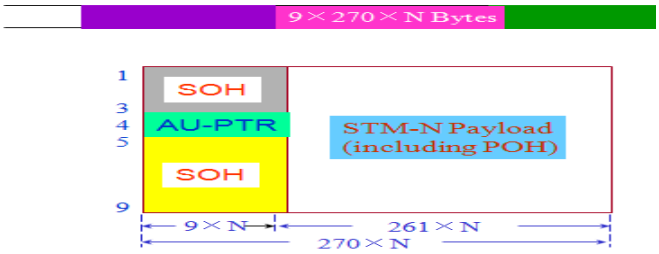


Figure II.17. Structure de la trame STM-n. [11]

Dans ce cas, le multiplexage des pointeurs se fait par entrelacement des octets de ces n pointeurs. Les n VC4 seuls se trouvent donc dans la capacité utile.

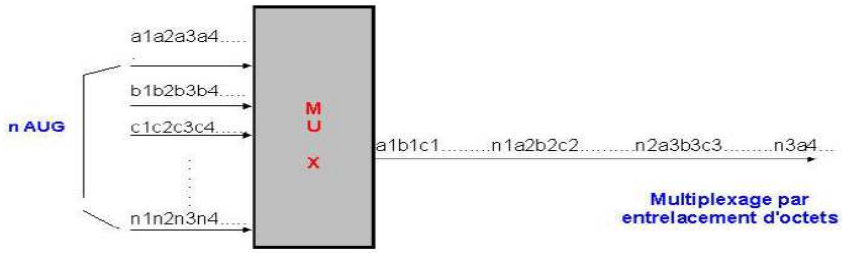


Figure II.18. Multiplexage par entrelacement d'octets.

Dans un STM-n, le SOH du premier STM est utilisé pour tous les STM. Les autres SOH ne sont pas utilisés.

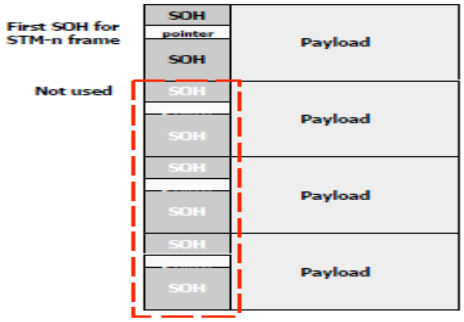


Figure II.19. Le SOH dans un STM-n.

Les octets du RSOH, rafraîchis à chaque point de régénération, apparaissent une seule fois dans le SOH de la trame STM n. Pour les octets du MSOH, rafraîchis à chaque point de multiplexage, seul B2 (erreur), S1 et M1 (octets de réserve) figurent autant de fois que d'AUG; les autres octets, traitant la section de multiplexage figurent une seule fois.

Pour le STM-4, le SOH est formé de 4 fois 9 colonnes soit 36 colonnes. Les octets significatifs qui le composent ont les mêmes fonctions que les octets du SOH de STM-1, pour chacun des AUG qui composent le STM4.

Pour le STM-16, le SOH est formé de 16 fois 9 colonnes soit 144 colonnes. Les octets significatifs qui le composent ont les mêmes fonctions que les octets du SOH de STM-1 et STM-4.

II.2.2.2 Topologies du réseau SDH

L'architecture d'un réseau SDH est déterminée à partir d'un certain nombre de considérations fondamentales telles que :

- Respect du débit et du synchronisme
- Assurer le transport dans un temps minimum du réseau à palier automatiquement à ses défaillances au moins partiellement pour assurer le transport des données vitales.

Les architectures peuvent être réalisées en bus, en anneau, et en étoile.Tel que L'architecture en anneau est celle qui répond le mieux à ces considérations.

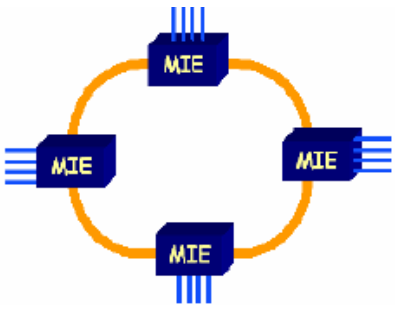


Figure II.20. Topologie en anneau.

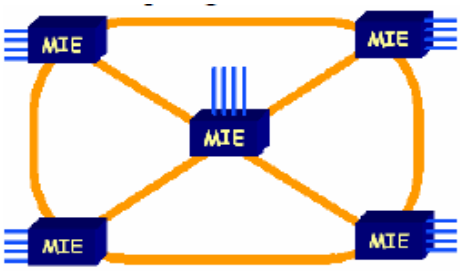


Figure II.21. Topologie en étoile.

Figure II.22. Topologie en bus.

II.2.2.3. Infrastructure du réseau SDH

Les réseaux SDH font intervenir quatre types de composants :

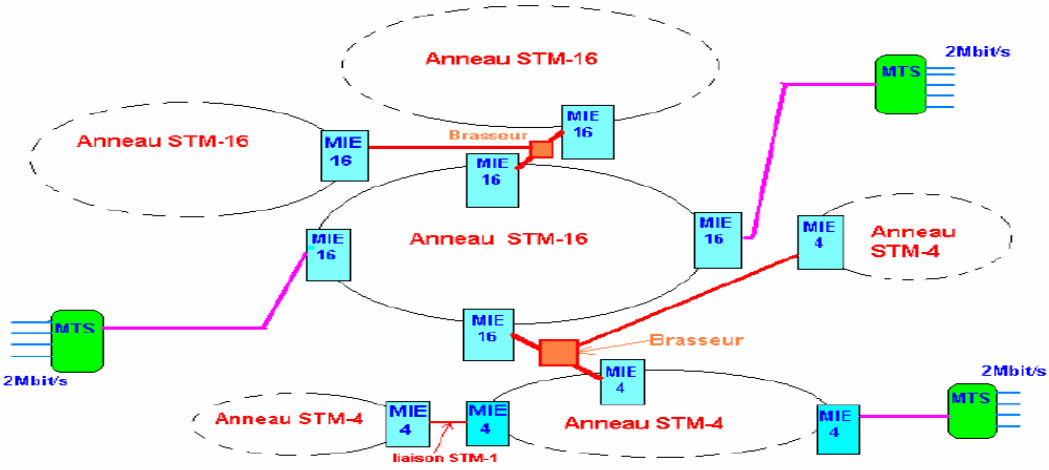


Figure II.23. Infrastructure du réseau SDH. **[12]**

II.2.2.3.1. Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS) [14]

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant. On ne parle plus de configuration en anneau mais de configuration en point à point. Il existe deux configurations en point à point possible. La première reliant deux MTS et la seconde relian tun MTS à un MIE qui est lui en anneau.

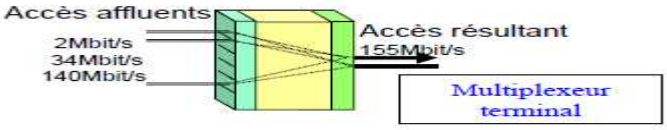


Figure II.24. Multiplexeur terminal.

II.2.2.3.2.Multiplexeurs insertion/extraction (MIE)

Les multiplexeurs insertion/extraction ou ADM (add-drop) sont utilisés pour multiplexer des signaux plésiochrones ou SDH dans des structures SDH de plus haut niveau.

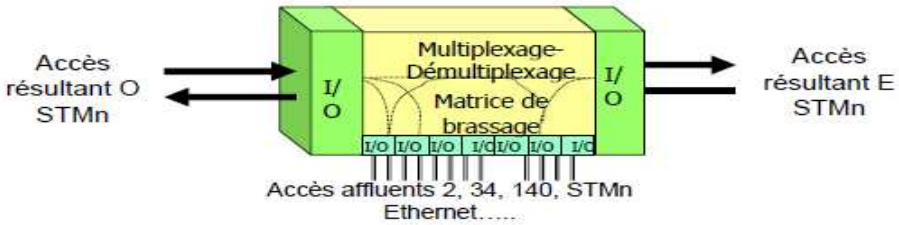


Figure II.25. Multiplexeur insertion/extraction (MIE/ADM).

Dans le cas d'un double ou triple anneau (parallèle), les lignes rentrent directement dans les ADM de l'anneau qui est choisi pour transmettre un flux. L'interconnexion entre anneaux se fait par l'intermédiaire de deux ADM.

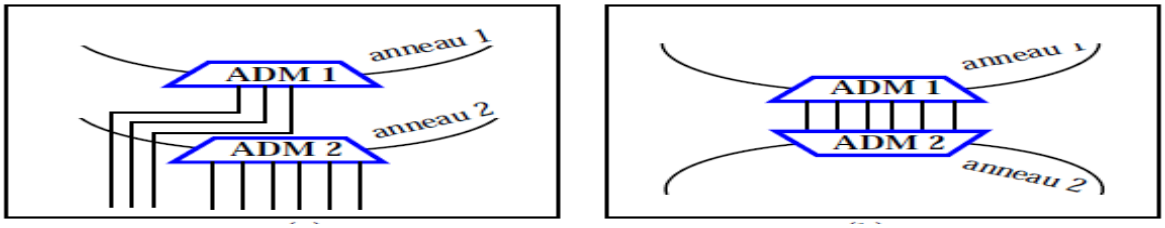


Figure II.26. Interconnexion d'ADM.

II.2.2.3.3.Brasseur (DXC : Digital Cross-Connect) [12]

Les brasseurs numériques **S-DXC** (Synchronous Digital Cross Connect) permettent de réarranger les affluents dans les trames STM-n et de commuter (c'est-à-dire brasser) des VC's dans des multiplex d'entrées avec des multiplex de sortie.

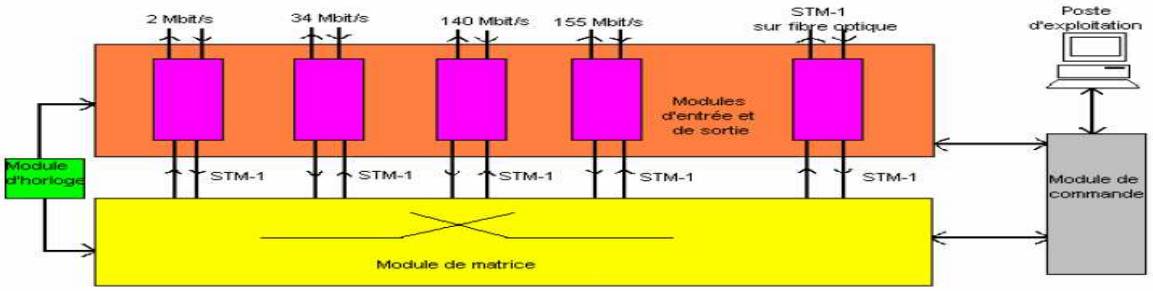


Figure III.27. Sous-systèmes fonctionnels d'un brasseur.

II.2.2.4. Les interfaces utilisés dans le réseau SDH

Il existe deux types d'interfaces :

- Electriques : STM-1 codé selon la norme G.703. Pour des courtes distances <90m (intracentre) et pour le STM1 uniquement.

- Optiques sur fibre type G.652 ou G.653.

II.2.2.5. La synchronisation du réseau SDH [13]

Dans un réseau SDH, les pertes de données causées par les problèmes de synchronisation sont réduites par l'utilisation dans tous les nœuds du réseau d'horloges synchronisées avec une horloge de référence, Ceci est réalisé grâce à la distribution d'une horloge très stable sur tous les éléments du réseau.

La qualité de fonctionnement du réseau SDH dépend de sa synchronisation, Il existe 4 types de source de synchronisation pour l'équipement SDH :

- T0 : L'oscillateur interne (mode HOLOVER, en cas de perte de synchronisation)
- T1 : Un signal STM entrant (entrée STM-n, en priorité 3, SSU-2)
- T2 : Un affluent (2Mbit/34Mbit/45Mbit/140Mbit, en priorité2, SSU-1)
- T3 : Une horloge externe à 2,048 MHz (fiable et placée en priorité1, PRC)

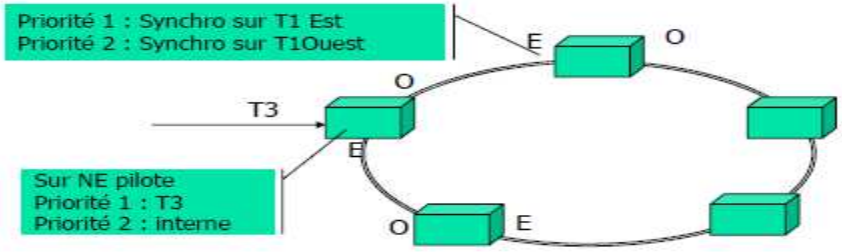


Figure II.28. Synchronisation.

Il existe trois niveaux principaux de SSU (Synchronisation Source Unit)

- Primary Reference Clok PRC (pris de depuis la source d'horloge)
- Secondary SSU (prise de la source d'horloge Priorité 2)
- HoldOver HO (horloge interne à l'équipement).
-

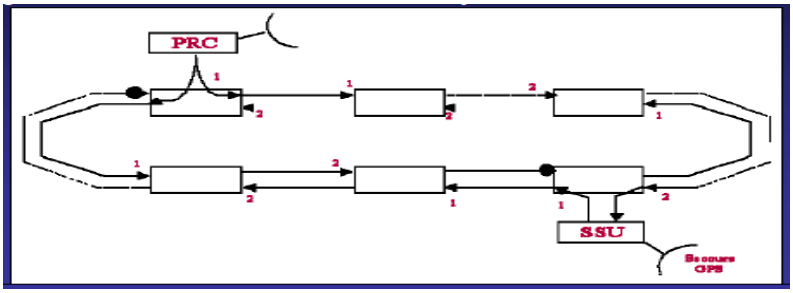


Figure II.29. Priorité de source de synchronisation dans une boucle.

II.2.2.5.1. La sécurisation de la synchronisation

Un basculement sans précaution de la source d'horloge en cas de défaillance entraînerait l'apparition d'une boucle d'horloge (Timing Loop)

Exemple d'un Timing Loop :

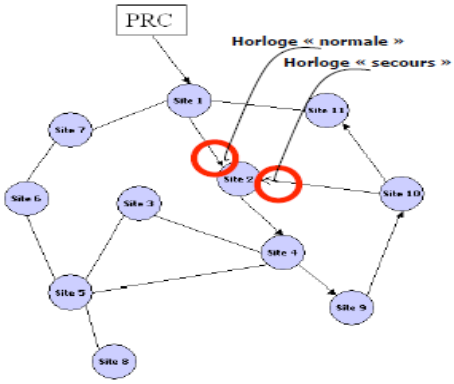


Figure II.30. Cas nominale.

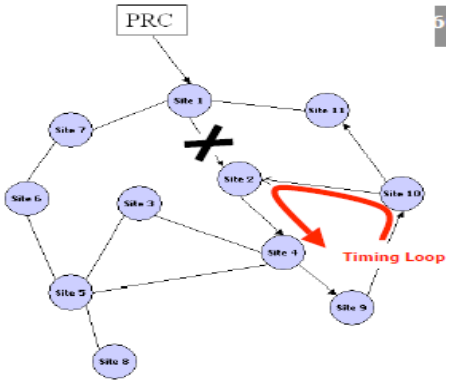


Figure II.31. Cas d'un défaut.

II.2.2.6. Insertion d'affluents dans un STM1 [5]

II.2.2.6.1. Insertion d'un affluent de 140 Mbit/s dans une STM-1 :

Tout d'abord, il faut élaborer le conteneur C4 comme le montre la structure du multiplexage synchrone après récupération d'horloge et la régénération de l'affluent. Ce conteneur de périodicité 125µs est formé de 180 blocs chacun constitué de 13 octets, soit au total 2340 octets ou 18720 bits, donc le débit est 18720/125=149.760 Mbit/s.

Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de 139,264 Mbit/s, tous les bits ne seront donc utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc, il y a 13 octets répartit comme suit : un octet pour les bits d'indication tels que le bit de remplissage, de justification ou de sur débit, et 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Il y a enfaite 17406 bits d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mbit/s.

Comme le débit de l'affluent est supérieur au débit d'information du C4, c'est une justification de type négative.

Pour obtenir un Conteneur Virtuel VC4, on rajoute un Sur débit de Conduit appelé POH, on obtient ainsi 1octet de plus pour chaque ligne, soit 9 octets de plus par rapport à C4.

L'unité Administrative A est constituée de l'ensemble VC4 et d'un pointeur associé.

La trame STM-1 est constituée de l'ensemble AU4 et d'un sur débit de section SOH qui se décompose en deux sous-ensembles : le RSOH et le MSOH.

II.2.2.6.2.Insertion d'affluent 34Mbit/s dans un STM1

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 34 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C3 : de périodicité 125µs .

-Formé de 9 lignes comportant chacune 84 octet, soit 756 octets ou 6048 bits.

-Débit de 48,384 Mbit/s.

Comme il n'y a pas assez d'octets de données on ajoute des bits de remplissage, donc le débit nominal de l'information dans du C3 passe à 34,344 Mbit/s.

Le conteneur virtuel VC3 est obtenu en rajoutant à C3 un Sur débit de Conduit POH identique au POH du VC4. Le TU3 est constitué de l'ensemble du VC3 et d'un pointeur associé placé dans la capacité utile de la trame STM1. Le VC4 formé de 3 TUG3 est obtenue en effectuant un multiplexage par entrelacement de colonnes des TUG3 A/B/C après avoir placé en tête du VC4 la colonne contenant le POH de VC4 etdeux colonnes de remplissage.

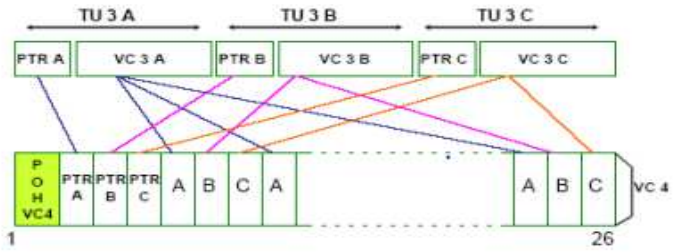


Figure II.32. Mise en place d'un VC3 et intégration dans un VC4.

Comme dans le cas d'un affluent à 140Mbit/s, l'AU4 est obtenue en associant un pointeur au VC4. L'AUG représente l'entité contenant l'AU4 et il sera placé dans le STM1 qui est obtenue en rajoutant le SOH à l'AUG. On obtient un STM1 formé d'un AUG contenant un VC4 composé de trois TUG3 élaborés à partir de trois VC3 transportant trois affluents à 34Mbit/s.

II.2.2.6.3. Insertion d'affluent 2Mbit/s dans un STM1

Le C12 est constitué d'un ensemble de 139 octets en 4 fois 125µs, soit 500µs et non pas 125µs comme pour les C3 ou C4. Ceci permet de réduire la taille relative du sur débit par rapport au signal utile transmis.

En mode TU flottant, le VC12 est obtenue en rajoutant, dans la période de 500µs, le POH de VC12 constitué d'octets nommés V5 (surveillance des erreurs), J2(identification du point

d'accès), N2(surveillance des connexions en cascade), K4(octet réservé pour un complément d'étude). Le TU12 est élaboré en associant au VC12, dans la période de 500µs, 4 octets nommés V1, V2, V3 et V4. V1 et V2 constituent le pointeur de VC12, V3 est l'opportunité de justification négative et V4 n'est actuellement pas utilisé (application future). Le TU12 est ainsi constitué de 144 octets. Pour obtenir un TUG2 il faut multiplexer 3 TU12, puis pour obtenir TUG3, il faut multiplexer 7 TUG2, puis pour obtenir un VC4 il faut ajouter un POH à un multiplexage de 3 TUG3 comme pour le cas de l'insertion du 34Mbit/s. Ainsi on obtient pour l'AU4 un multiplexage de 63 trains à 2Mbit/s.

II.2.2.7. La protection de fonctionnement dans les réseaux SDH [13]

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission.

Le choix parmi les mécanismes permet d'obtenir une solution adaptée aux :

- Type de défaut
- Type de trafic à sécuriser
- Flexibilité
- coûts

❖ **Les principaux défauts**

Dans un réseau SDH on peut avoir des défauts dus :

- ✓ A une défaillance dans le réseau
- ✓ A un défaut de composant électronique
- ✓ A une mauvaise commande

On fait face à ces problèmes soit par la protection ou par la restauration

- ♦ **Protection :** la route de secours est établie dés l'origine.
- ♦ **Restauration :** la route de secours est établie après le défaut.

On trouve plusieurs types principaux de protection qui peuvent être utilisés **:**

II.2.2.7.1. La protection de carte

Agit en cas de défaillance d'une carte. Il peut s'agir d'une protection 1+1 ou 1:N.

- 1+1 : 1 carte est l'unique secours de l'autre
- 1 :1 ou 1:N : 1 carte peut venir en secours de l'une des N cartes défaillantes

➢ **La protection 1+1 :** Ce type de protection offre deux accès optiques pour le trafic normal (working). Le secours (protect) ne peut pas être utilisé pour le réseau de réserve.

- **La protection 1 :1 ou 1 : N** : Dans cette configuration, le secours peut être utilisé pour secourir la liaison normale ou pour réacheminer du trafic (extra-trafic) d'autres artères.

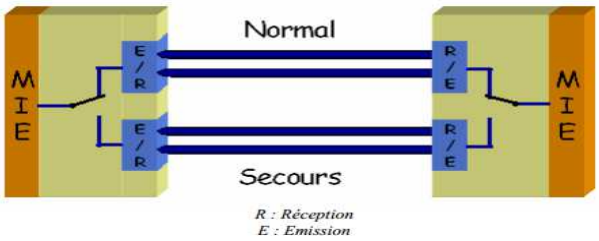


Figure III.35. La protection 1+1.

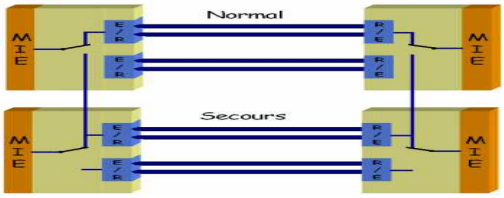


Figure III.36. La protection 1 : N.

II.2.2.7.2.La protection de la section de multiplexage MSP

- **La protection linéaire**

Appelé Multiplex Section Protection (MSP) ou Automatic Protection Switching (APS). Il s'agit d'une protection n+1, elle utilise les octets K1, K2 du MSOH

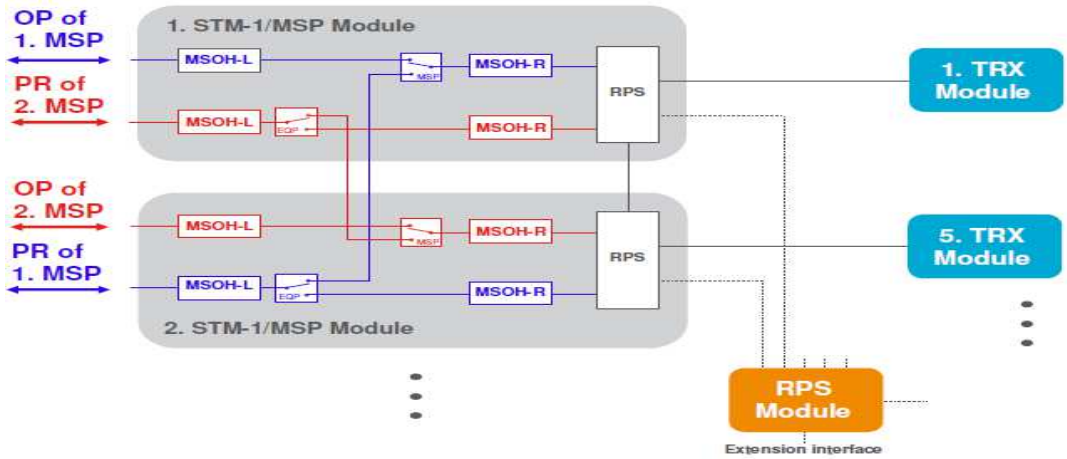


Figure II.37. La protection MSP.

La plupart du temps c'est une protection 1+1, les cartes d'interfaces et les câbles sont doublés.

- **Protection 1+1**

APS 1+1 (Automatic Protection Switching)

MSP (Multipex Section Protection) sur réseau linéaire : traite des dérangements à l'intérieur d'une section de multiplexage

Le protocole K1 K2 n'est pas utilisé :

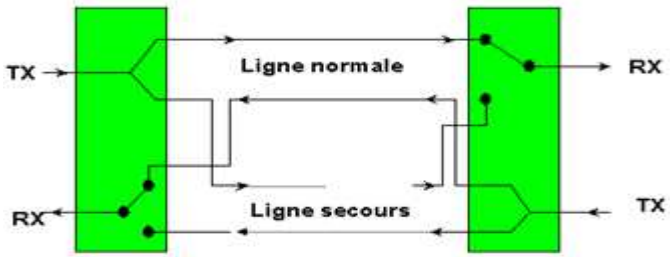


Figure II.38. La protection 1+1.

Lorsqu'une ligne coupe, par exemple celle du haut, le récepteur de droite n'est plus éclairé. Il détecte dont une panne et commande à l'émetteur de droite de s'éteindre et de passer sur le secours de droite (deuxième paire). L'émetteur s'éteignant, l'autre récepteur (à gauche) ne reçoit rien. Il commande donc à son émetteur (gauche) de couper et bascule sur le secours.

- **La protection en anneau ou MS-SPRING (MS-Shared Protection Ring)**

Dans ce type de protection il faut que tout le trafic véhiculé par l'arc en panne puisse être véhiculé par tous les autres arcs. En fait le pire des cas est la panne du lien le plus chargé puisque c'est dans ce cas que le reste de l'anneau prendra la plus grande surcharge due à la protection. Pour limiter la bande passante nécessaire, ce mécanisme de protection peut être limité au trafic sécurisé.

II.2.2.7.3.Protection SNCP

Dans le mécanisme de protection SNCP (Sub-Network Connection Protection) qui porte aussi le nom de PPS (Path Protection System), le trafic entre un nœud source et un nœud destination est envoyé par le chemin direct ainsi que par le chemin rétrograde. Au nœud destination il y a un vote entre les deux signaux.

Cette technique, illustrée sur la Figure (III.39), duplique la totalité du trafic. Pour limiter la bande passante nécessaire, le trafic peut être réparti en deux composantes : une sécurisée et une non-sécurisée, la protection SNCP ne s'appliquant qu'à la composante sécurisée. En conséquence, si X est la quantité de trafic sécurisé à faire passer entre deux nœuds quelconques de l'anneau, il faut réserver X unités de capacité sur tous les arcs de l'anneau.

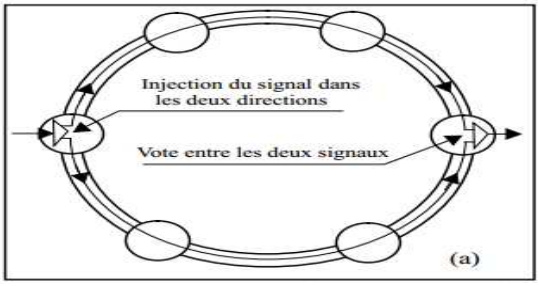


Figure II.39. SNCP sur une topologie en anneau.

II.3. Cas de transport de la capacité Ethernet (IP) [15]

La technologie Ethernet s'est imposée ces dernières années face à ses concurrents, en offrant des débits de 100 Mb/s, 1 Gb/s et 10 Gb/s. Aujourd'hui seul ATM paraît en mesure encore de résister. Mais ceux qui prédisaient le tout ATM semblent s'être trompés, le marché des réseaux locaux se fonde, certainement durablement, sur Ethernet.

Cependant, l'accroissement du débit s'est accompagné d'un changement sur les structures d'interconnexion.

Ce n'est pas la première fois. L'histoire d'Ethernet est riche en versions: 10base5, 10base2, 10 Base T, etc... Ces changements n'ont jamais affecté ni la structure de la trame (Ethernet II ou 802.3) ni la méthode d'accès (CDMA).

II.3.1. La trame Ethernet

La trame Ethernet a une capacité de 64 à 1518 octets qui sont divisé en différent champs. Celle-ci est toujours précédée de deux champs permettant la synchronisation avec le réseau. Ces champs ne sont pas enregistrés lors d'une capture de la trame.

Voici les différents champs qui composent une trame Ethernet

II.3.2. Les champs de la trame Ethernet

- Les champs adressent destination & adresse source (6 octets)

  Ces deux champs indiquent l'adresse de la destination de la source. Il s'agit des adresses physiques des cartes réseau. Ces adresses sont codées sur 48 bits (6 Octets). Le premier bit permet de spécifier s'il s'agit d'une adresse individuelle (0) ou de groupe (1). Le deuxième bit précise si l'adresse de groupe est multicast (0, à destination d'un groupe de station) ou broadcast (1, à diffusion générale).

- Le champ de données (informations)

  Le champ de données est souvent nommé champ informations.

- Le champ de bourrage

  Le champ de bourrage permet de compléter le champ de données dans le cas ou celui-ci contient moins de 46 octets. .

- Le champ FCS

  Le champ FCS (Fram Check Sequence) permet un contrôle à la réception de la trame. L'émetteur effectue un calcul sur les champs 'destination', 'source', 'longueur' et 'information'. Il en inscrit le résultat dans les 4 octets du FCS.

Adresse destination	Adresse source	Longueur des données	Champs de données	Bourrage	FCS
6 octets	6 octets	2 octets	46 à 1500 octets		4 octets

Figure II.40. La trame Ethernet.

II.3.3.Types de réseaux Ethernet

II.3.3.1. Fast Ethernet

Le terme Fast Ethernet fait référence à un réseau Ethernet capable de transférer des données à une vitesse de 100 Mbits/s

II.3.3.2. Gigabit Ethernet

Les réseaux Gigabit Ethernet, qui peuvent également être basés sur un câble à paires torsadées ou en fibre optique, délivrent un débit de 1 000 Mbits/s (1 Gbit/s) et sont de plus en plus populaires.

II.3.3.3. 10 Gigabit Ethernet

10 Gigabit Ethernet est la norme de dernière génération ; elle est capable de délivrer un débit de 10 Gbits/s (10 000 Mbits/s).

II.4. les VLAN (virtual local area network)

Le Réseau Local Virtuel est un réseau local regroupant un ensemble de machines de façon logique et non physique.

Un réseau local virtuel est un regroupement virtuel d'au moins deux périphériques. Ce regroupement virtuel peut s'étendre au-delà de plusieurs commutateurs. Les périphériques sont regroupés sur la base d'un certain nombre de facteurs suivant la configuration du réseau.

Un VLAN permet de créer des domaines de diffusion (domaines de *broadcast*) gérés par les commutateurs indépendamment de l'emplacement où se situent les noeuds, ce sont des domaines de diffusion gérés logiquement.

En effet dans un réseau local la communication entre les différentes machines est régie par l'architecture physique. Grâce aux réseaux virtuels (VLANs) il est possible de s'affranchir des limitations de l'architecture physique (contraintes géographiques, contraintes d'adressage, ...) en définissant une segmentation logique (logicielle) basée sur un regroupement de machines grâce à des critères (adresses MAC, numéros de port, protocole, etc.).

II.4.1. Les avantages des VLANs sont les suivants

- La réduction des messages de diffusion (notamment les requêtes ARP) limités à l'intérieur d'un VLAN.
- Ainsi les diffusions d'un serveur peuvent être limitées aux clients de ce serveur.
- La création de groupes de travail indépendants de l'infrastructure physique ; possibilité de déplacer la station sans changer de réseau virtuel.
- L'augmentation de la sécurité par le contrôle des échanges inter-VLAN utilisant des routeurs (filtrage possible du trafic échangé entre les VLANs).
- L'indépendance entre infrastructure physique et groupe de travail implique qu'un commutateur puisse gérer plusieurs Vlan et qu'un même Vlan puisse être réparti sur plusieurs commutateurs. En conséquence, une trame qui circule dans un commutateur et entre les commutateurs doit pouvoir être associée à un Vlan.

Pour répondre aux objectifs des Vlan la règle suivante doit être impérativement respectée : une trame doit être associée à un Vlan et un seul et ne peut pas sortir du Vlan, sinon l'étanchéité du niveau 2n'est plus respectée.

Les méthodes de construction d'un Vlan doivent donc déterminer la façon dont le commutateur va associer la trame à un Vlan. Usuellement on présente trois méthodes pour créer des VLAN : les vlan par port (niveau 1), les Vlan par adresses MAC (niveau 2), les Vlan par adresses IP (niveau 3) ainsi que des méthodes dérivées.[4]

II.4. CONCLUSION

La transmission numérique synchrone dispose de tous les atouts nécessaires pour en faire la base des réseaux de transmission modernes. En 2G la transmission de la vois et la data se fait en même temps et dans un même canal tel qu'on réserve une capacité pour la vois et une autre pour la data. Mais avec la montée en débit des services qui se développeront dans les années à venir, notamment du fait de le départ du multimédia. La transmission par des liaisons Hybride (TDM et IP) c'est- à-dire dans une liaison on trouve des canaux de transmission de la capacité TDM et d'autre pour la capacité IP. C'était une solution pour répondre aux exigences de qualité de réactivité face à la demande de services support de transmission.

CHAPITRE III

Faisceaux Hertziens Numériques

III.1.Généralités sur les faisceaux hertziens

Un faisceau hertzien (FH) est un système de transmission de signaux (aujourd'hui principalement numériques) entre deux points fixes. Il utilise comme support les ondes radioélectriques avec des fréquences porteuses de 1.5 GHz à 38 GHz,Pour chaque liaison hertzienne, on définit deux fréquences correspondant aux deux sens de transmission. Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est souvent découpé en plusieurs tronçons, appelés bonds, reliés par des stations relais qui reçoivent, amplifient et remettent le signal modulé vers la station suivante.

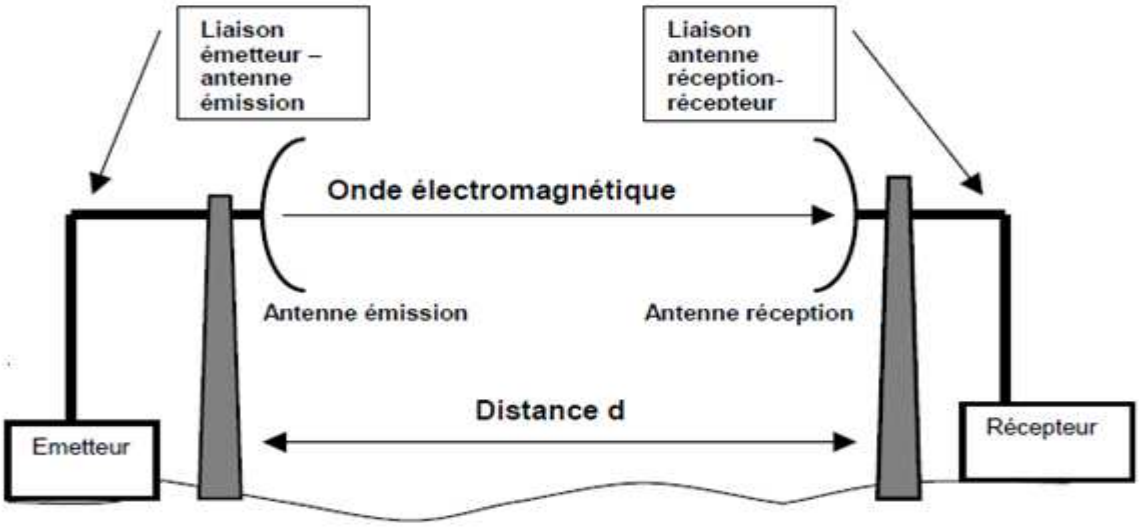


Figure III.1. Structure d'une liaison FH.[16]

III.2. Equipements d'une liaison hertzienne [17]

Comme le montre les figures III.2 et III.3 une liaison FH contient plusieurs équipements :

- IDU (Indoor Unit), unité intérieure
- ODU (Outdoor Unit), unité extérieure
- Antenne
- Coupleur Hybride
- Câble IF (fréquence intermédiaire)
- Pôle.

L'unité interne (IDU) produit un signal analogique de fréquence intermédiaire (FI) à partire du signal numérique modulé en quadrature d'amplitude QAM-2^n (n bits de codage). Elle

assure aussi la démodulation pour le signal reçu. Ensuite, le signal (FI) est transmis ou reçu par l'intermédiaire d'un câble coaxial vers l'unité externe (ODU). ODU permet d'adapter aussi le signal aux fréquences porteuses d'un niveau élevée pour la transmission en très haute fréquence. Le coupler hybride est utilisé pour multiplier plusieurs unités en parallèle pour avoir plusieurs canaux de transmission.

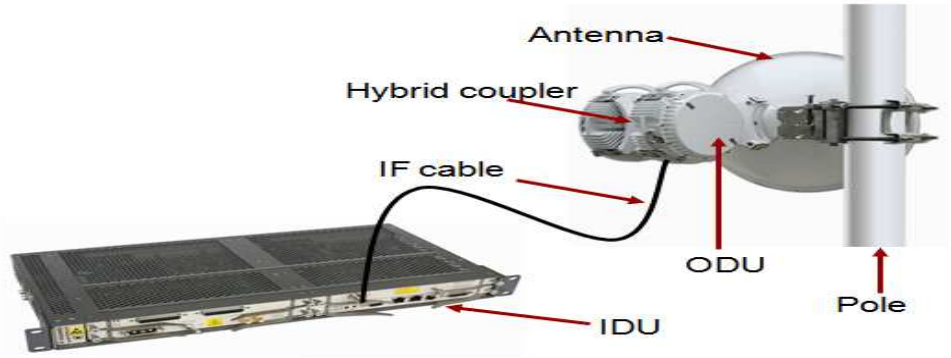


Figure III.2. les équipements d'une liaison FH.

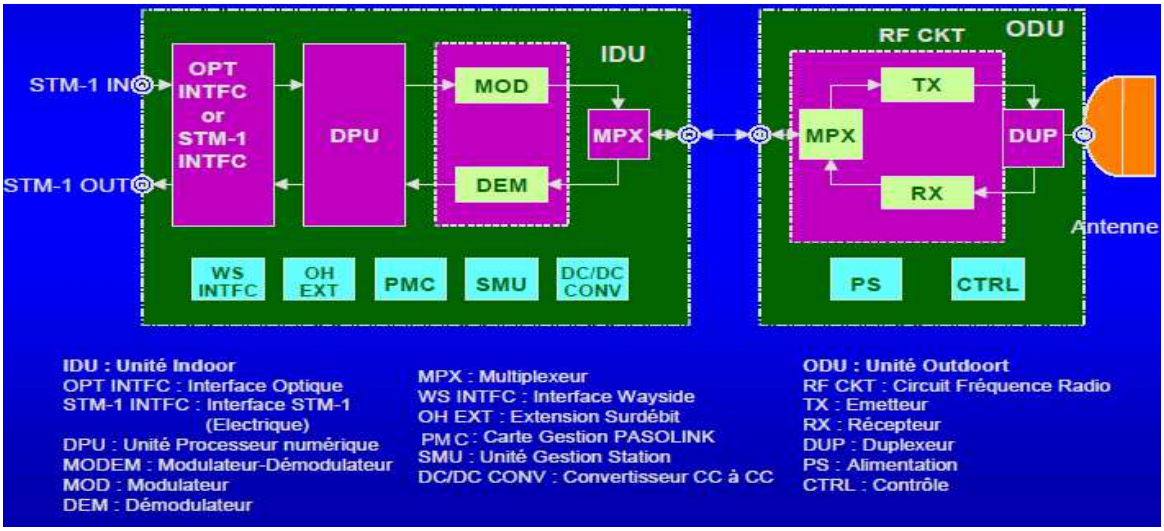


Figure III.3. Schéma synoptique d'un émetteur-récepteur d'une liaison FH Numérique (FHN).

III.2.1. IDU

L'unité intérieure IDU (Indoor Unit)est une unité qui réalise la conversion mutuelleentre le signal numérique haut débit et le signal IF analogique, elle a pour fonction globale la modulation et la démodulation du signal, respectivement, émis ou reçu. Cette unité permet de transporter un STM-1 de 155 Mbits/s.Elle peut être considérée en 1+0 (un canal de

transmission sans protection ou canal secondaire) ou en 1+1 (avec un canal principal et canal secondaire pour la protection).L'IDU (1+1) permet de générer deux signaux identiques l'un en fonctionnement normale et l'autre en relais effectuant une commutation automatique de canaux lorsque la première liaison est défectueuse.L'architecture d'un IDU diffère d'un équipement à un autre. Dans notre cas on a étudié un IDU de types NEC dont l'interface de connexion se présente comme suit :

Figure III.4. Architecture du système IDU.

III.2.1.1. Les cartes interface

Contient des accès des différents signaux :

- **Les cartes E1 :** un IDU contient jusqu'à 14 cartes E1 (IF slot 1 – 14)
- **Les cartes STM-1 :** on trouve jusqu'à 14 cartes, eton distingue deux types :

- STM-1 (électrique) qui a les caractéristiques suivantes : débit binaire (155,520 Mbit/s), format de code (signaux à inversions codées (CMI)), impédance (75 ohms).
- STM-1 (optique) qui a les caractéristiques suivantes : débit binaire (155,520 Mbit/s), format de code (non retour à zéro(NRZ)), longueur d'onde (1310nm).

- **Les cartes GbE :** un IDU contient jusqu'à 2 cartes (IF slot 9 – 10) caractérisées par port réseau(1Gbps), commande de flux (802.3×(Full Duplex)), longueur de transmission (catégorie 5,max. 100)
- **La carte NMS :** un IDU contient 1 carte NMSqui permet la supervision de l'équipement (TERM slot)

III.2.1.2. Les cartes modem

L'IDU contient jusqu'à 12 cartes modem (au moins une carte modem doit être installée chez les IDU) (IF slot 1 – 8, 11 – 14).

III.2.1.3. La carte mère

C’est la carte qui gère tout le fonctionnement de l’IDU, qui contient jusqu’à 2 cartes mèresdans le cas de la configuration 1+1(main card slot)

III.2.1.4. La carte d’alimentation

On distingue deux types de carte. Une carte pour l’alimentation principale (pour la configuration 1+0) et l’autre pour le secours (configuration 1+1).

III.2.2.Le câble IF

C’est un câble coaxial fournit-48V pour l’ODU et véhicule le signal de fréquence intermédiaire (FI) issu du modementre IDU et ODU. Figure III.5 montre un câble coaxial utilisé pour la FI.

FigureIII.5. Lecâble IF.

III.2.3. L’ODU

L'ODU (OutDoorUnit) est l'équipement qui a pour fonction d'émettre le signal fournit par l'IDU et de réceptionner le signal HF. L'ODU de par son nom indique qu'il est placé à l'extérieur du SHELTER *(*maisonnette servant d'abri pour des équipements du réseau GSM).

Figure III.6. L'ODU.

III.2.4. Le Coupleur Hybride

Lorsque deux ODUs utilisentune même antenne, les ODUsdoivent être connectés à un signal RF (Radio Fréquence) coupleur / séparateur (coupleur hybride). Ensuite, le coupleur hybride est connecté à l'antenne.

Figure III.7. Le coupleur hybride.

III.2.5. Antenne

L'antenne assure la transmission directionnelle et la réception de signaux RF. Généralement c'est des antennes paraboloïdes dont les paramètres principaux sont la bande de fréquence, le diamètre et le gain. Par réciprocité on utilise le mêmetype d'antenne à l'émission et à la réception.

Figure III.8. L'antenne.

III.2.6. Pôle

Support en charpente métallique sur lequel on installe toute la partie extérieure des équipements d'émission et réception, à savoir, les ODU, les coupleurs et les antennes. Le pôle joue un rôle essentiel pour établir une liaison en visibilité directe, d'ailleurs, sa hauteur est déterminée par les paramètres de cette visibilité directe.

III.3. Planification d'une liaison FH [18]

III.3.1. Visite technique du terrain

Avant d'installer une liaison FH, Il faut vérifier :

- La visibilité entre deux sites
- La disponibilité de l'espace pour l'installation de la liaison (IDU, ODU)
- La disponibilité de l'énergie électrique
- Prise des coordonnées des structures à interconnecter à l'aide d'un récepteur GPS (Global Position System) : Le récepteur GPS est un système de positionnement par satellite qui est l'outil idéal qui permet de recueillir les coordonnées géographiques exactes des sites (emplacements choisis pour installer les pylônes).

III.3.2. Dimensionnement d'un bond [19]

On appelle bond hertzien, la distance séparant deux stations consécutives.Le dimensionnement passe par une étude de profil qui fournit les hauteurs d'antennes et le type d'antennes directives à installer.

On utilise unlogiciel élaboré pour des simulations de transmission hertzienne afin de palier, le mieux possible, aux problèmes de propagation du signal en espace libre et de prévoir les caractéristiques d'équipements et les techniques à déployer pour s'assurer que le signal est reçu avec une fiabilité fixée par l'opérateur.Il intègre plusieurs paramètres tels que les données géographiques du terrain de l'ensemble du globe. C'est un logiciel capable de situer n'importe quel point à partir de ses coordonnées GPS grâce à sa base de données fiable. Le dimensionnement revient donc à introduire les coordonnées GPS des deux points, afin d'avoir une vue approximative des données de parcours du terrain. Une fois le parcours défini, il est aussi possible de faire varier les paramètres en ajoutant d'éventuels obstacles (arbres, immeubles, foret,...) susceptibles de constituer l'état réel du terrain.

III.3.3. Choix optimal des hauteurs de fixation des antennes

Dans le cas de trajets suffisamment courts, on peut parfois régler la hauteur d'une antenne ou celle des deux de façon à ce qu'aucune onde réfléchie en surface ne brouille l'onde directe de façon destructive, c-à-d, situer les deux antennes dans la zone de Fresnel.On peut également régler les hauteurs d'antennes pour provoquer des réflexions sur une surface peu réfléchissante. La méthode étape par étape permet d'appliquer les deux techniques, et de déterminer si la diversitéd'antennes de réception est nécessaire pour corriger l'atténuation due aux trajets multiples. Ces deux étapes sont décrites ci-après:

Etape 1: Calculer les hauteurs approximatives des antennes d'émission et de réception en utilisant la règle de dégagement relative aux systèmes en non-diversité.

Etape 2: Calculer la hauteur de l'antenne d'émission et celle de réception la plus élevée au-dessus des zones possibles de réflexion spéculaire situées sur le profil du trajet ou à proximité de celui-ci. Des zones telles que des étendues d'eau, des plaines, le sommet (pic)* arrondi (bombé) de collines (hauteur) non boisé (planté) ou les toits de bâtiments peuvent être à l'origine de réflexions spéculaires importantes. Dans ces zones, la surface réfléchissante n'est pas nécessairement horizontale, et même trajet peut traverser plusieurs zones. Si l'on peut déterminer certaines zones à partir d'une carte, il faut, pour d'autres zones, procéder à un examen détaillé du terrain le long ou à proximité immédiate du trajet.

Les hauteurs h'_1 et h'_2 des antennes au-dessus d'une zone de réflexion, présentant un angle d'inclinaison (descente)v, sont exprimées de la manière suivante :[18]

$$h'_1 = h_1 + y_1 - y_0 + x_0 \times 10^3 \times \text{tg } v \qquad \text{(III.1)}$$

$$h'_2 = h_2 + y_2 - y_0 - (d - x_0)\ 1\times 0^3 \times \text{tg } v \qquad \text{(III.2)}$$

où:

y_1, y_2 : altitudes du sol au-dessus du niveau de la mer pour les sites 1 et 2, respectivement (m)

h_1, h_2: hauteurs des antennes au-dessus du sol pour les sites 1 et 2, respectivement (m)

y_0 : altitude au-dessus du niveau de la mer du point central de la zone de réflexion (m)

x_0 : distance entre le point central de la zone de réflexion et le site 1 (km).

d : la distance entre les deux sites.

III.3.4. Plan de fréquence et types de modulation

En fonction des différentes liaisons le constructeur fournit des fréquences d'émission et de réception à même de fournir une meilleure qualité d'émission et de réception. Ces fréquences sont définies et testées depuis l'usine. La bande de fréquence utilisée en générale dans les systèmes de transmissions modernes est de 300MHz – 300GHz. Dans le cas de la téléphonie mobile, les faisceaux hertziens exploitent les fréquences allant de 4 à 38GHZ. En général, les bandes de fréquences de 23 à 38 GHZ sont utilisées pour des liaisons courtes distances (4 ou 5 Km). Les bandes de fréquences de 4 à 13 GHZ permettent d'atteindre des portées de quelques dizaines de kilomètres, voir, 50Km. Un bond hertzien peut dépasser 100 km, en utilisant des antennes de grands diamètres.

En fonction du débit on choisit la bande passante et le niveau de la modulation QAM. Généralement le débit par équipement est normalisé à 155Mbits/s sur un canal de transmission, ce qui correspond à des bandes de fréquence de 7 MHz à 56 MHz pour une modulation en quadrature d'amplitude atteignant QAM-256 (8 bits par symbole).

III.3.5.Choix des antennes

Les installations de radiocommunication par faisceaux hertziens se composent de deux antennes paraboliques, l'une à l'emplacement d'émission, l'autre à l'emplacement réception. Leur rôle principal est d'assurer l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

Pour choisir un modèle d'antenne pour une application donnée, il faut veiller aux principaux points suivants :

- ✓ **Fréquence de travail:**une antenne est construite pour une fréquence ou une gamme de fréquences donnée.
- ✓ **Directivité :**elle peut être omnidirectionnelle (brin vertical) ou directive (Yagi, parabole…).
- ✓ **Gain :**les meilleurs gains sont obtenus avec des antennes très directives, jusqu'à plus de 50 dB pour les grandes paraboles.
- ✓ **Impédance :** adaptée à celle du câble soit en général 50 ohms.

- ✓ **Puissance :**pour l'émission, l'antenne doit accepter la puissance de l'émetteur sans trop de pertes Joule.[20]
- ✓ **Le diamètre** : selon la distance entre l'émetteur et le récepteur. Tel que le choix de la distance dépend de la fréquence et le diamètre dépend de la distance.
- ✓ **Double polarité** : Dans le cas de deux ODU (grande capacité), on emploie la double polarisation, on utilise la technologie XPIC (cross polarisation interferenceconselent) qui permet d'éliminer les interférences entre les deux (voir figure III.9).

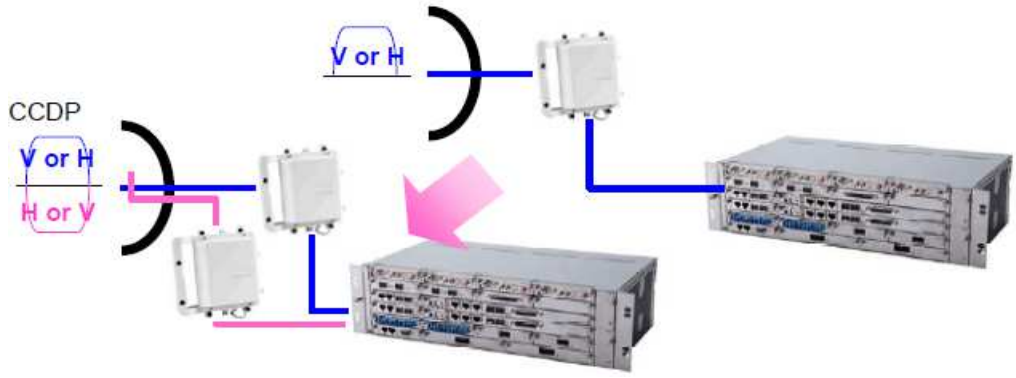


Figure III.9. La technologie XPIC. **[26]**

Lorsqu'on établit une liaison radio entre deux points éloignés d'une distance d, on peut évaluer l'intensité du champ électrique E au niveau de l'antenne de réception tel que :

$$E = \frac{\sqrt{30.G_1 P_0}}{d} \qquad \text{(III.3)}$$

avec: G_1, le gain d'antenne d'émission ;P_0, la puissanced'émission de l'antenne

III.3.6. Protection nécessaire

Les équipements et les pylônes sont protégés par des mises à terre à l'aide des plaques en cuivres et les antennes sont protégées à l'aide des parafoudres.On peut également ajouter une "diversité" : il s'agit d'un deuxième canal distinct à la liaison,afin de pallier les éventuelles défaillances de matériels.À l'émission, en cas de défaillance de l'émetteur, on bascule automatiquement sur un deuxième émetteur, de secours. Celui-ci est donc inactif la majeure partie du temps. Par contre, la réception est faite sur les deux voies. L'équipement choisit automatiquement la voie par laquelle le signal est le meilleur. En cas de panne, l'un des deux chemins reste toujours disponible, et permet le dépannage sans interruption de la liaison. Par ailleurs, la protection contre les coupures d'énergie électrique est assurée par batteries,

chargées par le réseau de SONALGAZ quand c'est disponible ou par des panneaux solaires pour les stations isolées.

III.3.7. Aide à la planification par logiciel[21]

Comme le nombre de paramètres dont on doit tenir compte est très important, pour une meilleure planification on utilise des logiciels tels que TEMS ou Ellipse 8 pour équipements NEC (*Nippon Electric Company*). Le logiciel de planification est alimenté par les données nécessaires :

- Le nombre de stations relais et la distance entre stations (bonds)
- Les positions GPS des stations (latitude, longitude, altitude)
- Caractéristiques des équipements par station
  - Gamme de fréquences disponible.
  - Puissances maximales à l'émission.
  - Puissances minimales à la réception (sensibilité du récepteur).
  - Les bandes de fréquences possibles.
  - Types d'antennes (gain, fréquences, simple ou double polarité V ou H)
  - Débit max par unité (IDU ou ODU)
  - Le niveau max de modulation QAM.
- Paramètres climatiques
  - Taux pluviométrie
  - Humidité
  - Brouillard
  - température

- La marge de l'atténuation (fade marging) : la marge entre le niveau de réception et le seuil de sensibilité de l'équipement. Généralement Le fade marging doit être supérieur à 30dB.

Les résultats de traitement de ces données sont analysés pour une validation. Dans le cas favorable en procède à l'installation du lien. Ensuite, on effectue des mesures sur site pour une confirmation de la bonne qualité de transmission. Si les performances ne sont pas au niveau attendu on procède aux corrections nécessaires soit en intervenant sur un site donné ou en modifiant les paramètres de la planification globale**.[28]**

Généralement (en moyenne), l'expérience enregistrée en Algérie, il ressort qu'une bonne liaison hertzienne présente une disponibilité de 99.999% sur une année, donc une indisponibilité de 0.001% ce qui correspond à une indisponibilité théorique maximum de 5min par an.

III.4. Mise en service d'une liaison par faisceaux hertziens [18]

La mise en service de la liaison hertzienne intervient une fois le câblage des équipements terminé ; c'est-à-dire, IDU installée et alimentée, ODU et antenne installés, liaison entre IDU et ODU effectuée, fréquences d'émission et de réception correctement configurées.

III.4.1. Pointage des antennes

Dès l'instant où la mise en service est effective, il revient de travailler à ce que les lobes principaux des antennes des deux entités soient sur lamêmeaxe, ce qui contribuera à augmenter le gain de la liaison. Cette règle consiste en des ajustements de l'azimut qui est l'angle dans le plan horizontal entre la direction d'un objet et une direction de référence, et de l'élévation.En mathématiques, l'angle d'élévation, est l'angle entre le plan horizontal et la droite allant d'un appareil vers un objet visé au-dessus de l'horizon. Cet angle est compté positivement quand l'objet repéré est au-dessus du plan horizontal indiqué, négativement dans le cas contraire.). Le réglage d'azimut revient à un réglage suivant l'axe horizontal et le réglage d'élévation suit donc l'axe vertical. L'ensemble de ces réglages constitue ce qu'on appelle : « lepointage ».Le pointage peut être manuel ou automatique dans les systèmes les plus sophistiqués.

.III.5. Contraintes de propagation en visibilité directe

Pour assurer une bonne liaison FH, l'émetteur et récepteur doivent être en visibilité direct. Lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur est très importante (dépasse 40 km), la continuité de la liaison est assurée par des stations relais. Pour bien dimensionner les installations on utilise généralement l'équation des télécommunications. Néanmoins, la présence du sol et de l'atmosphère apporte diverses effetsphysiques : la réflexion, la réfraction, la diffraction, l'absorption du signal radio-fréquence en propagation. Ces phénomènes peuvent modifier profondément le champ estimé en espace libre. Par ailleurs,

pour déterminer si la propagation se fait dans des conditions de propagation en visibilité directe, il convient de considérer l'Ellipsoïdes de Fresnel pour dégager les champs de propagation de tout obstacle qui produirait de trajets multiples nuisible au signal reçu.Le Premier ellipsoïde de Fresnel délimite la région de l'espace où est véhiculée la plus grande partie de l'énergie du signal. Se situer dans cet ellipsoïde revient à se retrouver dans les conditions de la propagation en espace libre. Pour limiter les interférences, souvent on choisi un plan de fréquence bien particulier pour chaque station relais. Ces fréquences sont choisies parmi les fréquences autorisées de 4 à 38GHz.

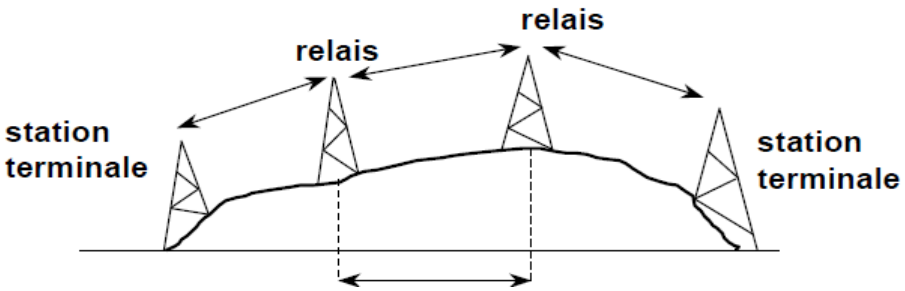


Figure III.10. Liaison en visibilité directe.[24]

III.5.1. L'équation de la télécommunication

En télécommunication, on définit théoriquement l'antenne isotrope qui produitune onde électromagnétique se propageant à la vitesse de la lumière avec une répartition uniforme dans toutes les directions de l'espace de la puissance électromagnétique rayonnée. La densité de puissance résultante en un point donnée de l'espace (voir Figure III.13) est considérée comme une référence pour le calcul du gain d'une antenne réelle.

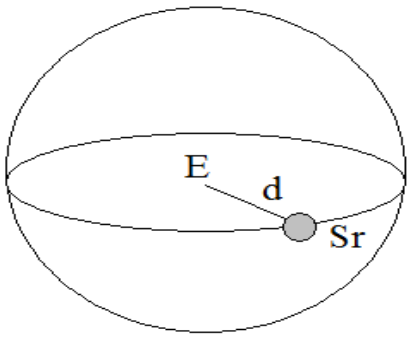


Figure III.11. Energie rayonnée par une source radioélectrique.

Soit:

- E Le champs électrique de la source de rayonnement isotrope

- Pe la puissance totale (en watts) rayonnée par cette source
- d la distance (en mètres) parcourue par l'onde à l'instant t.

L'équation des télécommunications, permet d'obtenir un ordre de grandeur de la puissance radio collectée par un récepteur situé à une certaine distance d d'un émetteur en espace libre.

L'énergie étant uniformément répartie sur la sphère de rayon d, la puissance disponible par unité de surface est égale à:

$$P = \frac{P_e}{4\pi d^2} \quad \text{(III.4)}$$

En se plaçant à cette distance une antenne de réception dont l'aire équivalente est égale à Sr, la puissance reçue est alors:

$$P_r = \frac{P_e S_r}{4\pi d^2} \quad \text{(III.5)}$$

Pour une antenne réelle, on caractérise le diagramme de rayonnement de l'antenne d'émission par son gain dans les différentes directions. Dans la direction du récepteur, l'énergie rayonnée sera, par définition, multiplié par le gain en puissance de l'antenne d'émission (Ge). On définit ainsi une Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) vérifiant la relation:

$$PIRE = P_e * G_e \quad \text{(III.6)}$$

La puissance reçue peut ainsi s'écrire:

$$P_r = \frac{P_e * G_e * S_r}{4\pi d^2} \quad \text{(III.7)}$$

Les notions de gain et d'aire équivalente sont liées: une grande surface d'onde plane rayonnée ou captée correspondra à un gain élevé et réciproquement. En désignant par λ la longueur d'onde dans le vide, le gain G est lié à l'aire équivalente Sr par la relation suivante:

$$Ge = \frac{4\pi S}{\lambda^2} \quad \text{(III.8)}$$

Et en introduisant le paramètre de perte lors de la propagation sur un trajet $L_{\alpha,}$ nous obtenons l'équation suivante:

$$P_r = P_e * G_e * L\alpha * G_r / \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad \text{(III.9)}$$

Cette relation est souvent dénommée "équation fondamentale des télécommunications" est à la base des calculs et des mesures de propagation.

III.5.2.Ellipsoïde de Fresnel

Pour qu'une transmission entre deux points puisse être considérée comme une transmission en espace libre, une zone dite première zone deFresnel, doit être complètementdégagée,c'est-à-dire, que le premier ellipsoïde de Fresnel ne doit pas contenir des obstacles. Physiquement, si un obstacle se trouve à l'intérieur de cet ellipsoïde il pourrait provoquer une onde réfléchie dont la phase serait destructrice pour l'onde totale à la réception. En pratique, les deux antennes d'une transmission point à point sont installées respectivement aux deux foyers du 1er ellipsoïde de Fresnel. Comme le montre la figure III.14, le trajet direct entre les deux antennes est dégagé d'une distance r_F,correspondante au rayon de Fresnel, par rapport à l'obstacle se trouvant respectivement à la distance d_1 et d_2 des deux antennes.

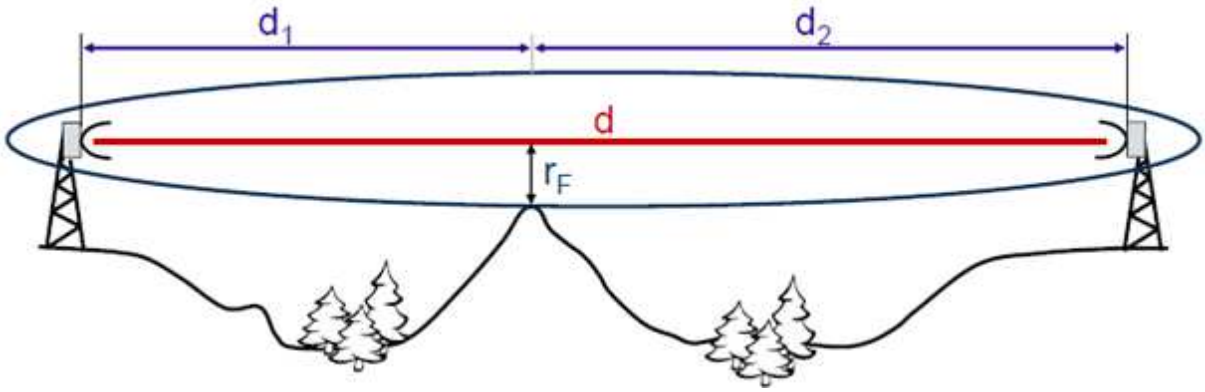


Figure III.12. L'ellipsoïde de Fresnel.[26]

Le rayon de Fresnel r_F est exprimé en fonction de la longueur d'onde λ du signal émis et des distance d_1 et d_2 par la relation suivante :

$$r_F = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}} \qquad \text{(III.10)}$$

Le rayon est maximal est obtenu au point :$d_1 = d_2 = d/2$, dans ce cas le rayon maximal r est donné par :

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d}{4}} = 17.32\sqrt{\frac{d}{4f}} \qquad \text{(III.11)}$$

Avec : d et r en mètre, f en MHz.

Le rayon maximal r_F détermine les hauteurs minimales des antennes. En effet, la hauteur de l'antenne doit être supérieure à la hauteur d'obstacle augmentée de r_F.

Compte tenu de la courbure de la terre dont le rayon est de R = 6400km, la distance maximale pour assurer une liaison en visibilité directeest donnée par :

$$d = 2\sqrt{2Rh} \qquad \text{(III.12)}$$

A la limite, lorsque lapremière zone de Fresnel est dégagée(ne coupe pas le sol), la liaison peut être calculée en espace libre. C'est-à-dire que si la première zone de Fresnel est dégagée, les phénomènes de diffraction par des obstacles éventuels situés au-delà de la 1^{ere}ellipsoïde de Fresnel ont donc une influence négligeable sur le niveau reçu.Le rayon de l'ellipsoïde étant inversement proportionnel à la fréquence, il en résulte qu'il faut élever d'autant plus les antennes que les fréquences sont basses.

III.6.Effets de la basse atmosphère sur la propagation

La propagation du signal dans l'environnement, se fait selon quatre modes de propagation de base : la réflexion, la diffraction, ladiffusion et la transmission.

III.6.1. Réflexion

Lorsqu'une onde se propage sur l'interface air, elle rencontre des obstacles sur son trajet. Lorsque les obstacles rencontrés sont de grande taille et que leur surface est lisse, l'onde va alors subir une réflexion. Le signal réfléchi aura des caractéristiques qui dépendront des propriétés de l'obstacle. Une partie du signal sera absorbée par l'obstacle et transmis à l'intérieur de l'obstacle et une partie du signal sera réfléchie. La réflexion introduit un déphasage de l'onde réfléchie.

III.6.2. Diffraction

Dans le cas ou l'onde rencontre un obstacle dont les dimensions ne sont pas importantes par rapport à la longueur d'onde ou si cet obstacle présente des arêtes vives et d'autres irrégularités, des ondes secondaires apparaissent et se propagent dans tout l'espace et en particulier dans la région située derrière l'obstacle. L'onde résultante est appelée onde diffractée. Ce phénomène est très courant en environnement urbain.

III.6.3. Diffusion

Dans certains cas, l'onde rencontre des obstacles dont les dimensions sont du même ordre de grandeur ou plus petites que la langueur d'onde. L'énergie de l'émetteur sera dans ce cas diffusée dans de multiples directions. La dispersion de l'énergie du signal par le phénomène de diffusion introduit une perte d'énergie réfléchie dans les directions spéculaires. En environnement urbain, les obstacles courants faisant apparaître ce phénomène sont typiquement les lampes d'éclairage public, les panneaux de signalisation ou les feuillages de la végétation. C'est aussi le cas des gouttelettes d'eau qui à les longueurs d'ondes centimétriques diffusent largement les ondes électromagnétiques

III.6.4. Absorption

L'affaiblissement par les gaz résulte de la résonance moléculaire de l'oxygène et de la vapeur d'eau. La molécule d'oxygène possède un moment magnétique permanent. Son couplage avec le temps magnétique d'une onde électromagnétique incidente provoque une absorption par résonance à certaines fréquences.

III.7. Atténuation du signal pendent la propagation

III.7.1. Atténuation en espace libre

C'est l'affaiblissement de propagation en espace libre entre antennes isotropes. Cette atténuation est donnée parle rapport entre la puissance émise et reçue, d'après l'équation (II.41) on a donc :

$$A = \frac{P_e}{P_r} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \qquad \text{(III.13)}$$

Pour faciliter l'emploi des formules ci-dessus (équation fondamentale, affaiblissement de propagation), il est avantageux d'utiliser les décibels et de se référer à la fréquence de l'onde plutôt qu'à sa longueur d'onde.La fréquence F étant exprimée en MHz, et la vitesse de propagation de l'énergie électromagnétique dans le vide étant égale à 300 000 km/s ($3*10^8$ m/s), on a, en mètres:

$$\lambda = \frac{300}{F} \qquad \text{(III.14)}$$

Dans ce cas, l'atténuation est exprimée en décibels par formule suivante :

$$A_{dB} = 10 \log (A) \qquad \text{(III.15)}$$

III.7.2. Atténuation atmosphérique

III.7.2.1. Atténuation due au 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 inférieures 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/cm^3) est égale à 0.09dB/km et au total on a 0.11 dB/km.

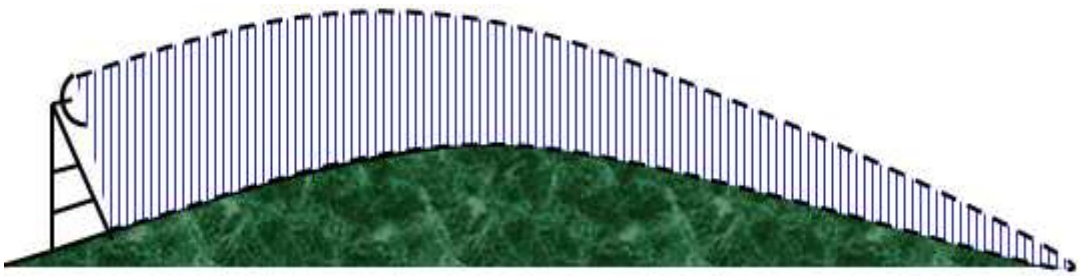
III.7.2.2.Atténuation due à la pluie[20]

En présence de pluie, les gouttes d'eau introduisent une atténuation significative. En effet, la pluie cause une absorption et une diffusion qui donnent lieu à un affaiblissement qui dépend de la fréquence.Les gouttelettesde 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.

La figure suivante permet de déterminer l'atténuation supplémentaire introduite par la pluie. L'atténuation due à la pluie est mesurée en dB/km, augmente avec la fréquence.

III.7.3. Atténuation due à l'onde de sol

L'onde de sol ou l'onde de surface suit la courbure de la terre. Sa portée dépend de la nature du sol rencontré, de la fréquence et, bien sûr, de la puissance de l'émission.



FigureIII.13.L'onde de sol.

Une partie de l'énergie de l'onde de surface est absorbée par le sol et y provoque des courants induits; l'absorption d'énergie est beaucoup plus importante en polarisation horizontale et c'est pourquoi les émissions s'effectuent de préférence en polarisation verticale.

III.7.4. Trajets multiples (multipath)

Les réflexions et diffractions peuvent également être nuisibles lorsqu'elles font apparaître de multiples chemins possibles entre l'émetteur et le récepteur (on parle de multipath). Dans ce cas, un même signal peut alors atteindre le récepteur à plusieurs moments différents (signaux déphasés). Il y a alors trois conséquences néfastes possibles :

1. Si le décalage dans le temps est tel que les différentes ondes soient en opposition de phase le signal est atténué, voire même complètement annulé si les ondes opposées ont une puissance identique.
2. En arrivant par plusieurs chemins distincts, le signal est étalé dans le temps et le récepteur doit être capable de l'interpréter correctement.
3. Si le décalage est très important, un symbole peut arriver en même temps que le symbole suivant (interférence inter symboles), ce qui perturbe fortement la communication.

L'affaiblissement maximal dû à un trajet multiple est donnée par :

$$\alpha = \left(\frac{\lambda}{4\pi l}\right)^2 \qquad \text{(III.16)}$$

Si l'onde se réfléchit sur N obstacles lors de sa propagation (murs, bâtiments, etc.), il faut alors écrire :

$$\alpha = \left(\frac{\lambda}{4\pi \mathrm{l}}\right)^2 \left|1 + \sum_{\mathrm{n}=1}^{\mathrm{N}} \Gamma_{\mathrm{n}} \frac{l}{R_n} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(R_n - 1)}\right|^2 \qquad \text{(III.17)}$$

Où: Γ_{n} est le coefficient de réflexion sur l'obstacle n et R_n est la longueur du trajet n

III.7.5. L'interférence

La réception des signaux dans les systèmes de télécommunication peut être perturbée par les interférences, qui peuvent provenir d'une variété de sourcesradio-fréquences. Bon nombre de ces sources sont d'origine du brouillage dans le même canal (causé par un autre signal

résident dans la même fréquence que le signal désiré) ou du brouillage entre canaux adjacents (causé par une fuite du signal voisin utilisant une fréquence adjacente dans le canal opérationnel).

L'équation suivante permet de calculer le niveau d'interférenceen dBm dans un lien de transmission :

$$Li=P_e + [G_e - D_e(\theta')] + [G_r - D_r(\theta)] - L_d \quad \text{(III.18)}$$

Li : Le niveau d'interférence reçu [dBm]

P_e: La puissance transmise par la station [dBm]

$G_e/_r$: Le gain d'antenne émetteur/récepteur [dB]

$D_e/_r$: Discrimination d'antenne émetteur/récepteur [dB]

L_d : atténuation en espace libre [dB]

θetθ' : sont respectivement la direction de l'interférence par rapport à l'antenne d'émission et de réception.

Dans les liaisons FH, le niveau d'interférence limite est -90dBm. Pour des niveaux supérieurs des solutionssont nécessaires :

- Augmentation de la puissance émise.
- Utilisation des canaux déférents dans des liens voisins.
- Changement de polarisation (vertical, horizontal)
- Changement de fréquences.
- Isolation des antennes sur l'angle d'interférence.

III.8. bilan de la 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/N. la probabilité d'erreur sur les symboles binaires reçus doit être raisonnable, compte tenu de l'ensemble des dégradations. L'évaluation du rapport S/N au récepteur se fait à l'aide d'un bilan de liaison qui recense l'ensemble des dégradations aux divers endroits de la liaison (voir figure III.14).

Les caractéristiques des équipements d'extrémité à prendre en compte pour le calcul du bilan énergétique sont :

- Puissance d'émission qui est couramment comprise entre 20 et 30 dBm.
- Gain des antennes, principalement paraboliques, apportent un gain de puissance (de l'ordre de 25 à 45dB).
- Seuil de réception (threshold) : définis par rapport à un taux d'erreur binaire donné (TEB = 10^{-3} ou 10^{-6}). Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation, généralement compris entre -70 et -95 dBm.
- La marge de sécurité : pour compenser la majorité des pertes occasionnelles de puissance que subit le signal, la réception se fait avec une marge appelée marge uniforme ou marge de sécurité. C'est la puissance que l'on pourra perdre par dégradation des conditions de propagation sans perdre pour autant la qualité de la liaison, théoriquement doit être supérieure à 30 dBm.

  $$\text{Marge de sécurité} = P_r - P_s. \text{ [dB]} \qquad \text{(III.19)}$$

-
- Niveau de signal reçu P_r: c'est la puissance de réception donné par la formule suivante :

  $$P_r = P_e - P_A > P_s \quad \text{[dBm]} \qquad \text{(III.20)}$$

P_e : puissance d'émission

P_A : puissance d'atténuation

P_S : seuil de réception

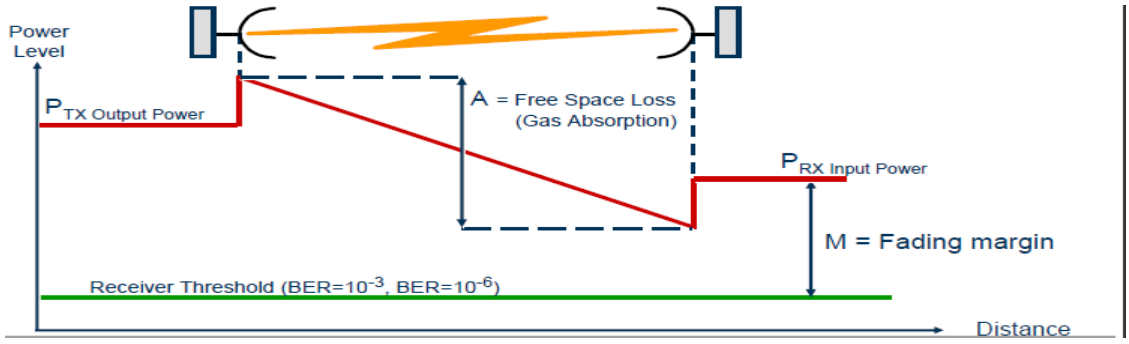


Figure III.14. Schéma illustratif des caractéristiques du bilan de liaison**. [26]**

Dans les calculs de bilan de liaison radioélectrique, l'équation de Fris est couramment remplacée par son expression logarithmique en décibels :

$$P_r = P_e + G_e - L_{fs} + G_r + A \qquad \text{(III.21)}$$

Avec :

- P_r= Puissance reçue (dBm)
- P_e= Puissance émise (dBm)
- G_e= Gain d'antenne émission (dBi)
- G_r= Gain d'antenne réception (dBi)
- L_{fs} : Affaiblissement en espace libre
- A : Autre pertes (Gaz, pluie, Humidité, Coupleur, Connectiques …)

Le terme des pertes diverses peut se décomposer en pertes de lignes, pertes de désadaptations, de dépointage à l'émission et à la réception, de filtrage, de dépolarisation, etc. selon le détail du système étudié.

III.9. Avantages et Inconvénients d'une liaison par faisceau hertzien

Comme nous l'avons spécifié plus haut, un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux entre deux points fixes. D'abord utilisé pour la téléphonie fixe et pour la télévision, la transmission par faisceau hertzien prendra beaucoup plus d'ampleur avec l'arrivée de la téléphonie mobile.

Ces principaux avantages sont :

- faible coût de déploiement comparé à la fibre optique ;

- la possibilité d'avoir des débits et des portées très élevées ;
- la fiabilité et la sécurité ;
- matériel flexible et évolutif.

Les inconvénients majeurs sont :

- ces ondes sont principalement sensibles aux masquages (relief, végétation, bâtiments, ...), aux précipitations, aux conditions de réfractivité de l'atmosphère et présentent une sensibilité assez forte aux phénomènes de réflexion ;
- obligation de vue directe entre les paraboles (LOS : Line Of Sight) ;
- liaison sensible aux intempéries, notamment lors de fortes pluies ;
- exploitation sous licence, sur certaines fréquences.

III.10. CONCLUSION

Une liaison FH doit avoir une puissance de réception suffisante pour le traitement de l'information transmise. Pour cela on doit compenser les pertes en jouant sur la puissance émise et la sensibilité du récepteur. Par ailleurs, on peut réduite ces pertes en réduisant les différente atténuations liées au canal de transmission (l'air), trajets multiples, ou interférences. En pratique, on dimensionne une liaison FH en installant les antennes en visibilité direct et en ayant aucun obstacle dans le 1ère zone de Fresnel. Le choix de la configuration est conditionné par la marge de sécurité prévue pour palier aux problèmes d'atténuation.

CHAPITRE IV

Planification d'un lien FHN en 2G-3G

IV.1. Introduction

Le présent chapitre est consacré à la partie pratique. Dans un premier temps nous avons étudié une liaison FHN 2G de Mobilis dans la région de Tizi-Ouzou. Cette étude a pour objectif de comprendre le comportement du canal de transmission vis-à-vis de l'atténuation en se basant sur des données de mesure Tx et Rx de la liaison. Le deuxième temps est consacré à l'étude et planification d'une liaison FHN 2G-3G. Cette application consiste à la réalisation d'une route FHN hybride constituée de plusieurs liaisons point à point à grande capacité (TDM et Ethernet) du réseau de transmission (Mobilis) entre le Site Bejaia et le Site de Tizi-Ouzou. Notre travail consiste à faire la planification des liens FHN, la configuration des équipements et l'introduction de tous les éléments de notre route FH 4+0 sur la plateforme de supervision de ATM Mobilis.

IV.2. Architecture du réseau Mobilis dans la région de Tizi-Ouzou

Avec l'avènement de la 3G et des nouvelles technologies notamment l'Ethernet ; et en tenant compte du réseau 2G (TDM) déjà existant, l'utilisation d'équipements hybrides s'avère incontournable pour la première phase de déploiement. Actuellement, la configuration de la région est donnée comme suite (voir Figure IV.1) :

Site de Tizi-Ouzou : MGw, MSC, RNC, HLR, BSC, ensemble de BTS et de Node B.

Site Bejaia : BSC, ensemble de BTS et de Node B.

Site Bouira : BSC, ensemble de BTS et de Node B

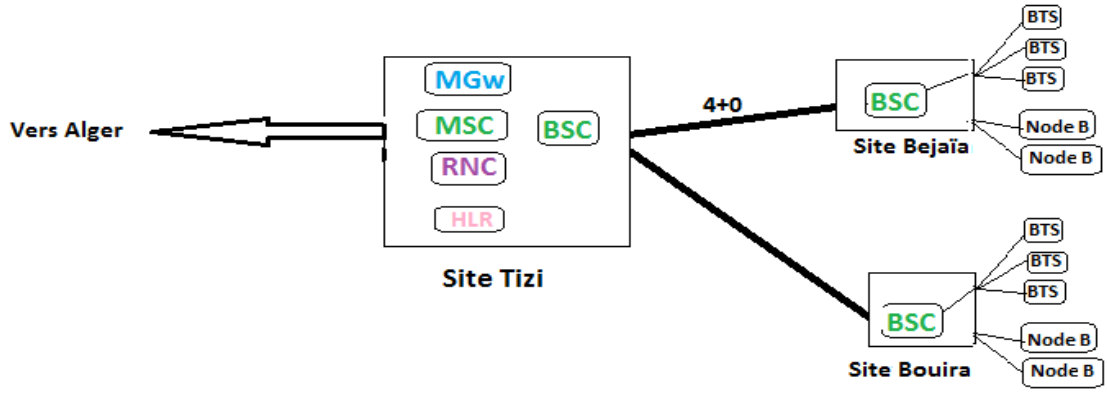


Figure IV.1. Architecture du réseau mobile de la région.

IV.3. Analyse de données de mesure sur une liaison point à point

Nous avons mené en premier, une étude sur liaison FHN (2G) reliant le site de (Tizi-Ouzou ville, 15212) a celui de (BALLOUA, 15030) et la réalisation d'un bilan de liaison entre la puissance transmise Tx et la puissance reçue Rx dans une liaison FH,

IV.3.1.caractéristiques de la liaison

il s'agit d'une liaison 16×2 secourue (1+1), reliant le site de T .O ville qui a l'altitude d'environ 150 mètre, a celui de BELLOUA qui a 650 mètre d'altitude. Tel que les deux sites sont en visibilité directe.

IV.3.2. Mesure de Puissance émise et reçue de liaison

Par le biais des équipements radio, matériel et logiciel de l'opérateur Mobilis et grâce à l'interface MINI-LINK installé sur pc qui permet de superviser l'intégralité du réseau de transmission avec des paramètres tel que :

T_x : représente les niveaux de puissance de transmission des radios en dbm.

R_x : représente les niveaux de puissance de réception des radios en dbm.

Et a l'aide du logiciel MATLAB on a réalisé les courbes des puissances T_x et R_x.

Nous avons pris deux exemples de mesure, l'un dans un temps ciel clair et l'autre en ciel pluvieux. Les figure IV .2 et Figure IV.3 montre le signal émis Tx et reçu Rx en ciel clair. Le niveau de puissance à l'émission est respectivement de 20 et 23 dBm. Cette puissance indique un niveau de réception avec une atténuation minimale. Dans les deux cas le signal reçu Rx est à -41dBm ce qui donne une marge de sécurité de 70-41=29 dB. Lorsque l'atténuation augmente l'émetteur ajuste sa puissance d'émission jusqu'à une valeur limite de 32dBm. C'est le cas de l'exemple de mesure en présence de pluie, effectué en juin 2012, où nous avons relevé une puissance émise Tx de 28 dBm (voir Figure IV.4) et une puissance reçue de -45dBm (voir Figure IV.5). Dans ce cas l'émetteur à dû augmenter sa puissance de 8 dB enregistrant une atténuation totale par rapport au ciel clair de 12 dB, c.à.d, une atténuation linéique de près de 4dB/km. A noter qu'au cours de cet événement, les services de météorologie ont enregistré, dans cette région, une pluviométrie de 4 mm/h sur l'événement de pluie.

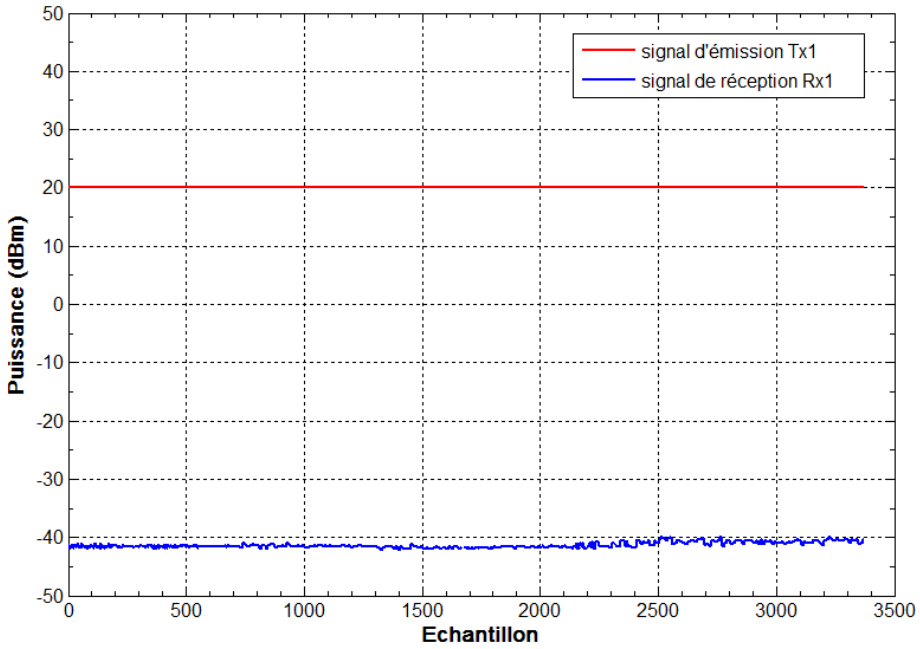


Figure IV.2. Niveaux d'émission (Tx) et de réception (Rx) des radios en dBm (Tizi-Ouzou vers Ballaoua).

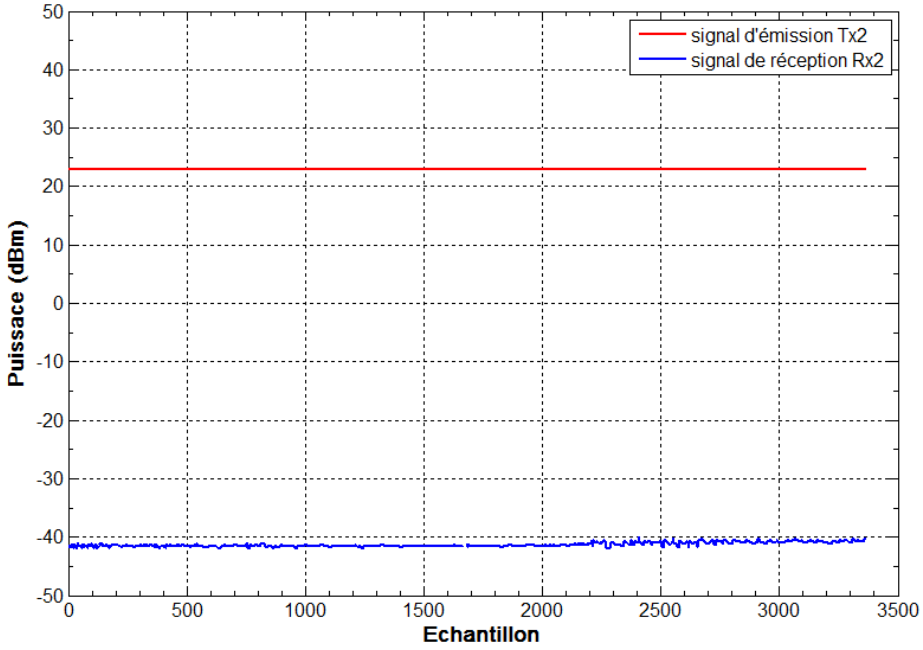


Figure IV.3. Niveaux d'émission (Tx) et de réception (Rx) des radios en dBm (Ballaoua vers Tizi-Ouzou).

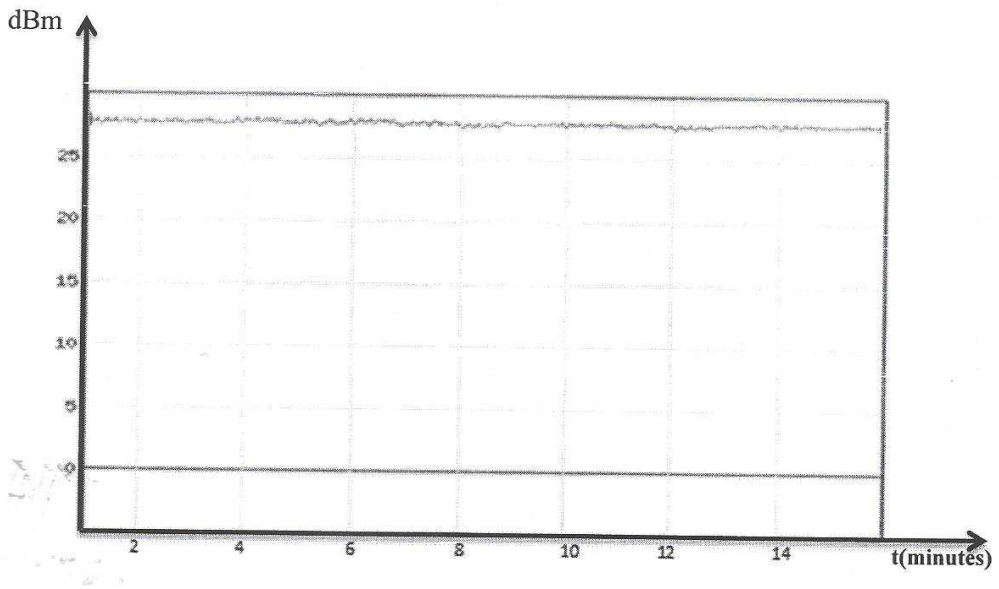


Figure IV.4. Puissance du Signal émis Tx en dBm (Tizi-Ouzou vers Ballaoua) dans l'état pluvieux 4mm/h. [20]

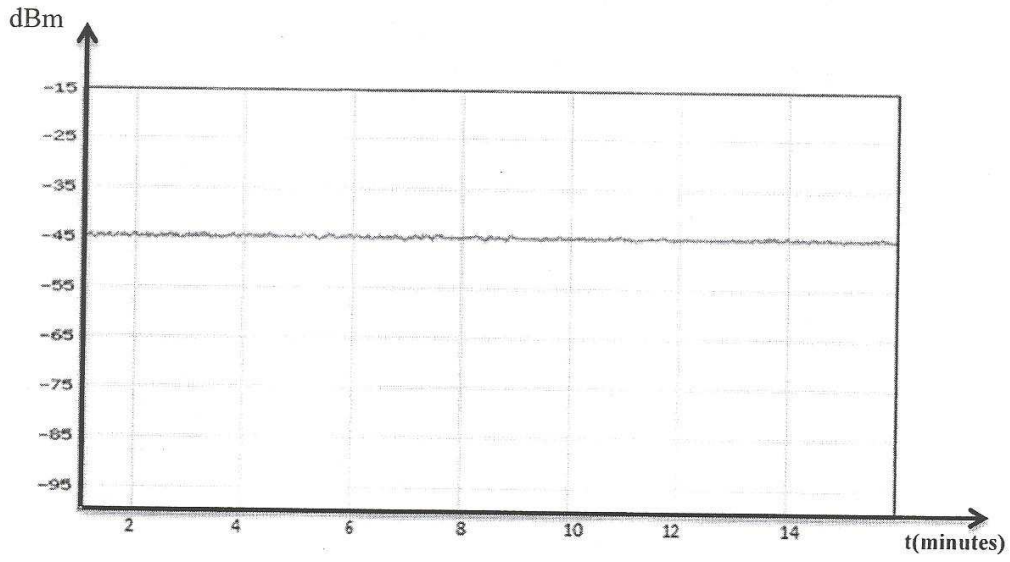


Figure IV.5. Puissance du Signal reçu Rx en dBm (Tizi-Ouzou vers Ballaoua) dans l'etat pluvieux 4mm/h. [20]

IV.4. Planification de la route FH

Cette étape consiste en premier lieu, à inventorier les différents pylônes SDH se situant entre Tizi et Bejaia, cela afin de minimiser le nombre de bonds (liaisons). Les sites relais choisis doivent avoir une visibilité directe en point à point ; du site Tizi jusqu'à Bejaïa ; des rapports LOS sont alors demandés pour chaque liaison. (40Km au Maximum pour les bonds) .

Dans le cadre de la planification FHN, l'utilisation d'un outil de simulation et de prédiction est indispensable. On a travaillé sur le logiciel de planification Mentum Ellipse 8.

Nous avons utilisé pour le déploiement des liens de transmission (TDM/Ethernet) et la planification des sites réels en fonction des exigences de Mobilis qui sont :

1. RSL : Niveau de signal reçu < - 45 dBm
2. FFM : Flat fade Marged > 30dBm
3. BER : Taux d'erreur à 10^{-3} ou $10^{-6.}$
4. Disponibilité (nombre de 9, dans notre cas c'est cinq 9, 99.999%)

IV.4.1. Description du logiciel

Mentum Ellipse 8 est une solution complète basée sur une Fenêtre multi-technologies et convivial radio-aménagement de l'environnement qui prend en charge les opérateurs de télécommunications sans fil pendant toute la durée de vie du réseau, de la conception initiale à la densification et à l'optimisation. Plus qu'un outil d'ingénierie, Mentum Ellipse 8 est une technique ouverte, évolutive et flexible de système d'information qui s'intègre facilement avec d'autres systèmes, augmente la productivité et raccourcit les délais de livraison. Sa nouvelle ingénierie est centrée sur les besoins des opérateurs mobiles qui exigent une solution de qualité supérieure qui va bien au-delà de l'ingénierie des liens micro ondes traditionnel.

Ce qui rend vraiment différent Mentum Ellipse 8 est la possibilité qu'il offre pour gérer et optimiser les réseaux à grande échelle afin que les opérateurs puissent réduire les coûts.

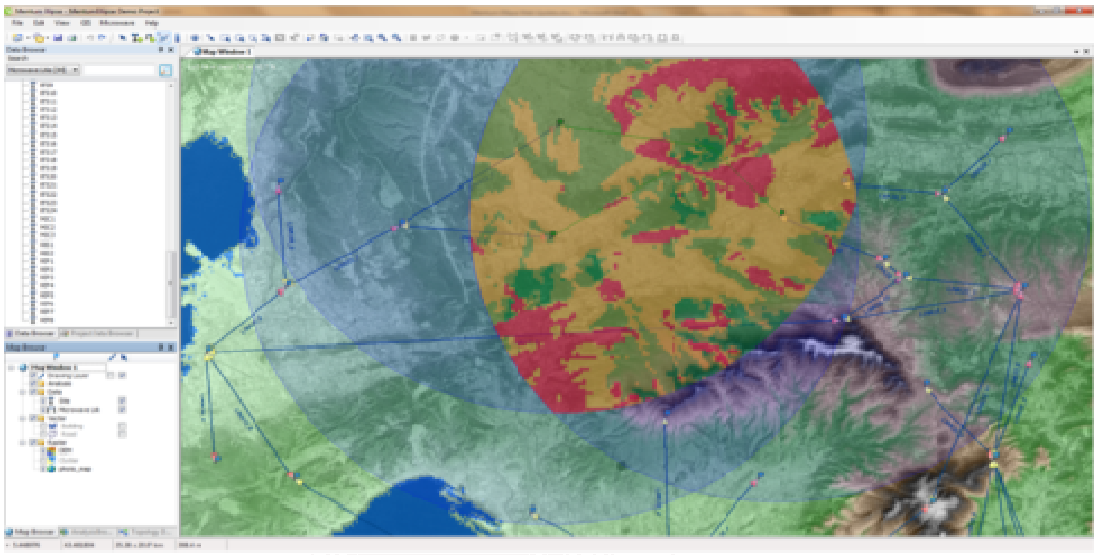


Figure IV.6. Logiciel Ellipse(8).

Avec **Mentum Ellipse 8**, un opérateur de réseau ou cabinet de conseil d'ingénierie radio pouvaient :

1. Concevoir des Liaisons hertziennes directement à partir de Mentum Planète
2. Évaluer les performances de la liaison et de la fiabilité
3. Gérer plusieurs liaisons hertziennes et de les visualiser dans Mentum Planète
4. Visualiser les liens micro-ondes dans Google Earth.

L'outil de planification prend en charge plusieurs paramètres qui dépendent de la région qui sont :

1. Climat
2. Humidité
3. Pluviométrie
4. Géographie
5. Relief

IV.4.2. Dimensionnement de la liaison

Consiste à étudier les besoins en terme de capacité, équipements a utilisés et spectre de fréquences attribué par l'opérateur client (Mobilis).

La MAP de Mobilis est partagée sur 3 équipementiers ; Huawei (le nord est et le sud d'Algérie), ZTE (le nord ouest et le sud ouest) et Ericsson (le nord de Algérie) qui sont reparties sur 8 régions : région Alger, Oran, Constantine, Annaba, Ouargla, Chlef, Setif et Bechar. Le travail que nous allons faire donc est situé dans la zone Ericsson mais le transport 4+0 est assuré par les équipements NEC iPASOLINK 1000.

En connaissant les besoins de la région en capacité TDM et Ethernet, la liaison est configurée en 4+0 ce qui permet de transmettre 314 Mb/s (2 STM-1) et 330Mb/s (pour l'Ethernet).

Figure IV.7. Image d'un équipement NEC configuré en 4+0.

En respectant les performances des liens (40Km maximum), on a utilisé :

1. Les bandes des fréquences suivantes : 6, 8, 11MHz, avec les deux bandes 15 et 18MHz dans des cas particuliers (courtes distances).
2. Le canal 28 MHz
3. La modulation 128QAM

Sachant que théoriquement ; pour avoir un STM1, il faut avoir au minimum pour un canal de 28MHz une modulation de 128QAM.

En vérifiant ça pratiquement : la base de transmission est fondée sur la relation existante entre la capacité, fréquence et modulation.

Dans les trames STM-1 la capacité nécessaire 155.52 Mbit/s pour une bande passante de 22.2 MHz pour trouver le type de de modulation utilisé il faut calculer le nombre de bit.

La largeur de bande passante = $\frac{la\ capacité\ (Mbit/s)}{nombre\ de\ bit/symbole}$

Application numérique : 22.2 = $\frac{155.52}{nbr\ de\ bit}$ $\Rightarrow$ nbr de bit = $\frac{155.52}{22.2} = 7\ bit/symbole$ donc le type de modulation équivalant avec 7 bit par symbole c'est le QAM-128.

En fonction des distances et des fréquences, il existe plusieurs diamètres d'antennes normalisés pour chaque fabricant. Chaque antenne est définie par son Gain (dBi). Les diamètres d'antennes utilisées dans notre projet transport sont : 0.6, 1.2 et 1.8m ; elles sont aussi Dual polarisation (V/H) qui nous permettent de doubler la capacité en utilisant qu'un seul canal de fréquence (Mode XPIC).

XPIC : Cross polarisation cancel interférence, élimine les interférences entre les 2 modes V/H

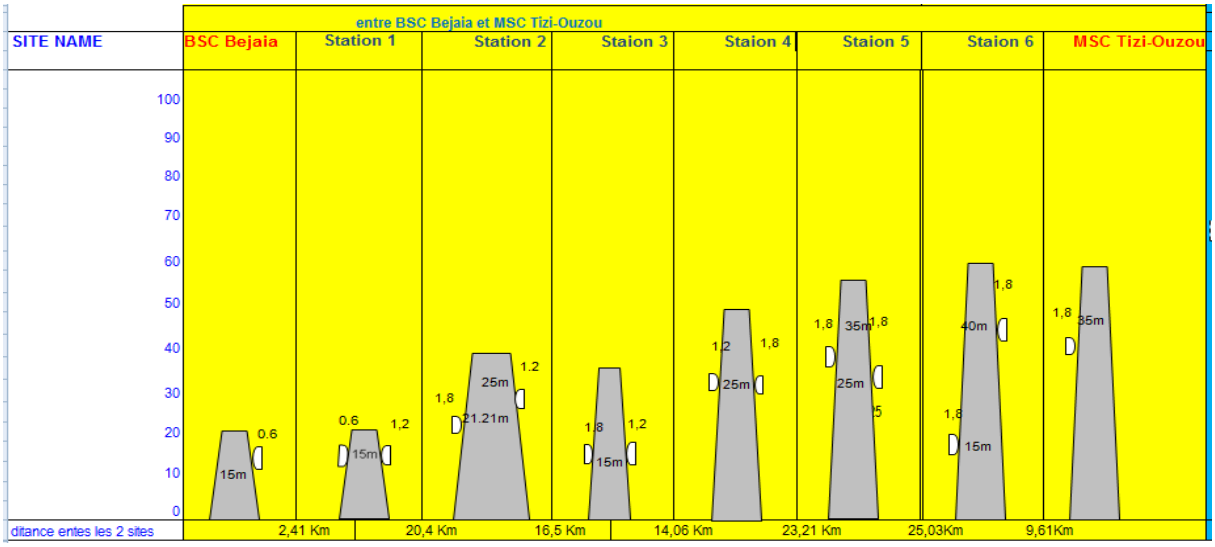


Figure IV.8. Diamètres d'antennes et Distance entre sites.

IV.4.3. Planification des sites

Après avoir choisi les pylônes répertoriés et existants dans la région en respectant toujours les performances du lien (short haul) et avoir confirmé les LOS, on prend les coordonnées GPS de chaque station et on passe à la création de tous les sites.

On prend un exemple le lien BSC Bejaia et la station1.

1. Pour créer un nouveau site on clique sur « view » puis « Create Tool »

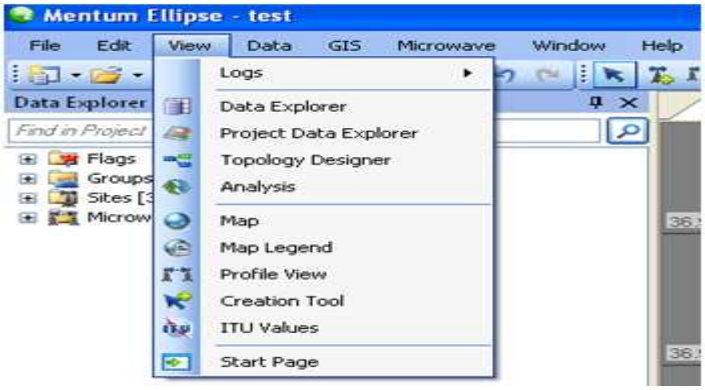


Figure IV.9. création d'un nouveau site.

2. Entrer le nom du site et ses cordoonée GPS (En degrés)

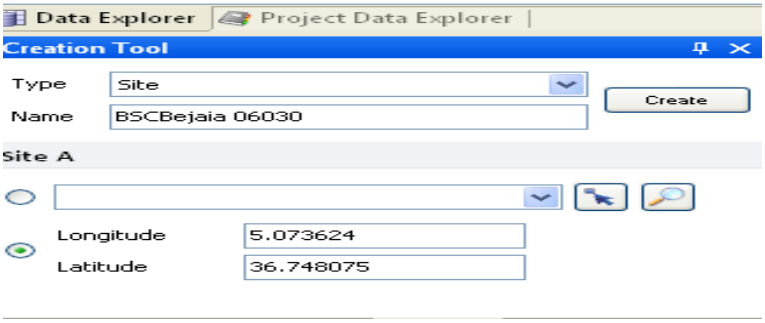


Figure IV.10. insértion des cordoonée GPS.

3. Position site

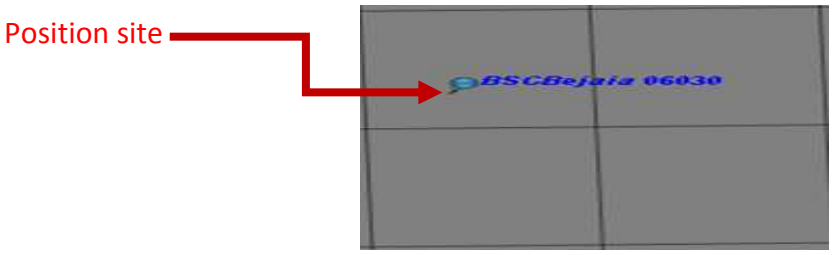


Figure IV.11. La position du 1ersite.

4. Création du 2^{em} site

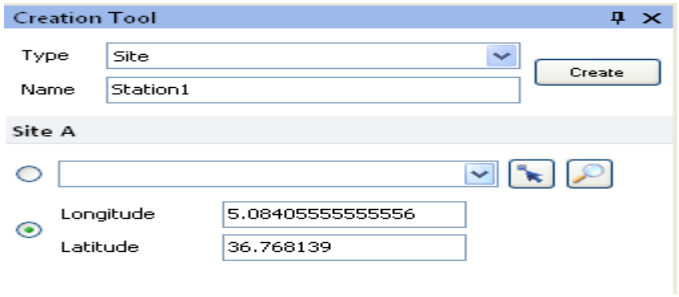


Figure IV.12. Création du 2^{éme} site.

5. Position du 2ème site

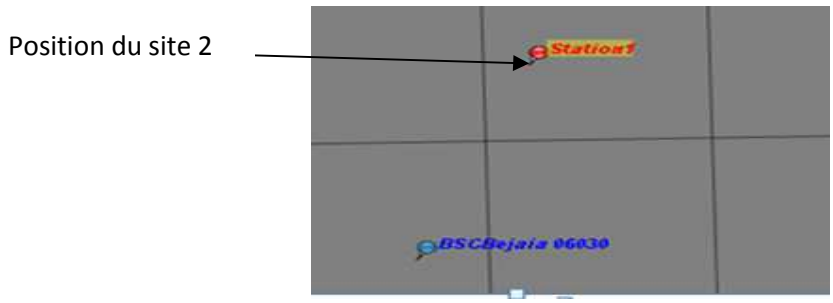


Figure IV.13. Position du 2^{éme} site.

6.Vérifier la visibilité entre les deux sites (LOS : ligne of sight) : les sites reliés doit être en visibilité directe c'est-à-dire le lien est complètement dégagé des obstacles. Pour cela deux méthodes permettent de le vérifier :

7.

a.Visite sur le site : on se déplace sur les deux sites aux même temps avec les outillages nécessaires pour le travail (les jumelles, deux miroirs).

b. Par logiciel : on peut vérifier le LOS sur le logiciel Ellipse, on cliquant sur l'icône LOS

Figure IV.14. L'icône de visibilité.

Il nous donne le minimum a partir de la carte géographique intégrée, mais avant l'installation il faut vérifier s'il ne ya pas de nouveaux obstacles.

On a appliqué ça sur notre liaison entre le BSC Bejaia et la station 1, les résultats sont comme suit :

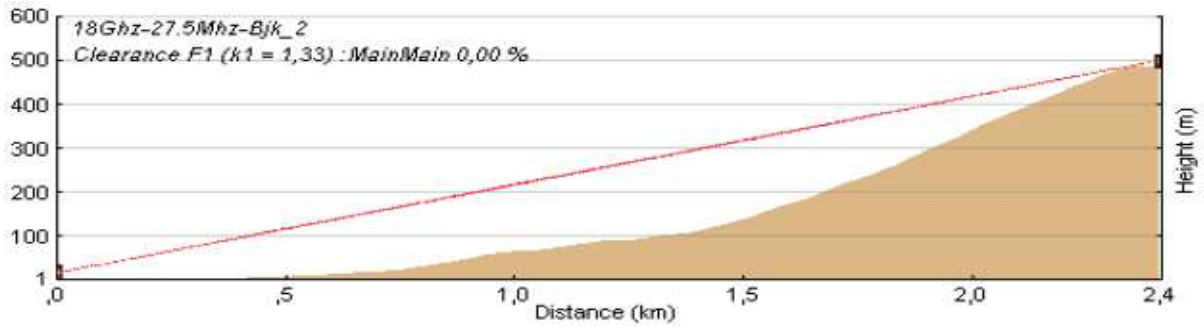


Figure IV.15. La visibilité entre les deux sites.

Dans notre cas les deux points ne sont pas en visibilité directe, ce qui veut dire que la première zone de Fresnel n'est pas complètement dégagée. On fait varier les hauteurs des deux antennes à ce qu'on dépasse tout les obstacles. (dépend de la hauteur du pylône)

8. Une fois la visibilité est vérifiée on passe à la configuration du lien (choisir le radio système)

a. Pour choisir les types des équipements utilisés on clique sur La case « description »

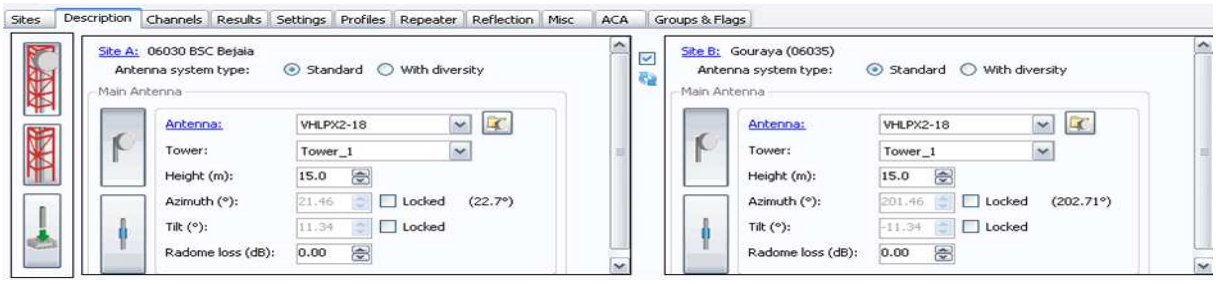


Figure IV. 16. Choisir les types des équipements utilisés.

b.L'icone à gauche permet de choisir le type d'antennes :

- la fréquence : 18 GHz
- le diamètre : en fonction de la distance du lien on choisit le diamètre d'antenne, il existe quelques diamètres standards qui sont :

  0.3m, 0.6m pour les courtes distances (1Km – 3Km)

  1.2m pour les distances moyennes (10Km)

1.8m, 2.4m pour les grandes distances (15Km et plus)

- sa configuration soit : une seule polarisation verticale ou horizontale ou dual polarisation : XPIC pour une seule fréquence en utilise la polarisation verticale et horizontale en même temps.

Dans notre cas la distance du lien est 2.41 Km donc on a besoin d'une antenne 0.6m de diamètre ce qui est disponible dans la 18 GHz, et on choisit l'antenne XPIC.

c.L'icône permet de choisir les caractéristiques du câble coaxial

-Feeder (par defaut)
-Loss(db/100m)
-Length(m)
-Tx additional loss(db)
-Rxadditional loss(db)

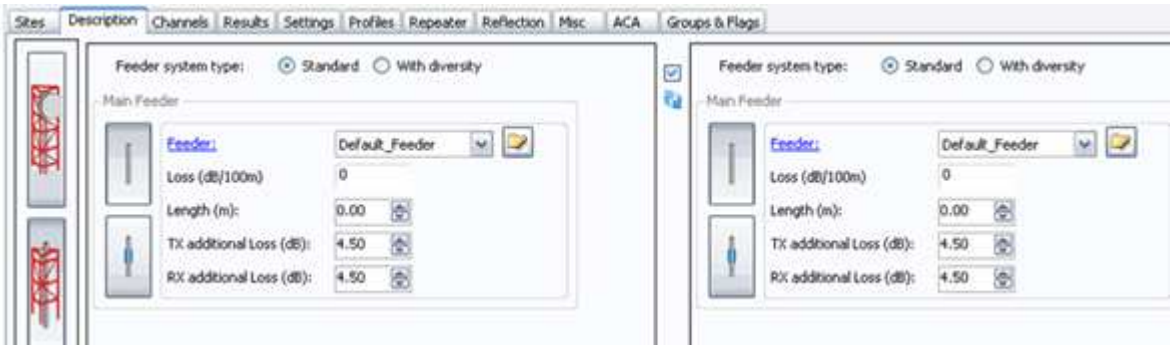


Figure IV. 17. Choisir les caractéristiques du câble coaxial.

d. L'icone est celle du choix de l'ODU, 4 radios dans notre cas (128QAM /28MHz)

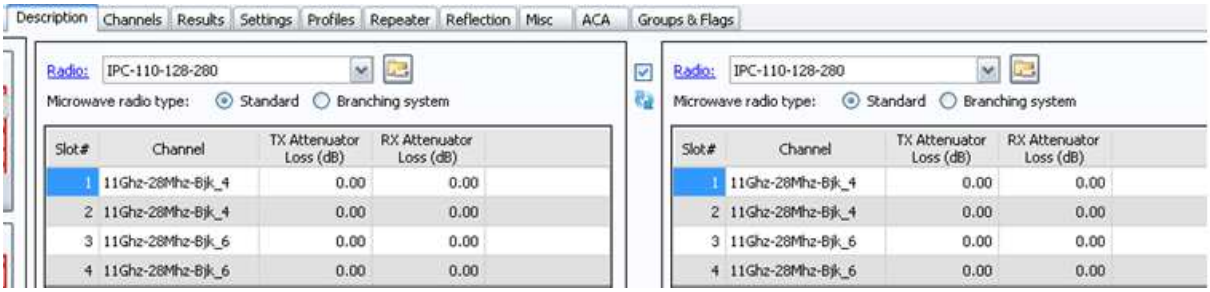


Figure IV.18. Choisir le nombre de canaux.

e. On clique sur l'icône « channels » pour choisir le nombre de slot à utiliser dans notre cas c'est 4 Slots (4 Modem dans l'IDU) parce qu'on travaille avec la configuration 4+0.

Figure IV.19. Le chois de 4 canaux

f. Puis on clique sur chaque canal pour choisir sa capacité, la fréquence, et la polarisation. Le choix de polarisation dans la configuration 4+0 est : Slot1 V, slot2 H, slots3 V, slots4 H.

Et d'après la distance (2.41Km) on a choisit une fréquence de 18 GHz

Le choix du canal dépend de la capacité de site dans notre cas la capacité TDM est 2 stm1 donc on utilise un canal de 27.5 ou 28 MHz et la capacité IP sera déterminée automatiquement par 330Mb/s.

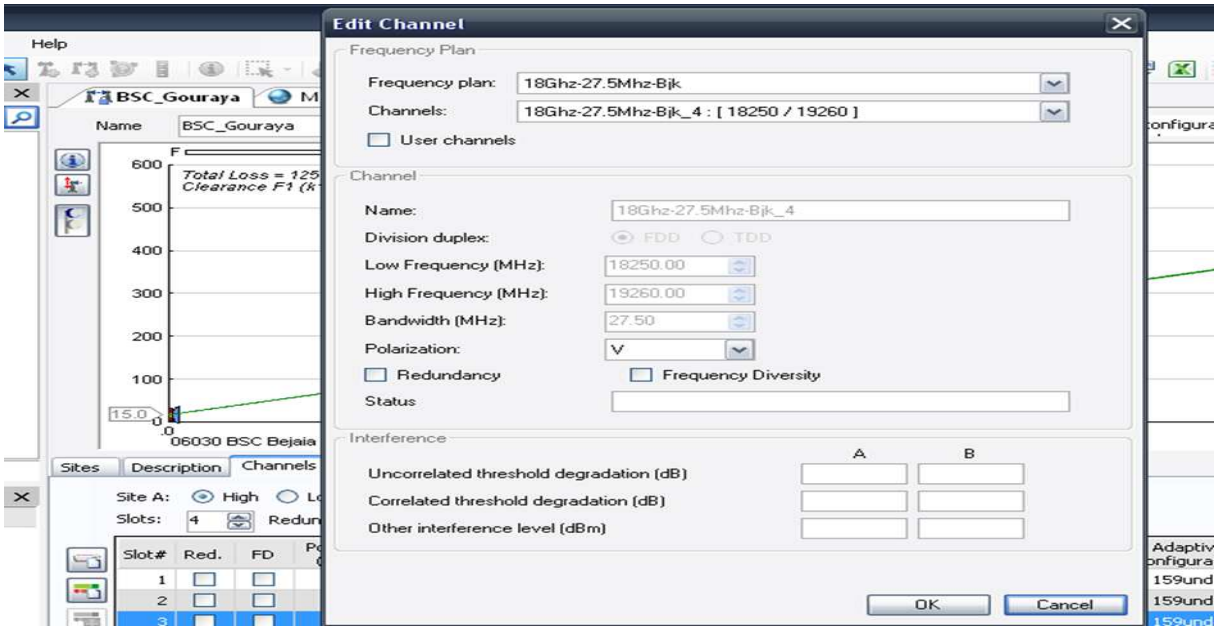


Figure IV.20. La configuration de chaque canal.

g.Double clic sur « Traffic » pour choisir la capacité TDM et Ethernet (IP) puis OK.

On a choisit un trafic de : 2 STM1 +330.000Mbit/s.

Figure IV.21. Détermination de la capacité TDM et IP.

NB : Ces étapes de configurations sont faites de la même façon pour tous les 7 sites.

Après avoir réalisé toute la route, on procède au calcul d'interférences.

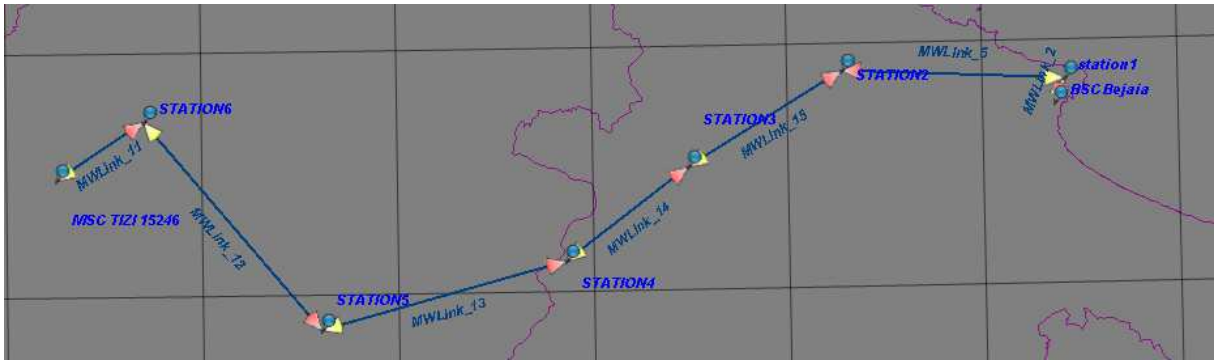


Figure IV.22. La route reliant le site Bejaia a celui de Tizi-Ouzou.

IV.4.4. Calcul de l'interférence

Pour calcules les interférences en sélectionne toute la liaison, on clique avec le bouton droit pour avoir cette fenêtre qui définit toutes les interférences.

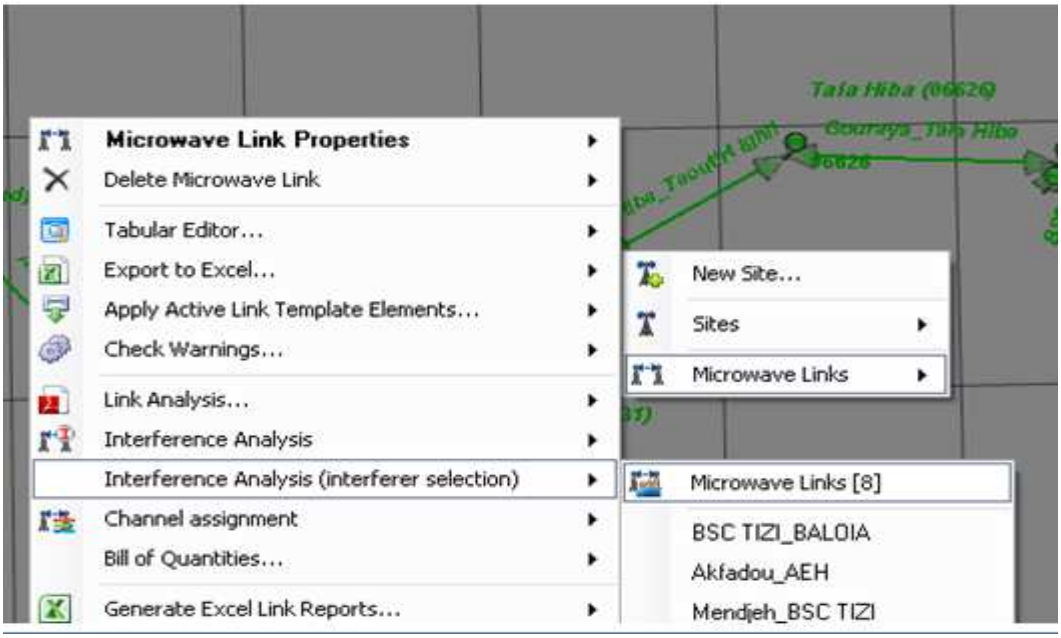


Figure IV.23. Analyse d'interférences.

Après calcul d'interférence par le logiciel, on obtient le résultat ci-dessous.

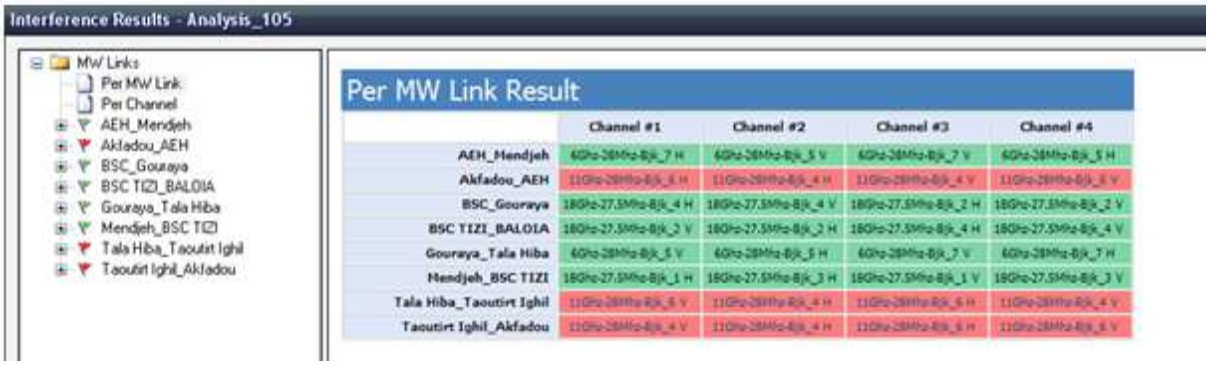


Tableau IV.1. Les interférences existantes dans le lien.

Les liens interférés sont représentés par les rectangles rouges, on clique sur chaque rectangle pour voir le nivaux de l'interférence.

Akfadou_AEH (11Ghz-28Mhz-Bjk_6 V)				
	Unit	Vs Akfadou_AEH (11Ghz-28Mhz-Bjk_6 V)	Vs Taoutirt Ighil_Akfadou (11Ghz-28Mhz-Bjk_6 H)	Vs Taoutirt Ighil_Akfadou (11Ghz-28Mhz-Bjk_6 V)
Microwave Link A		Akfadou_AEH	Akfadou_AEH	Akfadou_AEH
Microwave Link B		Akfadou_AEH	Taoutirt Ighil_Akfadou	Taoutirt Ighil_Akfadou
Site A1		Akfadou (06031)	Akfadou (06031)	Akfadou (06031)
Site A2		AEH (15041)	AEH (15041)	AEH (15041)
Site B1		Akfadou (06031)	Taoutirt Ighil (06201)	Taoutirt Ighil (06201)
Site B2		AEH (15041)	Akfadou (06031)	Akfadou (06031)
TD A1 > B1	dB		0.00	0.00
TD A1 > B2	dB	0.01		
TD A2 > B1	dB	0.01		
TD A2 > B2	dB		0.36	1.06
TD B1 > A1	dB		0.97	1.45
TD B1 > A2	dB	0.01		
TD B2 > A1	dB	0.01		
TD B2 > A2	dB		0.00	0.00

Tableau IV.2. Les niveaux d'interférence.

On remarque que le niveau est de 1.45dB au Max pour touts les cas d'interférence, et cela est toléré par Mobilis. Donc les liens de notre route ne cause aucune interférence et peut être validée.

IV.4.5. Calcul du bilan d'une liaison

Avant d'installer un système de radiocommunication ou une liaison hertzienne, il est nécessaire d'effectuer le calcul du bilan de liaison. En effet, ce calcul permet de déterminer si le niveau de puissance reçue par le récepteur sera suffisant pour que la liaison fonctionne correctement .pour le calculer on utilisant cette formule :

$R_{SL} = P_{Tx} + Gtx - Lfs + G_{Rx} + A$

R_{SL} : Niveau de réception

Ptx : puissance sortie d'émission de l'ODU

Gtx : Gain d'antenne coté émission

Grx : Gain d'antenne coté réception

Lfs : Affaiblissement en espace libre

A : Autre pertes (Gaz, pluie, Humidité, Coupleur, Connectiques …)

Ci-après nous donnons un exemple de calcul pour le lien (BSC Bejaia – station 1). Le résultat obtenu est le suivant :

Calcul de l'affaiblissement en espace libre

Lfs= 92,45 + 20 log (f) + 20 log (d)

Prenant notre cas : L_{fs} = 72.45 + 20 log (18) + 20 log (2,41) = 125,2 dB

Ptx = 21 dBm

Donc on peut déduire le R_{SL} de notre lien : R_{LS} = 21 + 38,7 – 125,2 + 38,7 = - 26,8 dBm. En ajoutant à cela les pertes minimales de l'atténuation en ciel clair, de l'ordre de 5 dB, la puissance reçue estimée est de -31.8 dBm.

Après l'installation matérielle de la liaison, on procède à la configuration des équipements, mais il faudrait d'abord vérifier l'alignement entre les deux antennes en réglant l'angle d'azimut et d'élévation (Tilt) afin d'avoir les deux lobes principaux sur le même axe.

Dans notre cas les valeurs qui permettent d'avoir un alignement entre les deux sites sont les suivantes :

	Azimut	Tilt
Antenne 1	201,46	- 11,34
Antenne 2	21,46	11,34

IV.4.6. Validation de la planification par logiciel

Une fois que toutes les données sont introduites, le logiciel calcul tous les paramètres nécessaires à la configuration. Les résultats sont affichés dans le logiciel sous forme d'un tableau récapitulatif de tous les paramètres résultat pour toutes les stations de la liaison (voir Figure IV.24).

Figure IV.24. Les résultats du lien donnés par le logiciel

En résumé, nous donnons un exemple de résultat sur le tableau IV.2. Nous constatons que sur les trois colonnes, correspondantes aux trois premières stations, une disponibilité nulle alors que pour les autres stations la disponibilité est supérieure à 99.996. La marge de sécurité pour la première liaison ne correspond pas à celle déjà calculée comme exemple de calcul. Dans ce tableau cette marge est de 14 dB. Ceci engendre un signal reçu de moins de -55 dBm. Le même problème est constaté pour les deux liaisons entre la station 1 et la station 3 en passant par la station 2. La marge de sécurité est négative et sont respectivement aux environs de -54 et -31 dB pour ces deux liaison ceci indique des puissances reçues respectives d'environs -126 et -102 dBm. Après consultation des statuts de ces liaisons, nous pouvons affirmer que les résultats obtenus sont logique car ces liaisons ne sont en visibilité directe (voir Figures IV.25 A, IV.25 B et IV.25 C).

Comme la disponibilité pour les liaisons 5 et 7 est inférieure à 99,999, les résultats obtenus pour ces deux stations sont à réexaminer. Il possible que les azimuts ou angle de site ne sont pas bien introduits dans le logiciel malgré la marge de sécurité suffisante obtenue. Toutefois, ces liaisons sont en visibilité directe (voir Figures IV.25 D, IV.25 E, IV.25 F et IV.25 G).

Bonds → paramètre ↓	-	BSC Tizi Station 1	station 1 station 2	station 2 station 3	Station3 station 4	Station4 station5	Station5 station6	station 6 Site Tizi
distance (km)	D	2.41	20.4	16.5	14.06	23.21	25.03	9.61
fréquences (MHz)	F1 F2	19205 18195	6620 6960	1835 11365	11365 10835	10835 11365	6620 6960	19177.5 18167.5
diamètre d'antenne (m)	D1 D2	0.6 0.6	1.2 1.8	1.2 1.8	1.2 1.2	1.8 1.8	1.8 1.8	1.8 1.8
Polarisation	-	H-H	H-H	H-H	H-H	H-H	H-H	H-H
puissance d'émission (dBm)	T_{x1} T_{x2}	21 21	26 26	22 22	22 22	22 22	26 26	21 21
Débit (Mbit/s)		640	640	640	640	640	640	640
Bande passante (MHz)	-	27.5	28	28	28	28	28	27.5
Nombre de canaux	-	4	4	4	4	4	4	4
Type de modulation	-	QAM-128	QAM-128	QAM-128	QAM-128	QAM-128	QAM-128	QAM-128
Marge de sécurité(dB)	FM1 FM_2	14,90 15,57	-53.46 -54.34	-30.31 -31.10	28.59 29.02	31.33 30.89	31.54 31.10	39.6 40.28
niveau du signal reçu (dBm)	R_{x1} R_{x2}	-55,6 -54,93	-125.46 -126.34	-101.81 -102.6	-42.81 -42.48	-40.17 -40.61	-40.64 -40.90	-30.90 -30.22
Disponibilité (%)		99,99715 99,99816	0,000E+000 0,000E+000	0,000E+000 0,000E+000	99,99905 99,99938	99,99889 99,99836	99,99999 99,99999	99,99612 99,99724

Tableau IV.3. Résultat de paramétrage pour toutes les stations planifiées sur le canalen polarisation horizontale.

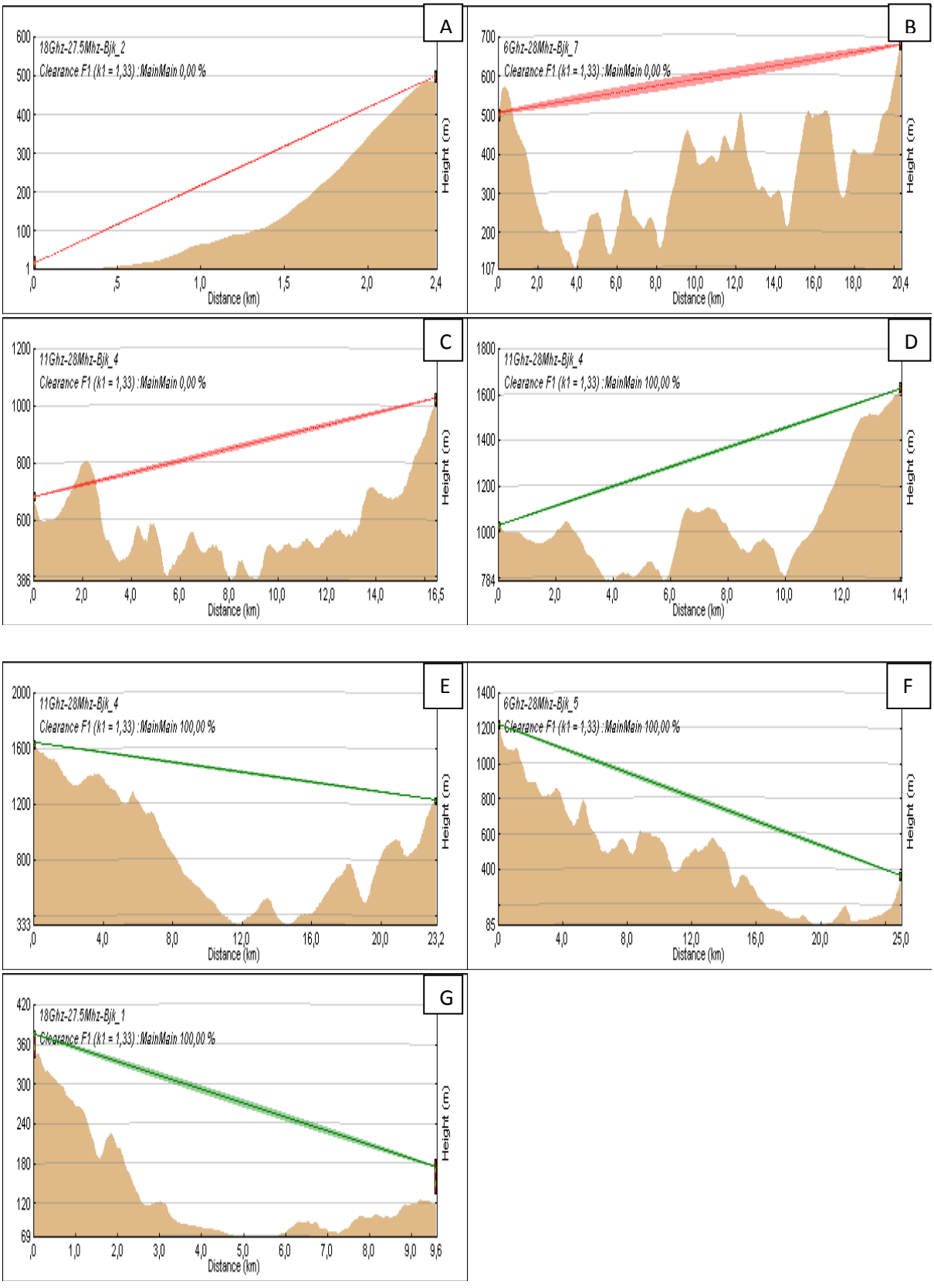


Figure IV.25. Vérification de la visibilité par logiciel.

IV.5. Configuration des équipements

Une fois que les résultats sont satisfaits, le lien est accepté et donc l'équipement IDU est prêt à être configuré. Pour cela il suffit de brancher au port LCT sur la carte mère de l'IDU un PC portable via un câble RJ45, qui permet d'accéder à ses différents éléments et d'introduire les paramètres techniques de la planification.

Pour les liaisons de transport on utilise les équipements du type IP PASOLINK 1000.

Premièrement en fait entrer l'adresse 172.17.254.254 et le MSR 255.255.255.0 et la passerelle par défaut 172.17.254.253 et a l'aide de navigateur Web on accède à l'équipement.

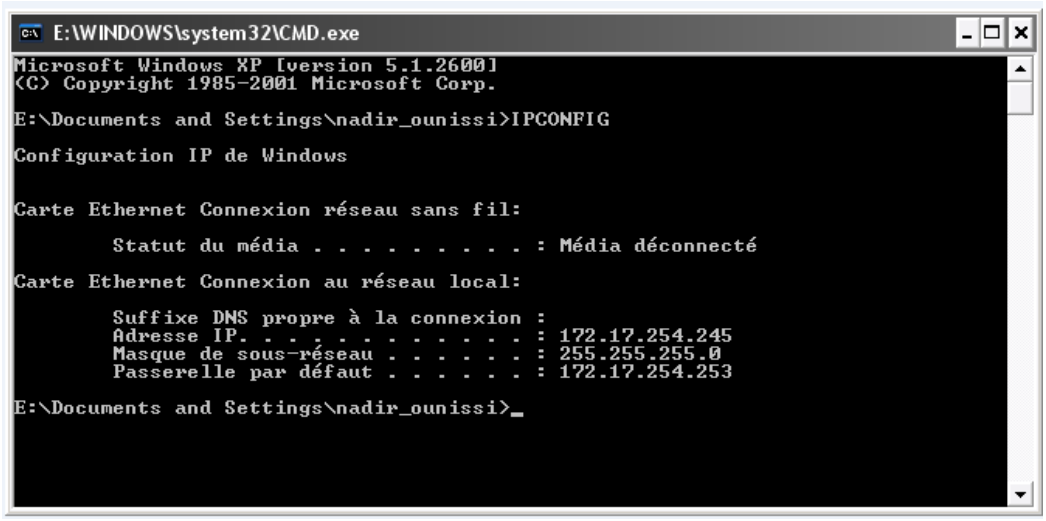


Figure IV.26. Fenêtre DOS.

Mot de passe : Par défaut on choisit l'Utilisateur : Admin et le Mot de passe : 12345678, Ok, pour avoir une fenêtre qui permet de suivre les étapes de la configuration

Figure IV.27. Page WEB.

Après validation on obtient l'image ci-dessous :

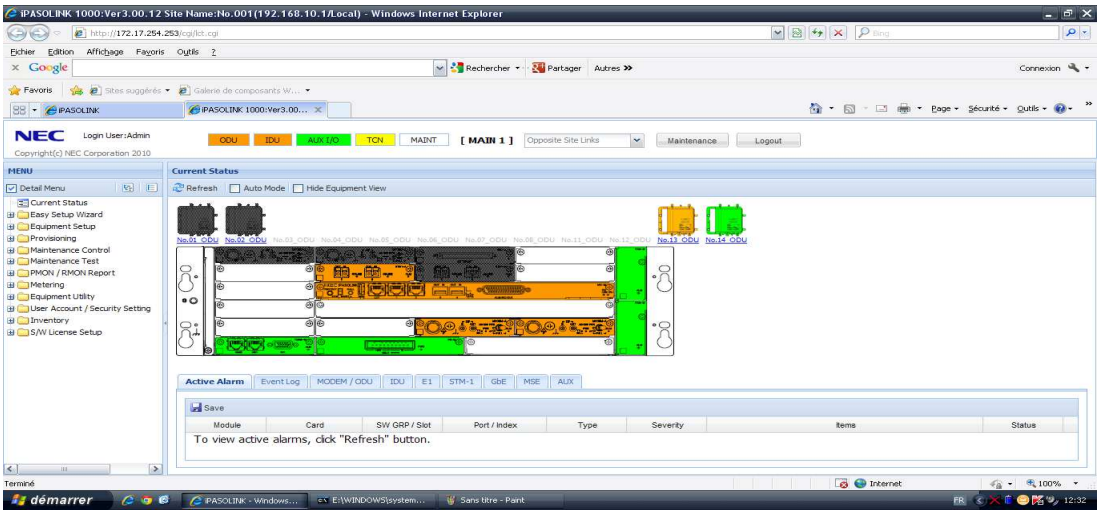


Figure IV.28. Les différents éléments de l'équipement.

1. On clique sur équipement setup
2. puis sur équipement configuration

    a) setup
    b) next puis on sélectionne les modems à utilisé, dans notre cas on sélectionne 4 modems

Figure IV.29. Le nombre de modems à utilisé.

c) next puis on choisit la configuration XPIC

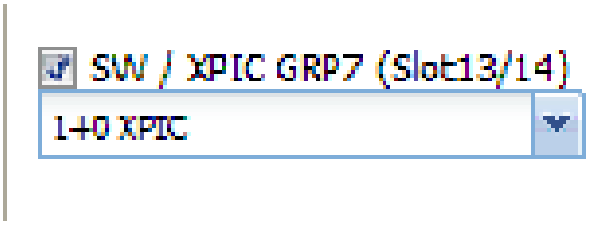


Figure IV.30. Le choix de la technologie XPIC.

d) next, Ok.

3. On clique sur radio configuration

a.On choisit un canal 28 MHz

Figure IV.31. La bande passante du canal.

b. la modulation 128 QAM

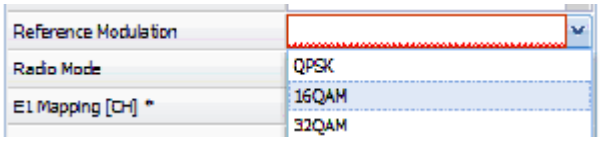


Figure IV.32. Le type de la modulation.

c.Le mode radio (liaison transport)

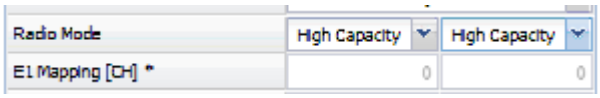


Figure IV.33. Le mode radio.

d.Choisir la fréquence Tx de la bande 18 GHz

e.Tx power control : MTPC

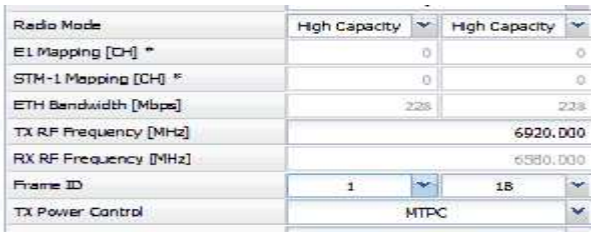


Figure IV.34. La fonction MTCP.

La fonction MTPC (Manuel Transmitter Power Control) fait varier manuellement la puissance de sortie TX (d'émission) en fonction des conditions de trajet. La MTPC fonctionne en commandant la puissance de sortie d'émission de la station distante en fonction de la variation du niveau de signal reçu à la station locale.

f. Next, Ok

g. AMR/ Radio Mapping Configuration

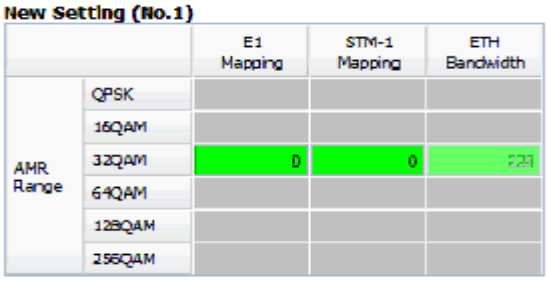


Figure IV.35. La configuration de l'AMR.

h. On choisit 2 STM-1 et 330 Mb/s en utilisant la modulation 128QAM.

L'AMR : L'AMR est une technologie qui aide à améliorer la stabilité d'une liaison pour les transmissions en mode « paquets » en utilisant la différence de seuil thermique entre la hiérarchie modulation, tels que QPSK à 128 QAM etc. Sous une pluie sévère, l'atténuation fluctue rapidement, il est donc nécessaire de mettre rapidement et compenser efficacement l'oscillation du niveau de réception du signal. Dans notre cas, on fixe la modulation à 128QAM et l'AMR à 32 QAM, donc la capacité Ethernet peut varier en fonction de la pluie de 330Mbs à 228Mbs. Se qui est une assurance du trafic Ethernet. Pour se qui est de la partie TDM, le FHN SDH est lui très performant et n'utilise pas le mode AMR.

i.Configuration Radio :

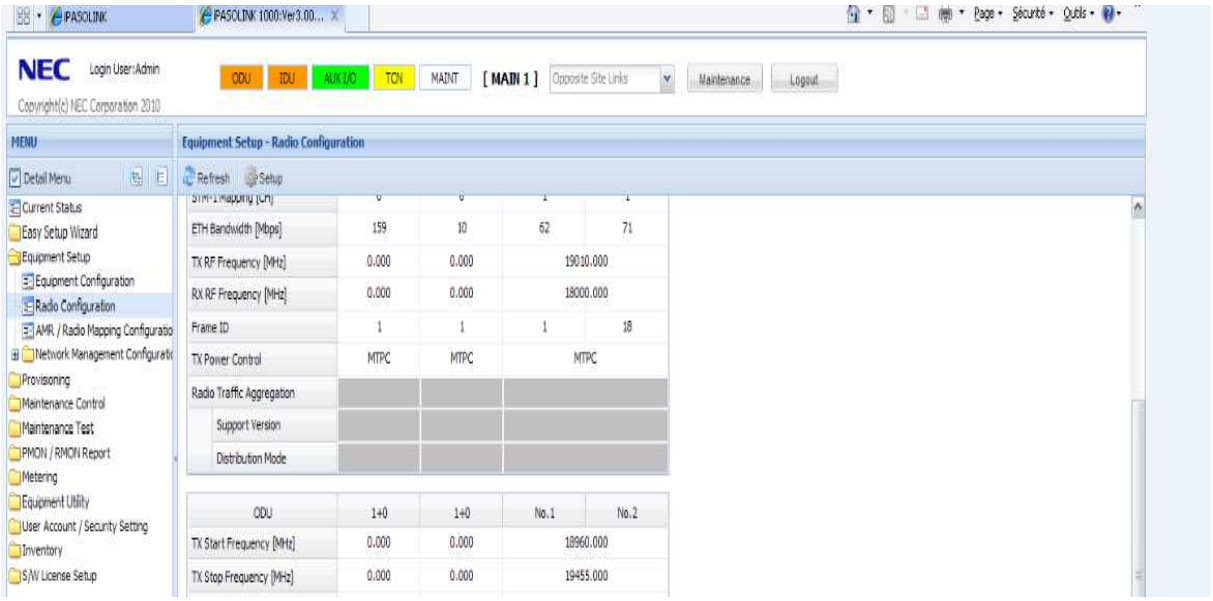


Figure IV.36. La configuration Radio.

j.Configuration des STM1 :

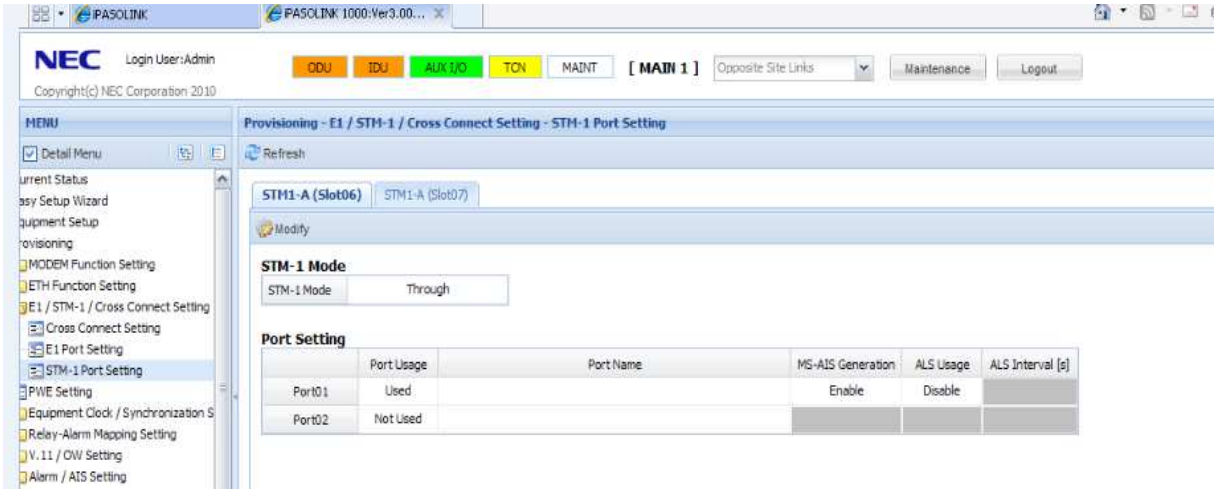


Figure IV.37. Configuration des STM-1.

k.Configuration de l'Ethernet :

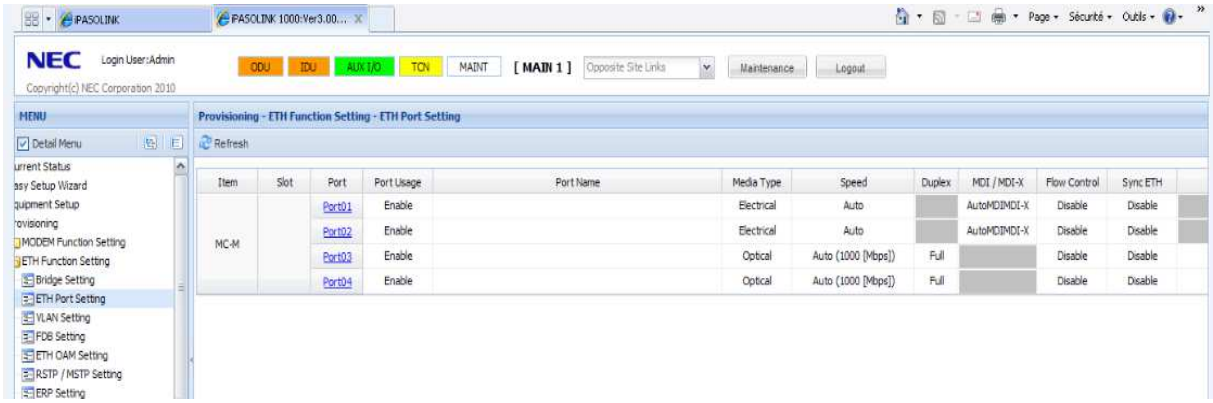


Figure IV.38. Configuration de l'Ethernet.

l. Configuration des VLAN :

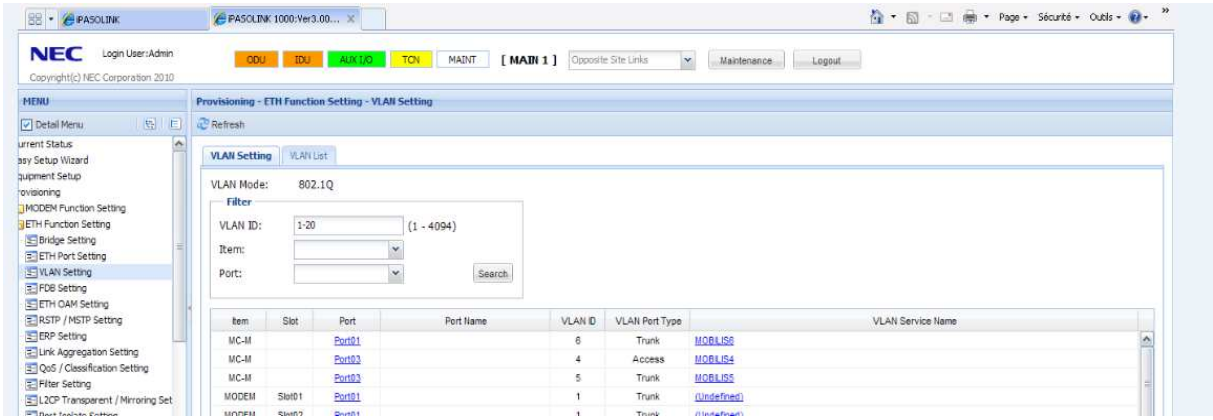


Figure IV.39. Configuration des VLAN.

Les VLAN permettent d'identifier chaque paquets Ethernet (dans l'entête), pour cela on associe chaque paquets à un port de l'équipement. Dans notre cas, on a 1 VLAN pour chaque ports GE.

m. Configuration de la Synchronisation :

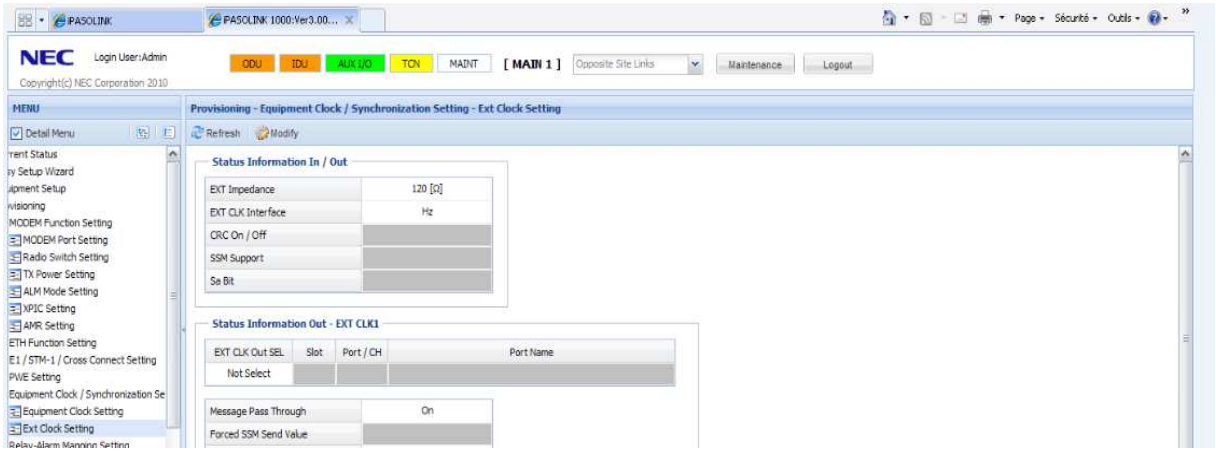


Figure IV.40. Configuration de la Synchronisation.

La Synchronisation est obtenue soit par une source de référence extérieure (port électrique dans l'IDU) ou par le MODEM (Radio), la carte STM1 ou autre interfaces, un ordre de priorité ou de qualité est alors donné à l'équipement afin d'avoir une bonne qualité de synchro.

Toutes ses étapes de configurations doivent être faites pour touts les équipements.

IV.6. Supervision de la route

La supervision des liens FHN de notre route Bejaia-Tizi-Ouzou se fait par la plateforme PNMSj (Pasolink Network Management System java) propre à l'équipementier NEC. Dans l'architecture du réseau Mobilis, la supervision est à la charge d'une autre structure qui est le NMS indépendante de la direction des transmissions ; elle se trouve à Alger (Serveur et clients). La supervision est la remontée des alarmes en temps réel ; des interfaces graphiques appelés clients nous permettent de superviser tout nos liens FH.

Pour la planification de notre réseau FH, il faut définir chaque nœud de notre route par une adresse IP. L'équipementier NEC a proposé un logiciel designe NetCfgToolj présenté Ci-dessous.

IV.6.1. Description du logiciel de design

Le Toolj (NetCfgToolj) est un outil d'application facultatif pour le PASOLINK Network Management System PNMS, qui fournit une interface facile à utiliser l'interface graphique dans la construction Réseaux PASOLINK NEC. C'est un outil puissant utilisé pour générer des fichiers de configuration pour le PASOLINK Cartes Management (PMC) et les fichiers de données de connexion réseau pour le PASOLINK Système de gestion de réseau (SMP).

IV.6.2. Configuration réseau (les nœuds de la route)

Pour configurer le réseau on suit les étapes suivantes :

1. Création d'un nouvel espace de travail de configuration réseau

   Allez dans fichier nouveau dans le menu principal, une fenêtre principale NetCfgToolj sera affichée.

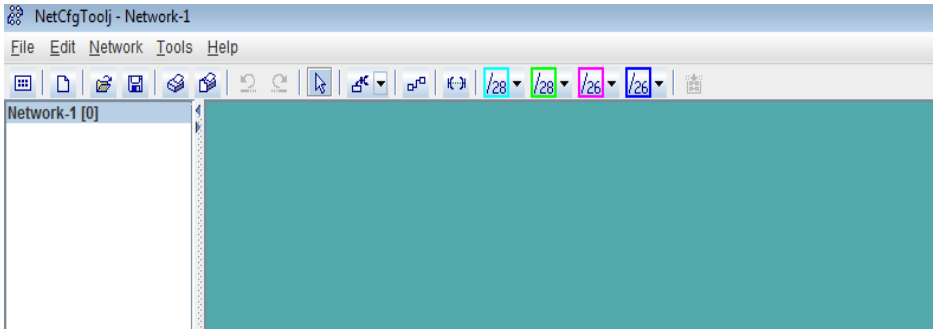


Figure IV.41. L'espace de travail.

2. On clique sur l'icône dans la barre d'outils qui permet d'avoir un menu principal pour ajouter un élément de réseau. Sélectionnez le type de NE, qui est dans notre cas le iPASOLINK1000. Pour notre route, on a 14 Nœuds, 2 Terminaux, et 6 Relais (2/sites)

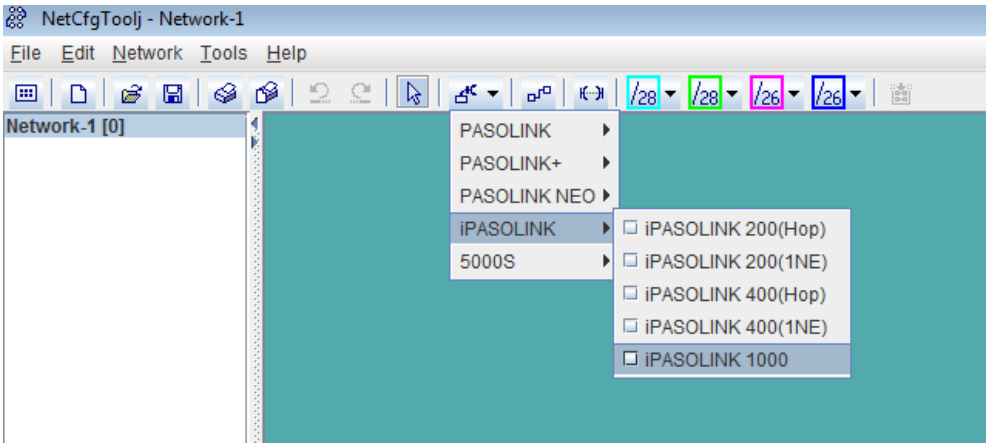


Figure IV.42. Choisir le type d'équipement.

4. Puis on clique sur une place dans l'espace de travail actuel où on veut ajouter le NE (Network Element). De la même façon on crée les autres sites.

5. cliquer sur l'icône 'Ajouter BB Ligne' pour relier deux éléments de la même station, et sur l'icône 'Ajouter DSC/SV Ligne' (liaison FH) pour relier deux site différents.

6. Dans notre cas, le premier site de Tizi représente le R-NE le premier élément de la chaine, il sera connecté par le port RJ 45 NMS de l'IDU, les autres éléments par FHN.

7. Le serveur étant à Alger, il faut disposer des adresses suivantes, Gateway, Routeur, plage d'adresse de nos nœuds et enfin le NTP serveur pour pouvoir synchroniser tout les nœuds.

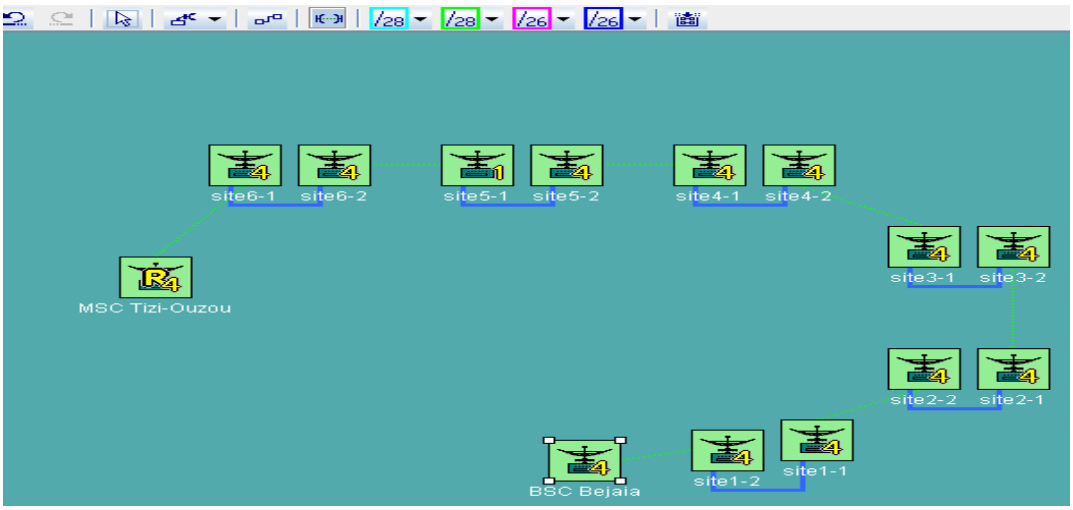


Figure IV.43. Les nœuds du réseau.

8. pour modifier les paramètres de chaque élément :

a. cliquer sur l'élément
b. on choisit propriétés

c. choisir 4 modems pour tous les éléments

d. enter le nom souhaité

e. cliquer sur OK pour sauvegarder le nouveau réglage

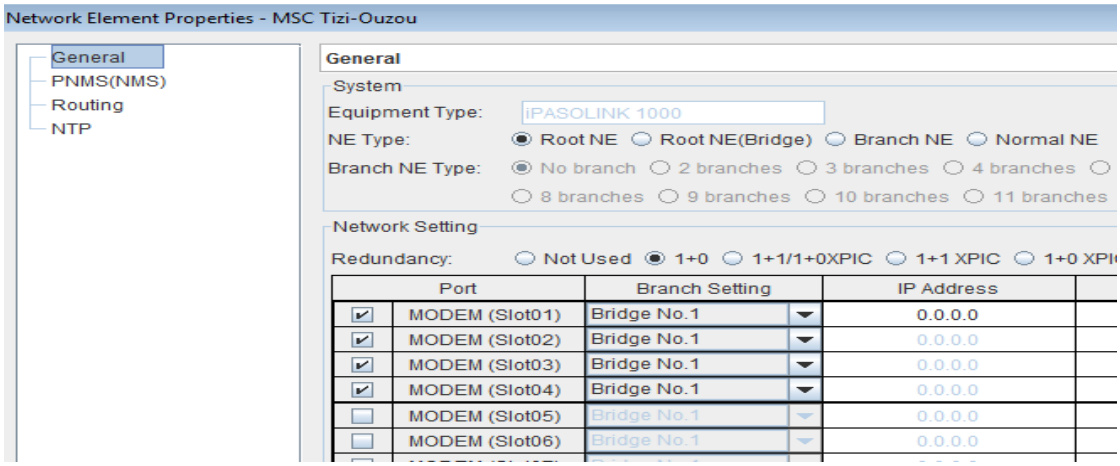


Figure IV.44. Le choix du nombre de Modem.

9. Après avoir configuré et identifie tout les nœuds, on donne un nom à notre fichier et on introduit les paramètres et adresse IP (Routeur, Gateway, NTP Serveur). Les étapes ci-dessous nous permettrons l'identification de chaque nœud par une adresse IP :

a. Nom du R-NE, Premier élément de la route.

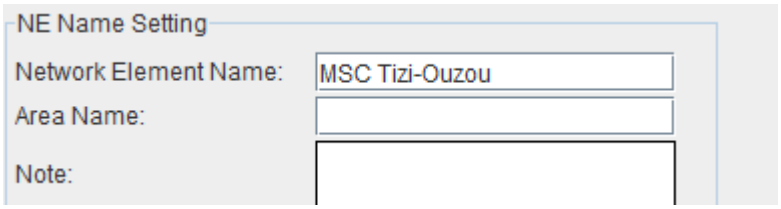


Figure IV.45. Le nom de l'élément.

b. Introduction de la plage d'adresse du réseau.

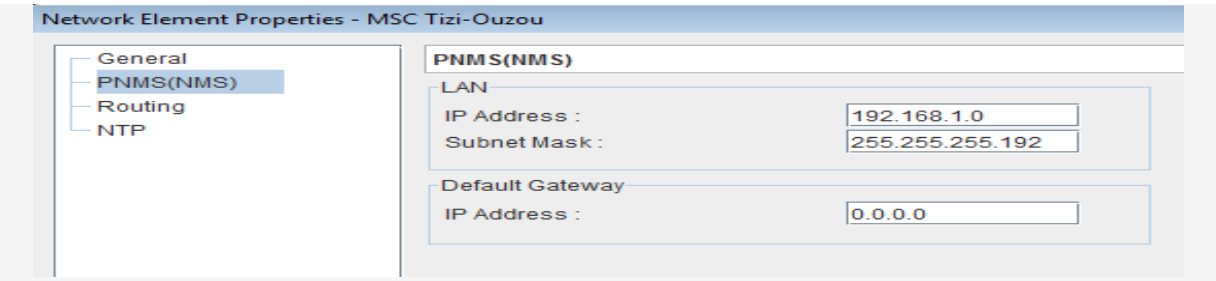
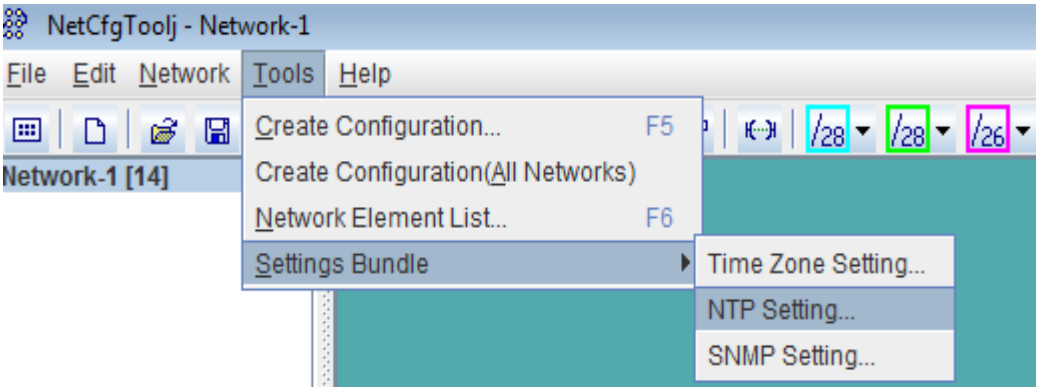


Figure IV.46. La plage d'adresse.

c. Adresse NTP : Pour synchroniser tout les nœuds avec le serveur.



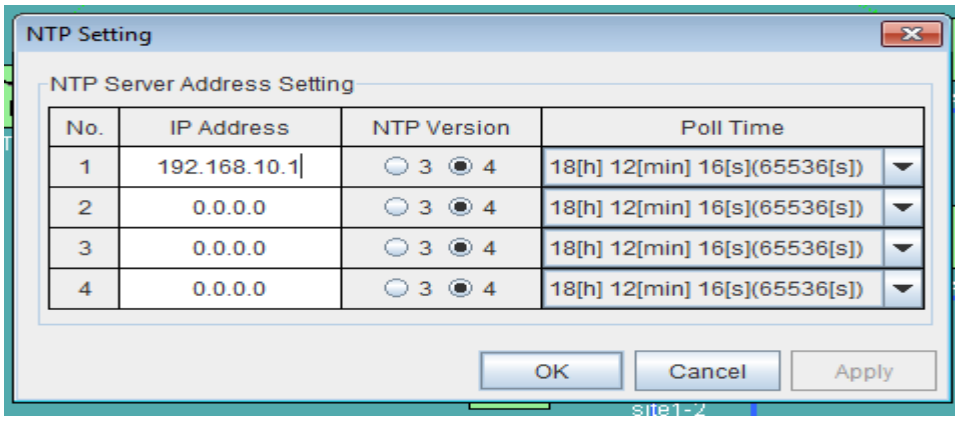


Figure IV.47. La configuration de l'adresse NTP.

d. Définir chaque nœud par une adresse IP on cliquant sur Network-1[14], OK puis En charge la plage l'adresse :192.168.1.0 et MSK :255.255.255.192

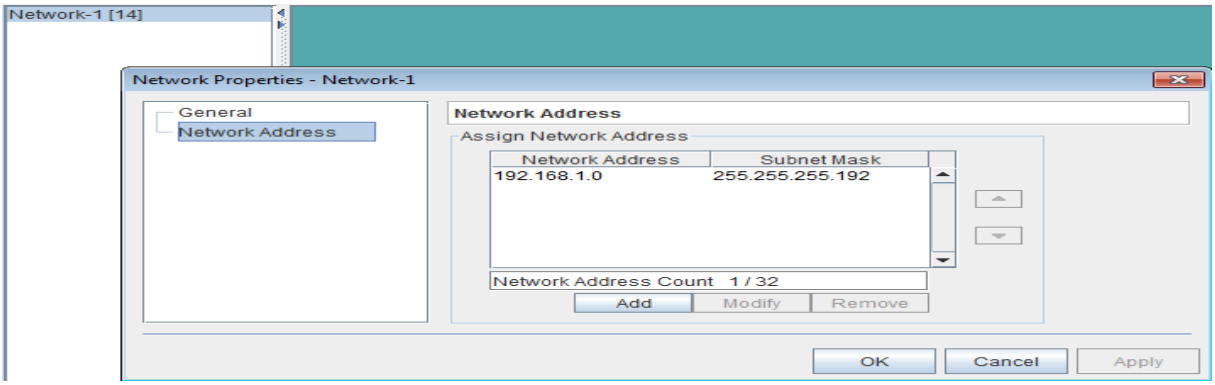


Figure IV.48. La configuration du site avec une adresse IP.

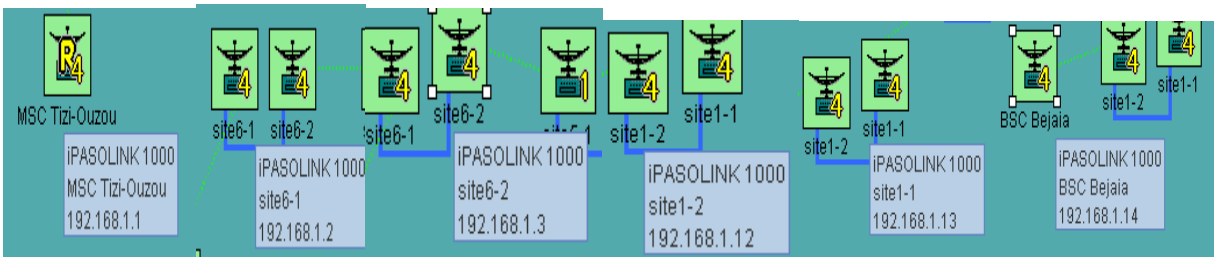


Figure IV.49. Schéma qui définie l'adresse de chaque site.

Plan final : Après toute ces étapes, on obtient finalement notre désigne en adresse IP. Le fichier obtenu sera transmis aux ingénieurs de la plateforme de supervision NMS qui se chargeront de l'introduire dans le serveur, on pourra alors superviser tout nos liens.

IV.7. Conclusion

L'analyse de mesure de puissance émises et reçue des signaux Tx et Rx de la liaison FHN 2G a permis de bien saisir la notion de l'atténuation et marge de sécurité pour avoir un ordre de grandeur pratique de la perturbation de la pluie, de maitriser les équipements 2G et l'architecture d'une liaison FHN 2G. Ceci nous a permis de nous adapter facilement aux équipements 2G-3G et procéder à la planification d'une liaison haut débit FHN. Cette liaison permettra de véhiculer 644Mbits/s sur 4 canaux configuré en polarisation H et V. Deux canaux pour la téléphonie 2G (314 Mbits/s) et 2 canaux pour la voie IP (330Mbits/s). A l'aide de logiciel de planification nous avons validé 4 stations sur 7. Trois stations n'étant pas en visibilité directe, nous devons choisir d'autres sites géographiques, augmenter la hauteur des antennes (pôle) ou contourner ces régions. Enfin, la configuration de supervision permettra pour les exploitants de mieux surveiller la liaison planifiée une fois la mise en service est effective.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Comme nous l'avons montré, les liaisons FHN présente un moyen très efficace et indispensable pour la continuité des réseaux de télécommunications filaire et sans fil. Avec le développement de l'électronique numérique et les techniques hyperfréquences, ces liaisons assurent un débit très important au point de remplacer la fibre optique, c'est le cas par exemple des liaisons couvrant les terrains à relief complexe ou à accès difficile. Toutefois ces liaisons sont sujettes à beaucoup de perturbations du fait que le signal se propage à l'air libre entre l'émetteur et le récepteur. Donc, les phénomènes météorologiques sont les principaux facteurs d'atténuation du signal, en plus des trajets multiples, se produisant dans le canal de transmission hertzien.

Notre étude a présenté un cas pratique d'atténuations de signal dans une liaison FHN et met en évidence l'atténuation mesuré en présence de pluie. Ainsi, durant l'expérience de mesure sur la liaison 2G BTS-BSC Mobilis de Tizi-Ouzou, nous avons noté une atténuation de près de 4 dB/km durant un événement de pluie relativement faible (3 mm/h). L'étude des équipements nécessaires pour la 3G révèle les mêmes phénomènes de perturbation que pour la 2 G, étant donné que les parties radio sont pratiquement pareilles dans les deux générations. D'ailleurs dans certains cas les parties ODU 2G sont maintenues en 3G.

La planification d'une liaison FHN 4+0, site Bejaïa (BSC) au site Tizi-Ouzou (RNC-MSC), est faite par le moyen du logiciel Mentium Ellipse 8 de l'entreprise NEC. Ce logiciel permet d'avoir la meilleure configuration géographique pour avoir minimum de pertes et d'interférences et assurer une visibilité directe entre les stations relais. Toutefois des visites sur site permettent de valider les résultats de visibilité directe (LOS, Line Of Sight) de la planification. Après avoir choisi les paramètres de configurations déduits de la planification, tels que la bande passante et le niveau de modulation et les fréquences, nous avons réalisé la configuration en se connectant aux équipements par le moyen du réseau OSS du réseau GSM. La modification des paramètres est faite directement par voie IP sur une Page HTML en utilisant Internet Explorer de Microsoft. Selon le bond, les fréquences choisies varient de 6GHz à 18 GHz avec une bande passante de 28 MHz et une modulation optimale QAM-128 pour assurer un débit total 600Mbits/s réparti sur 4 canaux. Par ailleurs, la supervision des liens FHN se fait par la plateforme PNMSJ propre à l'équipement NEC qui à la charge d'une autre structure qui est le NMS indépendante de la direction des transmissions.

Enfin, le présent travail et la période de stage ont été pour nous une réelle formation, tant sur le plan des techniques de transmissions, en particulier, sur la transmission par faisceau hertzien. C'a été pour nous, une occasion d'allier la théorie déjà acquise durant notre formation et l'expérience pratique qui est en fait un réel besoin de l'entreprise.

Annexe

1.Les organisms de normalization

les principaux organismes normalisateurs			
internationnaux	europeens	nationaux	industriels
ISO IUT-T (ex CCITT)	CEN/CENELEC CEPT	AFNOR (France) ANSI (USA) BSI (UK) DIN (Allemagne	ECMA IEEE

AFNOR: Association Française de Normalisation

ANSI: American National Standard Indtitute

BSI: British Standard Institute

UIT-T: Union International des Télécommunications – standarisation du secteur Télécommunication

CCITT : Comité Consultatif International pour le Télégraphe et le Téléphone

CEN : Comité Européen de Normalisation

CENELEC : Cen Electrotechnique

CEPT : Conférence Européenne des Postes et Télécommunications

DIN: Deusche Industry Norm

ECMA: European Computer Manufactures Association

ISO: International Standard Manufactures Association

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers

2. Le modèle OSI

Le modèle OSI (Open Systeme Interconnection) définit de quelle manière les ordinateurs et les périphériques en réseau doivent procéder pour communiquer.

Le modèle OSI se décompose en 7 parties appelées couches (couche physique, liaison, réseau, transport, session, présentation, application).

Chaque couche est responsable de l'un des aspects de la communication.

Une couche de niveau N communique avec les couches N+1 et N-1 par le biais d'une interface.

Une couche inférieure transporte les données vers la couche supérieure sans connaître la signification.

Les couches N de 2 systèmes communiquent à l'aide de protocole de communication commun.

3. L'équipement IPASOLINK 1000 (NEC)

IPASOLINK 1000 est conçu comme un équipement de convergence pour les applications haute densité nodale, tels que la connexion transversale de 12 liens, agrégation / distribution des liens multiples nœud de l'anneau et grande capacité, assurant le transport polyvalent de TDM natif et trafics Ethernet natifs.

IPASOLINK 1000 offre jusqu'à 460 Mbps, la capacité de transmission par liaison radio dépend de la modulation adaptative fonctionnant en régime 6, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32, les bandes 38 et 42 GHz. En outre, iPASOLINK 1000 peut fournir une interface à haute vitesse, comme 10GbE et CWDM pour la convergence fixe et mobile.

L'iPASOLINK 1000 se compose d'antennes, unités extérieures (ODU), Unité intérieure (UDI), en raison de sa haute performance et fiabilité dans un petit facteur de forme de NEC activités TQC rigides et une vaste expérience dans les domaines de la communication filaires et sans fil.

IDU

ODU

3.1. La configuration 4+0 de l'équipement

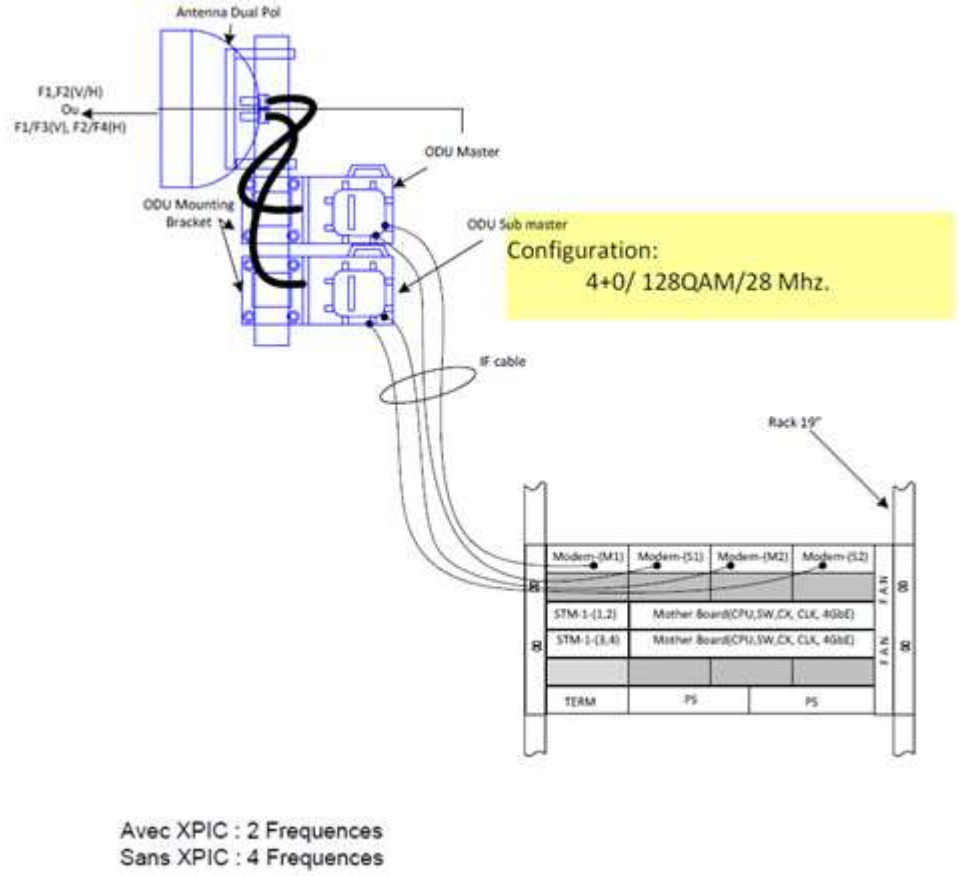


Figure 1. La configuration 4+0

4. Equations de maxwell

Les phénomènes de propagation d'électromagnétisme se déduisent des équations de maxwell. Les cinq vecteurs constitutifs de ces équations sont représentés par les lettres en gras **E, H, D, B** et **J** qui sont :

- **E** : champ électrique en volt par mètre (V/m)
- **H** : champ magnétique en Ampère par mètre (A/m)
- **D** : induction électrique en coulomb par mètre carré (C/m^2)
- **B** : induction magnétique en tesla(T)
- **J** : densité de courant en Ampère par mètre carré (A/m^2)

Et les équations de maxwell sont :

$$\overrightarrow{rot}\ \overrightarrow{H} = J + \frac{\overrightarrow{\partial D}}{\partial t} \quad \text{Equation de Maxwell-Ampère} \qquad (1)$$

$\overrightarrow{rot}\ \vec{E} = -\frac{\overrightarrow{\partial B}}{\partial t}$ Equation de Maxwell-Faraday (2)

$\overrightarrow{div}\ \vec{D} = \rho$ Equation de Maxwell-Gauss (3)

$\overrightarrow{div}\ \vec{B} = 0$ Equation de conservation du flux de $\vec{B}$ (4)

On ajoute l'équation de conservation de charge:

$$\overrightarrow{div}\ \vec{J} = -\frac{\overrightarrow{\partial \rho}}{\partial t} \quad (5)$$

Ou ρ est la densité volumique de charge (C/m^3).

5. Principales caractéristiques d'une antenne FH

L'émetteur, qui alimente l'antenne, fournit une puissance P (en watts), de fréquence fixe (et donc de longueur d'onde fixe) et en ondes entretenues pures (CW Continuous Waves), l'antenne est ronde et de diamètre D grand devant la longueur d'onde *l* (10 fois plus grand par exemple).

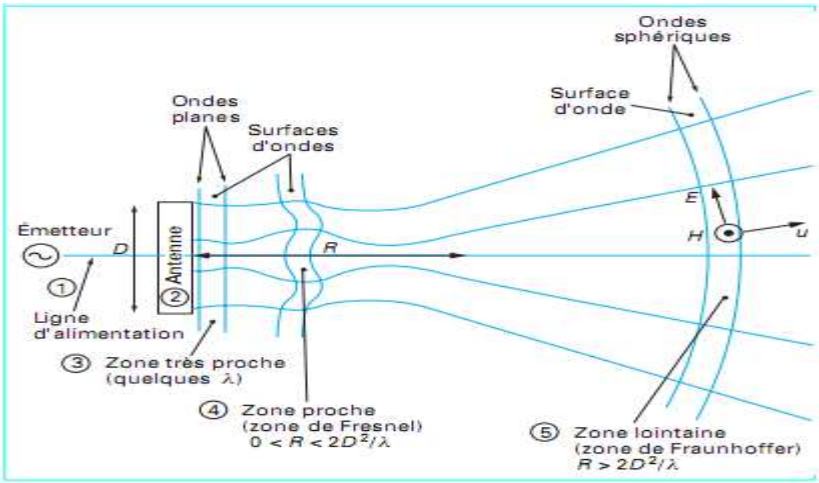


Figure 2. Antenne d'émission

On peut alors considérer 5 régions et préciser pour chacune le comportement de la puissance P.

- **Ligne d'alimentation**

Dans cette région, P reste sensiblement constante car la ligne (coaxial, guide d'onde...) a une atténuation très faible et il n'y a pas de rayonnement. La longueur d'onde *l* est généralement différente de la longueur d'onde en espace libre.

- **Antenne proprement dite**

Dans cette région, P est répartie sur l'ouverture suivant différentes structures (réflecteur, distributeur...) fournissant une onde plane sur l'ouverture de densité moyenne P/S (S étant la surface de l'antenne).

- **Zone très proche**

Son épaisseur est de quelques longueurs d'onde. Dans cette région, P se propage dans l'espace sous forme d'onde plane. Le champ émis est sensiblement celui d'une onde plane :

- phase constante
- amplitude constante
- polarisation constante

Le champs E(x, t) et B(x, t) de l'onde plane qui se propage dans le vide suivant Ox sont liés, d'après les équations de Maxwell, par les relations :

$$E(x, t) = B(x, t) \wedge u_x \quad (1)$$

$$B(x, t) = u_x \wedge E(x, t) \quad (2)$$

Les champs électriques et magnétiques sont perpendiculaires entre eux et à la direction de propagation. Ils sont en phase et constants dans tout plan perpendiculaire a la direction de propagation. L'expression du champ électromagnétique d'une onde plane :

Le champ E(x, t) d'une onde plane sinusoïdale, de fréquence :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (3)$$

avec : ω c'est la pulsation

E se propage suivant la direction Ox dans le vide est donné par l'expression suivante :

$$E(x, t) = E_0 \cos \omega(t - \frac{x}{c}) \quad (4)$$

Si on introduit le vecteur d'onde $\vec{k} = k\,\vec{u}_x$, dans le vide, avec :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c} \quad (5)$$

Il vient: $E(x, t) = E_0 \cos(\omega t - kx)$ (6)

Le champ magnétique B(x, t) s'obtient alors à travers la relation :

$$B(x, t) = \frac{k}{\omega} \wedge E(x, t) \quad (7)$$

La vitesse de propagation du champ électromagnétique est :

$$c= \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (8)$$

La vitesse de phase peut être écrite de différentes manières :

$$V_\Phi = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}},\ V_\Phi = \frac{\omega}{k},\ V_\Phi = \frac{C}{n} \quad (9)$$

On rappelle enfin la définition de l'indice du milieu

$$n = \sqrt{\frac{\varepsilon\,\mu}{\varepsilon_0\,\mu_0}} \quad (10)$$

Cas particulier du vide

$$\varepsilon = \varepsilon_0,\ \mu = \mu_0,\ n = 1 \quad (11)$$

$$v_\Phi = c \quad (12)$$

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c} \quad (13)$$

Onde plane dans un milieu quelconque sans perte

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \text{ et } B = \mu H \quad (14)$$

D'où $$\frac{E}{B} = \frac{1}{\mu}\frac{E}{H} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = v_\Phi,\ B = \frac{1}{v_\Phi} E \quad (15)$$

- **Zone proche**

Cette région, appelée aussi zone de Fresnel, a pour épaisseur :

$$\delta = 2\,D^2/\lambda \quad (16)$$

Avec : D le diamètre d'antenne.

λ La langueur d'onde.

P reste, approximativement, canalisée dans un cylindre qui a pour section l'ouverture de l'antenne.

- **Zone lointaine**

On appelle aussi cette région zone de Fraunhofer. P est rayonnée jusqu'à l'infini sous forme d'ondes sphériques centrées sur un point voisin de l'ouverture (le centre de phase). Dans une direction donnée, la puissance est constante dans un petit cône ayant cette direction

pour axe, la densité de puissance (en W/sr) est une fonction caractéristique de la direction. La densité de puissance (en W/ m^2) varie donc en : $1/R^2$.

R étant la distance à l'antenne. La longueur d'onde est celle de l'espace libre, dans la zone lointaine, la densité de puissance rayonnée (W/sr), dans une direction de l'espace u, ne dépend plus de la distance R.

Le champ électrique s'écrit :

$$E(u, R) = \frac{\exp(-jkR)}{R} F(u)P(u)\exp(j\omega t) \quad (17)$$

Avec : E (u, R), vecteur champ électrique dans la direction u et à la distance R,

$k = 2\pi/\lambda$ constante de propagation,

F(u) amplitude et phase du champ électrique,

p(u) vecteur polarisation dans la direction u,

ω Pulsation ($\omega = 2\pi f t$, f étant la fréquence).

Localement, l'onde est plane et le champ magnétique est :

$$H(u, R) = \sqrt{\frac{\square}{\mu}}\, u * E(u, R) \quad (18)$$

Avec : □ permittivité du vide,

μ perméabilité magnétique du vide.

5.1. Diagramme de rayonnement d'une antenne FH

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est la distribution spatiale d'une grandeur qui caractérise le champ électromagnétique rayonné par l'antenne. Cette distribution peut être exprimée sous forme d'une fonction F dépendante de la cordonnée spatiale.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser ces lobes dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important. Comme il permet aussi d'apprécier la directivité de l'antenne.

On présente en général le diagramme de rayonnement dans deux « plans de coupe » : horizontal et vertical. Il s'agit de diagrammes en coordonnées polaires représentant la puissance émise en fonction de la direction. La puissance émise est normée par rapport à la puissance maximale, l'échelle utilisée peut être logarithmique (en dB) ou linéaire (comprise entre 0 et 100%). La figure III.9 présente un exemple de diagramme de rayonnement.

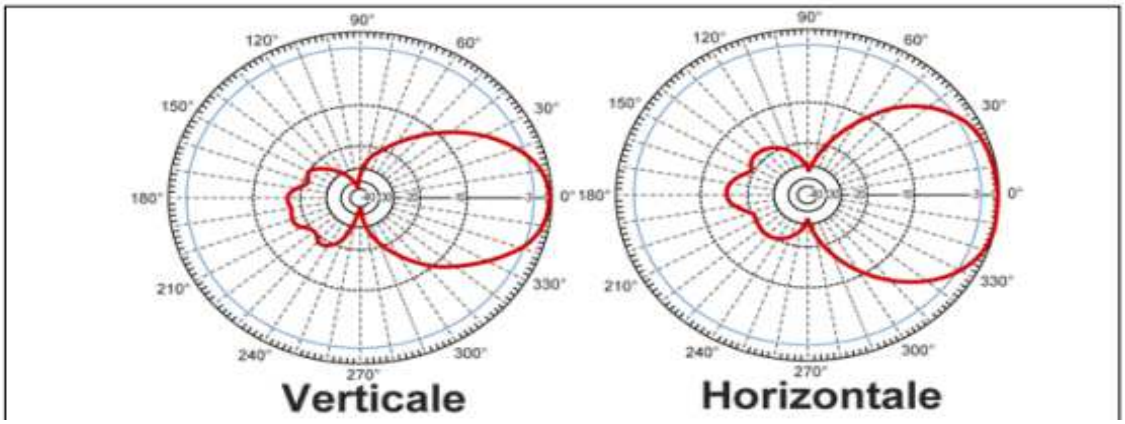


Figure 3. Diagramme de rayonnement d'une antenne dans les deux plans

5.2. Gain d'antenne

- **Antenne isotrope**

L'antenne isotrope est une antenne fictive qui rayonne la même densité de puissance quelle que soit la direction de l'espace :

$$|\mathrm{F(u)}|^2 = \frac{\mathrm{P}}{4\pi} \qquad (19)$$

Avec : $|F(u)|^2$ densité de puissance rayonnée dans la direction u (en W/sr),

P puissance entrant dans l'antenne supposée sans pertes.

Par définition, son gain est 1.

- **Le gain**

Le gain d'une antenne, dans une direction u donnée, est le rapport entre la densité de puissance rayonnée par l'antenne dans cette direction et la densité de puissance qui serait rayonnée si l'antenne était isotrope :

$$\mathrm{G(u)} = \frac{(|\mathrm{F(u)}|^2)}{\mathrm{P}/_{4\pi}} \qquad (20)$$

Avec : $|\mathrm{F(u)}|^2$ puissance rayonnée dans la direction u,

P puissance entrant dans l'antenne.

Si la direction n'est pas spécifiée, c'est la direction du maximum de rayonnement qui est considérée. Le gain s'exprime généralement en décibels :

$$G_{dB} = 10 \log (G). \quad (21)$$

- **Directivité**

La directivité d'une antenne caractérise la façon dont cette antenne concentre le rayonnement dans directions de l'espace.

Cette grandeur est le rapport de la puissance rayonnée dans une direction u à la puissance moyenne rayonnée par l'antenne (alors que le gain se réfère à la puissance entrant dans l'antenne) :

$$D(u) = 4\pi \frac{|F(u)|^2}{\int |F(u)|^2 \, dw} \quad (22)$$

Dans le cas particulier où le diagramme est de révolution, il ne dépend que d'un angleθ, l'intégrale se simplifie et on obtient :

$$D(\theta) = \frac{2f(\theta)^2}{\int_0^{\pi} f(\theta)^2 \sin(\theta) \, d\theta} \quad (23)$$

Et la directivité maximale est :

$$D(\theta) = \frac{2 \max (f(\theta)^2)}{\int_0^{\pi} f(\theta)^2 \sin(\theta) \, d\theta} \quad (24)$$

Avec θ angle entre une direction courante et l'axe de l'antenne

f (θ) diagramme en amplitude de l'antenne.

La directivité se déduit de la seule connaissance du diagramme, et pour passer au gain, il faut déduire toutes les pertes de l'antenne.

Si l'antenne est sans pertes, la directivité est égale au gain.

- **Réciprocité**

Par réciprocité, dans une liaison FH on utilise généralement le même type d'antenne, en émission et en réception.

Glossaire

GLOSSAIRE

[A]

ADM add-drop multiplexing

APS Automatic Protection Switching

ARFCN Absolute Radio Frequency Channel

AuC Authentication Center

ARFCN Absolute Radio Frequency Channel

Au Administrative Unit

AUC Authentication Center

AUG Administrative Unit Groupe

AWGN Add White Gaussian Noise

[B]

BBS Battery Back-up System

BER Bit Error Rate

BG Bloc Gateway

BPSK Binary Phase Shift Keying

BSC Base Station Controller

BSS Base Station System

BSSMAP Base Station System Mobile Application Part

BT Bande Temps

BTS Base Transceiver Station

[C]

C Conteneur

CC Call Control

CDMA Code Division Multiple Access

CCU Channel Code Unit

CFU Call Forwarding Unconditional

CLIP Calling Line Identification Présentation

CLIR Calling Line Identification Restriction

CN Core Network

CON Converter

CTR Control

CW Continuous Waves

GLOSSAIRE

DEM Demodulator

DIV Divergence

DL DownLink(liaison descendante)

DNU Do Not Use

DS-CDMA Direct-Sequence CDMA

DTAP Direct Transfert Application Part

DXC Digital Cross-Connect

EDGE Enhanced Data For Global Evolution

EIR Equipment Identity Register

FDD Frequency Division Duplex

FDD Frequency Division Duplex

FDMA Frequency Division Multiple Access

FFM Flat fade Marged

FH-CDMA Frequency Hopping CDMA

FHN Faisceau Hertzien Numurique

2G 2^{éme} Génération

2.5 G Génération2, 5

3G 3^{éme}Génération

GGSN Gateway GPRS Support Node

GPRS Global Packet Radio Service

G GMSK Gaussien Minimum Shift Keying

MSC Gateway Mobile Switching Center

GPS Global Position System

GSM Global System for Mobile Communication

GRAD Gradient

HDB3 High-Density Bipolar 3

HLR Home Location Register

HO High Order

HSDPA High Speed Downlink Packet

IDU Indoor Unit

IF FréquenceIntermédiaire

IMEI International Mobile Equipment Identity

GLOSSAIRE

IMSI International Mobile SubscriberIdentity

IMT-2000 International Mobile Telecommunication 2000

IP Internet Protocol

ISDN Integrated Service Digital Network

ISI Inter Symbol Interference

IT Interval de Temps

ITU International Telecommunication Union

LOS Line Of Sight

LO LowOrder pointer

MAP Mobile Application Part

MIE Multiplexeurs insertion/extraction

MIC Modulation par Impulsion Codée

MM Mobility Management

MS Station Mobil

MSC Mobile Switching Center

MSOH Multiplex Section Overhead

MSP Multiplex Section Protection

MTPC Manuel Transmitter Power Control

MTS Multiplexeur Terminal Simplifié

NCC Network Sub-System

NE Network Element

NMC Centre de Gestion de réseau

NMS Management System

NLOS Non Line Of Sight

NRZ Non Return to Zero

NSS Network Sub-System

ODU Outdoor Unit

OMC Operations and Maintenance Centre

OSI Open System Interconnection

OSS Operation Sub-System

OVSF Orthogonal Variable Spreading Factor

PCM Pulse Code Modulation

PCU Packet Control Unit

PDH Plesiochronous Digital Hierarchy

PDP Packet Data Protocol

PIN PersonalIdentityNumber

PIRE Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente

PLMN Public Land Mobile Network1.

PCM PASOLINK Cartes Management (PMC)

PNN Pseudo-Noise sequence

PNMSj Pasolink Network Management System java

POH Path OverHead

PPS Path Protection System

PRC Primary Reference Clok

PTR pointeur

QAM Quadrature Amplitude Modulation

QPSK Quadrature Phase Shift Keying

RAKE Special Receiver type used in CDMA

RAN Radio Access Network

RF Radio Frequency

RL Radio Link

RLC Radio Link Control

RLCP Radio Link Control Protocol

RM Resource Manager

RNC Radio Network Controller

RNIS Réseau numérique à Intégration de Services

RNSS Radio Network Sub-System

ROT Rotationnel

RR Radio Ressource

RTC Réseau Téléphonique Commuté

RSL Niveau de signal reçu

RSO Regenerator Section Overhead

SDH Synchronous Digital Hierarchy

S-DXC Synchronous Digital Cross Connect

SF Spreading Factor

SGSN Serving GPRS Support Node

SIM Subscriber Identity Module

SIR Signal to Interference Ratio
SMS Short Message Service
SNCP Sub-Network Connection Protection
SOH Section Over Head
SS Supplementary Services
SS7 Signal Sémaphore 7
SSU Synchronisation Source Unit
STM Synchronous Transport Module
TDD Time Division Duplex
TDMA Time Division Multiple Access
TD-CDMA Time Division - Code Division Multiple Access
TH-CDMA Time Hopping CDMA
TMN Télécom Management Network
TRX Transmit
TS Time Slot
TU Tributary Unit
TUG Tributary Unit Group
TRx Transceiver - Émetteur-récepteur
UE User Equipment
UI Unit Interval
UIT Union Internationale des Télécommunications
UL Up Link
UMT Universal Mobile Telecommunications System
UTRA UMTS Terrestrial Radio Access Network
VC ConteneurVirtuel
VCO Voltage-Controlled Oscillator
VLR Visitor Location Register
WCDMA Wideband CDMA
XPIC Cross polarisation cancel interférence

GLOSSAIRE

BACKBONE:

Colonne vertébrale en Anglais, expression utilisée en transmission pour désigner un système de transmission composé d'émetteurs et de récepteurs disposés en configuration chaînée qui permet de transmettre le signal de bout en bout sur de grandes distances.

dB :rapport de puissance en décibel,

Pour la mesure des niveaux sonores, des puissances des matériels de radiodiffusion, et plus généralement de tous les systèmes qui présentent un gain (en courant, tension, puissance...)

dBi : gain par rapport à une antenne isotrope

Le dBi exprime en dB le gain d'une antenne par rapport à une antenne isotrope qui émet la même quantité d'énergie dans toutes les directions. Ce type d'antenne n'existe physiquement pas, ce n'est qu'une conception théorique, destinée à donner une référence en termes de gain.

dBm*:* unité de puissance par rapport à un milliwatt

Dans le cas des émetteurs de radiofréquence, on utilise le décibel pour donner le gain des différents éléments, mais on prend pour référence le milliwatt sur une impédance de 50 ?, c'est-à-dire un millième de watt, l'unité n'est plus écrite dB, mais dBm, lu : « décibel par rapport à un milliwatt. ». De cette façon, 1 milliwatt devient la référence et vaut 0 dBm. S'il y a une amplification et si la puissance de sortie est plus importante que la puissance d'entrée, le gain est supérieur à 0 dBm. Si l'on reçoit à une distance importante, on recevra beaucoup moins qu'un milliwatt, et dans ce cas, ce sera inférieur à 0 dBm. Par exemple, 10 W correspond à 40 dBm, et 10 jtW correspond à -20 dBm.

HANDOVER :

Passage d'une cellule à l'autre afin d'assurer la meilleure qualité de la communication.

.

LATITUDE :

Distance angulaire à l'équateur comptée vers le nord ou vers le sud, dans un système de coordonnées sphériques.

LONGITUDE :

Distance angulaire, comptée sur l'équateur ou sur un cercle parallèle, vers l'est ou vers l'ouest, à partir d'une méridienne origine, dans un système de coordonnées sphérique.

PATHLOSS :

Logiciel de simulation des transmissions par faisceau hertzien. PCM: Pulse Code Modulation, appellation Anglaise de la MIC.

PAR *Puissance Apparente Rayonnée*

On utilise la PAR pour caractériser la puissance d'émission des sites GSM, de radiodiffusion ou télédiffusion. On utilise aussi la PIRE (Voir « PIRE ») que l'on obtient avec l'équation :

PIRE = PAR + 2,15 db

PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente, c'est la Puissance qu'il faudrait appliquer à une antenne isotrope pour obtenir le même champ dans cette direction.

C'est une maison généralement peinte en blanc et non loin de laquelle se trouvent des antennes GSM. Elle sert d'abri pour les BTS et autres équipements.

Utilisation de logiciel pour déterminer le comportement du signal dans un espace géographique donné.

TRX: Transceiver - Émetteur-récepteur

Le TRX est l'élément essentiel de la BTS puisque c'est lui qui gère la communication avec les mobiles. Chaque TRX gère 8 Time Slots et le nombre de TRX définit la capacité du relais GSM en nombre de communications simultanées. Chaque TRX peut supporter environ 7 communications

Bibliographie

Bibliographie

[1] Cédric DEMOULIN, principes de fonctionnement du réseau GSM, université de Montréal, 2004.

[2] Stéphane, « réseau GSM, GPRS, UMTS architecture évolutive pour une stratégie services », rapport de stage, 2001-2002.

[3] Julien Delmas, « les relais GSM », cours, 2006

[4] Zakia, « généralité sur le réseau GSM », mémoire de fin d'étude,2009

[5] Ouelmokhtar Farida et Ougache Lila, « Transmission par faisceaux hertziens multiplexage SDH de la wilaya de Tizi-Ouzou (Etude d'une liaison à petite capacité) thèse d'ingénieur, promotion 2011, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[6] Université Claude Bernard et Benoit BARRAQUÉ, Avantages de l'UMTS et l'état actuel de son déploiement dans le monde, 2004-2005.

[7] Ericsson, WCDMA Air Interface

[8] AIT Seddik Aissam **:** Etude de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) et son application dans le réseau GSM 2007.

[9] Frédéric luanay : Module TR3 Transport des données : PDH, SDH, WDM R&T 2eme année réseaux télécoms UE3 TR3 ANNé2011 2012.

[10] PDF La SDH appliquée à la BLHD

guill.net©1999-201

[11] ZTE University Transmission Course Group: SDH Frame Structure & Multiplexing.

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

[13] Jacques BAUDRON iXTEL : PDF SDH transmission Network promotion 2004.

jacques.baudron@ixtel.fr.

[14] O. Brun , LAAS-CNRS, Dimensionnement et Routage Optimal dans les Anneaux Haut-Débits SDH, promotion 1999.

[15] NEC, ipasolink 1000, 6- 42 GHz,10- 100Mbps, digital radio system CORPORATION 2011.

[16] PDF, BILAN DE LIAISON HERTZIENNE,Application au SFH 534.

[17] HUAWIE RTN 600 Introduction ,promotin 2006 .

[18] Amari Nassim, « étude et réalisation d'une liaison par FHN dans la région de bouira », mémoire d'ingénieur, promotion 2000. Institut d'électronique département de télécommunication, USTHB.

[19] Djili khaled, « étude et réalisation d'une interconnexion de trois réseaux locaux par faisceaux hertziens numériques » thèse d'ingénieur, promotion 2001, Institut d'électronique de télécommunication, USTHB.

[20] Amara Malik, « Etude de l'atténuation du signal dans un canal hertzien d'une liaison de liaison de télécommunication point à

point d'un réseau de téléphonie mobile cas ATM Mobilis » thèse de mater, promotion2012, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

[21] Dimensionnement et planification des liens de transmission dans le réseau mobile 2G,3G 2010-2011.

[22] Joseph ROGER : PDF Antenne Base et principe référence E 3280 .

[23] **cours** LIAISONS HERTZIENNES 3 – Antennes

[24] Cours B11-tr Cours B11 –transmission des télécommunication - prtie2 – Chapitre6 .

[25] [FICHIER WORD]

[26] ERECSSON, Basic criteria for microwave communication,2008.

[27] Système de Faisceaux Hertziens Numériques S.D.H PASOLINK (1+1) Bande de baseSTM1, Bande de fréquences Radio 6-38GHz, Modulation 3QAM/128QAM.

[28] Imane GRAD ,DJEGHAB :Dimentionnement et planification des liens de transmissions dans le réseau mobile 2G,2,5G , promotion 2010-2011.

Sites web :

- **www.gpp.org**
- **www. Art.télécom.fr**
- **www.girodon.com**
- **http://www.reseaucerta.org Roger SANCHEZ © CERTA - janvier 2006 – v1.0 Page 5/24**
- **cour B11 : transmission des télécommunications, partie 2, chapitre6, CNAM-paris, 2005.**

http://www.Tecique-techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electroniques-photonique-th13/electromahnétique-propagation-42277210/propagation-des-ondes-radioelectriques-a-travers-l-atmosphere-e1163/

http://www.francetélécom.fr

http:// www. efort.com