

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : **Télécommunication et réseaux**

Thème

Etude d'une liaison FHN dans une zone à terrain complexe

Mémoire soutenu publiquement le 17/07/2016

Encadré par :

Mr. Mohamed TAHANOUT

Dirigé par :

Mr. Hamid YESLI

Présenté par :

M^{elle} Dalila BOUMEDINE

Lieu de stage : **Algérie Telecom**

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

A la mémoire de mon père,

A ma très chère mère,

A mes très chers frères : Mourad, Hacene, Djamel et Malek,

A mes chères sœurs : Fazia, Miassa et Nassima,

A toute ma famille,

A Abderrzak, Massissilia et Doudouche

A tous ceux qui me sont chers.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué dans le cadre de la préparation du diplôme de Master Académique en Réseaux et Télécommunications au niveau de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Je tiens à exprimer mes profondes gratitudee et mon immense respect à mes co-encadreur Mr. YESLIH et Mme OUALLOUCHE.K pour la qualité de leur encadrement et leur disponibilité.

Mes vifs remerciements s'adressent également à mon promoteur Mr. TAHANOUI Mohand pour ses conseils précieux et son soutien affectif durant mon étude et réalisation de ce projet.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer mon travail.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

1-1- Introduction.....3

1-2- Les réseaux de télécommunication.....3

1-2-1- Le réseau de télécommunication fixe.....3

1-2-1-1- Le réseau local.....4

1-2-1-2- Le réseau dorsal.....5

1-2-1-2-1- La commutation.....5

1-2-1-2-2- La transmission.....5

1-2-1-3- Hiérarchie du RTC.....6

1-2-2- Le réseau GSM.....6

1-2-2-1- Définition.....6

1-2-2-2- Architecture GSM.....7

1-2-2-2-1- Station Mobile (MS, Mobile Station).....7

1-2-2-2-2- Sous-système Radio (BSS, Base Station Subsystem).....8

1-2-2-2-3- Sous-système réseau NSS (Network Sub-System).....8

1-2-2-2-4- Sous-système opération OSS (Operation and Support System).....10

1-3- Les supports de transmission.....11

1-3-1- Liaisons filaires.....11

1-3-1-1- Câble coaxial.....11

1-3-1-1-1- Les connecteurs pour câble coaxial.....12

1-3-1-1-2- Avantages et inconvénients.....12

1-3-1-2- Paire torsadée.....12

1-3-1-2-1- La paire torsadée non blindée (UTP).....13

1-3-1-2-2- La paire torsadée blindée (STP).....13

1-3-1-2-3- Les connecteurs pour paire torsadée.....14

1-3-1-2-4- Avantages et inconvénients.....14

1-3-1-3- La fibre optique.....	14
1-3-1-3-1- Types de fibre optique.....	15
1-3-1-3-2- Caractéristiques de la fibre optique.....	16
1-3-1-3-3- Avantages de la fibre optique.....	17
1-3-2- Support aériens.....	17
1-3-2-1- Faisceau hertzien.....	17
1-3-2-2- Les liaisons satellites.....	19
1-4- Comparaison des différents supports de transmission.....	20
1-5- Caractéristiques des supports de transmission.....	21
1-5-1- Bande passante.....	21
1-5-2- Bruit.....	21
1-5-3- Capacité.....	22
1-5-4- Temps de propagation et temps de transmission.....	22
1-5-5- Impédance caractéristique.....	23
1-6- Les différentes technologies d'accès à internet.....	23
1-6-1- Connexions filaires.....	23
1-6-1-1- L'ADSL.....	24
1-6-2- Connexions par ondes radio.....	25
1-6-2-1- La 3G.....	25
1-6-2-2- Le WIMAX.....	25
1-6-2-3- Le Wi-Fi.....	26
1-7-Conclusion.....	26

Chapitre II : Faisceaux Hertiens Numériques

2-1-Introduction.....	27
2-2- Liaisons radio électriques.....	27
2-2-1- Propagation des ondes électromagnétiques.....	27
2-2-2- Caractéristiques d'une onde électromagnétique.....	28
2-2-3- Ellipsoïde de FRESNEL.....	29
2-2-4- Propagation en espace libre.....	30
2-2-5- Propagation en visibilité.....	30
2-2-6- Propagation en non-visibilité.....	30

2-3- Les antennes.....	30
2-3-1- Définition.....	30
2-3-2- Polarisation d'une antenne.....	31
2-3-3- Diagramme de rayonnement.....	31
2-3-4- Directivité.....	31
2-3-5- Gain d'antenne.....	32
2-4- Les faisceaux hertziens numériques.....	33
2-4-1- Caractéristiques des FHN.....	33
2-4-2- Structure générale d'une liaison FHN.....	33
2-4-2-1 Principe de fonctionnement.....	34
2-4-3- Eléments d'une liaison hertzienne.....	35
2-4-4- Condition de propagation.....	35
2-4-4-1- Faisceau hertzien à visibilité directe.....	35
2-4-4-2- Faisceau hertzien transhorizon.....	36
2-4-4-3- Ornalité d'une liaison hertzienne.....	36
2-4-4-4- Solution possible en cas de non visibilité.....	37
2-4-5- Effet de sol.....	38
2-4-5-1- Réflexion.....	38
2-4-5-2- Diffraction.....	39
2-4-6- Effet de l'atmosphère.....	39
2-4-6-1- réfraction.....	39
2-4-6-2- Absorption par gazes atmosphériques.....	39
2-4-7- Perturbations en transmission FHN.....	40
2-4-7-1- Perturbations naturelles.....	40
2-4-7-2- Perturbations artificielles.....	40
2-4-8- Principaux types de liaisons.....	40
2-4-9- Bandes de fréquences disponibles.....	41
2-4-10- Plan de fréquence.....	41
2-5- Modulation pour faisceau hertzien numérique.....	41
2-5-1- Modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation).....	42
2-6- Signaux à transmettre et multiplexage.....	44
2-6-1- Signaux numériques.....	44
2-6-2- Multiplexage des signaux numériques.....	45
2-7- Equipements d'un faisceau hertzien.....	46

2-7-1- IDU (Indoor Unit).....	47
2-7-2- ODU (Outdoor Unit).....	47
2-7-3- Parabole ou antenne FH.....	48
2-7-4- Câble coaxiale.....	48
2-7-5- Pylône.....	48
2-8- Planification d'une liaison FH.....	49
2-9- Description du réseau de télécommunication FHN d'Algérie télécom.....	50
2-10- Conclusion.....	52

Chapitre III : Etude d'une liaison FHN point à point

3-1- Introduction.....	53
3-2- Réseau de transmission.....	53
3-3- Configuration actuelle du réseau de transmission par FHN dans la wilaya de Tizi- Ouzou.....	53
3-4- Etude des liaisons Akbil_A.E.H et Tirmatine_Balloua.....	55
3-4-1- Caractéristiques radio électriques de la liaison Akbil_A.E.H.....	55
3-4-2- Caractéristiques radio électriques de la liaison Tirmatine_Balloua.....	56
3-4-3- Analyse de liaison.....	57
3-5- Etude cartographique.....	58
3-5-1- dégagement du trajet et examen de profil.....	58
3-5-2- Traçage du profil de dénivellation.....	59
3-5-3- traçage de l'ellipsoïde de Fresnel.....	61
3-5-4- Disposition des antennes.....	62
3-6- Calcul du bilan de liaison.....	63
3-6-1 Puissance d'émission.....	63
3-6-2- Gain d'antenne.....	63
3-6-3- Calcul de niveau de réception.....	63
3-6-4- Affaiblissement d'espace libre.....	65
3-6-5- Calcul de niveau de réception en tenant compte de l'affaiblissement dû à la pluie.....	65
3-6-6- Adaptation du niveau de réception.....	69
3-7- Calcul du niveau de réception pour les deux liaisons Tirmatine_Balloua et Akbil_AEH.....	69

3-7-1 Liaison Tirmitine_Balloua.....	69
3-7-2- Liaison Akbil_A.E.H.....	70
3-8- Conclusion.....	71

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

4-1- Introduction.....	72
4-2- Mesure des puissances émises et reçues des deux liaisons.....	72
4-3- Description de l'outil de gestion de l'IDU NEC IPASOLINK.....	72
4-4- Configuration des deux sites avec l'outil de gestion de l'IDU.....	72
4-4-1- Effectuer le test Ping.....	72
4-4-2- Accès à l'interface de gestion des IDU de chaque site.....	74
4-4-3- Vérifier les caractéristiques de chaque site	75
4-5- Acquisition de données.....	77
4-6- Analyse de données.....	79
4-6-1- Présentation des données brutes	79
4-6-1-1- liaison Akbil_A.E.H.....	79
4-6-1-2- Liaison Tirmitine_Balloua.....	81
4-6-2- Représentation de l'atténuation totale $A(t)$	83
4-6-3- Représentation de l'atténuation en temps sec au niveau des quatre sites.....	86
4-6-4- Représentation de l'atténuation en temps de pluie au niveau des quatre sites.....	88
4-6-5- Calcul de l'atténuation relative A_r (dB) et du facteur d'atténuation α (dB).....	91
4-7- Conclusion.....	91
Conclusion générale.....	92

Glossaire

Bibliographie.

Liste des figures

Figure 1-1: structure du RTC

Figure 1-2 : structure de réseau local

Figure 1-3 : Hiérarchie du RTC

Figure 1-4 : Architecture du réseau GSM

Figure 1-5 : câble coaxial

Figure 1-6 : câble UTP

Figure 1-7: câble STP

Figure 1-8: éléments constituant la fibre optique.

Figure 1-9 : fibre optique

Figure 1-10 : fibre monomode

Figure 1-11 : fibre multi-mode

Figure 1-12 : liaison en plusieurs bonds

Figure 1-13 : transmission par satellite

Figure 1-14 : notion de bande passante

Figure 1-15 : signal émis avec exemple de signal reçu

Figure 1-16 : schéma équivalent d'un élément d'une ligne de transmission

Figure 1-17 : Principe de fonctionnement de l'ADSL

Figure 1-18 : équipement du wimax

Figure 2-1 : liaison radio électrique

Figure 2-2 : propagation d'une onde électromagnétique.

Figure 2-3 : Ellipsoïdes de Fresnel

Figure 2-4 : Différents diagrammes d'émission d'antennes

Figure 2-5 : synoptique d'une liaison hertzienne

Figure 2-6 : faisceau hertzien a visibilité directe

Figure 2-7 : dégagement de la ligne de visibilité (visibilité directe)

Figure 2-8 : dégagement dans l'ellipsoïde de Fresnel

Figure 2-9 : cas d'un relais actif

Figure 2-10 : cas d'un relais passif

Figure 2-11 : réflexion de sol

Figure 2-12 : phénomène de diffraction

Figure 2-13 : schéma électrique de la modulation QAM

Figure 2-14 : présentation de la modulation 4QAM dans le plan de Fresnel

Figure 2-15: présentation de la modulation 16QAM dans le plan de Fresnel

Figure 2-16 : multiplexage des signaux numériques

Figure 2-17: équipements d'un FH

Figure 2-18 : exemple d'un IDU (NEC IPASOLINK 1000)

Figure 2-19 : Exemple d'ODU NEC ipasolinK

Figure 2-20 : câble coaxial

Figure 2-21 : pylône.

Figure 2-22 : Réseau d'Algérie Telecom

Figure 3-1 : Map géographique présentant la localisation de la wilaya de Tizi-Ouzou

Figure 2-2 : configuration du réseau de transmission dans la wilaya de Tizi-Ouzou

Figure 3-3: Visualisation des deux liaisons à l'aide de Google Earth

Figure 3-4 : profil de dénivellation de la liaison Tiritine_Balloua

Figure 3-5: profil de dénivellation de la liaison Akbil_A.E.H

Figure 3-6 : traçage de l'ellipsoïde de Fresnel pour la liaison Tiritine_Balloua

Figure 3-7: Disposition des antennes Tiritine_Balloua

Figure 3-8: Disposition des antennes Akbil_A.E.H

Figure 3-9 : calcul de RSL sans tenir compte de L_{ra}

Figure 3-10: calcul de RSL en tenant compte de L_{ra}

Figure 3-11 : précipitation de 4 zones différentes

Figure 3-12: Monogramme permettant le calcul de l'atténuation due à la pluie

Figure 4-1: Bande de base IPASOLINK

Figure 4-2: test ping pour les deux liaisons sous MS-DOS

Figure 4-3: Page d'accueil de l'interface de gestion de l'IDU

Figure 4-4: éléments de l'IDU

Figure 4-5: Configuration des l'ODU et IDU de liaison Akbil_A.E.H (site A.E.H)

Figure 4-6: Puissance d'émission et réception de la liaison Akbil_A.E.H (site A.E.H)

Figure 4-7: Détection de la puissance reçue de la journée (site A.E.H)

Figure 4-8: journées d'enregistrement des données

Figure 4-9: Enregistrement des puissances reçues chaque 15 minutes pendant 24heures

Figure 4-10 : Représentation de Rx_{max} , Rx_{min} et Rx_{moy} pour le site A.E.H

Figure 4-11: Représentation de Rx_{max} , Rx_{min} et Rx_{moy} pour le site Akbil

Figure 4-12: Représentation de Rx_{max} , Rx_{min} et Rx_{moy} pour le site Balloua

Figure 4-13: Représentation de Rx_{max} , Rx_{min} et Rx_{moy} pour le site Tirimtine

Figure 4-14: Représentation de l'atténuation A (dB) au niveau de A.E.H

Figure 4-15: Représentation de l'atténuation A (dB) au niveau de Akbil

Figure 4-16: Représentation de l'atténuation A (dB) au niveau de Balloua

Figure 4-17: Représentation de l'atténuation A (dB) au niveau de Tirimtine

Figure 4-18: Représentation de l'atténuation A_s (dB) au niveau de A.E.H

Figure 4-19: Représentation de l'atténuation A_s (dB) au niveau de Akbil

Figure 4-20: Représentation de l'atténuation A_s (dB) au niveau de Balloua

Figure 4-21: Représentation de l'atténuation A_s (dB) au niveau de Tirimtine

Figure 4-22 : Représentation de l'atténuation A_p (dB) au niveau de A.E.H

Figure 4-23 : Représentation de l'atténuation A_p (dB) au niveau de Akbil

Figure 4-24 : Représentation de l'atténuation A_p (dB) au niveau de Balloua

Figure 4-25 : Représentation de l'atténuation A_p (dB) au niveau de Tirimtine

Liste des tableaux

Tableau 1-1: comparaison des supports de transmission

Tableau 2-1 : plan de fréquences utilisé par Algérie télécom

Tableau 3-1 : caractéristiques radio électriques de la liaison Akbil_A.E.H

Tableau 3-2 : caractéristiques radio électriques de la liaison Tirmatine_Balloua

Tableau 3-3 : distance du bond Tirmatine_Balloua

Tableau 3-4 : distance du bond Akbil_A.E.H

Tableau 3-5 : tableau des puissances

Tableau 3-6 : gain des antennes d'émission et de réception

Tableau 4-1 : valeurs de A_r (dB) et α (dB)

Introduction générale

La télécommunication désigne l'ensemble des moyens techniques permettant l'acheminement fidèle et fiable d'informations entre deux points quelconques. La télécommunication utilise deux techniques inséparables: la transmission qui assure le transport de l'information à distance et la commutation qui assure la mise en relation de deux usagers quelconques conformément à leurs demandes.

La télécommunication est caractérisée par l'émission, transmission à distance et réception d'informations de toute nature et ceci dans n'importe quel espace. Les moyens techniques sont de nature électromagnétique, l'information est codée puis transmise en modulant des ondes qui se propagent sur des câbles en cuivre (paires de fils ou câble coaxial), sur des fibres optiques ou dans l'espace libre (transmission hertzienne ou satellitaire).

L'évolution récente et importante de la technologie fait qu'on utilise des supports de transmission de haut débit. La fibre optique reste le support le plus performant pour transporter un débit très important. Toutefois, dans les zones isolées ou difficiles d'accès, l'installation de ce type de support représente des contraintes techniques et financières supplémentaires. Pour cela, on utilise le faisceau hertzien (FH) qui est maintenant remplacé par le faisceau hertzien numérique (FHN). Ce type de liaison offre des débits de 2Mb/s à 2Gb/s et exploite le support d'ondes radioélectriques par des fréquences porteuses allant de 1 à 40 GHz focalisées et centrées grâce à des antennes très directives. La liaison FH étant considérée comme une liaison point à point est limitée par la ligne d'horizon à 50 km. La liaison FH utilise l'air libre comme canal de transmission, les perturbations météorologiques ainsi que l'interférence peuvent provoquer la perturbation voir même le dysfonctionnement de ces liaisons.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à l'étude du canal de transmissions de liaison FHN, pour cela, une partie de notre travail a été effectuée au niveau de l'entreprise ALGERIE TELECOM pour l'acquisition de données, puissances émises et puissances reçues, et calculer l'atténuation subie sur le chemin de propagation.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous allons donner des notions générales sur le réseau télécommunication fixe et le GSM, puis, des

bases fondamentales liées aux supports de transmission et leurs caractéristiques ainsi que les différentes technologies d'accès à internet. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques d'une liaison FHN et à la propagation des ondes électromagnétiques. Le troisième chapitre repose sur l'étude de deux liaisons FHN existantes dans la wilaya de Tizi-Ouzou et sur le calcul du bilan de liaison pour ces deux liaisons. Dans le dernier chapitre, nous présentons les données acquises, puissances émises et puissances reçues, pendant quelques jours en temps sec et en temps de pluie. Enfin, nous montrons le résultat d'analyse des données.

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

1-1- Introduction

Le rôle de la télécommunication est de transmettre des informations entre différents utilisateurs et leur permettre de dialoguer. Ces informations peuvent provenir de sources ou de capteurs de nature physique variables, sous forme analogique ou numérique (voix, camera, vidéo, fichiers électroniques), et être transmises par le biais de divers supports de transmission à capacités limitées (air, lignes métalliques, fibre optique) vers différents blocs de réception (haut-parleur, écran d'ordinateur ou de portable). Il faut alors adapter le signal initial au canal envisagé, afin de transmettre l'information le plus fidèlement possible tout en optimisant l'utilisation du canal. [1]

1-2- Les réseaux de télécommunication

Les réseaux de télécommunication mis en place par les opérateurs dans le monde sont de deux types : fixe et mobile. Différentes technologies coexistent offrant aux abonnés différents types de services selon leurs caractéristiques techniques, allant de la simple voix jusqu'à l'accès à internet en haut débit.

1-2-1- Le réseau de télécommunication fixe

Les réseaux de télécommunication fixes sont basés sur des évolutions du réseau téléphonique commuté (RTC), réseau d'abonné dans lequel un poste d'abonné est relié à un central téléphonique par une paire de fils en cuivre, généralement, continu entre l'abonné et l'équipement desservant son quartier également nommé « boucle locale ». Le RTC permet principalement de services de type voix, il est constitué de deux principaux réseaux : réseau local (périphérique) et réseau dorsal (backbone).

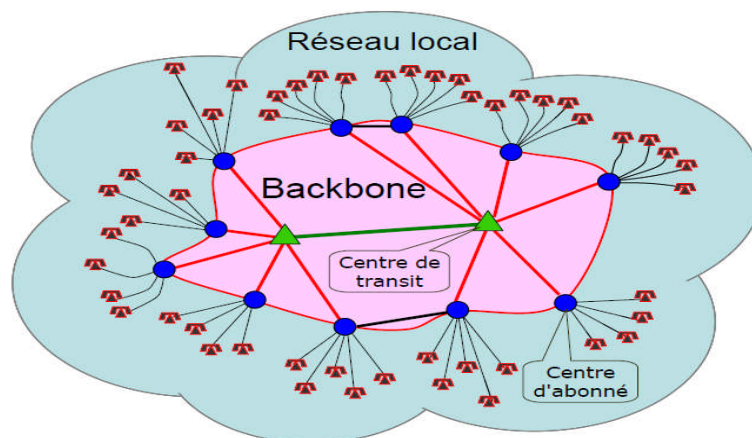


Figure 1-1: structure du RTC

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

1-2-1-1- Le réseau local

Le réseau local ou réseau périphérique est constitué essentiellement des lignes d'abonnés qui sont constituées de paires de cuivre de 0.4 à 0.6 mm de diamètre.

La ligne téléphonique, aussi appelée boucle locale, relie le poste téléphonique de l'abonné au commutateur d'entrée dans le réseau backbone de l'opérateur, ce commutateur est appelé commutateur de rattachement ou commutateur d'abonné. Il se situe dans un bâtiment appelé central ou centre.

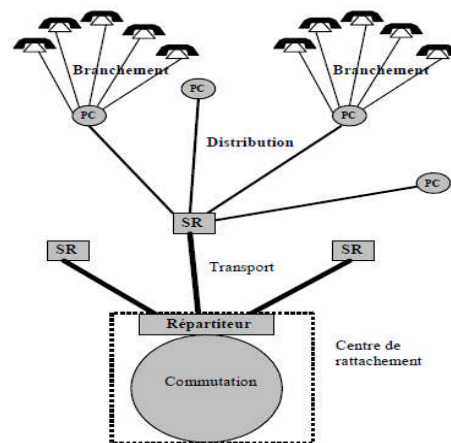


Figure 1-2 : structure de réseau local

On distingue :

- **Les postes téléphoniques.**
- **Les câbles de branchement** : Ce sont des lignes bifilaires individuelles
- **Les points de concentration PC** : Ce sont des petites boîtes placées sur des poteaux ou dans des endroits réservés au sein des immeubles desservis. Les paires téléphoniques arrivent au PC sur des réglettes, des connexions amovibles les relient à d'autres réglettes sur lesquelles sont branchés les câbles de distribution. Le PC n'est rien d'autre qu'un mini répartiteur de petite capacité d'une à quelques dizaines de paires.
- **Les câbles de distribution**: relient les points de concentration aux sous Répartiteurs.

Chaque câble contient un certain nombre de paires et leurs calibres sont généralement normalisés. On trouve des câbles de 14, 28, 56, 112, 244, 448 paires de calibres 0.4 ou 0.6 mm. Ces câbles peuvent être soit aériens, soit posés en plein terre (moins onéreux mais vulnérables) soit en canalisations souterraines équipées de regards de visite pour l'entretien.

- **Les sous répartiteurs SR** : sont des "casiers" placés sur les trottoirs. Ils permettent de la même façon qu'un PC de regrouper les câbles de distribution vers les câbles de transport qui sont plus volumineux. Un SR peut connecter jusqu'à 1500 paires.

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

- **Les câbles de transport** sont similaires aux câbles de distribution avec des capacités plus élevées, 112 à 2688 paires. Ces câbles sont posés dans des conduites souterraines.
- **Le répartiteur général** constitue le point d'accès des lignes à l'autocommutateur. Les lignes sont amenées sur des barrettes verticales dites têtes de câbles verticaux ou tout simplement "les verticales". Les points d'arrivées des lignes sur l'autocommutateur sont raccordés sur des réglettes horizontales. La liaison entre Verticales et Horizontales se fait au moyen de jarretières.

1-2-1-2- Le réseau dorsal

Le réseau dorsal est constitué des commutateurs et des systèmes de transmission. Le réseau est une structure étoilée/maillée, mais avec l'arrivée de la hiérarchie SDH, le réseau a tendance à migrer vers une structure en anneau. Il est constitué de :

1-2-1-2-1- La commutation

Les commutateurs (centres) sont fonctionnellement de deux types, les centres d'abonnés et les centres de transit.

- Les centres d'abonnés sont les centres qui permettent le rattachement des abonnés. Ils sont différenciés en deux types:
 - Les centres à autonomie d'acheminement CAA qui sont capables d'analyser les numéros qu'ils reçoivent et les traduire en un itinéraire parmi ceux possibles pour acheminer la communication vers l'abonné demandé.
 - Les centres locaux CL qui ne sont pas capables d'analyser la numérotation ou ils sont seulement capables d'analyser les numéros des abonnés qu'ils desservent, les autres sont tous acheminés vers une seule direction. Ils n'ont aucune intelligence et leur rôle se limite à la concentration, on les appelle aussi centres auxiliaires.
- Les centres de transit permettent de connecter les commutateurs qui n'ont pas de liaison entre eux. Ceci permet d'avoir un réseau étoilé plus facile à gérer et moins onéreux. Ils sont aussi différenciés en deux types, les centres de transit secondaires et les centres de transit principaux. Les centres de transit permettant de connecter les réseaux de deux pays sont appelés centres de transit internationaux

1-2-1-2-2- La transmission

La transmission est un ensemble de techniques mises en œuvre pour relier entre les commutateurs. L'ensemble des commutateurs et des supports de transmission entre commutateur est appelé réseau de transmission ou réseau de transport. [2]

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

1-2-1-3- Hiérarchie du RTC

Le réseau téléphonique est organisé en trois zones :

- ✓ Zone à Autonomie d'Acheminement (ZAA) : elle est desservie par un centre d'autonomie d'acheminement et englobe plusieurs CAA qui accueillent les abonnés et qui peuvent établir différents types de communications.
- ✓ Zone de Transit Secondaire (ZTS) : c'est la zone desservie par un centre de transit secondaire, elle comporte les commutateurs CTS. Les abonnés ne sont pas reliés aux CTS qui assurent les brassages des circuits lorsqu'un CAA ne peut atteindre le CAA destinataire directement.
- ✓ Zone de Transit Principale (ZTP) : c'est la zone desservie par un centre de transit principal, elle assure la commutation des liaisons longues distances. L'un des commutateurs CTP est relié au commutateur international de transit CTI.

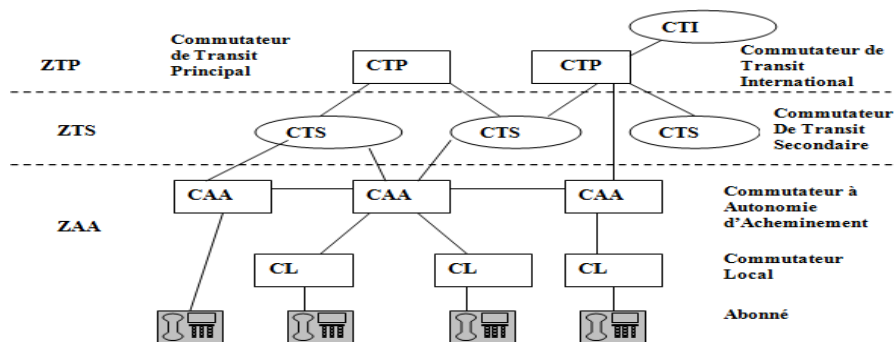


Figure 1-3 : Hiérarchie du RTC

1-2-2- Le réseau GSM

1-2-2-1- Définition

Parmi les systèmes des radios communications mobiles, le GSM est aujourd'hui à la tête des systèmes cellulaires numériques. Très répandu dans le monde, il offre un très grand nombre de services, et permet l'échange d'informations entre deux ou plusieurs usagers avec une qualité raisonnable.

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio. [3]

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

1-2-2-2- Architecture GSM

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

- Le sous-système radio (BSS): Il gère la partie radio des communications et se compose d'émetteurs-récepteurs radio (BTS) contrôlés par une BSC.
- Le sous-système réseau (NSS): Il gère le traitement des appels, la mobilité et l'acheminement de/vers les réseaux filaires. Il se compose de commutateurs radio (MSC) et d'un certain nombre de bases de données HLR et VLR.
- Le sous-système exploitation : Il contrôle les droits d'accès au réseau, les droits des usagers et assure l'interface homme-machine d'exploitation. Il gère aussi le maintien en conditions opérationnelles du réseau et la remontée des alarmes

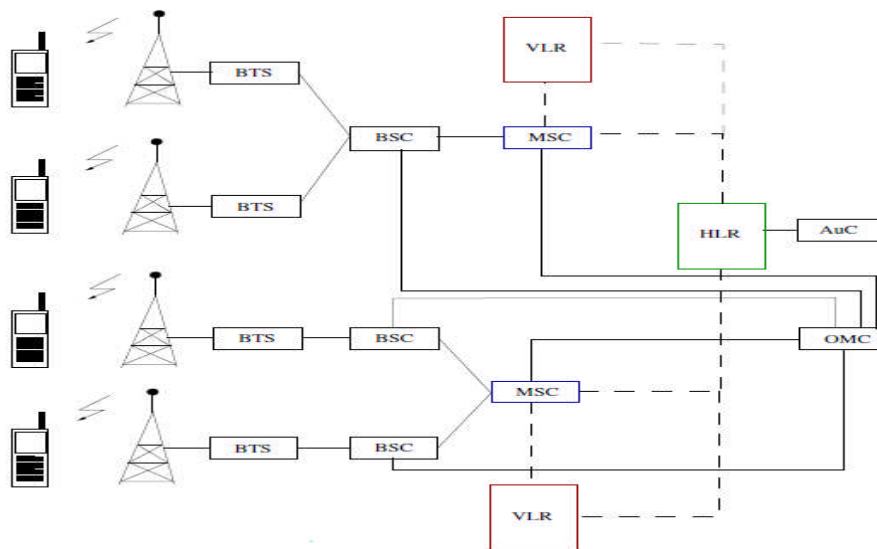


Figure 1-4 : Architecture du réseau GSM

1-2-2-2-1- Station Mobile (MS, Mobile Station)

Le but d'un réseau GSM/DCS est d'offrir des services de télécommunication à des abonnés, quels que soient leurs déplacements à l'intérieur d'une zone de service, desservie par un opérateur ou éventuellement par plusieurs opérateurs ayant passé des accords mutuels. Pour ce faire, l'abonné mobile utilise une station mobile (MS, Mobile Station) qui est constituée de deux éléments séparables :

- Un équipement mobile qui fournit les capacités radio et logicielles nécessaires au dialogue avec le réseau et demeure indépendant de l'abonné utilisateur.
- Une carte SIM qui contient les caractéristiques de l'abonné et de ses droits. Lorsque la carte n'est pas présente dans le terminal, le seul service que peut accepter le réseau de la part de l'abonné mobile est le service d'urgence.

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

1-2-2-2-2- Sous-système Radio (BSS, Base Station Subsystem)

C'est un ensemble de constituants qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio. Le sous-système radio est principalement constitué de trois éléments :

a- La station de base BTS (Base Transceiver Station)

La BTS relie les stations mobiles à l'infrastructure fixe du réseau. La BTS est composée d'un ensemble d'émetteurs / récepteurs qui assure la couverture radioélectrique d'une ou plusieurs cellules du réseau. Elle fournit un point d'entrée dans le réseau à l'abonné présenté dans sa cellule pour recevoir ou transmettre des appels. Elle prend en charge la modulation et la démodulation, le cryptage (chiffrement) des communications, la mise en trame et en paquets élémentaires radios, le codage et décodages des canaux radios. Elle vérifie aussi le bon déroulement des contacts radios en prenant des mesures régulières (la qualité de puissance) qu'ils transmettent aux BSC.

b- Contrôleur de station de base BSC (Base Station Controller)

Il contrôle un ensemble de BTS et permet une concentration des circuits de paroles et de données vers le sous-système réseau NSS. C'est véritablement l'organe intelligent du BSS. Il prend les décisions résultantes des mesures effectuées par la BTS. Il commande l'allocation des canaux, gère le Handover, contrôle les puissances des mobiles et des BTS.

c- Le transcodeur TRC (TransCoder)

Il a pour but principal le transcodage (codage et décodage) de la parole et l'adaptation du débit pour les transmissions des données utilisées dans le réseau fixe spécifié par la norme GSM.

1-2-2-2-3- Sous-système réseau NSS (Network Sub-System)

Son rôle est d'assurer les fonctions de commutation et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM.

Il se compose de plusieurs équipements :

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

a- Commutateur de service mobile MSC (Mobile Switching Center)

Il peut être considéré comme le cœur d'un système cellulaire puisqu'il fait la gestion des appels et de tout ce qui est lié à l'identité des abonnés, à leur enregistrement et à leur localisation. Le MSC agit en somme comme en nœud d'un réseau commuté.

b- Commutateur d'entrée de service mobile GMSC (Gateway MSC)

Ce commutateur est l'interface entre le réseau cellulaire et le réseau téléphonique publique. Le GMSC est chargé de d'acheminer les appels du réseau fixe à un usager GSM.

c- Registre des abonnés locaux HLR (Home Location Register)

Contient les informations relatives aux abonnés du réseau. Un réseau peut posséder plusieurs bases pour mettre en œuvre le HLR en fonction des capacités de ces bases de données. Dans un HLR, chaque abonné est décrit par un enregistrement contenant le détail des options d'abonnement et des services complémentaires accessibles à l'abonné. A ces informations statiques se rajoutent des informations dynamiques telles que la dernière localisation connue du mobile (localisation permettant la taxation et le routage des appels vers le MSC sous lequel le mobile est localisé) et son état. Le HLR contient par ailleurs la clé secrète de l'abonné qui permet au service d'authentifier l'abonné. Cette clé est inscrite sous un format codé que seul l'AUC (Authentication Center) peut décrypter.

d- Registre des abonnés visiteurs VLR (Visitor Location Register)

Le VLR est une base de données généralement associée à un commutateur MSC. Il est aussi possible de considérer un VLR partagé par plusieurs MSCs. Sa mission est d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés actuellement connectés. Le réseau doit connaître à chaque instant la localisation des abonnés présents. Dans le VLR, chaque abonné est décrit en particulier par un identifiant et une localisation. Grâce à ces informations, le réseau est apte à acheminer un appel vers un abonné mobile. A chaque changement de zone de localisation d'un abonné, le VLR du MSC auquel est rattaché le mobile doit être mis à jour ainsi que l'enregistrement de cet abonné dans le HLR. Lorsqu'un appel doit être délivré, c'est le HLR qui est le premier interrogé afin de connaître la dernière localisation connue de l'abonné.

e- Centre d'authentification AUC (Authentication Center)

L'AUC est une fonctionnalité généralement associée à un HLR où elle sauvegarde une clé d'identification pour chaque abonné mobile. Cette clé est utilisée pour fabriquer :

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

- Les données nécessaires pour authentifier l'abonné dans le réseau GSM.
- Une clé de chiffrement de la parole (Kc) sur le canal radio entre le mobile et la partie fixe du réseau GSM.

f- Registre d'identification d'équipements EIR (Equipment Identity Register)

Un EIR sauvegarde toutes les identités des équipements mobiles utilisés dans un réseau GSM. Cette fonctionnalité peut être intégrée dans le HLR. Chaque poste mobile est enregistré dans l'EIR dans une liste :

- Liste "blanche" : poste utilisable sans restriction.
- Liste "grise" : poste sous surveillance (traçage d'appels).
- Liste "noire" : poste volé ou dont les caractéristiques techniques sont incompatibles, avec la qualité requise dans un réseau GSM (localisation non autorisée).

g- Système de signalisation numéro 7 SS7 (Signaling System 7)

Le système de signalisation n° 7 est un ensemble de protocoles de signalisation téléphonique qui sont utilisés dans la grande majorité des réseaux téléphoniques mondiaux. Sa principale application est l'établissement et la libération d'appels téléphoniques fixes et mobiles.

1-2-2-2-4- Sous-système opération OSS (Operation and Support System)

Les éléments constituant les deux sous réseaux précédents sont reliés à distance, via X25, au centre d'exploitation et de maintenance. Le réseau d'exploitation et maintenance comprend les centres d'exploitation maintenance qui sont les entités fonctionnelles permettant à l'opérateur du réseau de contrôler son système. Un OMC-R (OMC-Radio) prend en charge la supervision et le contrôle d'un ensemble de BSC et BTS. Un OMC-S (OMC-Switching) permet de superviser et contrôler un ensemble de MSC/VLR. Au-delà des OMC-R et OMC-S, on peut trouver, si l'importance du réseau le justifie, un NMC (Network Management Centre) qui assure l'administration générale centralisée du réseau. Les fonctions suivantes peuvent être spécifiquement identifiées :

Fonctions liées à la gestion commerciale ou administrative du réseau :

- Gestion de la sécurité,
- Gestion des performances,
- Gestion de la configuration,
- Maintenance, gestion des alarmes, [4]

1-3- Les supports de transmission

1-3-1- Liaisons filaires

➤ Supports en cuivre

Il existe trois principaux types de supports en cuivre utilisés dans les réseaux : les câbles à paires torsadées non blindées (UTP), les câbles à paires torsadées blindées (STP), les câbles coaxiaux.

Ces câbles sont utilisés pour interconnecter des nœuds d'un réseau local et des périphériques d'infrastructure tels que des commutateurs, des routeurs et des points d'accès sans fil. Chaque type de connexion et les périphériques associés possèdent des exigences de câblage stipulées par les normes de couche physique.

Diverses normes de couche physique spécifient l'utilisation de différents connecteurs. Ces normes définissent les dimensions mécaniques des connecteurs et les propriétés électriques acceptables de chaque type. Les supports réseau utilisent des connecteurs et des fiches modulaires qui facilitent la connexion et la déconnexion. De plus, un même type de connecteur physique peut servir à plusieurs types de connexions.

1-3-1-1- Câble coaxial

Le câble coaxial (en anglais coaxial câble) a longtemps été le câblage de prédilection, pour la simple raison qu'il est peu coûteux et facilement manipulable (poids, flexibilité, ...). Un câble coaxial est constitué d'une partie centrale (appelée âme), c'est-à-dire un fil de cuivre, enveloppé dans un isolant, puis d'un blindage métallique tressé et enfin d'une gaine extérieure.

- **La gaine :** permet de protéger le câble de l'environnement extérieur. Elle est habituellement en caoutchouc (parfois en Chlorure de polyvinyle (PVC) ou en téflon).
- **Le blindage :** c'est une enveloppe métallique qui entoure les câbles, il permet de protéger les données transmises sur le support des parasites ou des bruits pouvant causer une distorsion des données.
- **L'isolant :** il entoure la partie centrale, il est constitué d'un matériau diélectrique permettant d'éviter tout contact avec le blindage provoquant des interactions diélectriques.
- **L'âme :** il est généralement composé d'un seul brin en cuivre ou de plusieurs brins torsadés, il est utilisé pour l'accomplissement de la tâche de transport de données. [5]

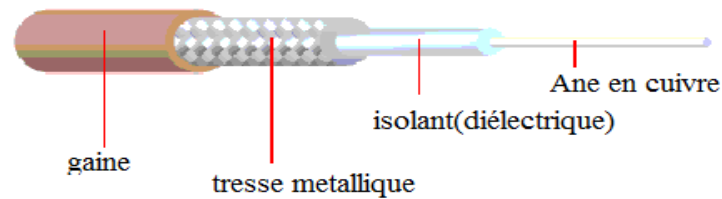


Figure 1-5 : câble coaxial

1-3-1-1-1- Les connecteurs pour câble coaxial

Les connecteurs utilisés pour les câbles coaxiaux sont les connecteurs BNC, dans la famille BNC on trouve :

- **Connecteur de câble BNC** : il est soudé ou serti à l'extrémité du câble.
- **Connecteur BNC en T** : il relie la carte réseau des ordinateurs au câble du réseau.
- **Prolongateur BNC** : il relie deux segments de câble coaxial afin d'obtenir un câble plus long.
- **Bouchon de terminaison BNC** : il est placé à chaque extrémité du câble d'un réseau en Bus pour absorber les signaux parasites. Il est relié à la masse. Un réseau bus ne peut pas fonctionner sans. Il serait mis hors service.

1-3-1-1-2- Avantages et inconvénients

- Une bande passante large.
- Supporte des débits de l'ordre de 100Mbit/s.
- Une protection par blindage contre les parasites et les diaphonies.
- Un affaiblissement moindre que la paire de fils, donc distance accrue entre les répéteurs.
- Un cout variable selon la qualité du câble.
- Il ne peut pas assurer l'isolation galvanique entre deux bâtiments.

1-3-1-2- Paire torsadée

Dans sa forme la plus simple, le câble à paire torsadée est constitué de deux brins de cuivre entrelacés en torsade et recouverts d'isolants.

On distingue généralement deux types de paires torsadées : Les paires blindées STP (Shielded Twisted-Pair) et les paires non blindées UTP (Unshielded Twisted-Pair).

Un câble est souvent fabriqué à partir de plusieurs paires torsadées regroupées et placées à l'intérieur de la gaine protectrice. L'entrelacement permet de supprimer les bruits (interférences électriques) dus aux paires adjacentes ou autres sources (moteurs, relais, transformateur).

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

La paire torsadée est donc adaptée à la mise en réseau local d'un faible parc avec un budget limité, et une connectique simple. Toutefois, sur de longues distances avec des débits élevés elle ne permet pas de garantir l'intégrité des données (c'est-à-dire la transmission sans perte de données).

1-3-1-2-1- La paire torsadée non blindée (UTP)

Le câble UTP obéit à la spécification 10BaseT. C'est le type de paire torsadée le plus utilisé et le plus répandu pour les réseaux locaux. Voici quelques caractéristiques :

- ✓ Longueur maximale d'un segment : 100 mètres
- ✓ Composition : 2 fils de cuivre recouverts d'isolant
- ✓ Normes UTP : conditionnent le nombre de torsions par pied (33 cm) de câble en fonction de l'utilisation prévue

La plupart des installations téléphoniques utilisent un câble UTP. Beaucoup de locaux sont pré-câblés pour ce genre d'installation. Si la paire torsadée préinstallée est de bonne qualité, il est possible de transférer des données et donc l'utiliser en réseau informatique. Il faut faire attention cependant au nombre de torsades et aux autres caractéristiques électriques requises pour une transmission de données de qualité. Le majeur problème provient du fait que le câble UTP est particulièrement sujet aux interférences (signaux d'une ligne se mélangeant à ceux d'une autre ligne). La seule solution réside dans le blindage.



Figure 1-6 : câble UTP

1-3-1-2-2- La paire torsadée blindée (STP)

Le câble STP (Shielded Twisted Pair) utilise une gaine de cuivre de meilleure qualité et plus protectrice que la gaine utilisée par le câble UTP. Il contient une enveloppe de protection entre les paires et autour des paires. Dans le câble STP, les fils de cuivre d'une paire sont eux-mêmes torsadés, ce qui fournit au câble STP un excellent blindage, c'est-à-dire une meilleure protection contre les interférences). D'autre part il permet une transmission plus rapide et sur une plus longue distance.



Figure 1-7: câble STP

1-3-1-2-3- Les connecteurs pour paire torsadée

La paire torsadée se branche à l'aide d'un connecteur RJ-45. Ce connecteur est similaire au RJ-11 utilisé dans la téléphonie mais différent sur certains points : le RJ-45 est légèrement plus grand et ne peut être inséré dans une prise de téléphone RJ-11. De plus, le RJ-45 se compose de huit broches alors que le RJ-11 n'en possède que six, voire quatre généralement.

1-3-1-2-4- Avantages et inconvénients

- Circuit de type pair téléphonique largement implémenté dans les bâtiments.
- Elle est sensible aux perturbations.
- Une forte atténuation.
- Vitesse de transmission relativement faible.
- Limitation de la vitesse maximum entre deux stations ou deux appareils d'interconnexion.

1-3-1-3- La fibre optique

Une fibre optique est un fil en verre très fin, elle permet de conduire la lumière sur une grande distance. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux ou des paires torsadées et peut servir de support à un réseau large bande par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques. Elle est constituée de trois éléments concentriques : le cœur, la gaine et le revêtement.

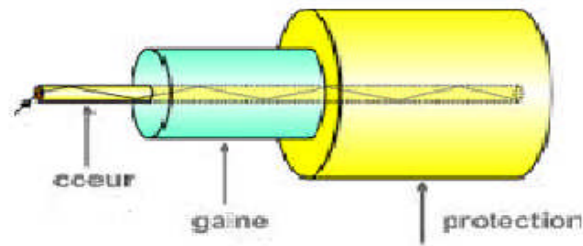


Figure 1-8: éléments constituant la fibre optique.

- ❖ **Le cœur:** c'est dans cette zone, constituée de verre, que la lumière est guidée et se propage le long de la fibre.
- ❖ **La gaine:** c'est la couche de verre qui entoure le cœur. La composition du verre utilisée est différente de celle du cœur. L'association de ces deux couches permet de confiner la lumière dans le cœur, par réflexion totale de la lumière à l'interface cœur-gaine. Son indice de réfraction est légèrement inférieur à celui du cœur.
- ❖ **Le revêtement :** c'est une couche de protection appliquée sur le verre de gaine, il est important que cette couche soit détachable afin de permettre d'effectuer des injections ou des découpages de la lumière, son indice de réfraction est supérieur à celui de la gaine. [6]

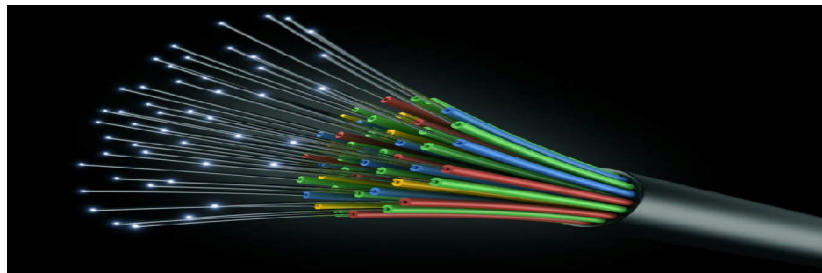


Figure 1-9: fibre optique

1-3-1-3-1- Types de fibre optique

Il existe deux types de fibre optique : la fibre monomode et la fibre multi-mode.

- La fibre monomode :** Dans ce cas, la fibre est dite « monomode » car, en raison de la très petite taille du cœur ($9 \mu\text{m}$), il n'y a qu'un seul mode de propagation de la lumière.

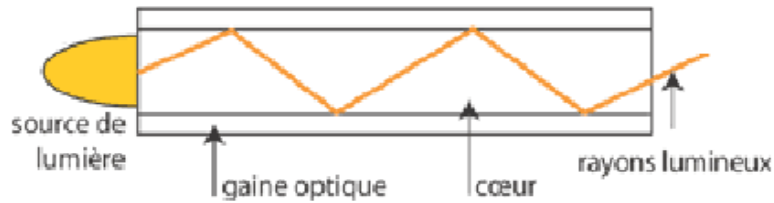


Figure 1-10 : fibre monomode

- b- la fibre multi-mode :** Ce type de fibre est dit « multi-mode » car la lumière se propage suivant plusieurs « modes », c'est à dire qu'elle peut suivre plusieurs trajets à l'intérieur du cœur.

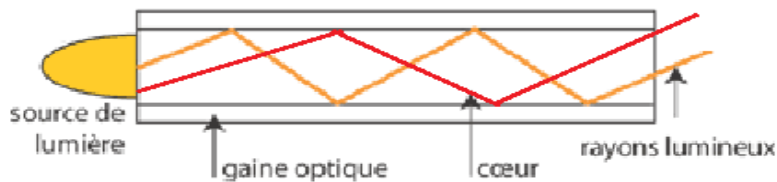


Figure 1-11 : fibre multi-mode

1-3-1-3-2- Caractéristiques de la fibre optique

- **Atténuation et longueur d'onde :**

La lumière, lorsqu'elle se propage le long de la fibre, s'atténue progressivement. Cette atténuation s'exprime par une valeur en dB/km (décibel par kilomètre). Cette atténuation dépend de la longueur d'onde (λ), c'est à dire de la couleur (fréquence) de la lumière.

- **La bande passante :**

C'est une mesure de la capacité de transport de données d'une fibre optique. Par exemple, une fibre peut avoir une bande passante de 400 MHz.km (méga-hertz kilomètre). Cela signifie qu'elle peut transporter 400MHz sur 1 km. Elle dépend du type de fibre, la fibre monomode permet d'avoir un débit d'informations beaucoup plus important que la multi-mode.

- **Cas monomode :** Une information se propage dans la fibre suivant un seul mode, donc elle n'est pas déformée. On peut donc rapprocher beaucoup plus les informations c'est-à-dire obtenir un débit bien plus important.

- **cas multi-mode :** Une information se propage dans la fibre suivant n modes, ce qui la déforme, comme si elle se dédoublait n fois. Si les informations arrivent trop rapprochées, elles risquent alors de se mélanger, et ne sont pas récupérables à la sortie de la fibre. Il faut donc les espacer suffisamment, c'est à dire limiter le débit.

1-3-1-3-3- Avantages de la fibre optique

- **Faible atténuation:** la fibre optique a une atténuation moins importante que les conducteurs électriques, ce qui permet de transmettre des informations sur de plus longues distances en nécessitant moins de répéteurs.
- **Grande bande passante:** la fibre optique permet d'atteindre des capacités de transport bien plus élevées que le cuivre. Les bandes passantes typiques sont de 200 à 600 MHz.km pour des fibres multimodes, et > 10 GHz.km pour des fibres monomodes, comparées à 10 à 25 MHz.km pour des câbles électriques usuels.
- **Insensibilité aux perturbations électromagnétiques:** les fibres optiques sont immunes aux parasites électromagnétiques, et elles mêmes n'émettent aucune radiation.
- **Liaison non détectable:** les câbles à fibre optique étant dans la plupart des cas totalement diélectriques, ils sont transparents vis à vis de tous types de détecteurs.
- **Isolation électrique:** les fibres optiques permettent d'effectuer des transmissions entre points de potentiels électriques différents, et au voisinage d'installations à haute tension.
- **Taille et poids réduits:** pour faire passer une quantité d'informations équivalente, le volume et la masse de câble à fibre optique à utiliser sont bien moindres qu'en câble électrique. [7]

1-3-2- Support aériens

1-3-2-1- Faisceau hertzien

On appelle faisceaux hertziens les supports de transmission utilisant les ondes radioélectriques de fréquence élevée pour établir des fréquences point à point. A l'exception de quelques systèmes fonctionnant dans les bandes 70-80 MHz et 400-470 MHz, les faisceaux hertziens utilisent des fréquences supérieures à 2GHz. On peut classer les faisceaux hertziens en deux catégories :

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

✓ Les faisceaux hertziens analogiques :

Ils sont utilisés principalement pour transmettre :

- Des multiplex analogiques de téléphonie (pouvant comporter du télex ou des transmissions de données à faible et moyenne vitesse) dont la capacité va de quelques voies téléphoniques à 2700voies téléphoniques ;
- Des images de télévision et de voies de son qui leur sont associées ;

✓ Les faisceaux hertziens numériques :

Ils acheminent principalement :

- Des multiples numériques de téléphonie, dont le débit va de 2Mbits/s à 140Mbits/s ;
- Des transmissions de données à grande vitesse ;
- Du visiophone et de la télévision codée ;

Si la distance entre les deux points à relier est trop grande ou si des obstacles empêchent les antennes situées en ces deux points d'être en visibilité l'une de l'autre, il faut établir une liaison en plusieurs bonds en utilisant des stations relais.

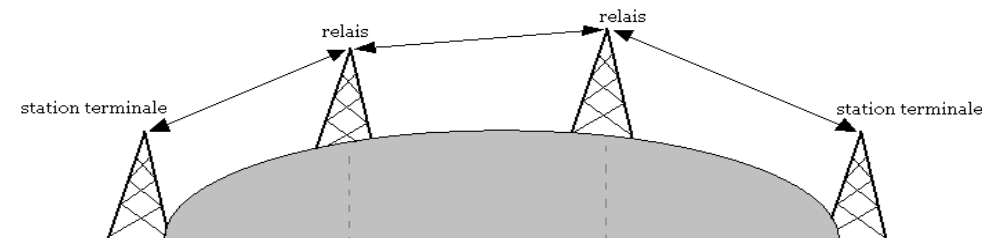


Figure 1-12 : liaison en plusieurs bonds

Lorsque les points entre lesquels doit être établie la liaison sont mal situés du point de vue géographique, les stations terminales peuvent être construites sur une hauteur avoisinante ; elles sont alors reliées par câble souterrain aux extrémités de la liaison.

Une liaison peut être unilatérale ou bilatérale. Les transmissions unilatérales sont fréquentes en transmission de télévision. Les liaisons de téléphonie ou des télex sont des bilatérales, cette dernière se réalise tout simplement sur les même itinéraires deux liaisons mono latérales de sens inverse. Les deux sens d'une liaison bilatérale utilisent en général les mêmes antennes, lesquelles fonctionnent à la fois à l'émission et à la réception. [8]

Intérêts et inconvénients

- L'intérêt principal des liaisons hertziennes est qu'elles ne nécessitent pas de support physique entre l'émetteur et le récepteur de l'information.

C'est le moyen de communication idéal pour les liaisons avec les objets mobiles:

piétons, automobiles, bateaux, trains, avions, fusées, satellites.

Les liaisons hertziennes sont intéressantes dans le cas de la diffusion (radio diffusion et télédiffusion), où l'on a un émetteur et plusieurs récepteurs. En effet pour couvrir une ville, il est plus simple et moins cher d'installer un émetteur et une antenne chez chaque particulier, plutôt que de relier par câble chaque particulier.

- Les inconvénients principaux des liaisons hertziennes sont aussi liés à l'absence de supports physiques alors comment faire pour que tout le monde puisse communiquer en même temps.

Ce problème n'existe pas par rapport à une liaison filaire : chacun son câble. Dans le cas des liaisons hertziennes, ceci impose une gestion stricte des fréquences : Chaque système de transmission radio dispose d'une certaine bande de fréquence qui lui est allouée et comment garantir la confidentialité de transmission entre l'émetteur et le récepteur sachant que n'importe quel « espion » peut intercepter une communication puisque l'information est transmise en « espace libre » ; Cet inconvénient est corrigé par l'utilisation de cryptage de l'information entre l'émetteur et le récepteur.

1-3-2-2- Les liaisons satellites

Un réseau de télécommunication par satellite s'articule autour d'un réseau terrien (les stations terriennes), assurant la connexion aux réseaux terrestres, et d'un secteur spatial (le satellite), réalisant la jonction entre stations.

Un satellite de télécommunication comporte deux parties :

- **La charge utile** : elle sert de relais de communication entre stations répéteurs. Un répéteur est constitué d'équipements de télécommunication situés entre l'antenne d'émission et celle de réception.
- **La plate-forme** : elle intègre les moyens logistiques indispensables à la mise en œuvre correcte de la charge utile. Il s'agit de sous systèmes de propulsion, de contrôle d'attitude et d'orbite, d'alimentation électrique, de contrôle thermique, de télécommande et de télémétrie. [9]

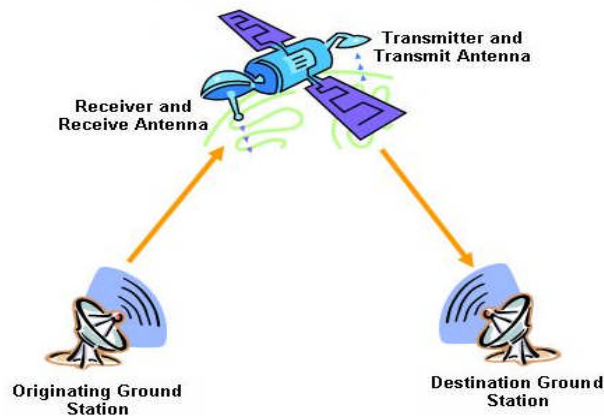


Figure 1-13 : transmission par satellite

Avantages et inconvénients :

- Débit jusqu'à 2Mbist/s.
- Diffusion des résultats vers plusieurs points en même temps.
- Offre multiservices : voix, données, image, audio et visioconférence, TV.
- Coût de réalisation élevé.
- Temps de transmission plus long.

1-4- Comparaison des différents supports de transmission

support	Paires torsadées	Câble coaxial	Ondes radio	Fibre optique
propagation	guidée	guidée	Libre dirigée	guidée
Propriété du matériau	cuivre	cuivre		Silice polymère
Bande passante	GHz - MHz	MHz	GHz	THz
Atténuation	forte	forte	variable	Très faible
Sensibilité aux perturbations électromagnétiques	forte	faible	forte	nulle
confidentialité	limitée	correcte	nulle	élevée
Coût du support	Très faible	Faible	nul	élevé

Applications	-téléphone -réseaux bas et moyens débits -réseaux hauts débits courtes distances	-réseaux téléphoniques hauts débits -réseaux locaux hauts débits -vidéo	-hertzien -satellite -mobil	-haut débit longues distances
---------------------	--	---	-----------------------------------	----------------------------------

Tableau 1-1: comparaison des supports de transmission

1-5- Caractéristiques des supports de transmission

1-5-1- Bande passante

La bande passante est la bande de fréquences dans laquelle les signaux appliqués à l'entrée du support de transmission ont une puissance de sortie supérieure à un seuil donné après traversée du support. Le seuil fixé correspond à un rapport déterminé entre la puissance du signal d'entrée et la puissance du signal trouvé à la sortie. En général, on caractérise un support par sa bande passante à 3 dB (décibels), c'est-à-dire par la plage de fréquences à l'intérieur de laquelle la puissance de sortie est, au pire, divisée par deux.

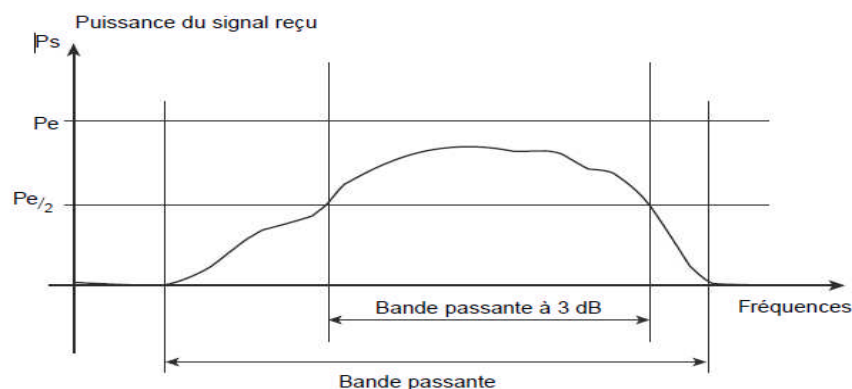


Figure 1-14 : notion de bande passante

1-5-2- Bruit

Les supports de transmission déforment les signaux qu'ils transportent, même lorsque leurs fréquences sont adaptées. Diverses sources de bruit perturbent les signaux : parasites, phénomènes de diaphonie... Certaines perturbations de l'environnement introduisent également des bruits (foudre, orages pour le milieu aérien, champs électromagnétiques dans des ateliers...). Par ailleurs, les supports affaiblissent et retardent les signaux. La distance est

un facteur d'affaiblissement, très important pour les liaisons par satellite. Ces déformations, appelées distorsions, sont gênantes pour la bonne reconnaissance des signaux en sortie, d'autant qu'elles varient avec la fréquence et la phase des signaux émis. [10]

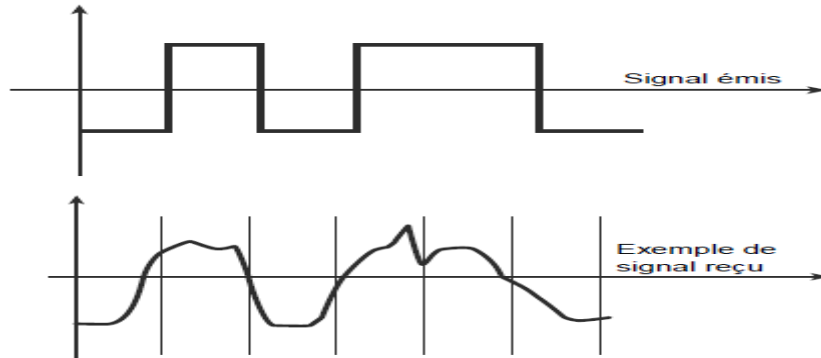


Figure 1-15 : signal émis avec exemple de signal reçu

1-5-3- Capacité

La capacité d'un support de transmission mesure la quantité d'informations transportée par unité de temps. La bande passante et le bruit font que la capacité d'un support est limitée, l'unité d'information étant le bit, la capacité s'exprime en bit/s

$$C = W \times \log_2 (1 + S/B) \quad (1.1)$$

C : capacité d'une ligne de transmission.

W : bande passante (Hz).

S/B : rapport signal/bruit.

1-5-4- Temps de propagation et temps de transmission

Le temps de propagation T_p est le temps nécessaire à un signal pour parcourir un support d'un point à un autre, il dépend donc de la nature du support, de la distance et de la fréquence du signal.

Le temps de transmission T_t est le temps qui s'écoule entre le début et la fin de transmission d'un message sur une ligne, c'est donc égale au rapport entre la longueur du message et le débit de la ligne.

Le temps de traversée ou délai d'acheminement sur une voie est égal au temps total mis par un message pour parvenir d'un point à un autre, c'est donc la somme des temps T_p et T_t .

1-5-5- Impédance caractéristique

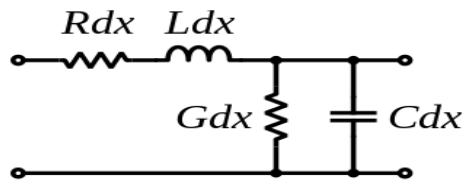


Figure 1-16 : schéma équivalent d'un élément d'une ligne de transmission

L'utilisation d'une ligne de transmission est principalement la transmission d'énergie électrique qui par une modulation appropriée supporte une information. La bonne transmission de cette information suppose le bon transfert de l'énergie ce qui suppose une bonne adaptation des impédances à l'entrée et la sortie du câble. Cette bonne adaptation se produit quand l'impédance des terminaisons est égale à l'impédance caractéristique du câble. On parle d'adaptation d'impédances en puissance. Si l'adaptation d'impédance n'est pas réalisée, le transfert d'énergie n'est pas total et la part d'énergie non transférée repart dans le câble. Pour une ligne de transmission, l'impédance caractéristique est:

$$Z_C = \sqrt{R + \frac{j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (1.2)$$

Avec :

$$\omega : 2\pi f \quad (1.3)$$

ω : est la pulsation du courant exprimée en radian/s.

f : est la fréquence du signal en Hz.

Lorsqu'on est dans la condition de non dis [11]

A haute fréquence, c'est-à-dire $\omega = 2\pi f$ assez grand, R et G sont négligeables devant $j\omega L$ et $j\omega C$ d'où la bonne approximation sur une ligne réelle à haute fréquence de :

$$Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.4)$$

1-6- Les différentes technologies d'accès à internet

1-6-1- Connexions filaires

1-6-1-1- L'ADSL

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

L'ADSL désigne la liaison numérique sur la ligne de l'abonné téléphonique. L'ADSL utilise comme support le fil téléphonique classique en cuivre pour y transporter des données qui sont numérisées et dont le débit descendant (internet vers internaute) est plus important que le débit montant. L'asymétrie permet de mieux répondre aux usages courants d'internet, qui consistent majoritairement dans la récupération plutôt que la publication de contenus. La possibilité d'avoir en même temps une conversation téléphonique et une connexion internet haut débit sur une même ligne téléphonique est rendue possible par l'utilisation de bandes de fréquence différentes, séparées chez l'abonné ainsi qu'au central téléphonique par des filtres spéciaux. Chez l'abonné, ce filtre est généralement un petit boîtier gigogne venant s'intercaler entre la prise téléphonique murale et celle du téléphone. La technologie ADSL est massivement mise en œuvre par les fournisseurs d'accès à Internet pour le support des accès dits « haut-débit ».

Le principe de l'ADSL consiste à exploiter une autre bande de fréquence, située au-dessus de celle utilisée pour la téléphonie, pour échanger des données numériques en parallèle avec une éventuelle conversation téléphonique. Grâce à cette séparation dans le domaine fréquentiel, les signaux ADSL qui transportent les données et les signaux téléphoniques qui transportent la voix circulent donc simultanément sur la même ligne d'abonné sans interférer les uns avec les autres.

L'ADSL fait partie d'une famille de technologies semblables, regroupées sous le terme générique DSL ou xDSL. Les différents membres de cette famille se différencient par leur nature symétrique ou asymétrique, les débits offerts, les longueurs de ligne compatibles avec une qualité de service déterminée, etc. Parmi ces technologies, on peut citer le SDSL et les VDSL et VDSL2 ; toutefois, la méthode SDSL de transmission exploite la totalité de la bande passante de la ligne téléphonique, et ne permet donc plus le partage de celle-ci entre un service de téléphonie traditionnelle et la transmission SDSL.

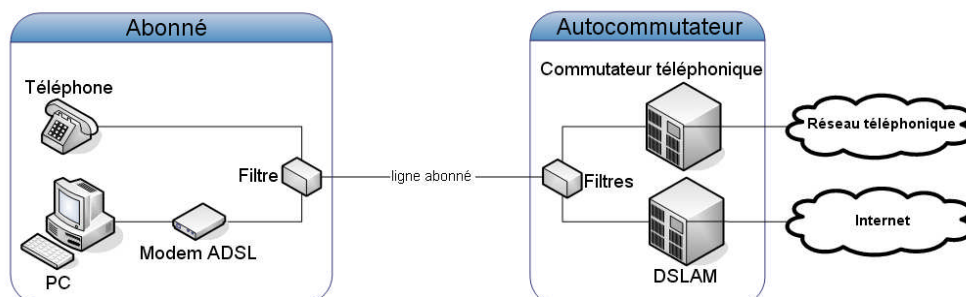


Figure 1-17 : Principe de fonctionnement de l'ADSL

1-6-2- Connexions par ondes radio

1-6-2-1- La 3G

Il s'agit de la 3^{ème} génération de téléphones portables. La deuxième génération, née au début des années 1990, était basée sur le réseau GSM. La 3G est, quant à elle, basée sur l'UMTS. Entièrement différente et nécessitant de nouveaux réseaux d'antennes, la technologie 3G est essentiellement dévolue à la mobilité pour internet, soit sur un téléphone, soit sur un ordinateur au moyen d'une clé USB 3G ou d'un modem 3G intégré. Ce mode de connexion alternatif a, bien sûr, pour principal avantage de permettre de surfer en mobilité et en haut débit dans tout le territoire national.

1-6-2-2- Le WIMAX

Le wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est une technologie de transmission sans fil à haut débit et à large portée (70 Mbit/s sur une distance de 50 km, en théorie). Il se présente donc comme un relais dans les zones mal équipées pour les connexions internet en haut débit. En ville, s'il se développe, il devrait également permettre la mise en place de réseaux à partir d'un unique point d'accès sur un large périmètre, contrairement à la multiplicité des points d'accès actuels en Wi-Fi. Seule la « boucle locale », la connexion des particuliers au réseau, devra se faire en Wi-Fi. Fonctionnant en effet sur des bandes de fréquence bien plus élevées que celles du Wi-Fi, le wimax ne peut pas franchir les murs.



Figure 1-18 : équipement du wimax

Chapitre I : Généralités sur les systèmes de télécommunication

1-6-2-3- Le Wi-Fi

Certaines zones rurales non couvertes par l'ADSL le sont en Wi-Fi, généralement par de petits opérateurs locaux et pour desservir une zone de quelques kilomètres carrés. Ces réseaux utilisent des points de collecte en haut débit, puis une série d'émetteurs/ récepteurs jusqu'aux équipements des usagers. [12]

1-7-Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les systèmes de télécommunication. On a d'abord défini le réseau de télécommunication fixe ainsi le GSM, on a ensuite donné les différents supports de transmission et leurs caractéristiques et enfin les différentes technologies d'accès à internet. L'objectif du chapitre suivant est la présentation des différentes caractéristiques d'un faisceau hertzien numérique.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-1-Introduction

Le faisceau hertzien permet de transformer (moduler) un signal électrique à transmettre afin qu'il puisse se propager dans l'air. L'ensemble de l'énergie propagée étant contenue dans un faisceau très fin. Selon les fréquences utilisées et la quantité d'information à transmettre, les distances pourront être plus ou moins grandes.

Aujourd'hui, les FH numériques sont beaucoup plus utilisés que les FH analogiques et remplacent petit à petit ces derniers. Cette évolution est due à la croissance de la demande d'informations à transmettre. En effet, l'objectif majeur de l'utilisation des FH est d'assurer une transmission des informations avec une disponibilité appréciable.

2-2- Liaisons radio électriques

Les liaisons radio électriques utilisent la propagation des ondes électromagnétiques dans l'air libre. Etant donné que les bandes de fréquence utilisées sont imposées, le signal à transmettre sera toujours transposé en fréquence par modulation.

Une liaison peut s'établir en visibilité directe entre plusieurs stations sur des points hauts. Elle a une portée variant de 10 à 60 Km, mais la distance qui est souvent utilisée est de 50Km.

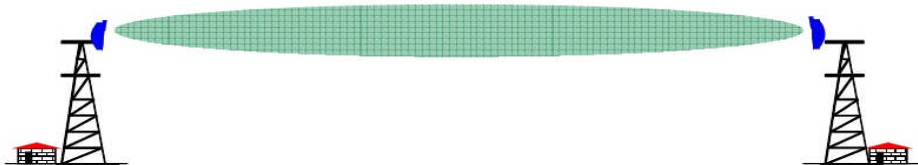


Figure 2-1 : liaison radio électrique

2-2-1- Propagation des ondes électromagnétiques

Dans une liaison hertzienne, c'est une onde électromagnétique qui porte l'information à transmettre. Une onde électromagnétique comporte à la fois un champ électrique E et un champ magnétique B oscillant à la même fréquence. Ces deux champs, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale (figure ci-dessous).

La propagation de ces ondes s'effectue à une vitesse qui dépend du milieu considéré. Dans le vide, la vitesse de propagation est égale à 3.10^8 m.s^{-1} . [13]

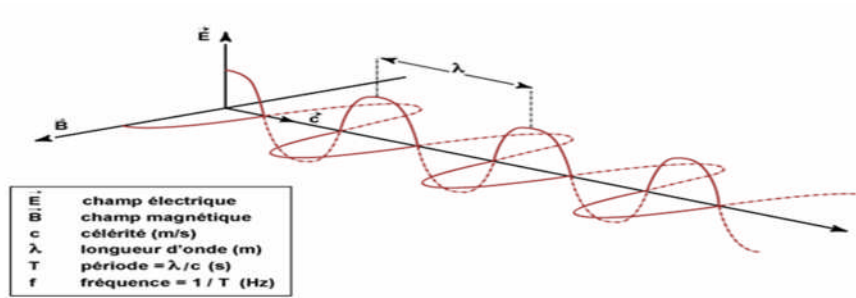


Figure 2-2 : propagation d'une onde électromagnétique

2-2-2- Caractéristiques d'une onde électromagnétique

Les caractéristiques principales d'une onde électromagnétique sont :

La longueur d'onde (λ) : c'est la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période.

On a :

$$\lambda = c/f \quad (2.1)$$

Avec :

λ : longueur d'onde

c : la vitesse de la lumière

f : la fréquence

La polarisation : c'est l'orientation des champs électriques par rapport à l'horizontale. Si le champ électrique est parallèle à l'horizontale on dit que l'onde a une polarisation horizontale. Si le champ électrique est perpendiculaire à l'horizontale, on dit que l'onde a une polarisation verticale et dans le cas général (onde quelconque du champ E), on a alors une composante horizontale et verticale.

La vitesse de propagation : dans le vide, l'onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière $c=3.10^8$ m/s.

La fréquence (f) : en un point donné, c'est le nombre de maxima de champs par seconde. Elle est égale à la fréquence du générateur qui a donné naissance à l'onde. L'unité est l'Hertz.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-2-3- Ellipsoïde de FRESNEL

On dit qu'une liaison en visibilité directe est dégagée s'il n'existe aucun obstacle à l'intérieur d'un certain volume appelé ellipsoïde de Fresnel. La zone de Fresnel est le lieu de point de la surface réfléchissante dont la somme des distances aux antennes d'émission et de réception dépasse une demi-longueur d'onde.

Les antennes d'émission E et de réception R constituent les foyers de cet ellipsoïde. Ce dégagement signifie que les phénomènes de diffractions par les obstacles situés au voisinage du trajet direct ont un effet négligeable sur le niveau reçu.

En pratique le dégagement du premier ellipsoïde de Fresnel (n=1) est nécessaire et suffisant pour que la liaison soit de bonne qualité.

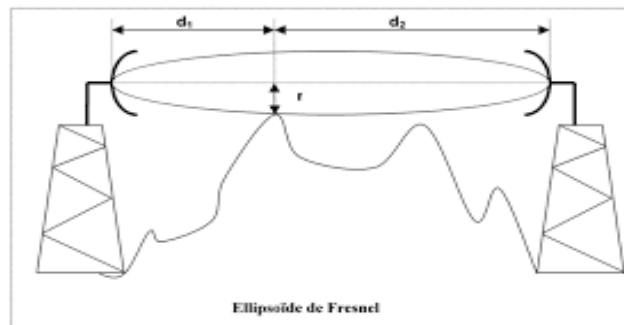


Figure 2-3 : Ellipsoïdes de Fresnel

L'ellipsoïde de Fresnel est l'espace défini par la relation :

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.2)$$

r : rayon de l'ellipsoïde

d1 : distance entre l'émetteur et le point M

d2 : distance entre le récepteur et le point M

λ : longueur d'onde de fonctionnement

r est maximum pour d1=d2

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

Plus la fréquence est faible, plus l'ellipsoïde sera grand, par exemple, pour une distance 10km avec une fréquence de 23GHz, le rayon maximum de l'ellipsoïde est de 5m. [14]

2-2-4- Propagation en espace libre

La propagation en espace libre est un cas théorique qui, dans la pratique, n'est que rarement vérifiée. Dans certain cas, il est toute fois possible de considérer que l'impact des obstacles environnants est négligeable et que par conséquent, l'affaiblissement du signal est très proche de celui de l'espace libre.

2-2-5- Propagation en visibilité

La présence de la terre et de l'atmosphère apporte diverses physiques : la réflexion, la réfraction, la diffraction, l'absorption que va subir le signal sur l'obstacle. Ces phénomènes peuvent perturber notablement la propagation en espace libre dans certaines circonstances. Ils peuvent également modifier profondément le champ calculé en espace libre. Pour déterminer si la propagation se fait dans des conditions de propagation en visibilité ou non, il convient de considérer les Ellipsoïdes de Fresnel.

2-2-6- Propagation en non-visibilité

Une liaison est considérée comme étant en non-visibilité lorsque le premier Ellipsoïde de Fresnel n'est pas du tout dégagé. Ce cas se présente, lorsque l'une des extrémités de la liaison est par delà de l'horizon, de l'autre extrémité où les liaisons sont réalisées avec des ondes décimétriques. Dans ce cas, le signal va subir les phénomènes de réflexion, d'absorption, de diffraction sur l'obstacle. Plus le milieu de propagation comprend d'obstacles, plus l'exposant d'atténuation va être élevé et l'atténuation de l'onde en fonction de la distance sera d'autant plus importante. [15]

2-3- Les antennes

2-3-1- Définition

Une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques. L'antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique, et ses caractéristiques (rendement, gain, diagramme de

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

rayonnement) influencent directement les performances de qualité et de portée du système. L'antenne est un conducteur électrique plus ou moins complexe généralement placé dans un endroit dégagé.

2-3-2- Polarisation d'une antenne

La polarisation d'une antenne est celle du champ électrique E de l'onde qu'elle émet. Certaines antennes ont une polarisation elliptique ou circulaire. Le fait d'utiliser deux antennes de polarisations différentes pour réaliser une liaison introduit des pertes supplémentaires importantes.

2-3-3- Diagramme de rayonnement

L'antenne isotrope est une antenne qui rayonne de la même façon dans toutes les directions, c'est un modèle théorique irréalisable dans la pratique. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions étant privilégiées : ce sont les lobes de rayonnement. 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. La proximité et la conductibilité du sol ou des masses conductrices environnant l'antenne peuvent avoir une influence importante sur la forme du diagramme de rayonnement.

2-3-4- Directivité

La directivité de l'antenne dans le plan horizontal est une caractéristique importante dans le choix d'une antenne.

- Une antenne équidirective ou omnidirectionnelle rayonne de la même façon dans toutes les directions du plan horizontal.
- Une antenne directive possède un ou deux lobes nettement plus importants que les autres qu'on nomme lobes principaux. Elle comporte également des lobes secondaires qu'on tente de minimiser. Elle sera d'autant plus directive que le lobe le plus important sera étroit. Si la station radio captée ne se trouve pas toujours dans la même direction il peut être nécessaire d'orienter l'antenne en la faisant tourner avec un moteur.

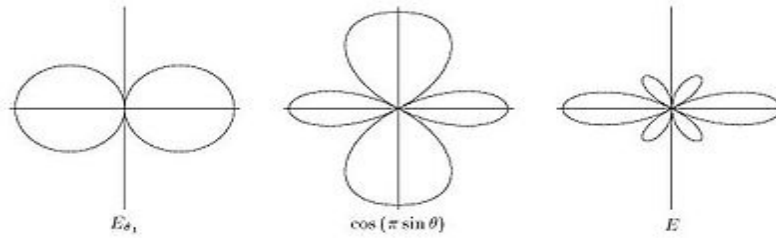


Figure 2-4 : Différents diagrammes d'émission d'antennes

2-3-5- Gain d'antenne

Le gain d'une antenne par rapport à l'antenne isotrope est ce qui caractérise le lobe principal. Il est dû au fait que l'énergie est focalisée dans une direction. Il s'exprime en **dBi** (décibels par rapport à l'antenne isotrope). Les mesures sur les antennes sont effectuées en espace libre. Une direction où le gain est faible peut être mise à profit pour éliminer un signal gênant (en réception) ou pour éviter de rayonner dans une région où il pourrait y avoir interférence avec d'autres émetteurs. [16]

Le gain d'une antenne est calculé à partir de la relation suivante :

$$G(u) = \frac{D_A}{D_p} \tag{2.3}$$

D_A : Densité de puissance par unité de surface produite par l'antenne dans une direction U à une distance d lorsqu'on lui applique une puissance P_0 .

D_p : Densité de puissance par unité de surface que produirait l'antenne isotrope à un même point et dans les mêmes conditions.

$$G(u) = 10 \log \frac{D_A}{D_p} \text{ (dB)} \tag{2.4}$$

Air équivalente à la réception

L'antenne est assimilée à une ouverture plane. A la réception une antenne capte une certaine puissance qui est proportionnelle :

- A la densité de puissance par unité de surface du champ dans laquelle elle est placée.
- A un coefficient dépendant de l'antenne et homogène à une aire que l'on appelle aire équivalente de l'antenne.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

Le rapport : aire équivalente/ aire réelle = rendement de l'antenne.

Une antenne peut être utilisée en E/R

On peut établir une relation entre le gain à l'émission et d'aire équivalente à la réception (S_e).

$$G = 4\pi S_e / \lambda^2 \quad (2.5)$$

En FHN, les antennes les plus utilisées sont les antennes paraboliques dans lesquelles le rayonnement provient d'une surface réfléchissante. Il y a réciprocité entre le comportement d'une antenne à l'émission et celui à la réception. [17]

2-4- Les faisceaux hertziens numériques

Le faisceau hertzien numérique est un système de transmission entre deux points fixes par propagation des ondes électromagnétiques en espace libre à l'aide des antennes très directives où la liaison est duplex, chaque extrémité est à la fois émetteur et récepteur.

2-4-1- Caractéristiques des FHN

Les faisceaux hertziens numériques acheminent principalement :

- Des multiplexes numériques de téléphonie dont le débit varie entre 2Mbis/s et 140Mbits/s.
- Transmission de données à grande vitesse.
- Visiophonie et la TV codée.

2-4-2- Structure générale d'une liaison FHN

Une liaison par faisceau hertzien numérique peut être :

Unilatérale (transmission TV).

Bilatérale (transmission des voies téléphoniques ou des données).

Une liaison FHN comprend généralement des stations relais actives ou passives qui permettent d'amplifier et de réémettre le signal vers la station destinataire.

La structure générale d'une liaison hertzienne (numérique ou analogique) sous forme simplifiée est composée de :

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

- une bande de base (HF)
- un modem (HF)
- un émetteur récepteur (SHF)
- un système d'exploitation : voie de service, télécommande, télésurveillance.....
- des antennes et des branchements hyper fréquences.

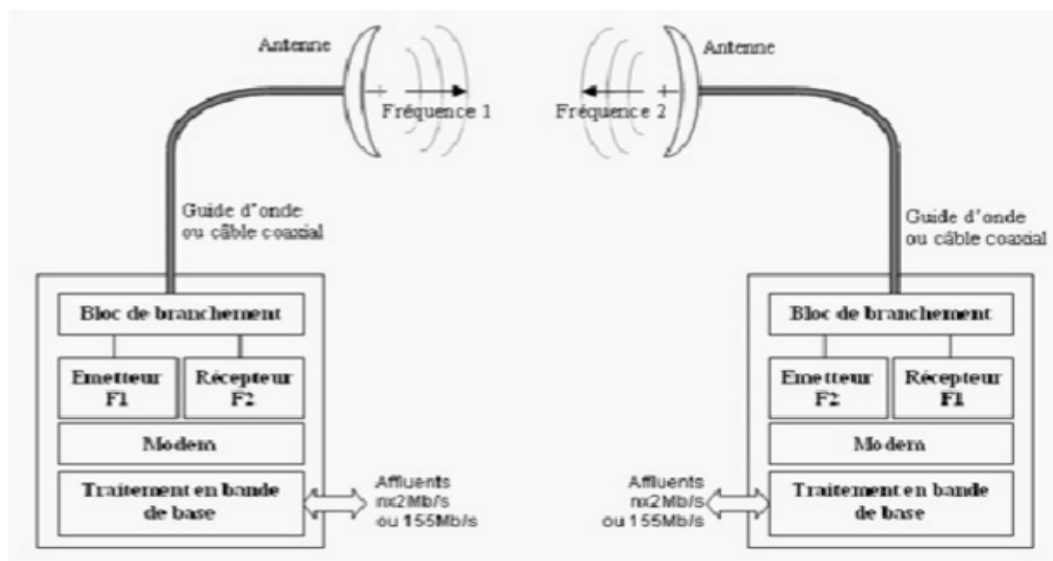


Figure 2-5 : synoptique d'une liaison hertzienne

2-4-2-1 Principe de fonctionnement

L'équipement de la bande de base permet de répartir les voies sur l'axe de temps selon la technique TDMA. Avant cette opération, le signal passe par un échantillonnage préalable formant une trame de durée égale à la durée de l'échantillonnage. Les multiplexeurs dépendent du débit binaire. Pour les fortes capacités, des multiplexeurs à 155 Mbits sont utilisés, ils servent à dissocier et à grouper les affluents issus des codeurs et décodeurs TV à 34 Mbits.

L'équipement F1 est constitué d'un modulateur/démodulateur. Il assure la transposition de la fréquence de la bande de base en une fréquence intermédiaire f_1 .

La modulation utilisée pour des fortes capacités telles que 140 et 155 Mbits est la modulation d'amplitude en quadrature (64QAM). Le signal F1 sera amplifié par un amplificateur à 3dB.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

A la réception, on utilise une démodulation cohérente. Le démodulateur restitue le signal amplifié et les signaux de service. L'équipement radiofréquence est constitué d'un émetteur-récepteur. Elle assure les fonctions suivantes :

- Amplification du signal à émettre et à recevoir.
- Transposition de la fréquence f_1 à la fréquence SH

L'opération inverse en réception

2-4-3- Eléments d'une liaison hertzienne

Emetteur : il est caractérisé par sa puissance émise T_x exprimée en dBm ou dBw.

Liaison émetteur-antenne émission : elle est généralement utilisée en câble coaxial, à très haute fréquence ($>$ quelques GHz), elle est caractérisée par son atténuation A_{EL} exprimée en dB

Dans les petits systèmes ou tout est intégré (wifi, téléphone mobile, etc....) cette liaison n'existe pas ($LE=0dB$)

Antenne émission : elle est caractérisée par son Gain d'antenne G_{TX} exprimé en dBi.

Distance : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur, elle introduit une atténuation A_{EL} (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$A_{EL} = 20. \log\left(\frac{4.\pi.d}{\lambda}\right) \quad (2.6)$$

Avec :

A_{EL} : Atténuation exprimée en dB.

λ : Longueur d'onde.

D : distance entre l'émetteur et le récepteur.

Liaison antenne réception- récepteur : comme la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation L_R exprimée en dB.

Antenne réception : elle est caractérisée par son gain d'antenne G_{RX} exprimée en dBi.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

Réception : le paramètre qui nous intéresse ici est R_x qui est la puissance reçue par le récepteur, elle est généralement exprimée en dBm

2-4-4- Condition de propagation

2-4-4-1- Faisceau hertzien à visibilité directe

On appelle liaison en visibilité directe une liaison dans laquelle le trajet entre antennes d'émission et de réception est suffisamment dégagé de tout obstacle pour que les phénomènes de diffraction sur le sol soient négligeables.



Figure 2-6 : faisceau hertzien à visibilité directe.

2-4-4-2- Faisceau hertzien transhorizon

Le Faisceau hertzien transhorizon utilise la diffusion et la diffraction des ondes électromagnétiques dans les zones turbulentes de la troposphère pour établir la liaison entre les antennes.

2-4-4-3- Ornalité d'une liaison hertzienne

La qualité d'une liaison hertzienne doit répondre à certaines normes et cela pour atteindre l'objectif visé, les conditions suivantes de la propagation en visibilité directe doivent être remplies :

- ✓ La droite de visibilité directe joignant les deux antennes ne doit pas rencontrer la surface du sol.

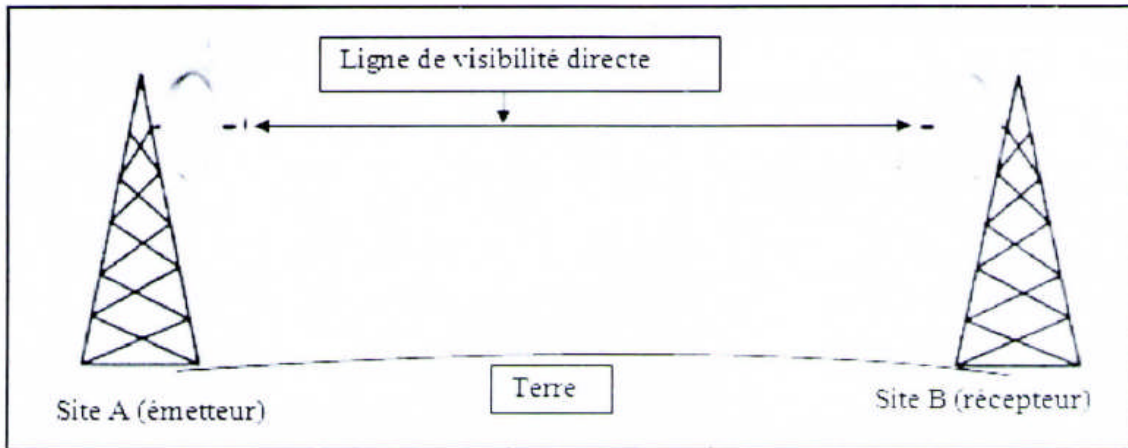


Figure 2-7 : dégagement de la ligne de visibilité (visibilité directe)

- ✓ L'ellipsoïde de Fresnel doit être dégagé au moins de 60% de tout obstacle.

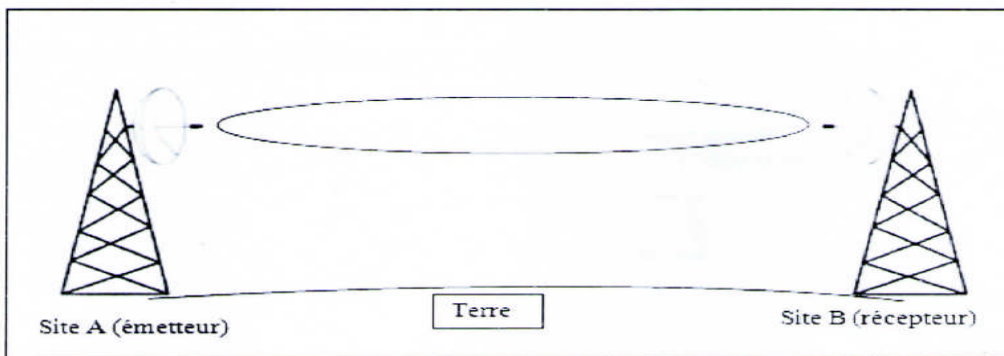


Figure 2-8 : dégagement dans l'ellipsoïde de Fresnel

- ✓ Le phénomène de réflexion et de diffraction tout le long du trajet hertzien doit être minime. Lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur est très importante (dépassé les 40Km), la continuité de la liaison est assurée par des stations relais.

2-4-4-4- Solution possible en cas de non visibilité

- Relais actif :

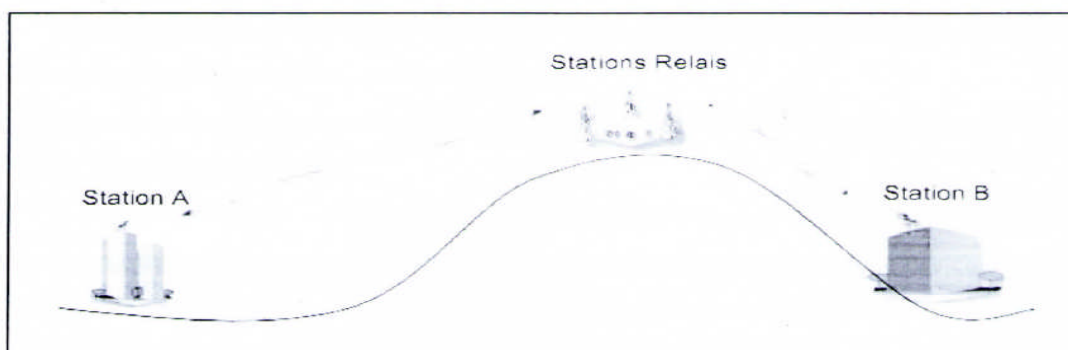


Figure 2-9 : cas d'un relais actif

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

Le relais actif permet d'assurer la transposition de la fréquence reçue en fréquence de réémission afin de réduire le phénomène d'interférence émission sur réception.

- Relais passif ou réflecteur :

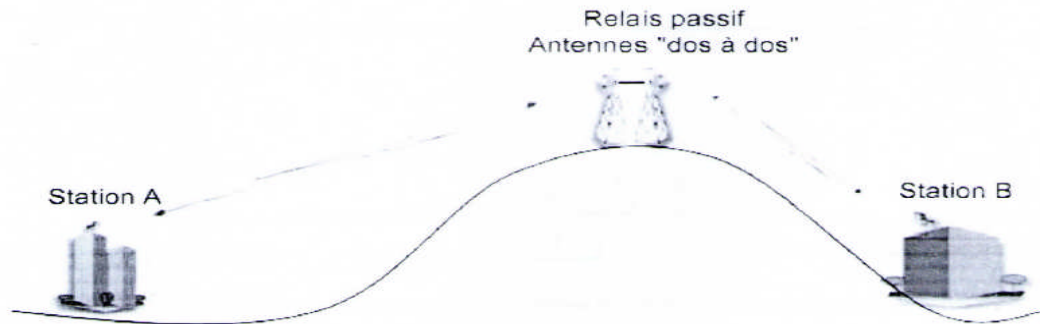


Figure 2-10 : cas d'un relais passif

Le relais passif a pour rôle de réfléchir les ondes radioélectriques dans le but de contourner un obstacle artificiel ou naturel. Il joue le rôle d'un véritable miroir.

Le relais passif peut être utilisé dans le cas où la distance séparant l'obstacle et l'une des extrémités ne dépasserait pas les trois kilomètres.

Les stations intermédiaires permettent d'assurer la visibilité entre la station de départ et la station d'arrivée. [18]

2-4-5- Effet de sol

Le sol est considéré comme un milieu dissipatif dont la constante diélectrique est bien définie. Il constitue un plan sur lequel les ondes sont réfléchies et qui présente des irrégularités. L'effet du sol se manifeste sous forme d'évanouissements et d'interférences dues aux phénomènes de réflexion et de diffraction sur des obstacles.

2-4-5-1- Réflexion

En transmission entre deux stations, l'onde électromagnétique peut parvenir le récepteur soit directement soit après réflexion sur le sol.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

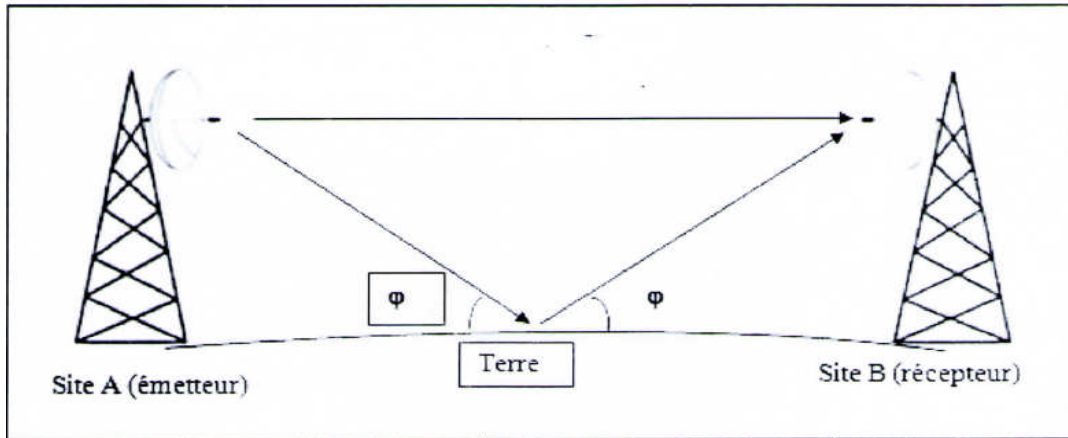


Figure 2-11 : réflexion de sol

Si la distance entre la station est telle que la courbure de la terre est négligée, l'onde sera réfléchié dans une seule direction et sans pertes d'énergie.

Un coefficient de réflexion présentant le rapport onde réfléchié et l'onde incidente sera établi. Il dépend de la nature du sol, de la polarisation de l'onde et de l'angle de l'incidence.

2-4-5-2- Diffraction

Le sol (terrain, bâtiment, végétation...) constitue un obstacle constitué dans les champs de faisceaux entre un émetteur et un récepteur. Il devient alors, une source d'émission secondaire qui donne le chemin détourné.

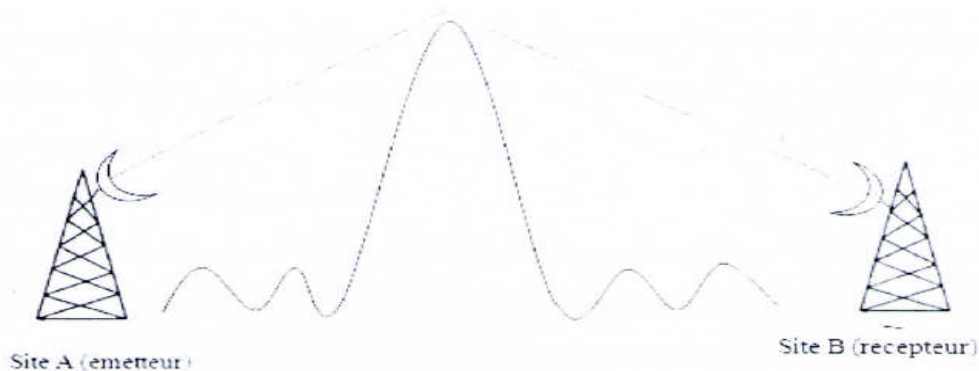


Figure 2-12 : phénomène de diffraction

2-4-6- Effet de l'atmosphère

En transmission par FHN, les ondes se propagent dans la couche de la troposphère, c'est la région de l'atmosphère qui constitue le siège de phénomènes météorologiques faisant intervenir l'eau, le brouillard, la pluie, etc.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-4-6-1- réfraction

Dans la troposphère, les ondes peuvent être très perturbées par la variation de la température et l'humidité. On rencontre une croissance de l'indice de réfraction dans certaines couches de l'atmosphère, par conséquent, la visibilité directe est perturbée.

2-4-6-2- Absorption par gazes atmosphériques

Les gazes contenues dans l'atmosphère telle que l'oxygène, la vapeur d'eau, influent lourdement sur les ondes radioélectriques sous forme :

- Absorption moléculaire de l'énergie HF.
- Absorption et diffusion par les particules liquides et solides contenues dans l'atmosphère.
- Atténuation dues à l'atmosphère.

2-4-7- Perturbations en transmission FHN

2-4-7-1- Perturbations naturelles

Elles se manifestent par les atténuations apportées par les obstacles proches du trajet de la liaison hertzienne. De plus, l'atténuation apportée par les arbres, varie en fonction de leur hauteur, forme et densité.

❖ Atténuation due à la pluie

L'atmosphère contient des gouttes d'eau qui provoquent une atténuation importante pour les ondes radioélectriques de fréquence supérieure à 1GHz. Cette atténuation ne se manifeste qu'en présence d'une pluie d'intensité significative dont les gouttes sont de diamètre variant entre 0.1 et 6 mm.

❖ Atténuations dues au brouillard

Dans le système FHN, les ondes subissent un certain affaiblissement lorsqu'elles traversent des zones de pluie, de neige ou de grêle.

2-4-7-2- Perturbations artificielles

Généralement, elles sont dues aux constructions. On sait que le milieu urbain est caractérisé par un fort coefficient d'occupation du sol (COS) tels qu'un centre ville, zones industrielles alors que les zones suburbaines et rurales sont caractérisées par un COS moyen. Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit supérieure à la sensibilité du récepteur.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

De plus, on prendra généralement une marge (on essaiera d'avoir des dB en plus) pour tenir compte des atténuations supplémentaires qui peuvent être dues à des réflexions multiples ou à la météo (pluie, neige, brouillard, etc...) [19]

2-4-8- Principaux types de liaisons

- 1+0 Faisceau simple non secouru
- 1+1 Faisceau secouru
- 2+0 Faisceau double non secouru

2-4-9- Bandes de fréquences disponibles

- 1,5 GHz (50Km)
- 13 GHz (25Km)
- 23 GHz (10 Km)
- 26 GHz (7Km)
- 38GHz (4Km)

2-4-10- Plan de fréquence

Pour le calcul de plan de fréquence, on utilise un Analyseur de spectre, le tableau suivant donne les grandes lignes du partage du spectre par les liaisons hertziennes utilisées par Algérie télécom. [20]

Bande de fréquence	Sous bande basse (MHz)	Sous bande haute (MHz)	Ecart duplex (MHz)	Espace canal (MHz)
15 GHz	14501.00 jusqu'à 14613.00	14921.00 jusqu'à 15033.00	420	7/14/28
18 GHz	18465.50 jusqu'à 18679.50	19475.50 jusqu'à 19689.50	1010	7/14/28
28 GHz	22484.00 jusqu'à 22589.00	23492.00 jusqu'à 23597.00	1006	7/14/28

Tableau 2-1 : plan de fréquences utilisé par Algérie télécom

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-5-Modulation pour faisceau hertzien numérique

Les ondes radio sont des ondes sinusoïdales. Les modulations possibles sont des modulations d'amplitude, de fréquence et de phase. Etant donné que les signaux à transmettre sont de signaux numériques, ils ne peuvent prendre que quelques états possibles, ce qui permet d'utiliser des techniques optimales de modulation et de démodulation.

Dans le FHN on utilise un type particulier de modulation dite modulation numérique ou modulation sur fréquence porteuse : ASK, FSK et PSK. Aujourd'hui, pour mieux conserver la bande passante, la modulation QAM est la plus utilisée.

2-5-1- Modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

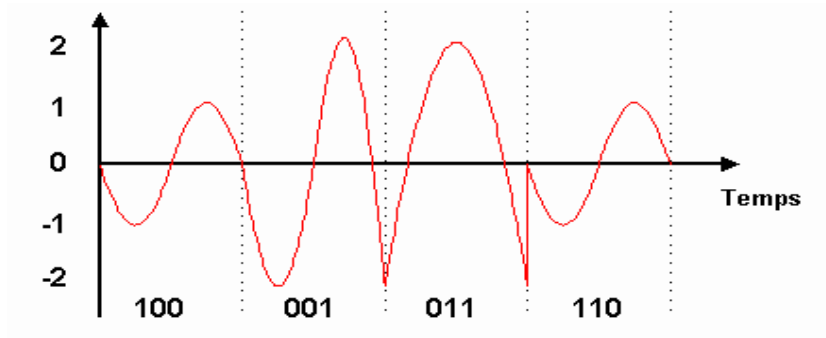
La modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ou modulation d'amplitude en quadrature de phase est une technique qui emploie une combinaison de modulation de phase et d'amplitude. Elle est largement employée par les modems pour leur permettre d'offrir des débits binaires élevés.

Prenons par exemple un signal modulé QAM avec 3 bits transmis par baud. Une telle modulation requiert donc 2^3 soit 8 combinaisons binaires différentes. Dans notre exemple, nous prendrons 2 amplitudes combinées avec 4 décalages de phase différents. La table de correspondance pourra être du type :

Groupe de bit	Amplitude	Décalage de phase
000	1	0
001	2	0
010	1	$\frac{1}{4}$
011	2	$\frac{1}{4}$
100	1	$\frac{1}{2}$
101	2	$\frac{1}{2}$
110	1	$\frac{3}{4}$
111	2	$\frac{3}{4}$

Exemple de codage de la suite binaire 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 à partir de la table ci-dessus :

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique



Les combinaisons possibles en modulations QAM sont souvent représentées par une constellation de points représentant chacun un groupe de bits.

✓ Modulation 4QAM

Principe: le signal numérique entrant $A(t)$ de débit D et d'horloge H est divisé en 2 signaux P et Q de débit $D/2$ et d'horloge $H/2$. Chacun de ces signaux module en amplitude des porteuses déphasées de $\pi/2$ l'une par rapport à l'autre. Les deux signaux sont additionnés par un coupleur de sortie.

$$S(t) = P \cdot \cos \omega_0 t + Q \cdot \sin \omega_0 t \quad (2.7)$$

Les signaux P et Q sont des signaux à deux états de phase à la fréquence $F/2$.

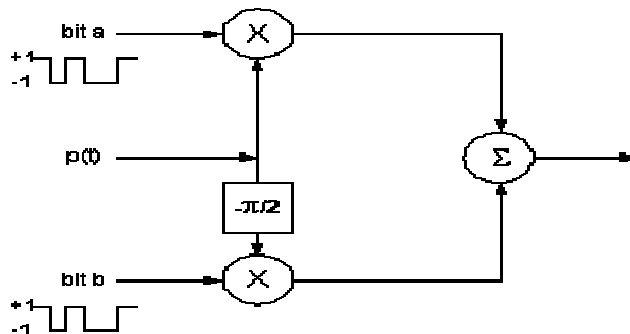


Figure 2-13 : Schéma électrique de la modulation QAM

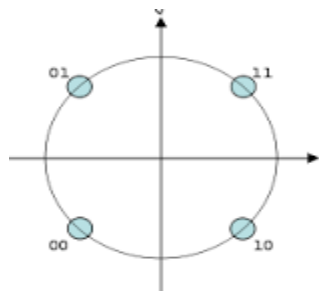


Figure 2-14 : Représentation de la modulation 4QAM dans le plan de Fresnel

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

La démodulation s'effectue sur le même principe en utilisant deux démodulateurs déphasés de $\pi/2$ de fréquence F récupérés à partir du signal reçu, ce qui permet de séparer par filtrage les canaux de bande de base P et Q .

C'est une modulation efficace, car le débit d'information est doublé, cependant il faut des filtres symétriques par rapport aux fréquences centrales sinon il y a création de distorsion inter symbole (mélange des deux voies), et on remarque un bruit de phase de la porteuse plus important.

➤ Modulation 16QAM

Même principe que la 4QAM, mais ici, pour transmettre 4 bits par symbole, on utilise deux porteuses qui seront modulées en amplitude par 4 niveaux (3, 1, -1, -3), ce qui conduit dans le plan de Fresnel

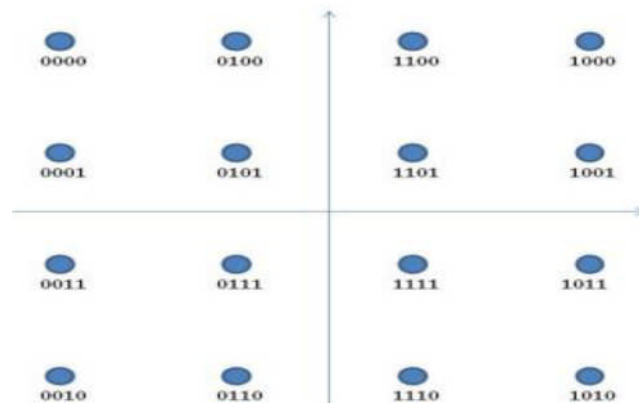


Figure 2-15: Représentation de la modulation 16QAM dans le plan de Fresnel

Il faudra faire attention au bruit en réception, en effet la modulation 16QAM est plus sensible au bruit, les points sont plus proches, il y a plus de risque de distorsion.

- Taux d'erreur

TEB(Taux d'Erreur Bit) = Nbr de bits reçus erronés/ Nbr de bits reçus.

Il y a erreur lorsque le bruit conduit à une erreur d'interprétation du symbole. Le taux d'erreur varie très rapidement en fonction du rapport signal à bruit.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-6- Signaux à transmettre et multiplexage

2-6-1- Signaux numériques

La plupart des signaux à transmettre sont des signaux analogiques : sons, voix humaine, images, etc. Ces signaux sont donc numérisés avant d'être transmis.

Ordres de grandeurs des débits nécessaires :

- voix humaine (300 – 3400 Hz) codée à 64kbit/s
- données codées de 300 bit/s à 2 Mbit/s (data)
- image animée, cinéma ou TV : de 216 Mbit/s à 128 kbit/s (dépendant de la qualité voulue)

Pour numériser un signal, il est tout d'abord échantillonné, ce qui lui permet d'être converti en nombre binaire ; et il est ensuite quantifié, pour lui attribuer un niveau de tension par rapport à son échantillonnage ; et pour terminer, il est codé pour être ainsi transmis.

Afin de conserver un rapport signal à bruit constant quelle que soit la valeur de l'échantillon, les segments de quantification sont comprimés selon une loi logarithmique et codés sur 8 bits ; 8 bits tous les 125µs.

2-6-2- Multiplexage des signaux numériques

Pour être transmis entre les centraux téléphoniques, les voies téléphoniques sont multiplexées. Les éléments binaires issus de la numérisation sont donc multiplexés dans le temps pour construire une trame.

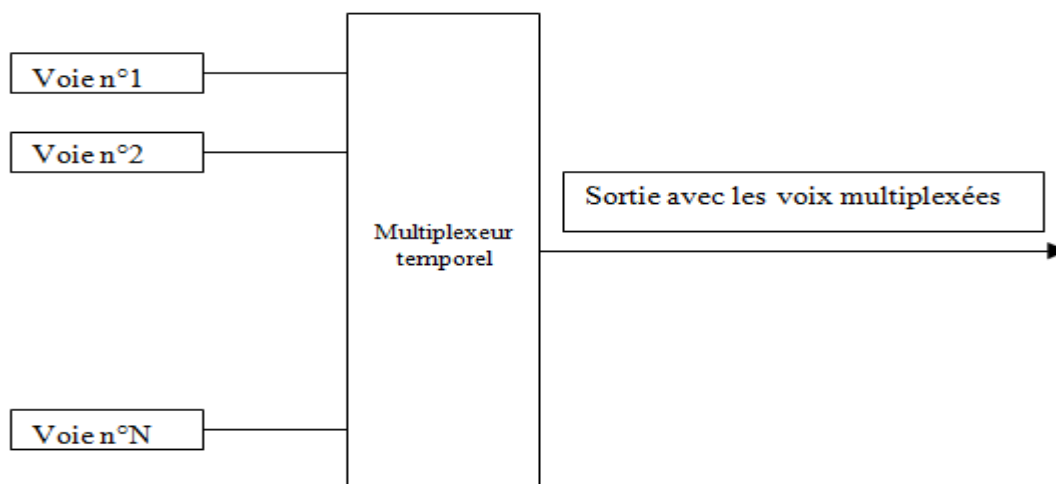


Figure 2-16 : multiplexage des signaux numériques

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

-la trame après multiplexage a un débit de 2Mbit/s.

La période de $125\mu s$ comprise entre échantillons consécutifs d'une même voie est divisée en 32 intervalles de temps notés IT 0 à IT 31 (IT : Intervalles de Temps).

Par convention, l'IT 0 et l'IT 16 sont réservés aux besoins de l'opérateur. Il reste donc 30 IT pour transporter l'information, soit 30 voies. Cette structure périodique est dite « trame MIC », et ce multiplexage par répartition dans le temps est un multiplexage TDM (Time Division Multiplexing).

IT i voie I

32 intervalles de temps (IT) de 8 bits, soit 256 bit par trame. Durée de la trame : $125\mu s$ (fréquence de trame : $w=228kHz$) Débit nominal = $(32*8) \text{ bits} / 125\mu s = 2048 \text{ Kbits/s}$

Durée d'un IT (une voie) : $3.9\mu s$, soit 64kbit/s par voie

Durée d'un bit : 488ns

L'IT0 sert de drapeau permettant la synchronisation entre émetteur et récepteur.

L'IT16 supporte à tour de rôle la signalisation de 2 IT de la trame. [21]

2-7- Equipements d'un faisceau hertzien

Le FH contient les équipements suivants :

- IDU (Indoor Unit), unité intérieure ;
- ODU (Outdoor Unit), unité extérieure ;
- Antennes ;
- Câble IF (fréquence intermédiaire) ;
- Pylône ;



Figure 2-17: Equipements d'un FH

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-7-1- IDU (Indoor Unit)

L'IDU est l'équipement qui a pour fonction globale la modulation et la démodulation du signal qu'il reçoit ; il permet de générer les E1(MIC) avec un débit généralement de 2Mbits/s. Il peut être considéré en 1+0 (sans protection) ou en 1+1 (avec protection).

L'IDU (1+1) permet de générer des signaux identiques l'un en fonction normale et l'autre en relais effectuant une commutation automatique de canaux lorsque la première liaison est défectueuse.



Figure 2-18 : exemple d'un IDU (NEC IPASOLINK 1000)

2-7-2- ODU (Outdoor Unit)

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



Figure 2-19 : Exemple d'ODU NEC ipasolink

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-7-3- Parabole ou antenne FH

C'est un dispositif qui réalise la transformation d'une onde électrique en une onde magnétique en vue de sa propagation dans l'espace. La transformation inverse est aussi réalisée par le même dispositif. C'est donc un dispositif réciproque.

2-7-4- Câble coaxiale

Il s'interface entre l'IDU et l'ODU, il véhicule le signal de fréquence intermédiaire issu du modem.

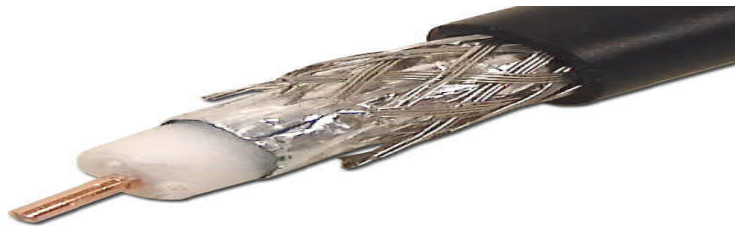


Figure 2-20 : câble coaxial

2-7-5- Pylône

C'est un support en charpente métallique sur lequel on installe toute la partie extérieure des équipements d'émission et de réception, à savoir, les ODU et les antennes. Le pylône est une structure métallique permettant la fixation d'une antenne et assurant la résistance aux effets de vents et aux corrosions. Il peut avoir des pattes pour son ancrage sur le toit des bâtiments.



Figure 2-21 : pylône.

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-8- Planification d'une liaison FH

Avant toute chose on doit :

- Faire une étude de visibilité à partir des lieux en utilisant soit le logiciel Google Earth ou à l'aide de jumelle ou en utilisant des miroirs dans les deux sites. (choix du site) ;
- Distinguer la hauteur de l'antenne ;
- Utiliser un altimètre (mesurer l'altitude), ça nous permettra de déterminer à quelle hauteur mettre l'antenne ;
- Utiliser le GPS pour déterminer la distance entre le site A et le site B, ça nous permettra d'indiquer la bande de fréquence et la puissance de notre liaison ;
- Déterminer la bande de fréquence ;
- Déterminer le diamètre de l'antenne ;
- Type de l'antenne ;
- Déterminer le type de polarisation à utiliser ;
- Calcul du bilan de liaison ;

Le bilan de liaison a pour but de calculer la marge, c'est-à-dire, la différence entre la puissance du signal reçu à l'entrée du démodulateur et la puissance minimale que doit recevoir le récepteur pour assurer une démodulation correcte.

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

- ✓ **Puissance d'émission** : c'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut tolérer, elle est couramment comprise entre 20 et 30 dBm.
- ✓ **Seuils et réception** : définis par rapport à un taux d'erreur binaire donné ($TEB=10^{-3}$ ou 10^{-6}), ils traduisent la capacité pour le récepteur à traiter le signal affaibli après propagation. Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation, ils sont généralement compris entre -65 et -96 dBm.
- ✓ **Pertes de branchement** : pour les équipements ne présentant pas d'antennes intégrées, il est nécessaire de relier par un câble coaxial ou un guide d'onde

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

émetteur/récepteur à l'antenne. Ces déports induisent des pertes linéiques de 1 à plusieurs dB, auxquels s'ajoutent les pertes dues aux connecteurs et autres éléments de branchement.

- ✓ **Gain de l'antenne :** les antennes principalement paraboliques apportent un gain de puissance (de l'ordre de 25 à 45 dB) d'autant plus que leur diamètre est important. La directivité du faisceau augmente avec la bande de fréquence et les diamètres de l'antenne.

2-9- Description du réseau de télécommunication FHN d'Algérie télécom

Les systèmes SDH sont constitué de :

- ✓ **Liaisons nationales :**
 - Une liaison à 07 canaux 155Mb/s (7+1) reliant les nœuds principaux : Oran-Alger et Canstantine.
 - Une liaison à 04 canaux 155Mb/s (4+1) reliant le nord et le sud entre : Alger-Ouargla.
- ✓ **Liaisons régionales :**
 - Une liaison à 03 canaux 155Mb/s (3+1) reliant : Alger-Lakhdaria-Bouira.
 - Une liaison à 02 canaux 155Mb/s (2+1) reliant : Ain Defla-Tiaret-Saida.
 - Une liaison à 02 canaux 155Mb/s (2+1) reliant : Souk Ahras- Tebessa.
 - Une liaison à 02 canaux 155Mb/s (2+1) reliant : In Amenas, Hassi Messaoud-Ouargla.
 - Une liaison à 02 canaux 155Mb/s (1+1) reliant : Adrar-Timimoun-El Golea.
 - Une liaison à (4+1) reliant : Batna-Biskra-El Oued-Ouargla RFCS fin septembre 2006.
 - Une liaison (4+1) reliant : Canstantine-O.E.B-Tebessa RFCS fin juin 2006.

Si dessous la carte du réseau FHN à l'échelle nationale :

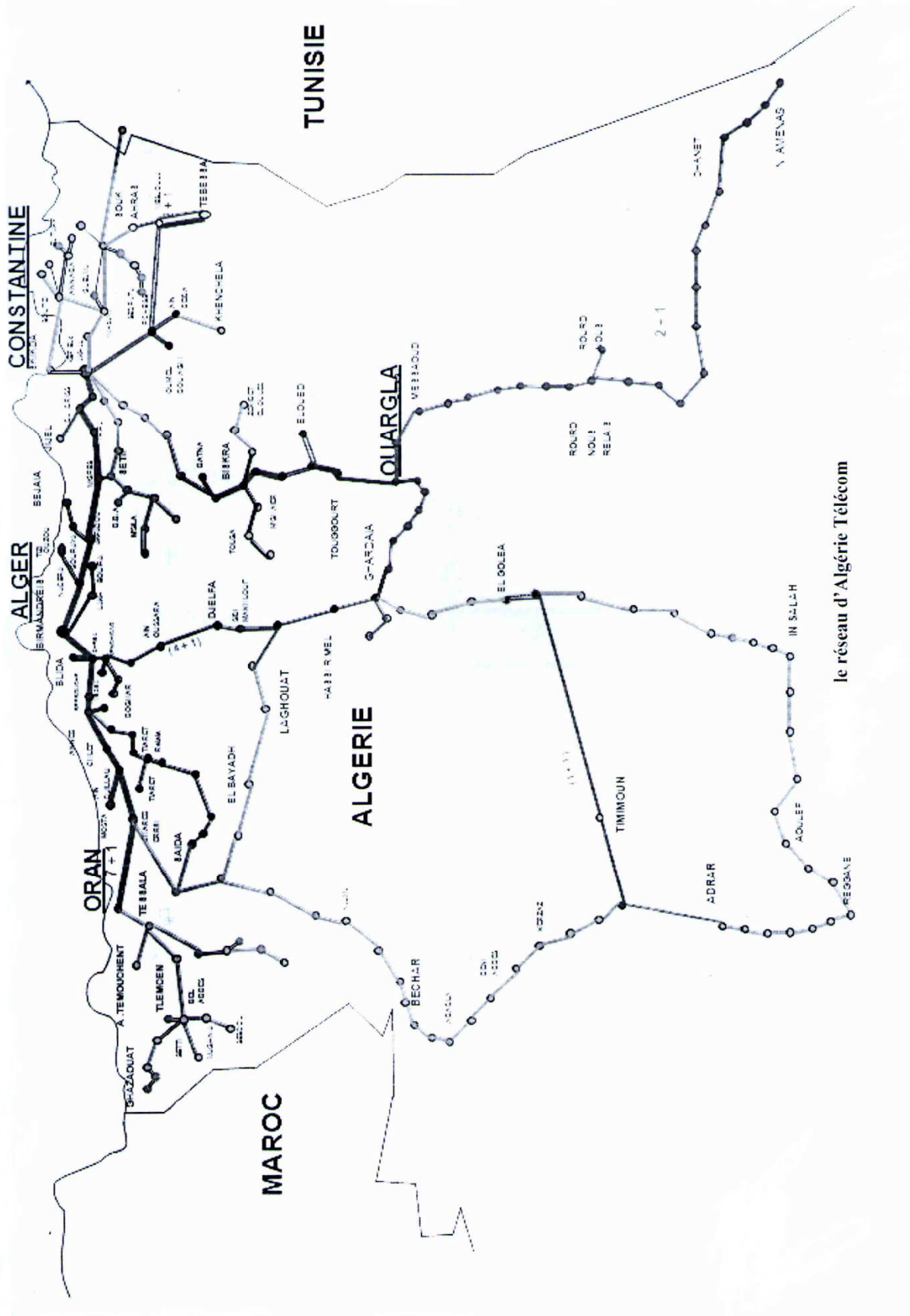


Figure 2-22 : Réseau d'Algérie Telecom

Chapitre II : Faisceau Hertzien Numérique

2-10- Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les différentes caractéristiques des faisceaux hertziens numériques, ce sont des supports de transmission qui utilisent l'espace libre mais qui peuvent subir plusieurs perturbations naturelles et artificielles.

Après avoir fait connaissance des caractéristiques de notre système de transmission, on passe à l'analyse d'un réseau existant dans le réseau d'ALGERIE TELECOM au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

3-1- Introduction

Dans ce chapitre, on va d'abord présenter le réseau de transmission par FHN de la wilaya de Tizi-Ouzou ainsi que sa configuration. On va ensuite étudier l'ensemble des caractéristiques des deux liaisons Akbil_A.E.H et Tirmitine_Balloua et enfin calculer leur bilan de liaison.

3-2- Réseau de transmission

Le réseau de transmission de la wilaya de Tizi-Ouzou se compose essentiellement de Faisceaux Hertziens Numériques et de fibre optique.

Vu le relief accidenté de la wilaya, le moyen de transmission le plus répandu reste le faisceau hertzien et la radio rural.

Le faisceau hertzien est utilisé pour les liaisons à grande capacité (jusqu'à 34Mbits/s), la radio rurale pour des petites capacités allant jusqu'à huit circuits.

3-3- Configuration actuelle du réseau de transmission par FHN dans la wilaya de Tizi-Ouzou

Le réseau de communication numérique de la wilaya de Tizi-Ouzou est de configuration en étoile. Voici la carte géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou qu'on a pu visualiser à l'aide du logiciel Google Earth.

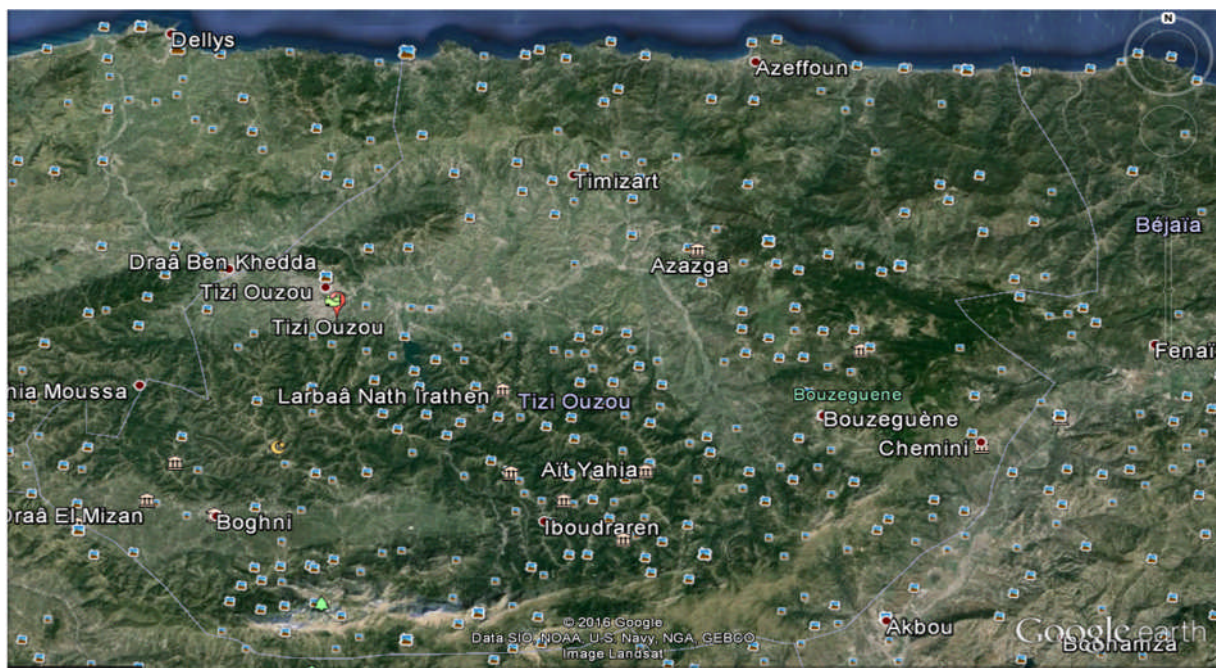
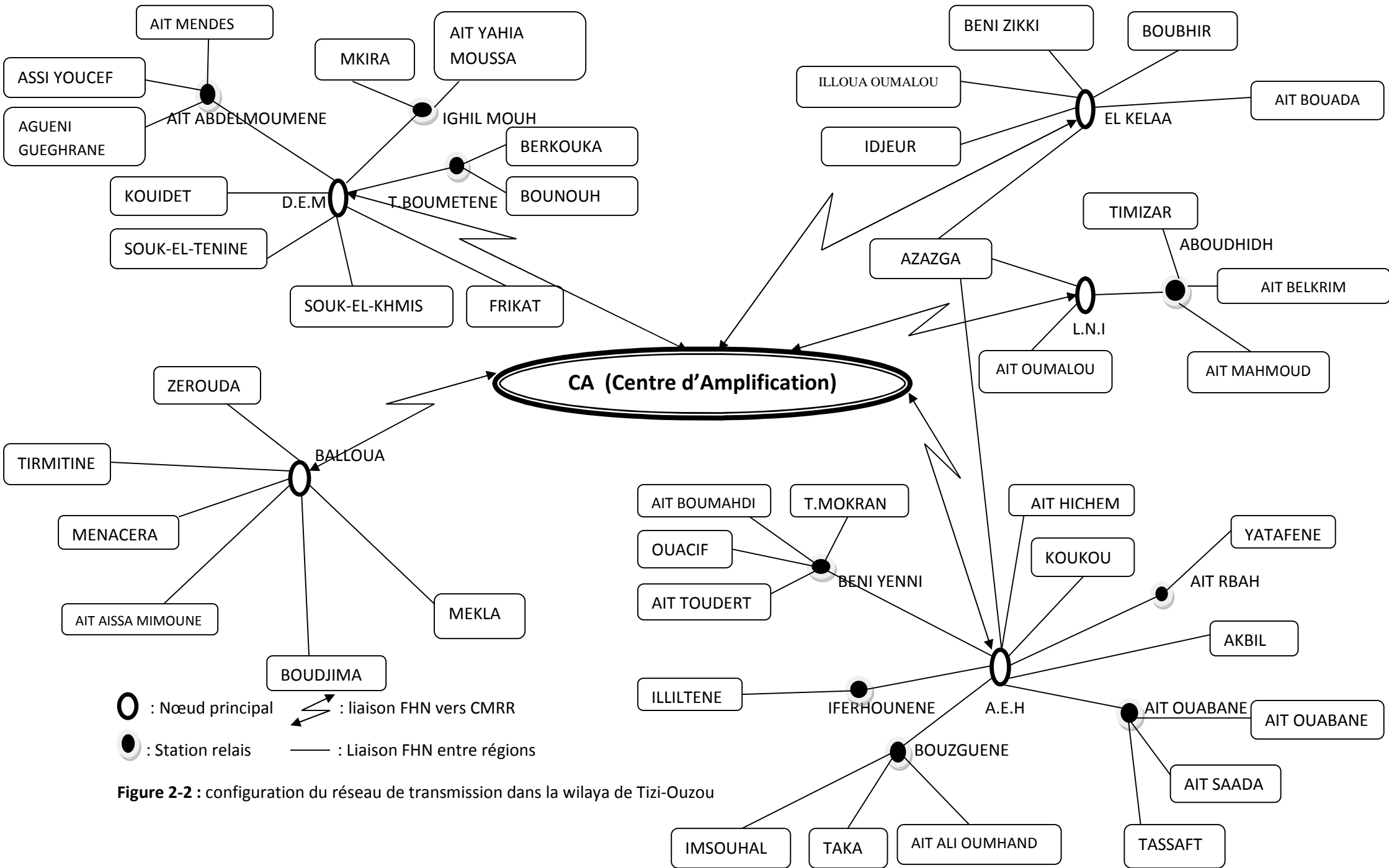


Figure 3-1 : Map géographique présentant la localisation de la wilaya de Tizi-Ouzou



Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

On remarque que toutes les liaisons sont reliées vers le CA (Centre d'Amplification) de Tizi-Ouzou, on a utilisé des stations relais dans le but d'assurer la visibilité entre les liaisons.

3-4- Etude des liaisons Akbil_A.E.H et Tirmatine_Balloua

Pour les deux liaisons, l'équipement utilisé est IPASOLINK 200 AMR. Pour commencer, on va étudier la liaison Akbil_A.E.H

3-4-1- Caractéristiques radio électriques de la liaison Akbil_A.E.H

Station Caractéristiques	Akbil	A.E.H
Fréquence d'émission Em(MHz)	23597	22589
Fréquence de réception Rx(MHz)	22589	23597
Polarisation	verticale	verticale
Type de liaison	16*2+LAN (80 Mbit/s)	
Bande de fréquence	23 GHz	
Sous bande	C (High)	C (Low)
Ecart de fréquence (shifter) (MHz)	18/1010	
Puissance d'émission (dBm)	19	
Puissance au seuil de réception (dBm)	-65	
Modulation	128QAM	
Longueur du bond(Km)	10	
Débit (Mbit/s)	150	
Protection des canaux	1+0	
Alimentation (V)	-48	
Hauteur des pylônes (m)	37	37
Diamètre des antennes (m)	0.6	0.6
Hauteur des antennes (m)	9	15
Longueur du câble coaxiale (m)	8	25

Tableau 3-1 : caractéristiques radio électriques de la liaison Akbil_A.E.H

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

3-4-2- Caractéristiques radios électriques de la liaison Tirmatine_Balloua

Dans le deuxième cas, on va étudier la liaison Tirmatine_Balloua, c'est une liaison à visibilité directe. Balloua est l'un des principaux nœuds au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, elle relie plusieurs stations.

Station	Tirmatine	Balloua
Caractéristiques		
Fréquence d'émission Em(MHz)	22589	23597
Fréquence de réception Rx(MHz)	23597	22589
Polarisation	verticale	verticale
Type de liaison	16*2+FE+GE (800 Mbit/s)	
Bande de fréquence	23 GHz	
Sous bande	C (High)	C (Low)
Ecart de fréquence (shifter) (MHz)	23/1008	
Puissance d'émission (dBm)	20	
Puissance au seuil de réception (dBm)	-65	
Modulation	256QAM	
Longueur du bond(Km)	7.7	
Débit (Mbit/s)	400	
Protection des canaux	1+0	
Alimentation (V)	-48	
Hauteur des pylônes (m)	25	47
Diamètre des antennes (m)	0.6	0.6
Hauteur des antennes (m)	24	40
Longueur du câble coaxiale (m)	30	50

Tableau 3-2 : caractéristiques radio électriques de la liaison Tirmatine_Balloua

3-4-3- Analyse de liaison

On remarque d'après les tableaux que les deux liaisons ont la même bande de fréquence.

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

a- Position du site

La reconnaissance des sites est indispensable, suite à cette reconnaissance, une localisation de station est définie en position : latitude, longitude et altitude. Le trajet direct entre l'antenne d'émission et de réception ne doit jamais se rapprocher des obstacles éventuels en particulier de la surface du sol.

b- Type de liaison : bilatérale

Pour transmettre bilatéralement un signal sur un trajet, il faut au moins deux canaux. On affecte un canal unique à un sens de transmission. Ces canaux peuvent subir des brouillages et des perturbations.

Pour réduire ces possibilités, le CCIR a procédé à une disposition des canaux radioélectriques de façon à partager la bande passante en deux demi-bandes (demi-bande basse et demi-bande haute) dans le but d'améliorer l'occupation spectrale tout en regroupant les canaux d'émission ensemble et les canaux de transmission ensemble.

c- Configuration : 1+0

Les liaisons que nous avons étudiées sont de type 1+0 : un canal de normal et pas de canal de secours, mais malgré cela, toutes les liaisons FHN doivent être secourue pour assurer la continuité du trafic.

d- Type de multiplexage

Les deux liaisons utilisent le multiplexage temporel (TDM) qui consiste à affecter à chaque utilisateur, pendant un court instant, à tour de rôle, l'usage exclusif de toute la bande passante disponible. Le canal est supposé dans le domaine fréquentiel. Ce multiplexage est utilisé puisqu'il permet l'amélioration de l'occupation spectrale et il permet de transmettre le maximum d'informations dans la bande la plus étroite possible.

e- Les antennes

Les installations de radiocommunication par faisceau hertzien se composent de deux antennes paraboliques, l'une à l'émission et l'autre à la réception, leur rôle principal est d'assurer l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation. Pour ces deux liaisons, les antennes utilisées sont de 0.6m.

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

f- Polarisation des antennes

Pour les liaisons longues distance, on a choisi la polarisation verticale car le signal est meilleur et l'information est reçue sans distorsions. Tandis que la polarisation horizontale est employée pour les courtes distances. La polarisation verticale peut diminuer le temps d'interruption de 30% par rapport à la polarisation horizontale. Pour un bon fonctionnement d'une liaison, il faut que l'antenne d'émission soit polarisée de la même façon que l'antenne de réception.

g- Source d'alimentation

Les équipements sont alimentés par une tension de 48V, un groupe électrogène est nécessaire en cas d'urgence.

h- Protection nécessaire

Les équipements et les pylônes sont protégés par des mises à la terre à l'aide des plaques en cuivre et les antennes sont protégées à l'aide des parafoudres.

3-5- Etude cartographique

Pour étudier la liaison FHN on doit d'abord reconnaître le profil de trajet entre les deux stations, pour cela on dispose de la carte topographique de la zone en étude.

3-5-1- dégagement du trajet et examen de profil

Grace au logiciel Google Earth, on a pu visualiser les deux liaisons Tirmatine_Balloua et Akbil_A.E.H et extraire les caractéristiques de chaque site.

➤ Coordonnées géographiques des quatres sites sites :

- Tirmatine

Longitude : 3°59'21''N

Latitude : 36°41'3''S

Altitude : 170m

- Balloua

Longitude : 4°2'58''N

Latitude : 36°44'0''S

Altitude : 667m

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

- Akbil
Longitude : 4°18'25''N
Latitude : 36°31'23''S
Altitude : 800m
- A.E.H
Longitude : 4°12'49''N
Latitude : 36°21'31''S
Altitude : 1207m

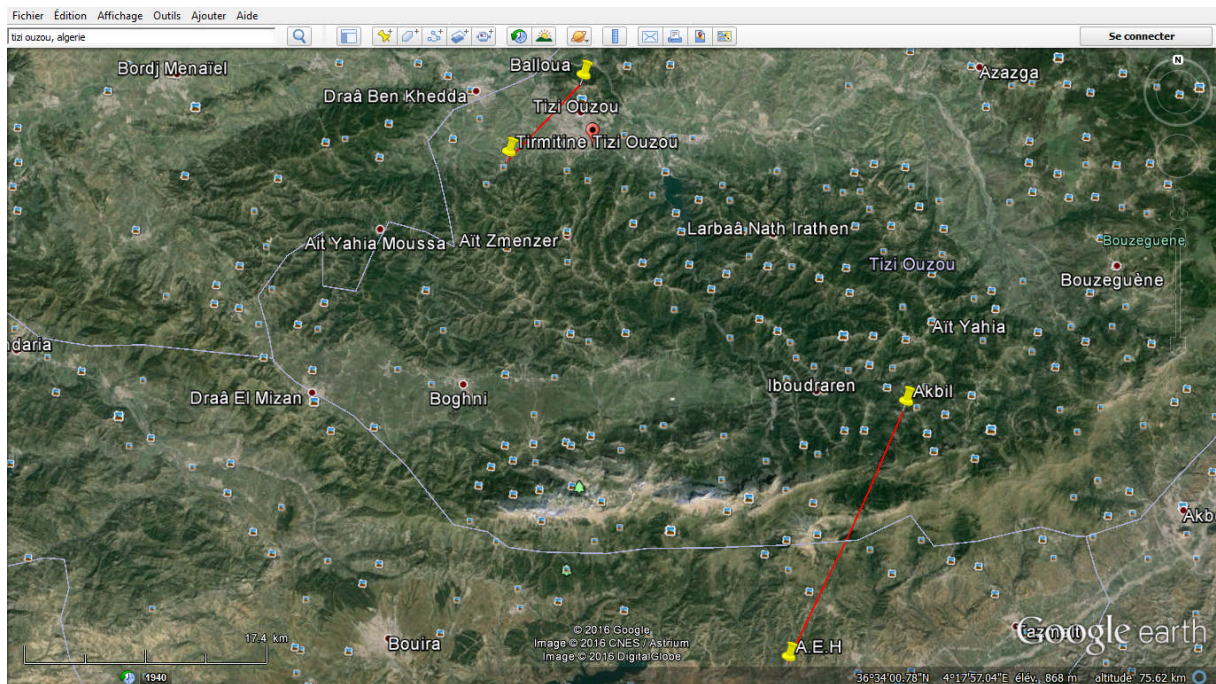


Figure 3-3: Visualisation des deux liaisons à l'aide de Google Earth

3-5-2- Traçage du profil de dénivellation

Le traçage du profil terrestre nécessite un programme de simulation développé par le logiciel MATLAB.

➤ Profil de dénivellation pour la liaison Tirmitine_Balloua

Les données nécessaires sont la distance et l'amplitude, elles sont représentées dans le tableau suivant :

Distance (Km)	0	0.75	1.5	2.25	3	3.75	4.5	5.25	6	6.75	7.79
Altitude (m)	164	130	94	75	153	142	102	130	192	426	658

Tableau 3-3 : distance du bond Tirmitine_Balloua

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

On trace le profil de dénivellation grâce au programme de simulation développé par le logiciel MATLAB.

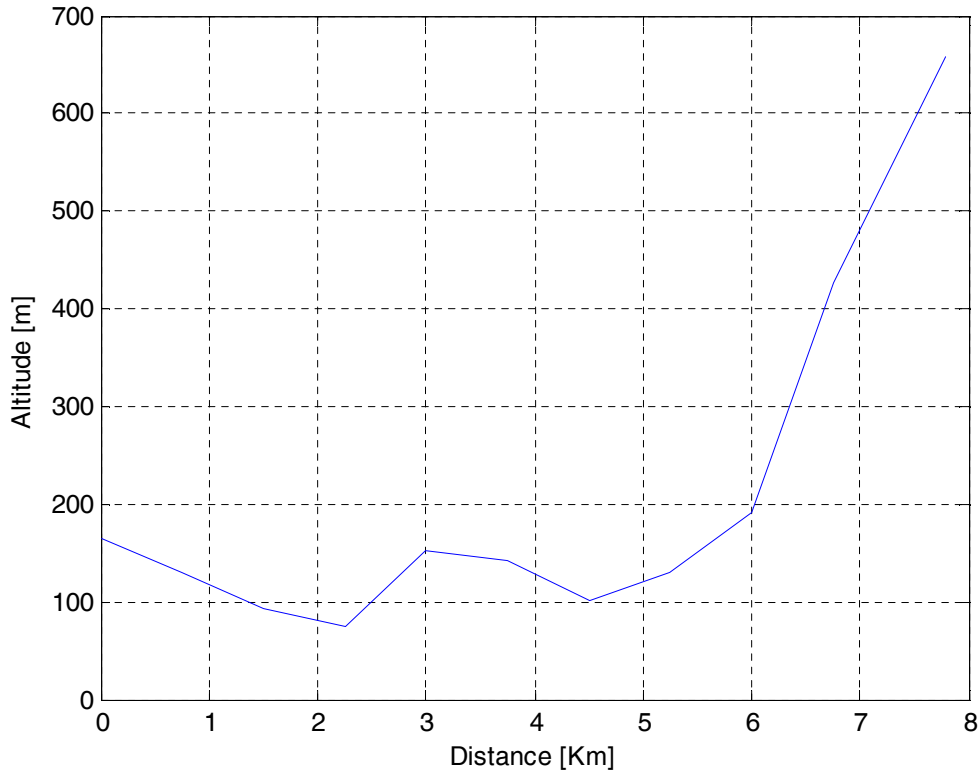


Figure 3-4 : profil de dénivellation de la liaison Tirmitine_Balloua

➤ **Profil de dénivellation pour la liaison Akbil_A.E.H**

Les données nécessaires sont représentées dans le tableau suivant :

Distance (Km)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Altitude (m)	1807	1517	1208	1514	1775	1223	932	833	872	816	812

Tableau 3-4 : distance du bond Akbil_A.E.H

On trace le profil de dénivellation grâce au programme de simulation développé par le logiciel MATLAB.

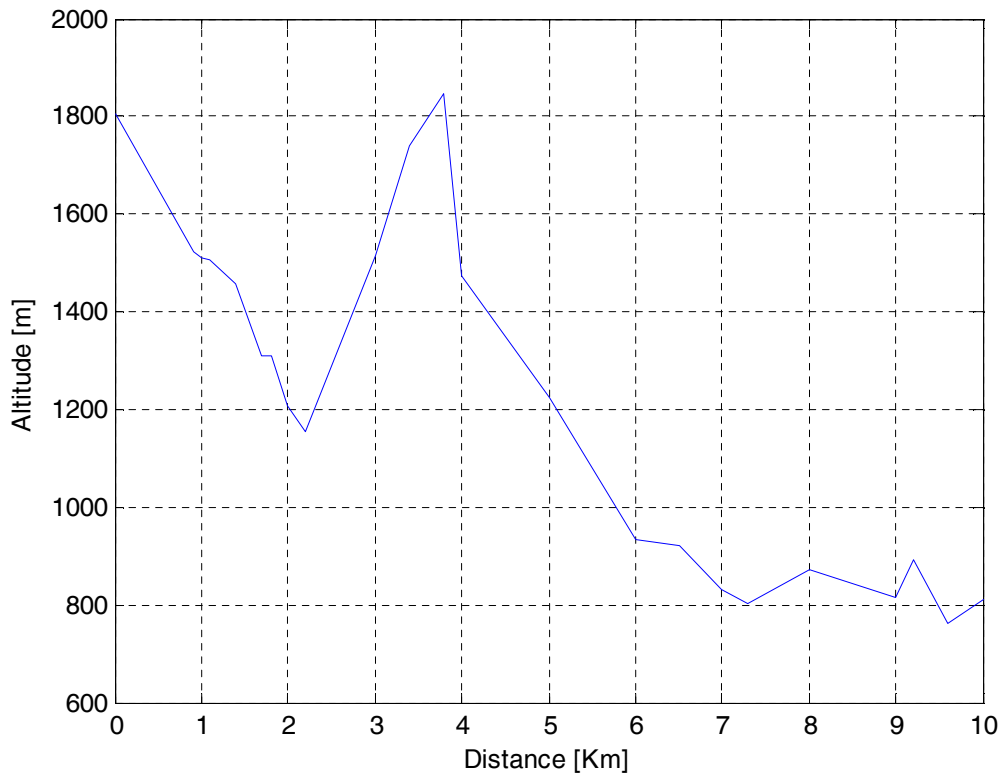


Figure 3-5: profil de dénivellation de la liaison Akbil_A.E.H

Les deux bords Tirmatine_Balloua est une liaison directe et pour assurer le dégagement de cette liaison, on doit tracer l'ellipsoïde de Fresnel entre les deux sites.

3-5-3- Traçage de l'ellipsoïde de Fresnel

L'ellipsoïde de Fresnel nous permet de confirmer que la propagation en espace libre est dégagée d'au moins 60% des obstacles naturels et artificiels.

Soient A l'antenne d'émission et B l'antenne de réception, pour une émission radio de longueur d'onde λ . On considère les points M de l'espace tels que :

$$MA + MB = AB + n \lambda/2 \quad (3.1)$$

Avec : $n=1$ dans notre cas, il s'agit du premier ellipsoïde de Fresnel

Si D est la distance AB entre les antennes, au centre de la liaison (c'est-à-dire autour du milieu de AB), le rayon de cet ellipsoïde est égal à :

$$b = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda \cdot D} \quad (3.2)$$

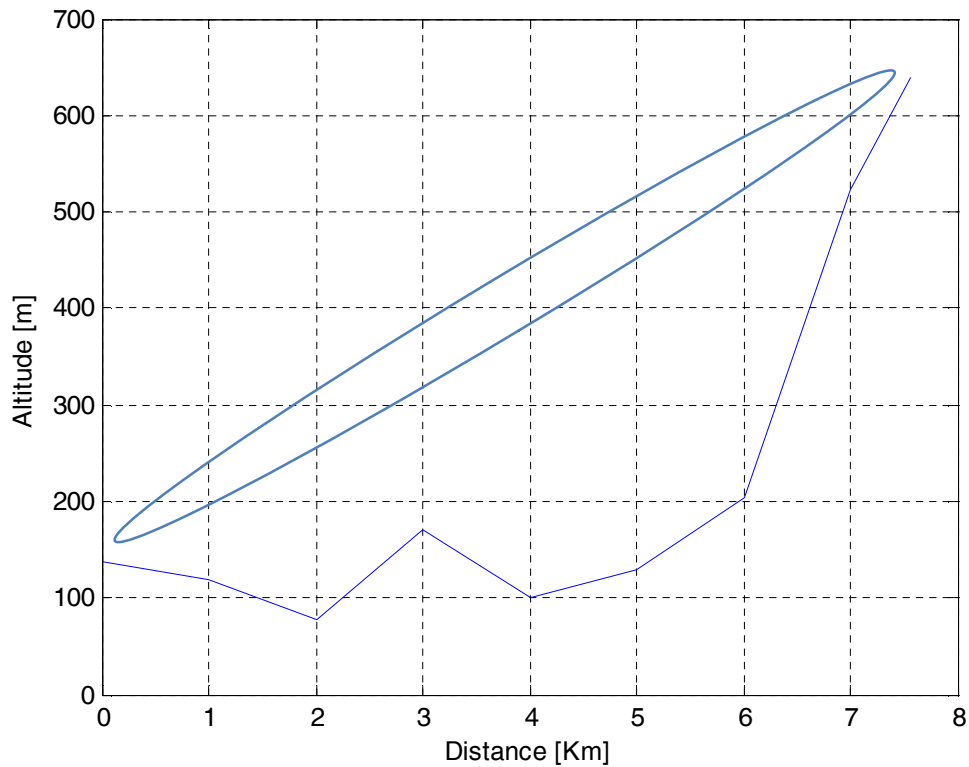


Figure 3-6 : Traçage de l'ellipsoïde de Fresnel pour la liaison Tirmatine_Balloua

En ce qui concerne la liaison A.E.H_Akbil, elle n'est pas en visibilité directe, on a utilisé une antenne relais placée sur une montagne entre les deux sites qui permet la réception d'ondes électromagnétiques et la réflexion dans le but de contourner l'obstacle.

3-5-4- Disposition des antennes

Pour la liaison Balloua_Tirmatine, les deux sites sont en visibilité directe et n'ont aucun obstacle, les antennes sont arrangées selon la figure (III-7)

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

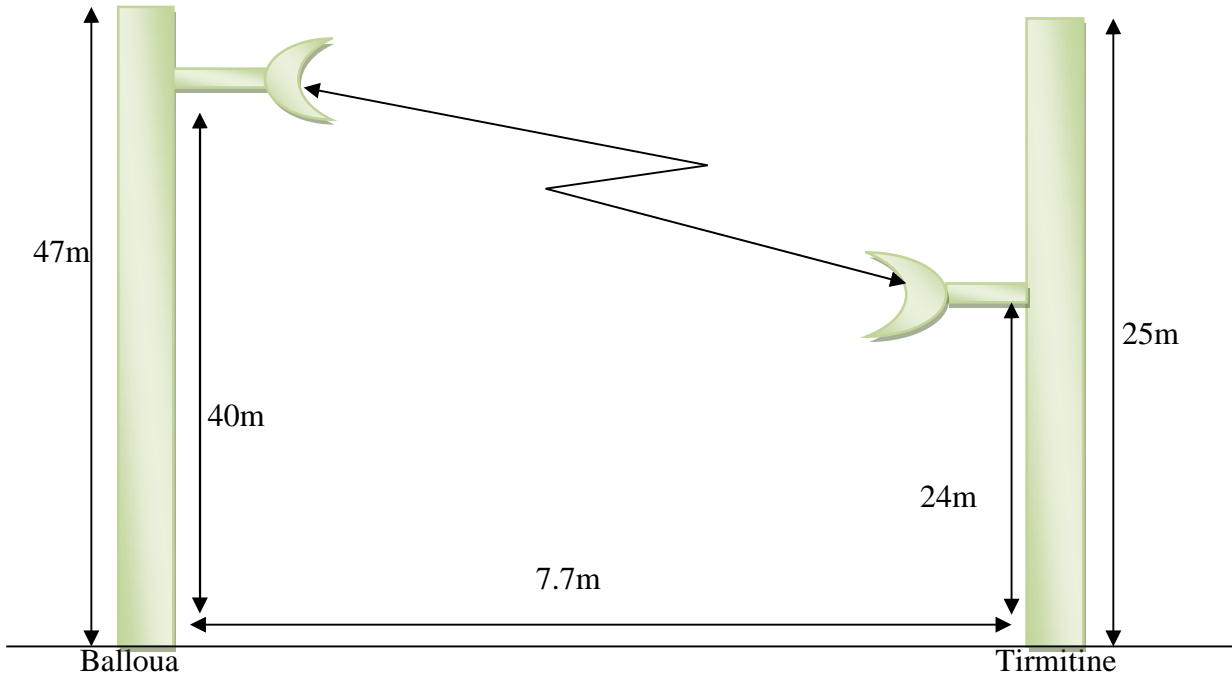


Figure 3-7: Disposition des antennes Tirmatine_Balloua

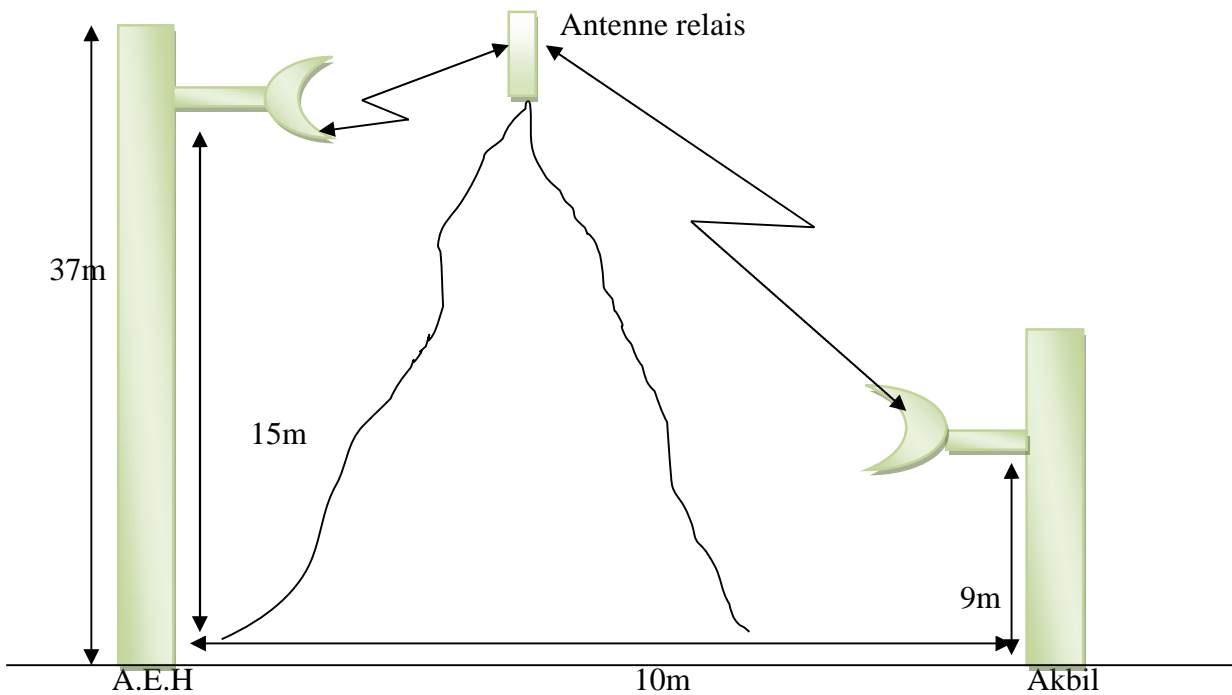


Figure 3-8: Disposition des antennes Akbil_A.E.H

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

3-6- Calcul du bilan de liaison

La conception d'une liaison hertzienne consiste en planification de niveau de réception et planification de fréquence, c'est-à-dire, calculer le bilan de liaison. En effet, le calcul permet de déterminer si le niveau de puissance reçu par le récepteur sera suffisant pour que la liaison fonctionne correctement, en voici les démarches à suivre :

3-6-1 Puissance d'émission

Les puissances sorties d'émission de l'ODU sont :

Type d'ODU	Ptx (dBm)
15 GHz	+23
18 GHz	+23
23 GHz	+23

Tableau 3-5 : tableau des puissances

On remarque que même si on a 3 types d'ODU (15/18/23GHz), Ptx est toujours constante.

3-6-2- Gain d'antenne

Diamètre d'antenne	Gain d'antenne (dB)		
	Gtx/Grx		
	15 GHz	18 GHz	23 GHz
0.3 m	31.9	34.0	34.9
0.6 m	36.6	38.7	40.1
1.2 m	42.6	44.7	46.0

Tableau 3-6 : gain des antennes d'émission et de réception

3-6-3- Calcul de niveau de réception

Pour calculer le RSL, on utilise la formule suivante :

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

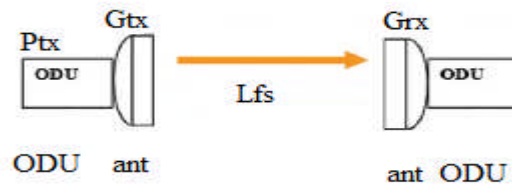


Figure 3-9 : calcul de RSL sans tenir compte de L_{ra}

$$RSL = P_{tx} + G_{tx} - A(t) + G_{rx} \quad (3.3)$$

RSL : niveau de réception

P_{tx} : puissance sortie d'émission

G_{tx} : gain d'antenne coté émission

G_{rx} : gain d'antenne coté réception

$A(t)$: affaiblissement d'espace libre

3-6-4- Affaiblissement d'espace libre

Pour calculer l'affaiblissement d'espace libre L_{fs} , on utilise la formule suivante :

$$A(t) = 92.45 + 20 \log [f(\text{GHz}) * d(\text{Km})] \quad (3.4)$$

f : fréquence (GHz)

d : distance (Km)

3-6-5- Calcul de niveau de réception en tenant compte de l'affaiblissement dû à la pluie

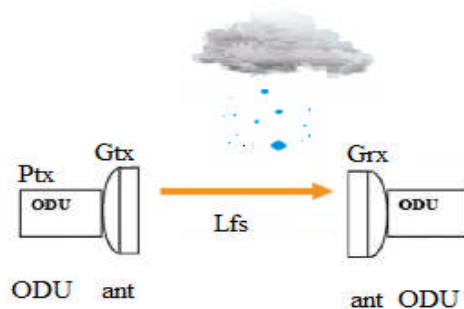


Figure 3-10: Calcul de RSL en tenant compte de L_{ra}

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

$$RSL = Ptx + Gtx - A(t) - Lra + Grx \quad (3.5)$$

Lra : affaiblissement dû à la pluie

- **Affaiblissement dû à la pluie :**

Dans les systèmes de faisceaux hertziens à fréquence supérieure à 10GHz, l'affaiblissement des ondes radioélectriques dû à la pluie est sensible au système que l'interruption de communication peut avoir lieu. Donc, dans la tâche de conception de systèmes d'une bande de fréquence supérieure à 10GHz, il faut prendre en considération l'interruption de communication à la pluie.

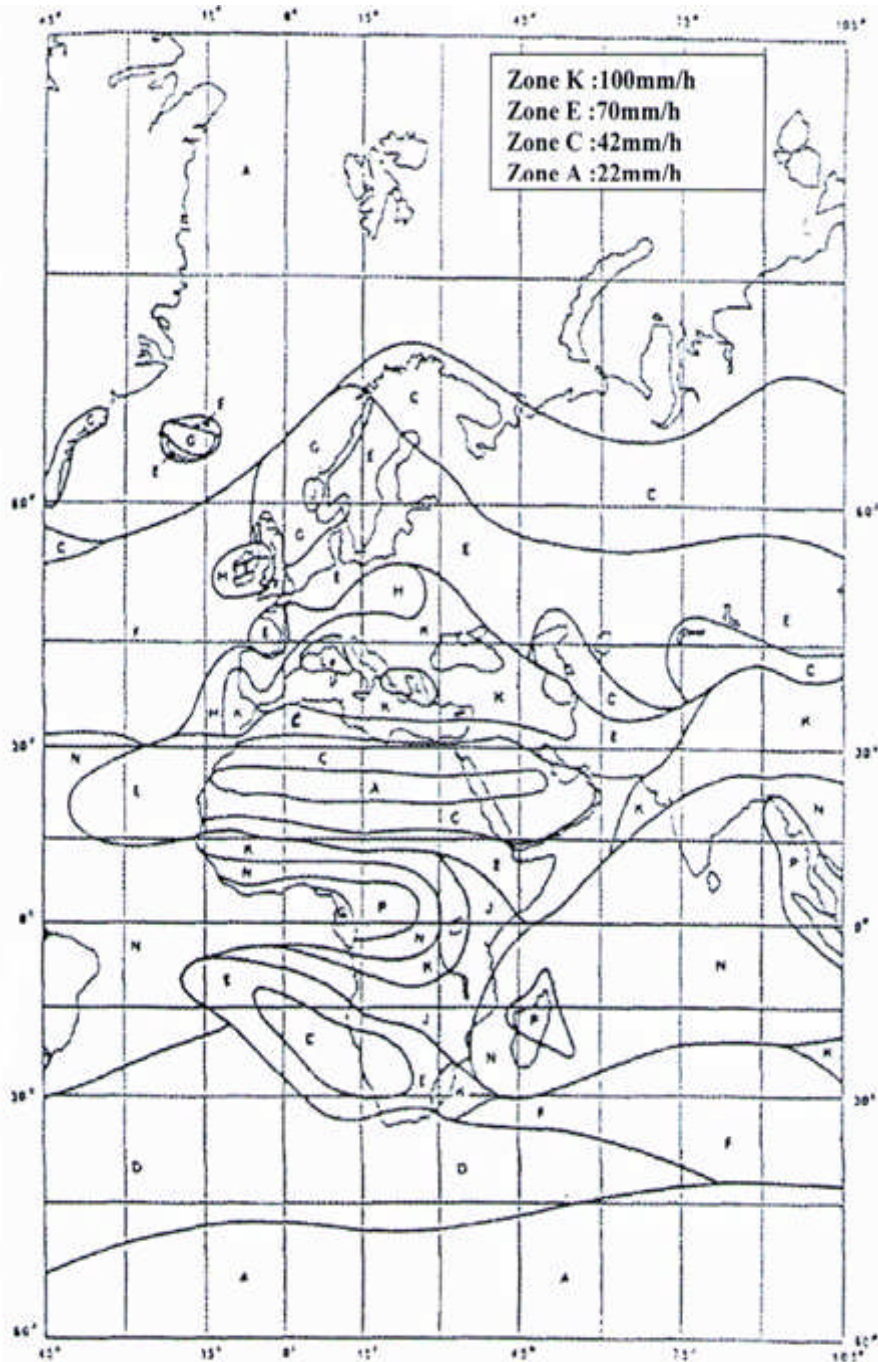


Figure 3-11 : Précipitation de 4 zones différentes

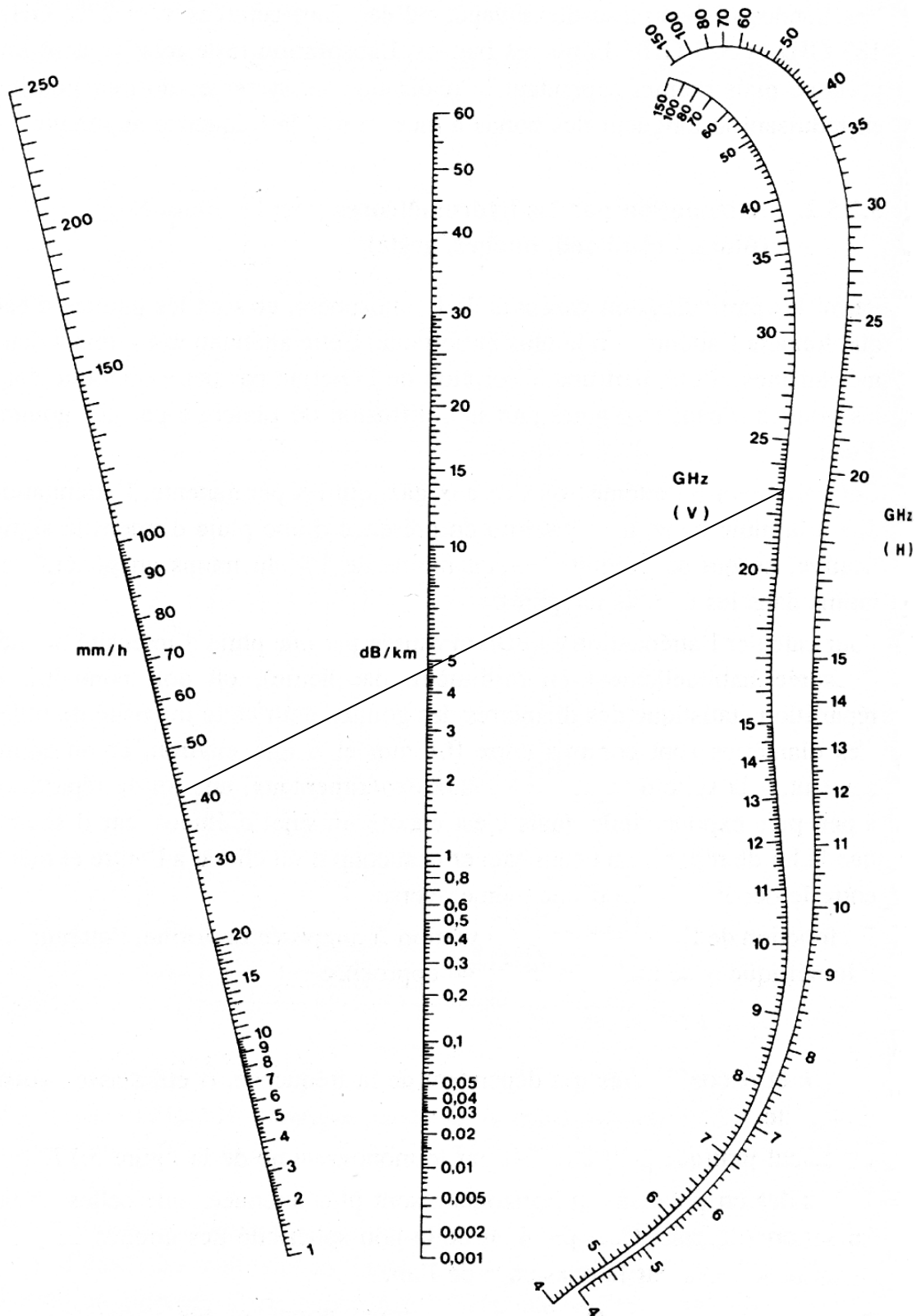


Figure 3-12: Monogramme permettant le calcul de l'atténuation due à la pluie

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

3-6-6- Adaptation du niveau de réception

En fin de calcul, il faut avoir l'adaptabilité de la valeur obtenue au système protégé pour une meilleure exploitation. Les critères utilisés sont :

Critère A :

Le niveau de réception doit tenir une Marge de Fading MF, qui est la marge de protection contre les évanouissements, supérieure à 37dBm par rapport au Niveau de Seuil NS (dBm) du récepteur.

$$MF = SN - RSL \quad (3.6)$$

$$MF > 37 \text{dBm} \quad (3.7)$$

Critère B :

Un niveau de seuil compris l'affaiblissement dû à la pluie doit maintenir une Marge de Fading supérieur par rapport au niveau de seuil du récepteur

$$RSL_{ra} = RSL - L_{ra} \quad (3.8)$$

$$RSL_{ra} > NS \quad (3.9)$$

3-7- Calcul du niveau de réception pour les deux liaisons Tirimtine_Balloua et Akbil_AEH

3-7-1- Liaison Tirimtine_Balloua

$$\begin{aligned} A(t) &= 92.45 + 20 \log [23 * 7.7] \\ &= 137.41 \text{dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RSL &= 23 + 40.1 - 137.41 + 40.1 \\ &= -34.21 \text{ dBm} \end{aligned}$$

- **En tenant compte de l'affaiblissement dû à la pluie**

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

Calcul de l'affaiblissement dû à la pluie

D'après les figures (III-11) on remarque qu'on est dans la zone C : 42mm/h

On trace sur le monogramme qui nous permet le calcul de l'affaiblissement dû à la pluie une ligne entre le point de 42mm sur l'échelle de gauche qui correspond à la précipitation à la zone C et le point 23GHz sur l'échelle de droite qui correspond à la bande de fréquence. On trouve un point d'affaiblissement qui est de 4.9GHz/Km sur l'échelle au milieu donc l'affaiblissement dû à la pluie sur une distance de 7.7Km est de 37.73dB

Donc :

$$\begin{aligned} \text{RSL} &= 23 + 40.1 - 137.41 - 37.73 + 40.1 \\ &= -71.94\text{dBm} \end{aligned}$$

➤ Adaptation du niveau de réception

$$\begin{aligned} \text{MF} &= -88.5 - (-34.21) \\ &= -54.29\text{dB} \end{aligned}$$

$$54.29 > 37\text{dB}$$

En tenant compte de l'affaiblissement dû à la pluie

$$\begin{aligned} \text{RSLra} &= -34.21 - 37.73 \\ &= -71.94 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$-71.94 > -88.5$$

$$\text{RSLra} > \text{NS}$$

3-7-2- Liaison Akbil_A.E.H

$$\begin{aligned} A(t) &= 92.45 + 20 \log [23 * 10] \\ &= 139.68 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RSL} &= 23 + 40.1 - 139.68 + 40.1 \\ &= -36.28 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Chapitre III : Etude de liaisons FHN point à point

➤ En tenant compte de l'affaiblissement dû à la pluie

Le point d'affaiblissement est de 4.9GHz/Km, donc l'affaiblissement dû à la pluie sur une distance de 10 Km est de 49dB

Donc :

$$\begin{aligned} \text{RSL} &= 23+40.1-139.68-49+40.1 \\ &= -85.48 \text{ dBm} \end{aligned}$$

➤ Adaptation du niveau de réception

$$\begin{aligned} \text{MF} &= -88.5 - (-36.28) \\ &= -52.22\text{dB} \end{aligned}$$

$$52.22 > 37\text{dB}$$

$$\text{RSLra} > \text{NS}$$

En tenant compte de l'affaiblissement dû à la pluie

$$\begin{aligned} \text{RSLra} &= \text{RSL} - \text{Lra} \\ &= -36.28 - 49 \\ &= -85.28\text{dB} \end{aligned}$$

$$-85.28 > -88.5\text{dB}$$

$$\text{RSLra} > \text{NS}$$

3-8- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié deux liaisons FHN et cité leurs principales caractéristiques. On a ensuite, calculé le bilan de liaison.

Pour les deux liaisons, on remarque que le niveau de réception tient une Marge de Fading supérieure à 37dBm par rapport au Niveau de Seuil du récepteur et le niveau de seuil compris l'affaiblissement dû à la pluie tient une Marge de Fading supérieur par rapport au niveau de seuil du récepteur donc on constate que le niveau de puissance reçu par le récepteur est suffisant pour que la liaison fonctionne correctement.

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

4-1- Introduction

Dans ce chapitre, nous allons d'abord décrire l'outil de gestion et de supervision utilisé par ALGERIE TELECOM pour la conception des liaisons FHN, on va ensuite faire une acquisition de données : puissances émises et puissances reçues pendant quelques jours en temps sec et en temps de pluie et enfin analyser ces données à l'aide du logiciel MATLAB.

4-2- Mesure des puissances émises et reçues des deux liaisons

Nous avons mesuré les puissances d'émission et de réception de notre liaison grâce à l'interface de gestion de l'IDU NEC IPASOLINK qui nous permet de superviser nos antennes FH à distance.

4-3- Description de l'outil de gestion de l'IDU NEC IPASOLINK

NEC est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de technologie radio à micro-ondes. La famille iPASOLINK permet la transmission sans fil ultra-haute capacité.

Chaque IDU contient une adresse IP qui nous permet de configurer ou de visualiser toutes les liaisons à distance et sans se déplacer sur le terrain. Ceci, en branchant un PC au port LTC de l'IDU à l'aide d'un câble RJ45.

L'outil de gestion de l'IDU est basé sur une surface web qui nous permet de gérer la liaison hertzienne et de faire toutes les manipulations possibles sur une liaison FHN entre deux antennes à distance.

4-4- Configuration des deux sites avec l'outil de gestion de l'IDU

Après avoir choisi notre liaison et étudié ses caractéristiques, on passe à la visualisation des paramètres de configuration avec l'outil de gestion de l'IDU.

4-4-1- Effectuer le test Ping

Pour s'assurer que les IDUs de nos antennes sont interconnectés entre eux et sont liés au réseau et joignables, on utilise le test Ping. Pour cela, on utilise un PC branché à l'aide d'un câble RJ45 au port LTC de l'un des IDUs qui se trouvent au Centre d'Amplification de la wilaya de Tizi-Ouzou (CA2), puis on ouvre l'interface MS-DOS

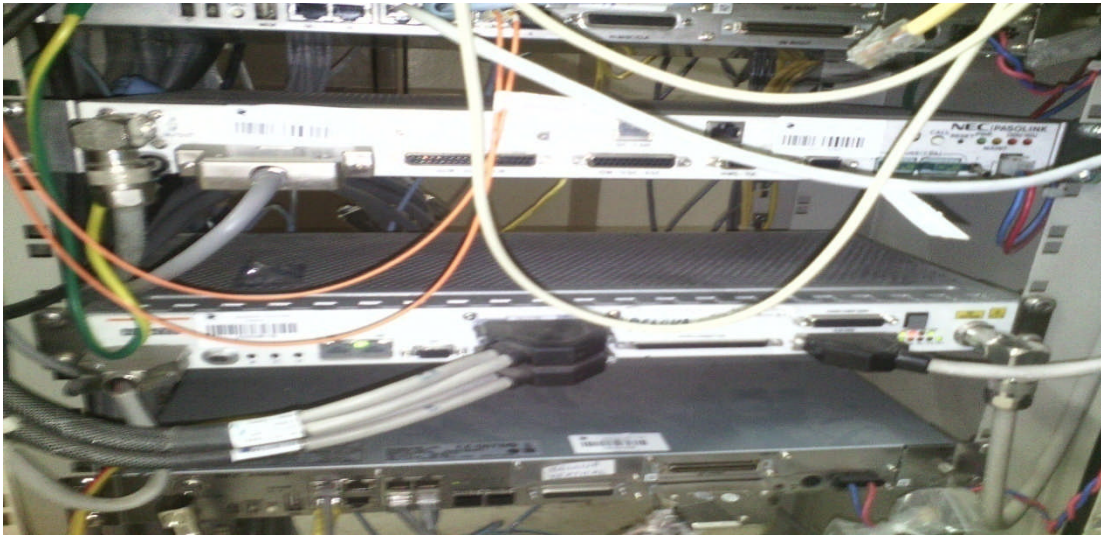


Figure 4-1: Bande de base IPASOLINK

Pour nos deux liaisons Tirimtine_Balloua et Akbil_A.E.H, les adresses IP utilisées sont :

- ❖ Tirimtine : **10.15.14.2**
- ❖ Balloua : **10.15.2.11**
- ❖ Akbil : **10.15.23.1**
- ❖ A.E.H : **10.15.6.6**

Pour effectuer le test ping, il suffit d'ouvrir l'invité de commande et taper ping suivi de l'adresse IP de la liaison qu'on veut tester, on va obtenir ce résultat :

```
C:\ Invité de commandes
Réponse de 10.15.6.6 : octets=32 temps<1ms TTL=128
Réponse de 10.15.6.6 : octets=32 temps<1ms TTL=128
Réponse de 10.15.6.6 : octets=32 temps<1ms TTL=128
Réponse de 10.15.6.6 : octets=32 temps<1ms TTL=128

Statistiques Ping pour 10.15.6.6:
  Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
  Durée approximative des boucles en millisecondes :
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Moyenne = 0ms

C:\Documents and Settings\PC1>ping 10.15.23.1

Envoi d'une requête 'ping' sur 10.15.23.1 avec 32 octets de données :

Réponse de 10.15.23.1 : octets=32 temps<1ms TTL=128
Réponse de 10.15.23.1 : octets=32 temps<1ms TTL=128
Réponse de 10.15.23.1 : octets=32 temps<1ms TTL=128
Réponse de 10.15.23.1 : octets=32 temps<1ms TTL=128

Statistiques Ping pour 10.15.23.1:
  Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
  Durée approximative des boucles en millisecondes :
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Moyenne = 0ms

C:\Documents and Settings\PC1>
```

Figure 4-2: Test ping pour les deux liaisons sous MS-DOS

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

Les deux liaisons fonctionnent correctement c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'interruption ou de coupures.

4-4-2- Accès à l'interface de gestion des IDU de chaque site

Pour accéder à l'interface de gestion des IDU, il faut ouvrir une page WEB et de saisir l'adresse IP de l'IDU du site vers lequel on souhaite accéder. On obtient ensuite la page d'accueil de l'interface de gestion (figure IV-3), il suffit de saisir le nom d'utilisateur ainsi que le mot de passe.

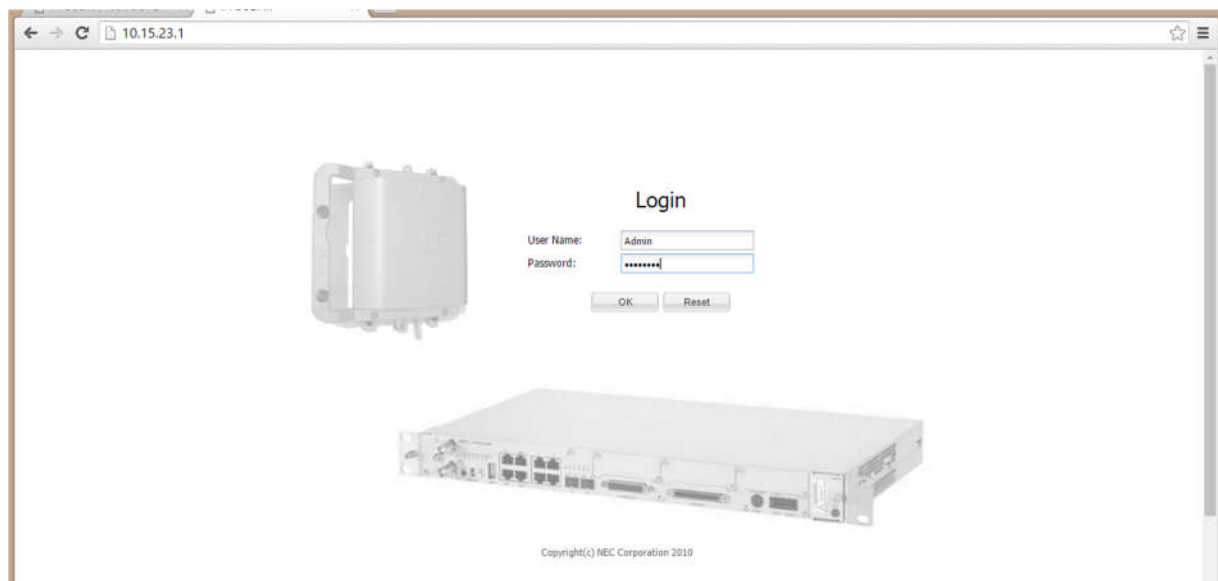


Figure 4-3: Page d'accueil de l'interface de gestion de l'IDU

Une fois qu'on a saisi les identifiants, on obtient la fenêtre de la figure (IV-4) qui représente les éléments de l'IDU

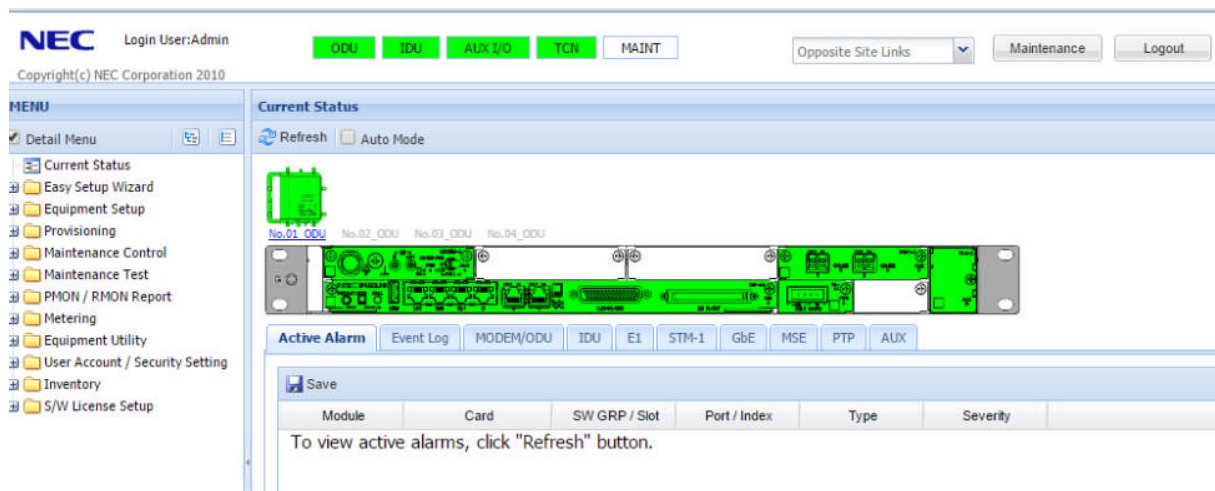


Figure 4-4: Eléments de l'IDU

On remarque que l'IDU est en vert donc il est en marche, quand l'IDU est en arrêt, il s'affiche en orange.

4-4-3- Vérifier les caractéristiques de chaque site

Pour connaître les caractéristiques des équipements IDU et ODU de chaque site, il suffit de cliquer sur Equipement Setup puis sur Radio Configuration, on peut ainsi extraire toutes les caractéristiques tel que : type de modulation, bande de fréquence utilisée, largeur de bande, fréquence d'émission et de réception et voir si notre liaison est en mode ATPC (Automatic Transmitter Power Control) ou MTPC (Manual Transmitter Power Control).

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

The screenshot shows the NEC web interface for configuring radio equipment. The browser address bar displays `10.15.23.1/cgi/lct.cgi`. The page header includes the NEC logo, the user name "Login User:Admin", and several status buttons: ODU, IDU, AUX I/O, TCN, and MAINT. Below the header, there is a "MENU" section on the left with a tree view containing items like "Current Status", "Easy Setup Wizard", "Equipment Setup", "Provisioning", etc. The main content area is titled "Equipment Setup - Radio Configuration" and contains two tables.

IDU	MODEM1	MODEM2
	1+0	-
	-	-
Channel Spacing	28MHz	
Reference Modulation	128QAM	
Radio Mode	High Capacity	
E1 Mapping [CH]	16	
STM-1 Mapping [CH]	0	
ETH Bandwidth [Mbps]	126	
TX RF Frequency [MHz]	23565.000	
RX RF Frequency [MHz]	22557.000	
Frame ID	1	
TX Power Control	ATPC	
Radio Traffic Aggregation		

ODU	1+0	-
TX Start Frequency [MHz]	23010.000	
TX Stop Frequency [MHz]	23600.000	
Frequency Step [MHz]	0.250	
Shift Frequency [MHz]	1008.000	
Upper / Lower	Upper	
Sub Band	C	
RF Frequency Type	TX & RX	

Figure 4-5: Configuration des l'ODU et IDU de liaison Akbil_A.E.H (site A.E.H)

Dans ce cas, notre liaison est en mode ATPC c'est-à-dire que la puissance d'émission Tx est gérée de façon dynamique en fonction des conditions du trajet.

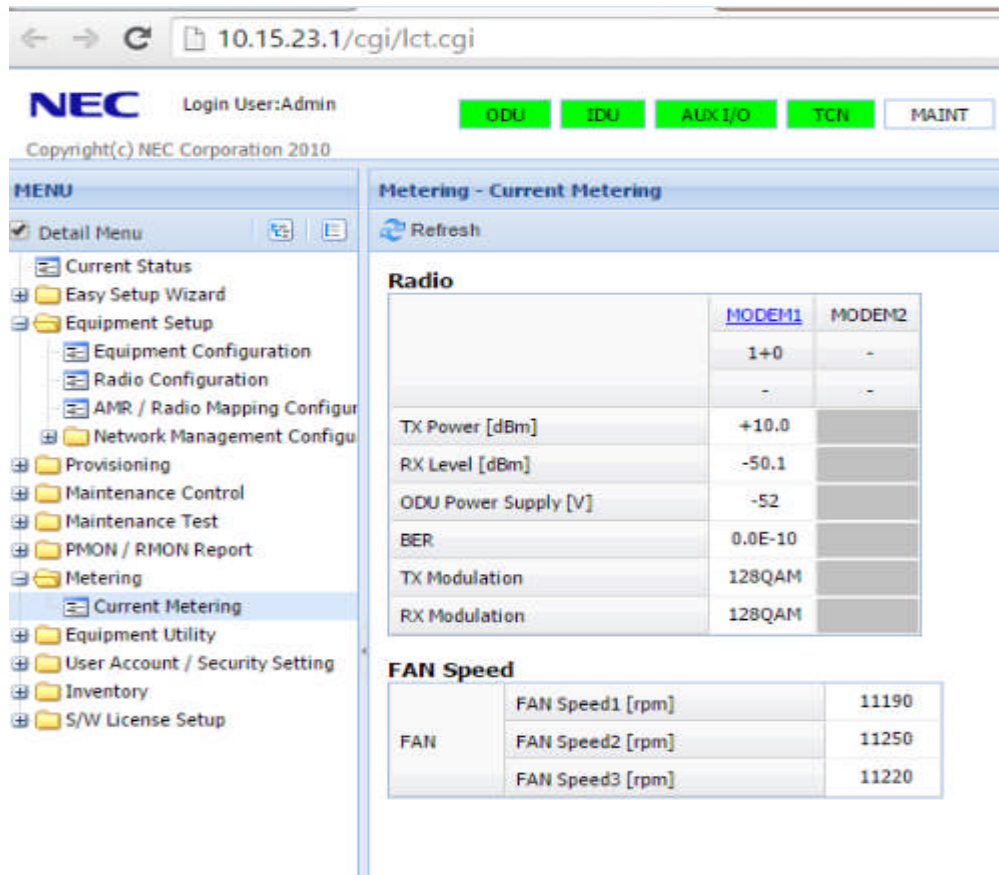


Figure 4-6: Puissance d'émission et réception de la liaison Akbil_A.E.H (site A.E.H)

Ensuite, on clique sur Metering puis sur Current Metering, on obtient la puissance d'émission et de réception, le seuil de coupure, la modulation en émission et en réception ainsi qu'un taux d'erreur par bit qui est égal à 10^{-10} dBm, il est négligeable donc on a une bonne transmission et le signal n'est pas atténué.

Dans une liaison Hertzienne, la configuration des équipements au niveau des deux sites est exactement la même sauf pour les fréquences d'émission et de réception, elles s'inversent.

4-5- Acquisition de données

Dans cette étape, nous avons enregistré les puissances de réception pendant quelques jours, elles sont déjà enregistrées automatiquement pendant 7 jours chaque 15 minutes, pour accéder directement à l'historique des données, il faut suivre les étapes suivantes :

- ❖ On clique sur PMOM/RMOM Report
- ❖ Puis sur MODEM PMOM Report

On obtient la fenêtre suivante :

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

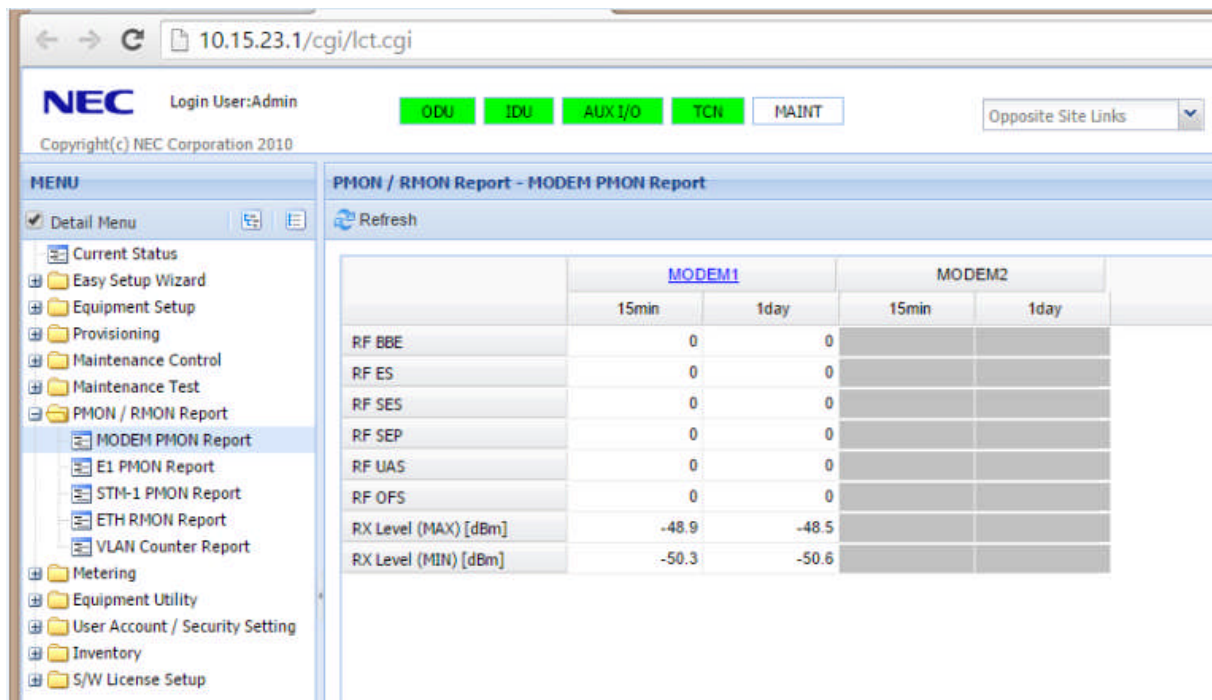


Figure 4-7: Détection de la puissance reçue de la journée (site A.E.H)

- ❖ Ensuite, on clique sur MODEM1 pour obtenir les puissances reçues $R_{x_{max}}$ et $R_{x_{min}}$ (en dBm) pendant 7 jours. On obtient la figure suivante :

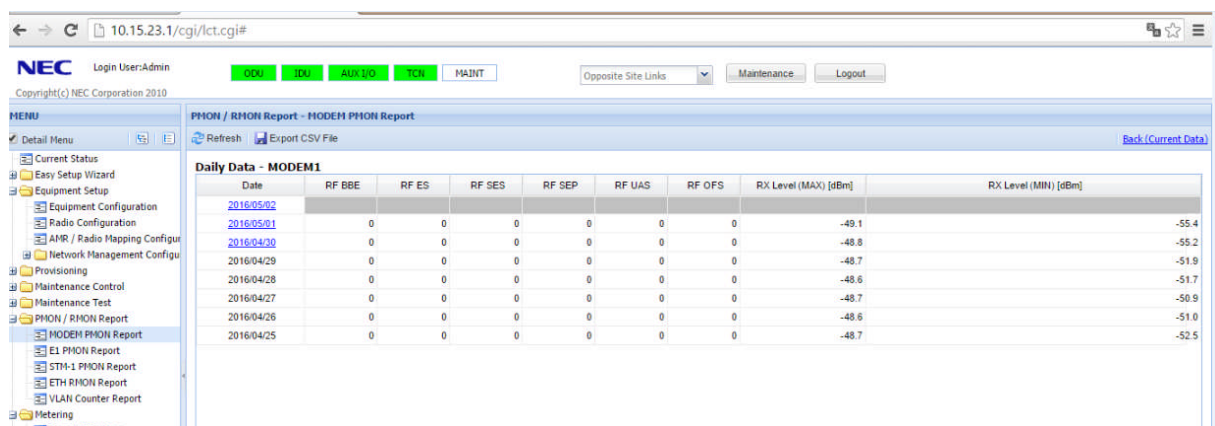


Figure 4-8: Journées d'enregistrement des données

- ❖ Et pour avoir la puissance reçue chaque 15 minutes pendant 24 heures, il suffit de cliquer sur une des dates sur le tableau, on obtient ceci :

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

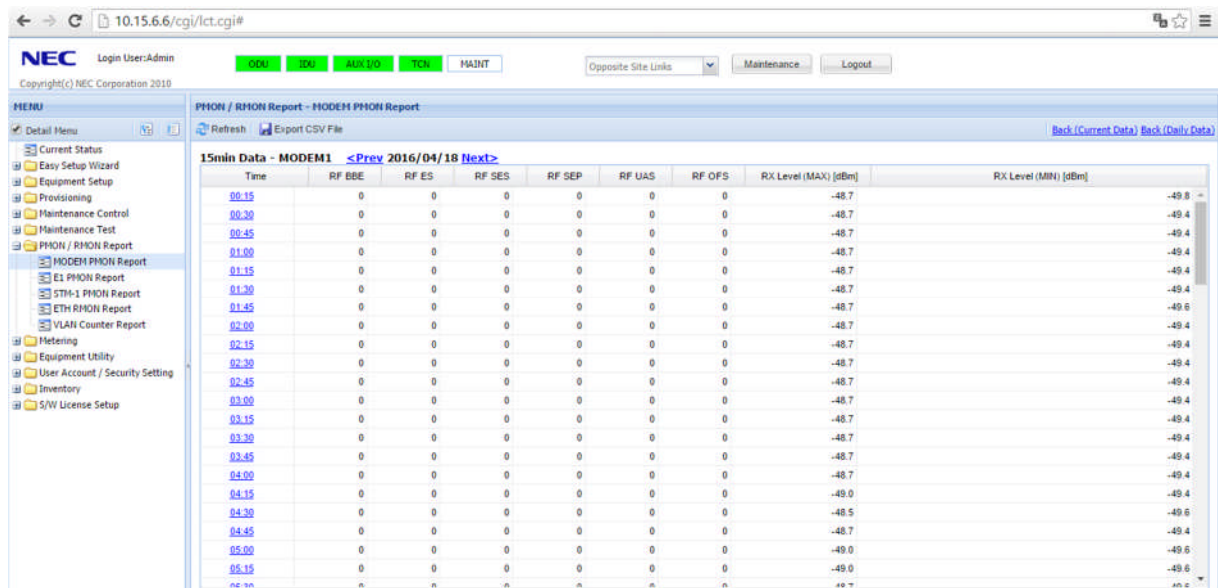


Figure 4-9: Enregistrement des puissances reçues chaque 15 minutes pendant 24heures

4-6- Analyse de données

Après avoir enregistré les données pendant quelques jours, en temps sec et en temps pluvieux, on passe maintenant à l'analyse de ces données avec MATLAB.

4-6-1- Présentation des données brutes

Les figures (IV-10) (IV-11) (IV-12) et (IV-13) représentent les graphes des données d'acquisition de la puissance reçue Rx_{max} , Rx_{min} et Rx_{moy} au niveau des 4 sites. Ceci pour les différents états de l'atmosphère.

4-6-1-1- liaison Akbil_A.E.H

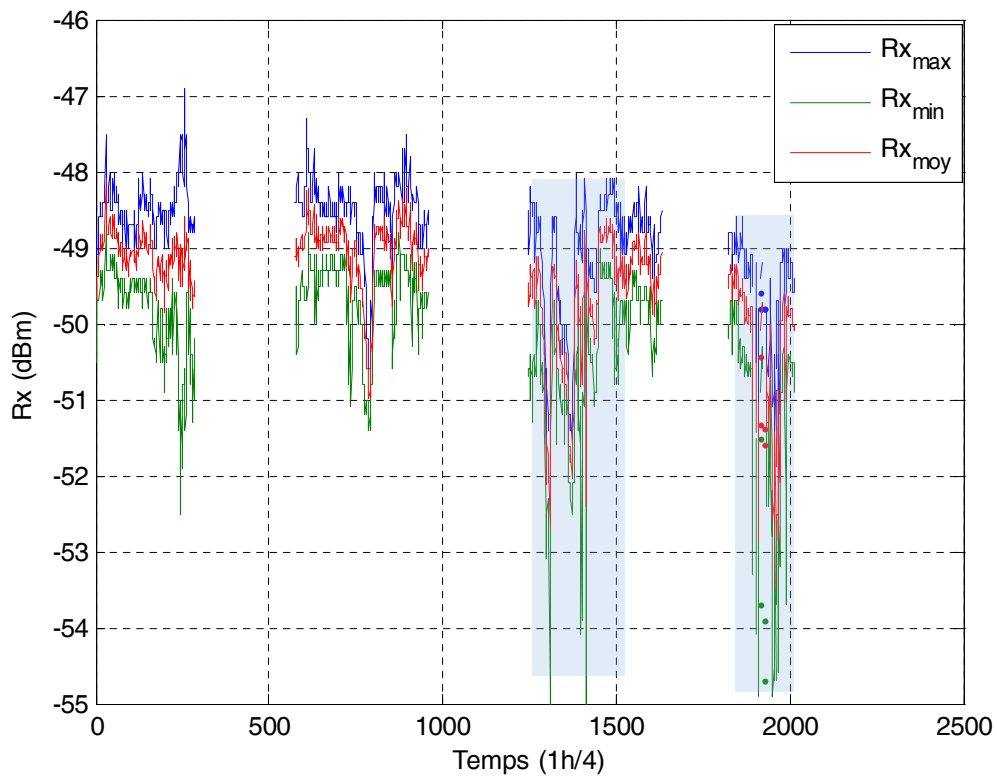


Figure 4-10 : Représentation de Rx_{max} , Rx_{min} et Rx_{moy} pour le site A.E.H

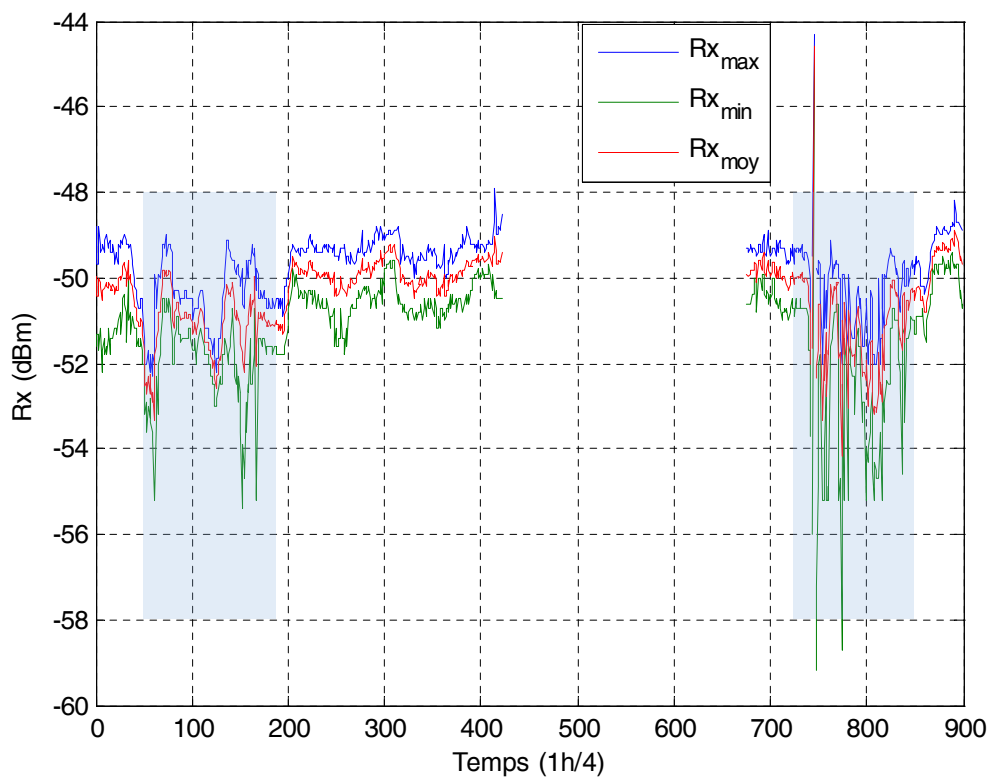


Figure 4-11: Représentation de Rx_{max} , Rx_{min} et Rx_{moy} pour le site Akbil

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

- Dans les figures, les rectangles bleus correspondent à la variation de la puissance reçue en temps de pluie.
- Pour la période de temps sec (S), la puissance $R_{x_{max}}$ varie entre -49dBm et -48.5dBm pour le site de A.E.H et entre -48dBm et -50dBm pour le site de Akbil. $R_{x_{min}}$ varie entre -49dBm et -51.5 dBm pour le site A.E.H et entre -50dBm et -52dBm pour le site Akbil. $R_{x_{moy}}$ varie entre -48dBm et -49.8dBm pour le site A.E.H et entre -49dBm et -52dBm pour le site Akbil.
- Pour la période de temps de pluie (P), la puissance $R_{x_{max}}$ varie entre -48dBm et -51 dBm pour le site de A.E.H et entre -49dBm et -52dBm pour le site de Akbil. $R_{x_{min}}$ varie entre -49.5dBm et -55 dBm pour le site A.E.H et entre -50dBm et -58dBm pour le site Akbil. $R_{x_{moy}}$ varie entre -48.8dBm et -53dBm pour le site A.E.H et entre -50dBm et -53dBm pour le site Akbil.

4-6-1-2- Liaison Tiritine_Balloua

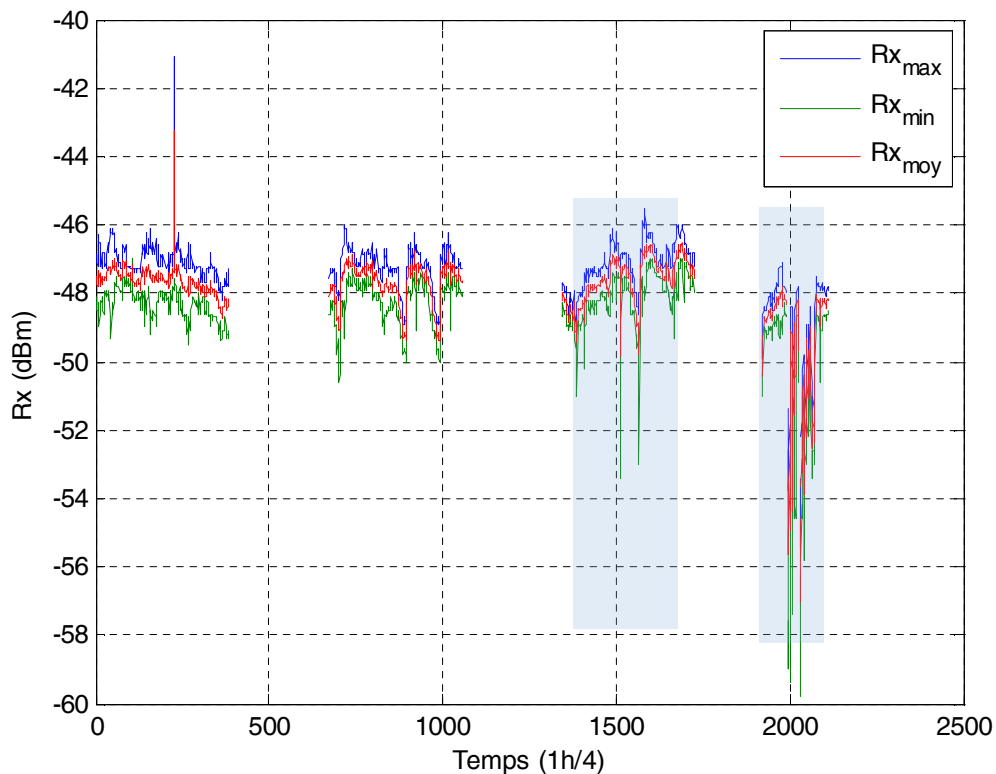


Figure 4-12: Représentation de $R_{x_{max}}$, $R_{x_{min}}$ et $R_{x_{moy}}$ pour le site Balloua

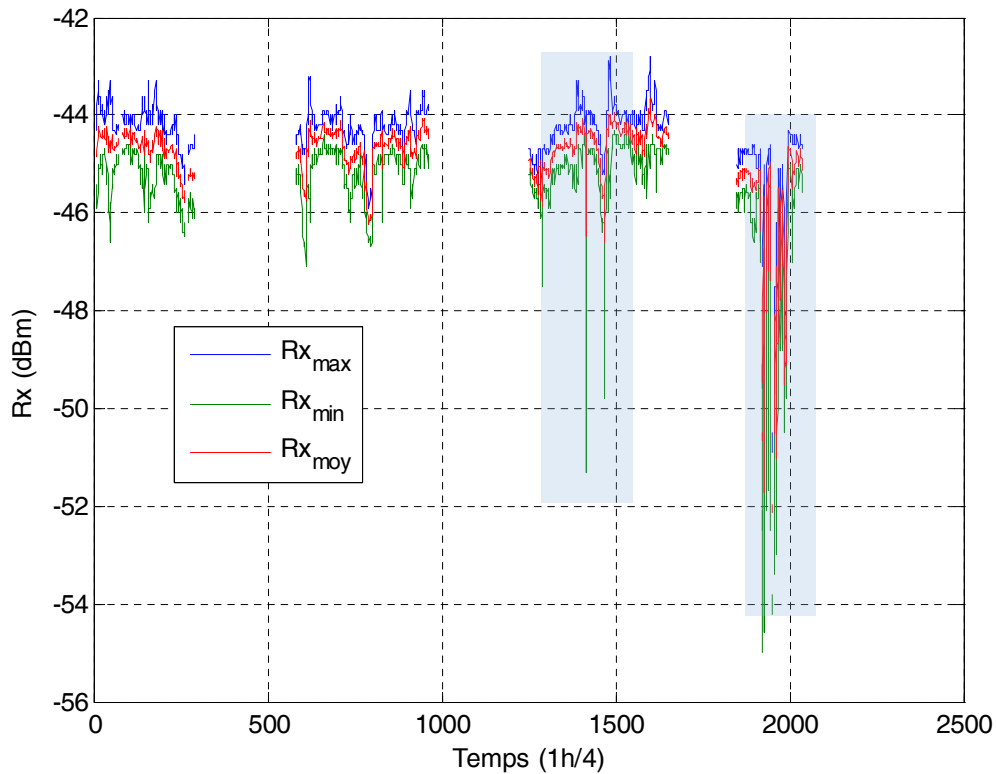


Figure 4-13: Représentation de Rx_{max} , Rx_{min} et Rx_{moy} pour le site Tirimtine

- Pour la période de temps sec (S), la puissance Rx_{max} varie entre -46dBm et -48dBm pour le site Balloua et entre -43dBm et -45dBm pour le site de Tirimtine. Rx_{min} varie entre -47dBm et -49 dBm pour le site Balloua et entre -45dBm et -47dBm pour le site Tirimtine. Rx_{moy} varie entre -47dBm et -49dBm pour le site Balloua et entre -44dBm et -46dBm pour le site Tirimtine.
- Pour la période de temps de pluie (P), la puissance Rx_{max} varie entre -46dBm et -50dBm pour le site Balloua et entre -43dBm et -55dBm pour le site de Tirimtine. Rx_{min} varie entre -47dBm et -60 dBm pour le site Balloua et entre -45dBm et -55dBm pour le site Tirimtine. Rx_{moy} varie entre -47dBm et -58dBm pour le site Balloua et entre -44dBm et -51dBm pour le site Tirimtine.

On a obtenue la puissance moyenne a partir de l'équation suivante :

$$Pm = (Pmin+Pmax)/2 \quad (4.1)$$

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

En temps sec, on remarque qu'on a parfois des pulsations ou des pics, ceci n'a aucune influence sur le signal car les pertes dues aux bruits thermiques des équipements ainsi que les pertes par guide d'onde sont négligeables et en temps sec, les effets extérieurs (tel que le vent, l'humidité, la pluie) ne sont pas présents.

En temps de pluie, on a enregistré quelques coupures dues à une quantité de pluie très élevée, en effet, la pluie forte peut déséquilibrer l'installation de l'une des antennes en émission ou en réception et entraîner des pertes remarquables par absorption et de diffusion du signal ou à des coupures d'électricité.

4-6-2- Représentation de l'atténuation totale $A(t)$

Les figures (IV-14, IV-15, IV-16, IV-17, IV-18, IV-19, IV-20, IV-21, IV-22, IV-23, IV-24, IV-25) représentent l'atténuation $A(t)$ pour les deux liaisons en ciel claire et en temps de pluie

D'après l'équation (3.3), on a :

$$A(t) = - (Rx-Tx-Gtx-Grx) \quad (4.2)$$

Rx : Niveau de réception

Tx : Puissance d'émission

Gtx : Gain d'antenne d'émission

Grx : gain d'antenne de réception

Dans les deux liaisons, on utilisé des antennes de 60Cm de diamètre en émission et en réception avec un gain de 40dB. La puissance d'émission dans le cas de la liaison Akbil_ A.E.H est de 10dBm et est de 17dBm pour la liaison Tirmitine_Balloua.

Les figures (IV-14 IV-15 IV-16 ET IV-17) représentent l'atténuation totale pour les deux liaisons A.E.H_Akbil et Balloua_Tiritine, pendant quelques jours, ceci pour tous différents états de l'atmosphère

a- Liaison Akbil_A.E.H

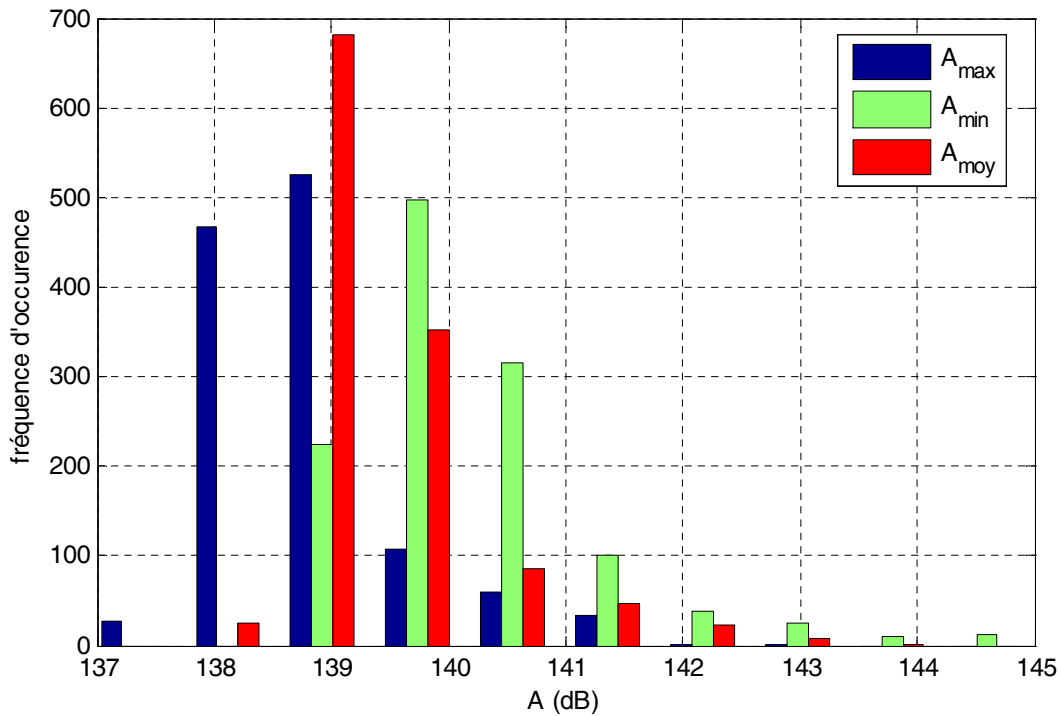


Figure 4-14: Représentation de l'atténuation A (dB) au niveau de A.E.H

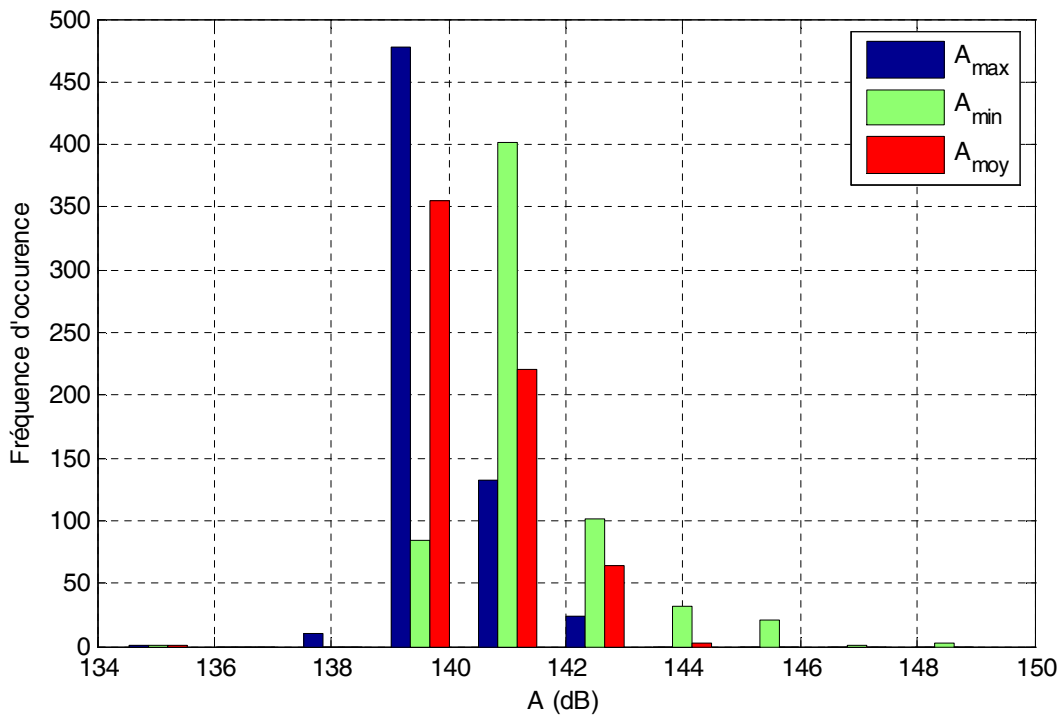


Figure 4-15: Représentation de l'atténuation A (dB) au niveau de Akbil

b- Liaison Tirmatine_Balloua

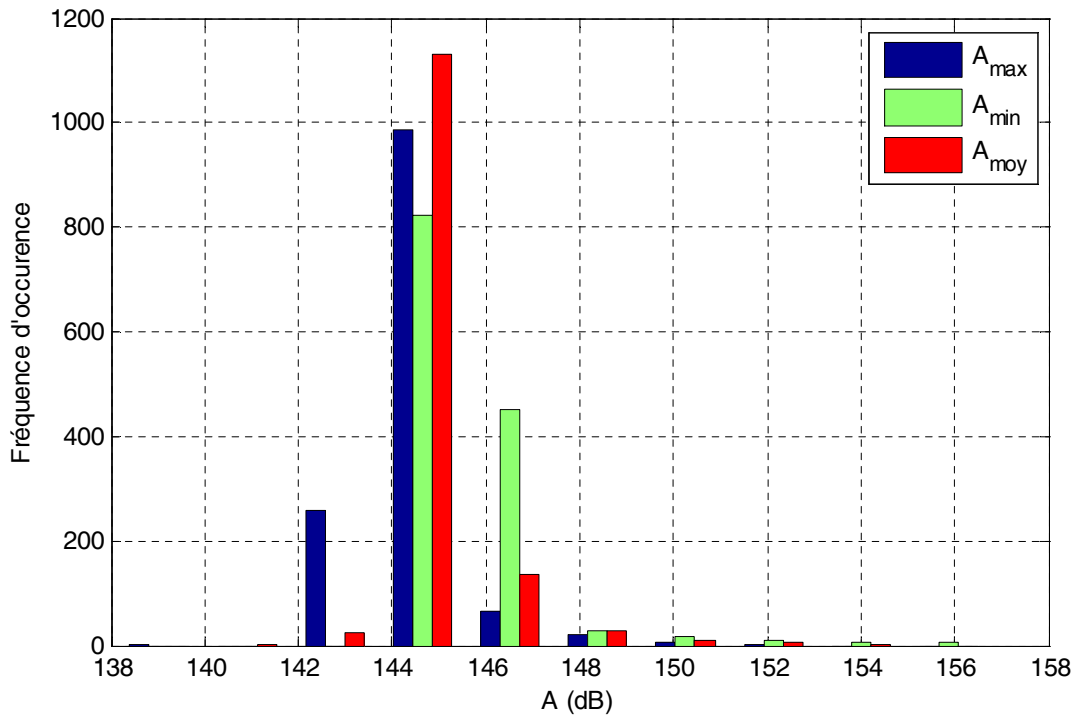


Figure 4-16: Représentation de l'atténuation A (dB) au niveau de Balloua

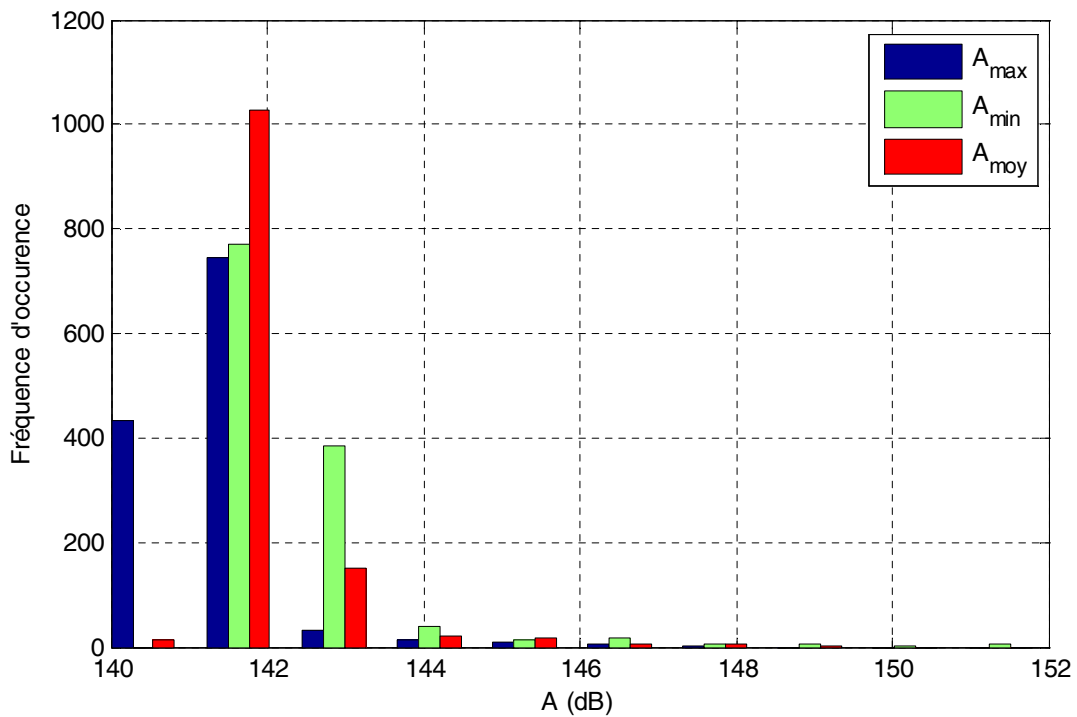


Figure 4-17: Représentation de l'atténuation A (dB) au niveau de Tirmatine

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

L'atténuation totale varie entre 137 dB et 145dB au niveau de A.E.H, entre 134 dB et 149 dB pour le site Akbil, entre 142 dB et 152 dB pour le site Balloua et entre 140 dB 148 dB au niveau de Tirimtine.

IV-6-3- Représentation de l'atténuation en temps sec au niveau des quatre sites

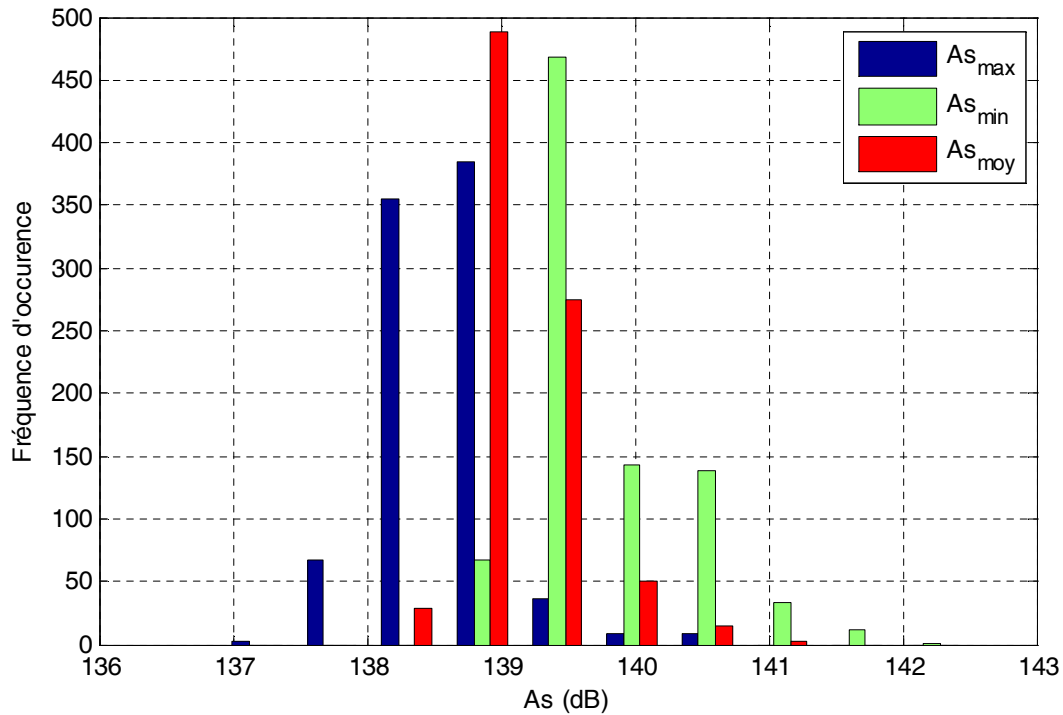


Figure 4-18: Représentation de l'atténuation A_s (dB) au niveau de A.E.H

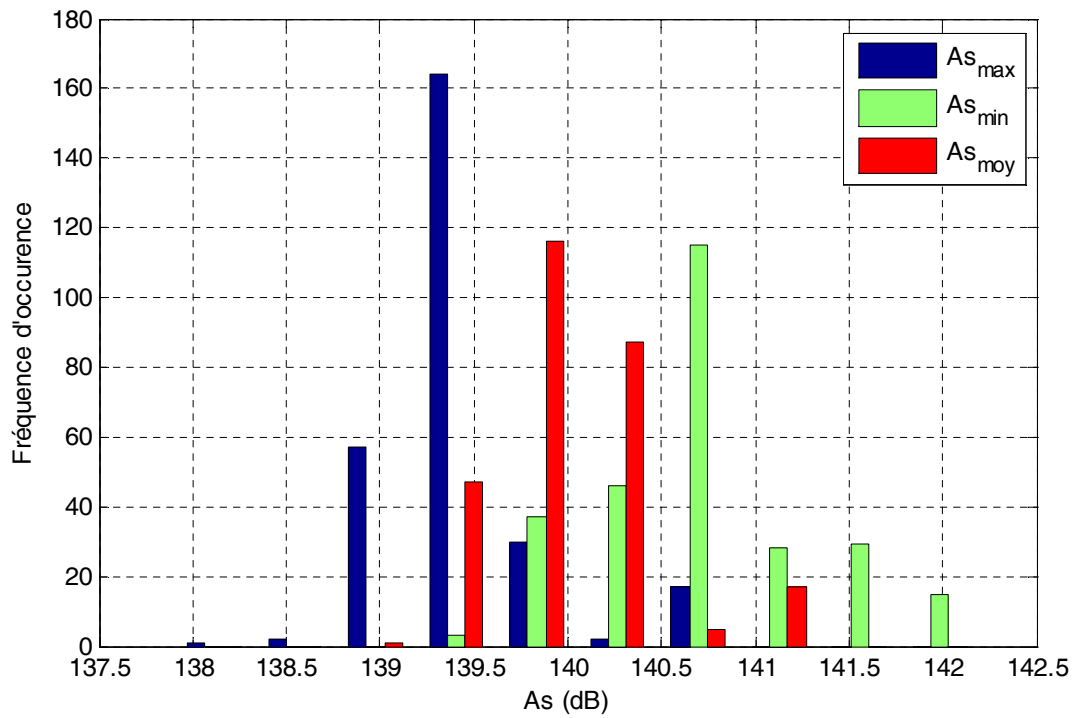


Figure 4-19: Représentation de l'atténuation A_s (dB) au niveau de Akbil

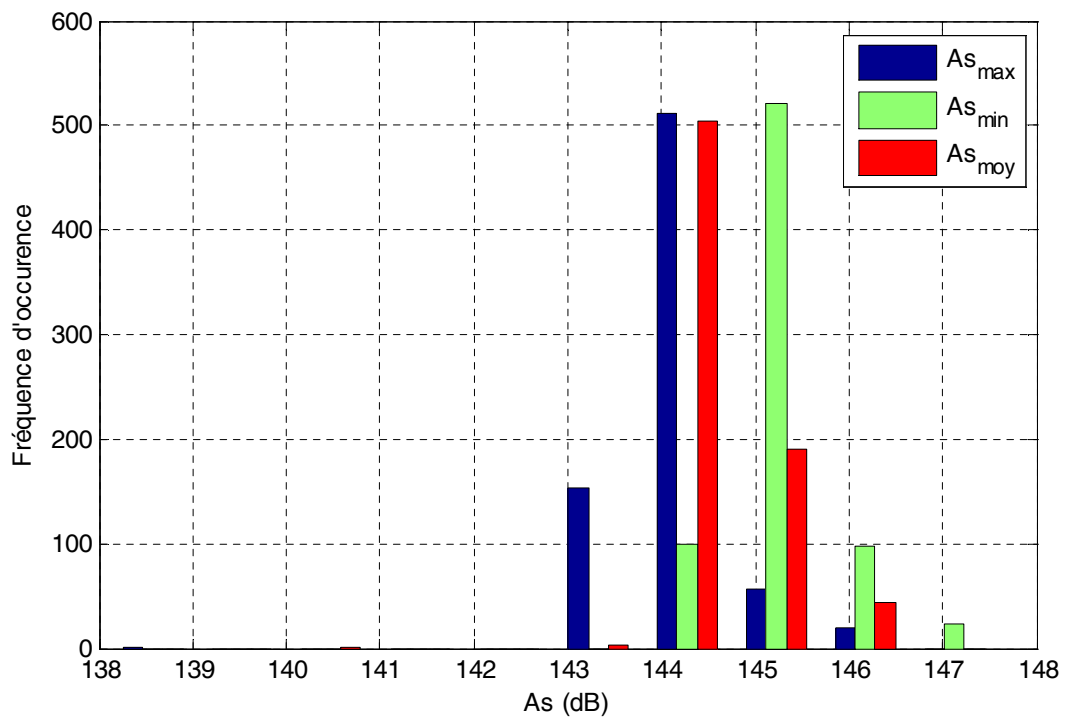


Figure 4-20: Représentation de l'atténuation A_s (dB) au niveau de Balloua

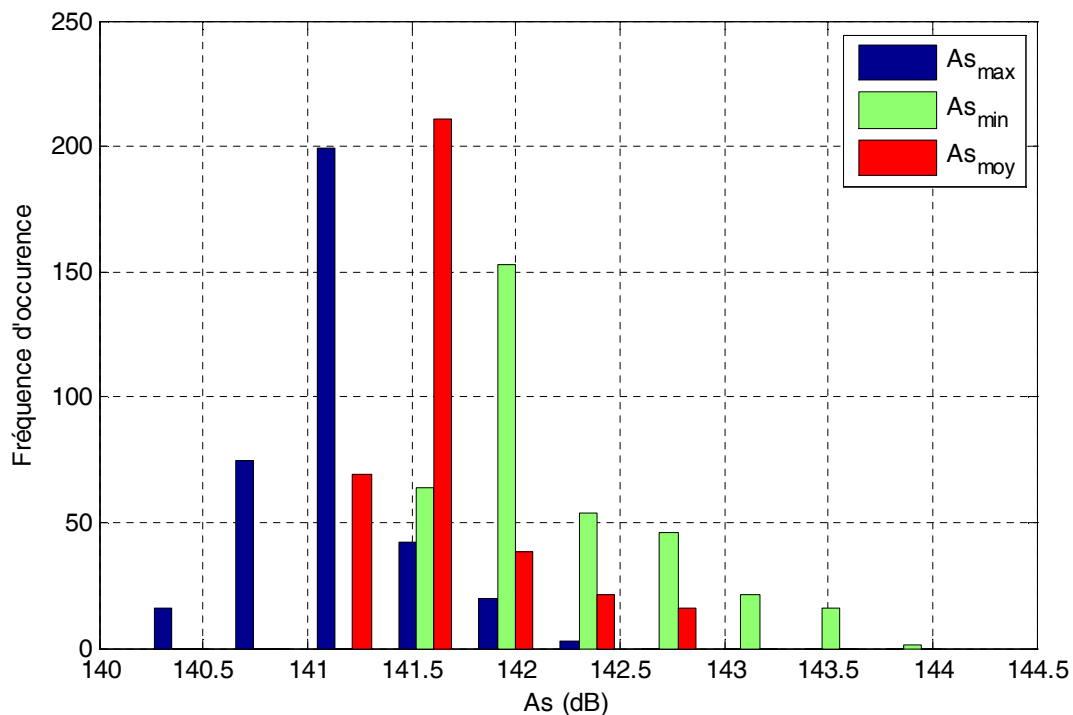


Figure 4-21: Représentation de l'atténuation A_s (dB) au niveau de Tirmatine

4-6-4- Représentation de l'atténuation en temps de pluie au niveau des quatre sites

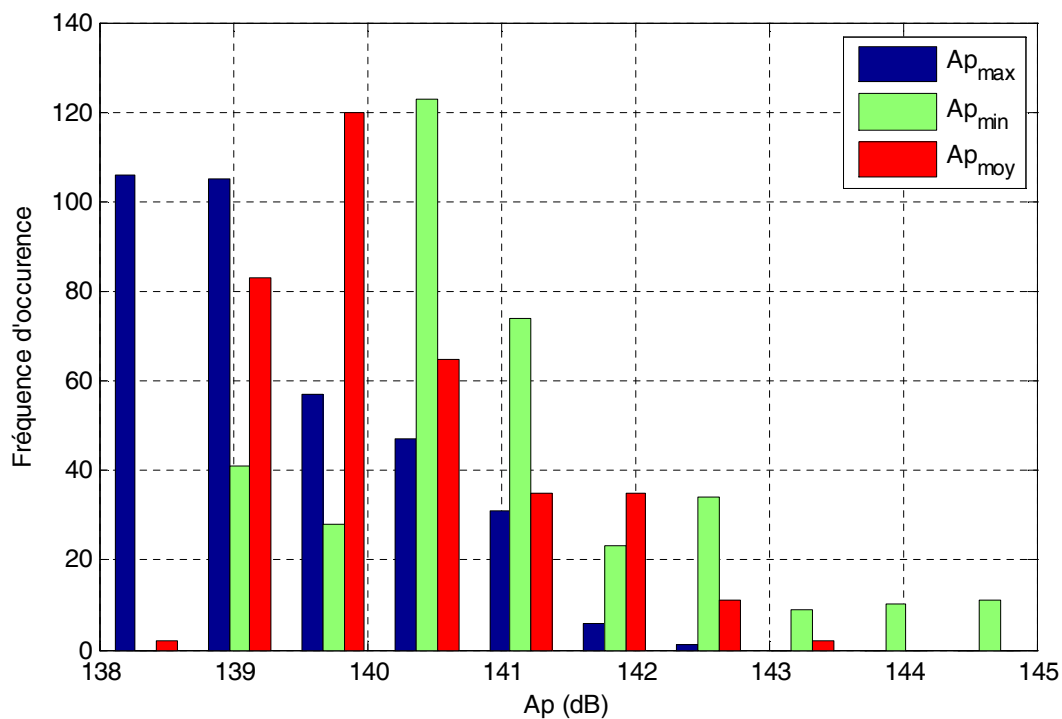


Figure 4-22 : Représentation de l'atténuation A_p (dB) au niveau de A.E.H

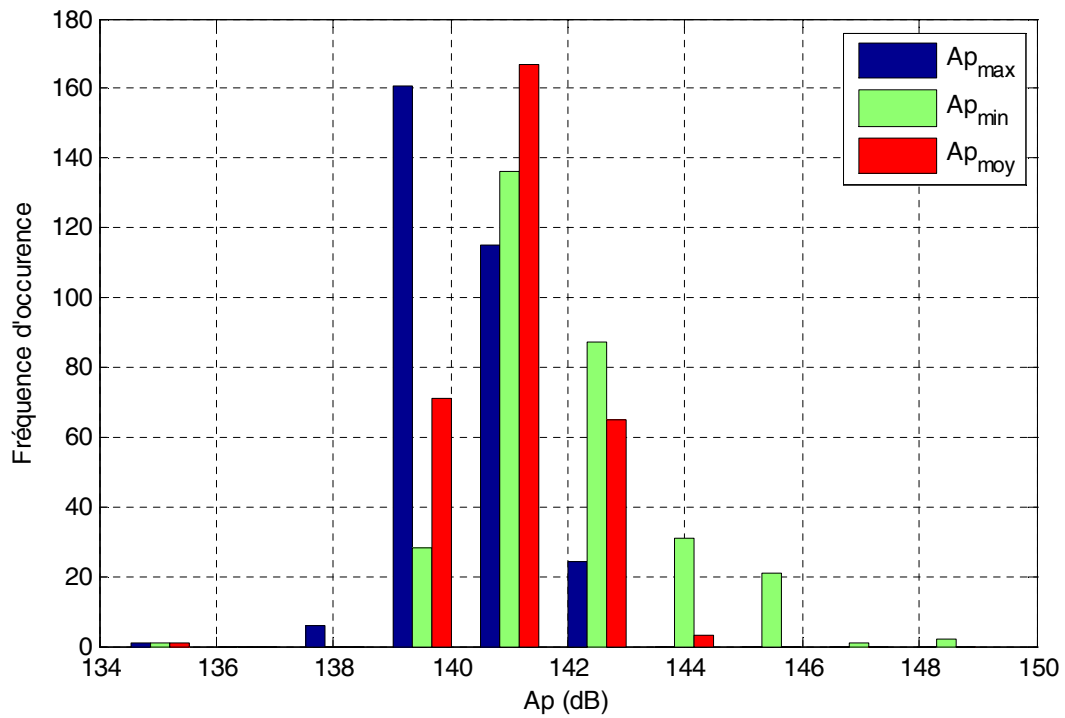


Figure 4-23 : Représentation de l'atténuation A_p (dB) au niveau de Akbil

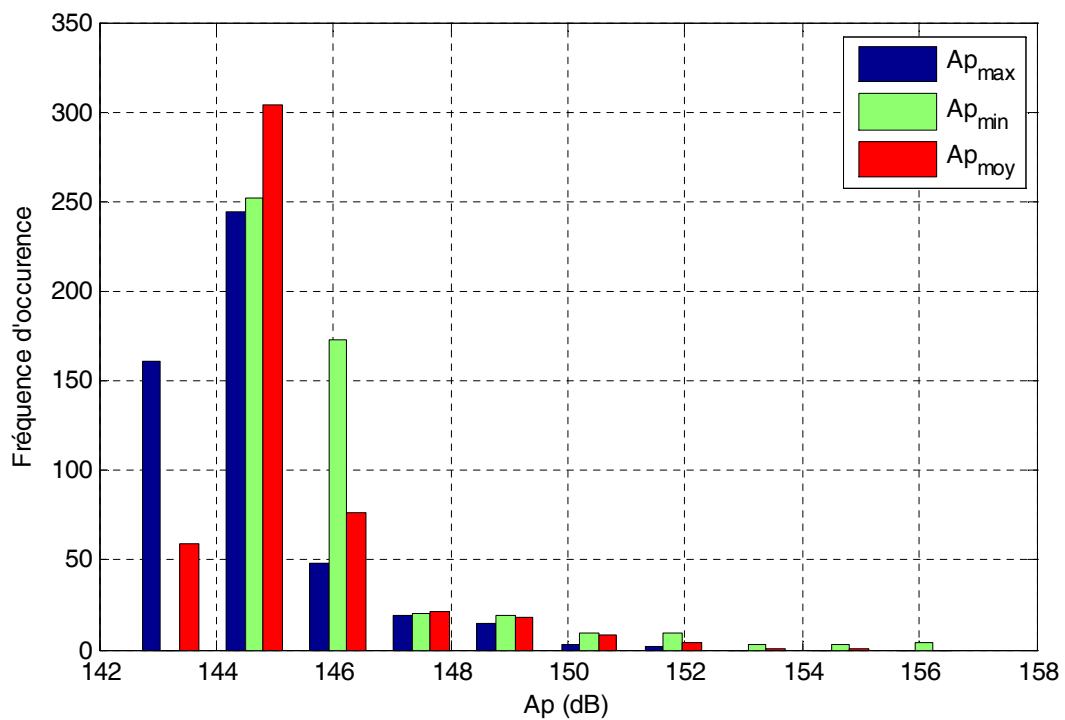


Figure 4-24 : Représentation de l'atténuation A_p (dB) au niveau de Balloua

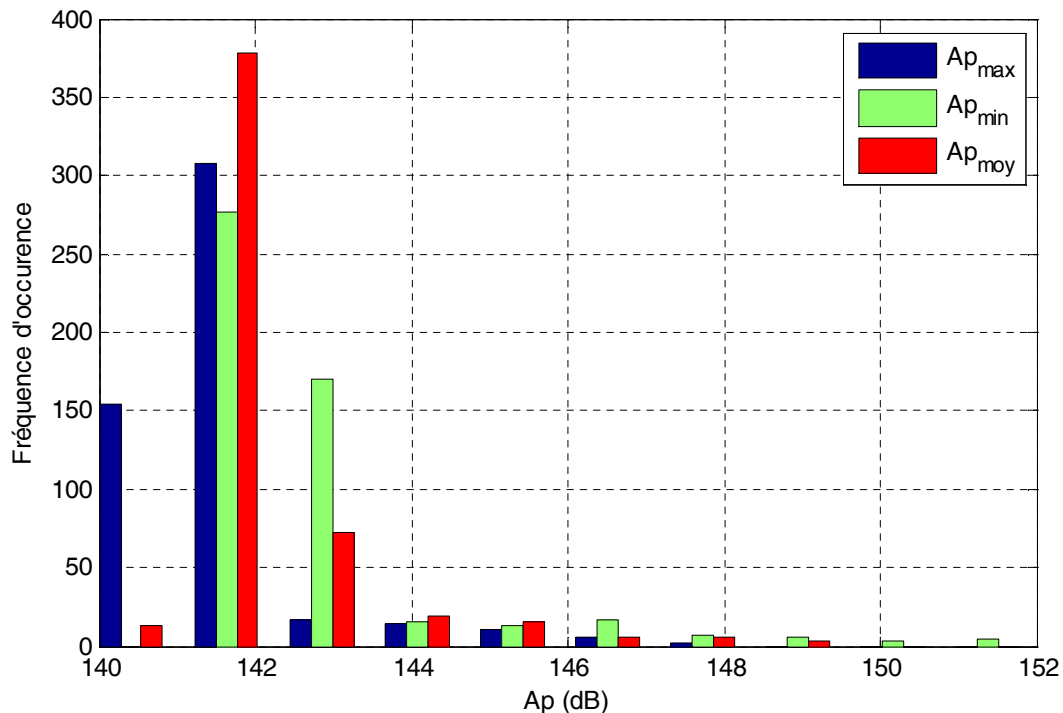


Figure 4-25 : Représentation de l'atténuation A_p (dB) au niveau de Tirmatine

L'atténuation en temps sec varie entre 137dB et 143dB pour le site A.E.H, entre 138dB et 142dB pour le site Akbil, entre 143dB et 147dB au niveau de Balloua et entre 140 dB et 144 dB au niveau de Tirmatine.

Cette atténuation peut être due à des interférences à la réception, qui sont causées par réception d'une même onde propagée selon deux chemins différents appelés trajets multiples ou des brouillages provenant des sources externes tel que les radars ou d'autres liaisons radioélectriques ou provenant des sources internes liées à la conception de l'équipement qui ont une influence importante sur la transmission.

L'atténuation en temps de pluie varie entre 138 dB et 145 dB au niveau de A.E.H, entre 134 dB et 146 dB au niveau de Akbil, entre 142 dB et 152 dB à Balloua et entre 140 dB et 148 dB au niveau de Tirmatine.

Cette atténuation est très élevée dépassant, parfois, la marge de seuil, donc on constate que la liaison FHN est très sensible aux intempéries.

On remarque que l'atténuation est beaucoup plus importante au niveau de Balloua, ceci peut être dû à la quantité de pluie enregistrée et aussi aux zones où se situent les liaisons.

Chapitre IV : Acquisition et analyse de données

4-6-5- Calcul de l'atténuation relative A_r (dB) et du facteur d'atténuation α (dB)

L'atténuation relative représente la différence entre l'atténuation en temps de pluie et l'atténuation en temps sec.

On a :

$$A_r (dB) = \bar{A}_P (dB) - \bar{A}_s (dB) \quad (4.3)$$

Et

$$\alpha = \frac{A_r}{d} (dB/Km) \quad (4.4)$$

Avec d la longueur du trajet qui est de 10 km pour la liaison A.E.H_Akbil et de 7.7 Km pour la liaison Balloua_Tirmitine.

Liaison	Site	A_r (dB)			α (dB/Km)		
		$A_{r_{min}}$	$A_{r_{max}}$	$A_{r_{moy}}$	α_{min}	α_{max}	α_{moy}
Liaison 1	A.E.H	0.8617	1.2554	1.0171	0.08617	0.12554	0.10171
	Akbil	0.7818	1.2789	0.9499	0.07818	0.12789	0.09499
Liaison 2	Balloua	0.4851	0.5455	0.4970	0.063	0.07084	0.06454
	Tirmitine	0.4691	0.5075	0.4717	0.06092	0.06590	0.06125

Tableau 4-1 : valeurs de A_r (dB) et α (dB)

On remarque que pour chaque liaison, l'atténuation relative et le facteur d'atténuation sont presque les mêmes.

4-7- Conclusion

Après l'analyse des données, nous constatons qu'en temps sec, on a une bonne réception du signal et on n'a pas une grande atténuation. Par contre, l'atténuation est beaucoup plus importante en présence de pluie.

Les faisceaux hertziens sont sensibles aux perturbations atmosphériques et aux interférences électromagnétiques. La fiabilité d'une infrastructure hertzienne repose sur l'existence de canaux de secours qu'ils soient hertziens ou filaires.

Conclusion générale

Au cours de ce mémoire, nous avons fait l'étude des liaisons FHN point à point existantes dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Dans les deux premières parties, on a fait une recherche bibliographique et donné des généralités sur le réseau de télécommunication ainsi que sur le faisceau hertzien numérique. De nos jours, le faisceau hertzien reste le moyen le plus rapide et le moins onéreux pour installer un réseau de télécommunication par rapport aux liaisons filaires puisqu'il ne nécessite pas de support physique entre l'émetteur et le récepteur. Le FHN est la solution idéale pour amener internet dans les zones difficiles d'accès.

Dans le cadre d'une collaboration avec l'entreprise ALGERIE TELECOM, on a effectué un stage pour comprendre les systèmes de transmission par FHN, ceci, en utilisant l'outil de gestion et de supervision propre aux équipements NEC IPASOLINK. Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés, dans le reste de notre travail, à l'étude de deux liaisons FHN dans la wilaya de Tizi-Ouzou et à une acquisition de données de puissances émises et puissances reçues pour différents états de l'atmosphère, à savoir, en temps sec et en temps de pluie. Après l'analyse de ces données, on a constaté que le signal est peu atténué en temps sec mais l'atténuation est importante en présence de la pluie, dans ce cas, il subit des dégradations par l'effet d'absorption et des trajets multiples

Malgré nos efforts, ce travail reste à compléter par plus amples études sur une plus large base de données. En effet, une base de données large nous donnera sûrement une meilleure modélisation de l'atténuation dans les liaisons FHN en présence de tout phénomène météorologique perturbateur.

Ce projet nous a permis d'améliorer nos connaissances sur le faisceau hertzien et une maîtrise technique des liaisons FH qui sont en développement dans le domaine des réseaux de télécommunication, toutefois, nous restons ouverts à toutes les éventuelles remarques pouvant encore éclairer ce travail.

Glossaire

[A]

ADSL : Asymmetrical Digital Subscriber Line.

AEH : Ain El Hammam.

ASK : Amplitude Shift Keying.

ATPC : Automatic Transmitter Power Control.

AUC : Authentication Center.

[B]

BG : Bloc Gateway.

BSC : Base Station Controller.

BSS : Base Station Subsystem.

BTS : Base Transceiver Station.

[C]

CA : Centre d'Amplification.

CAA : Centre d'Autonomie d'Acheminement.

CCIR : Comité Consultatif International de Radiocommunication.

CDMA : Code Division Multiple Access.

CL : Central Local.

CMRR : Centre de Maintenance Radio Régional.

COS : Coefficient d'Occupation du Sol.

CTI : Commutateur International de Transit.

CTP : Centre de Transit Principal.

CTS : Centre de Transit Secondaire.

[D]

DMT : Discrete Multi-Tone.

[E]

EIR : Equipment Identity Register.

[F]

FHN : Faisceau Hertzien Numerique.

FI : Fréquence Intermédiaire.

FSK : Frequency Shift Keying.

[G]

GMSC : Gateway MSC.

GPS : Global Positionning System.

GSM : Global System for Mobile Communication.

[H]

HLR : Home Local Register.

[I]

IDU : Indoor Unit.

IP : Internet Protocol.

IT : Intervalle de Temps.

[M]

MF : Marge de Fading.

MG : Media Gateway.

MIC : Modulation par Impulsion Codée.

MS : Mobile Station.

MSC : Mobile Switching Center.

MTPC : Manual Transmitter Power Control.

[N]

NMC : Network Management Centre.

NSS : Network Sub-System.

[O]

ODU : Outdoor Unit.

OSI : Open System Interconnexion.

OSS : Operation and Support System.

[P]

PDH : Plesiocronous Digital Hierarchy.

PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente.

PSK : Phase Shift Keying.

[Q]

QAM : Quadrature Amplitude Modulation.

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying.

[R]

RF : Radio Frequency.

RTC : Réseau Téléphonique Commuté.

[S]

SDH : Synchronous Digital Hierarchy.

SDSL : Symetric Digital Subscriber Line.

SG : Signaling Gateway.

SHF : Super High Frequency.

SHF : Super High Frequency.

SIM : Subscriber Identification Module.

SS7 : Signalisation System 7.

STP : Shielded Twisted Pair.

[T]

TCP : Transmission Control Protocol.

TDM : Time Division Multiplexing.

TEB : Taux d'Erreurs par Bit.

TOS : Taux d'Onde Stationnaire.

TRC : Transcoder.

[U]

UMTS : Union Mobile Telecommunication System.

UTP : Unshielded Twisted Pair.

[V]

VDSL : very-high-bit-rate DSL.

VLAN : Virtual Local Area Network.

VLR : Visitor Location Register.

[W]

WIMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access.

[X]

X.25 : Protocole de transmission de paquets.

XDSL : Digital Subscriber Line.

[Z]

ZAA : Zone à Autonomie d'Acheminement.

ZTP : Zone de Transit Principal.

ZTS : Zone de Transit Secondaire.

Bibliographie

- [1] Arnaud BOURNEL, Systèmes de télécommunication/ partie I : Introduction et circuits télécom, 2002/2003.
- [2] A.OUMNAD, Réseau téléphonique commuté.
- [3] Pierre BRISSON et Peter KRPF, Global system for mobile communication, Université de Montréal, IFT -6275.
- [4] GSM, Global System for Mobile Communication/ Architecture, Interface et Identité, Efort 2008.
- [5] L.P LAVOISIER, Les supports physiques de transmission : le câble coaxial, Sysco system/ Networking Academy.
- [6] Steven Kilgallon, Comprendre la fibre optique, 2004.
- [7] Rodolphe LEFIEVRE, La fibre optique, 2000.
- [8] Enriqué FERNANDEZ et Marc MATHIEU, Les faisceaux hertziens analogiques et numériques.
- [9] Vincent DAGLIA, Transmission de données par satellite, 2002.7
- [10] Daniel DROMARD, Dominique SORET, Architecture des réseaux/ Chapitre I : Les transmissions et les supports, 2010.
- [11] Gérard-Michel Cochard & Edoardo Berera & Michel Besson Thierry Jeandel & Gérard-Michel Cochard, Technologies des réseaux de communication, Université Virtuelle de Tunis, 2007.
- [12] Technologie d'accès à internet, Hadopi, décembre 2011.
- [13] L.REYNER, Liaisons hertziennes 1.
- [14] Anthony MILLOT, Etude d'un réseau de capteurs environnementaux en bande ISM, UNIVERSITÉ D'ORLÉANS, juin 2010.
- [15] Youssouf Moussa ADOUM, Etude et mise en service de la liaison par faisceau hertzien Lolumbia-Komboince au Burkina Faso, Licence 2009.
- [16] Jean-Philippe MULLER, Les antennes.
- [17] Odile Picon et Coll, Les antennes, théorie, conception et application, édition Dunod.
- [18] Fatma BEN SAID, Etude et planification d'un réseau FH synchrone, 2001/2002.
- [19] Louise REYNIER, Bilan de liaison hertzienne, application au SFH 534.

[20] Documentation Algérie Telecom, Etude d'une liaison FHN point à point en utilisant le multiplexage SDH dans le réseau d'Algérie Telecom, 2011.

[21] Baptiste ZIMMER, Initiation et mise en service Faisceaux hertziens Alcatel 9400 UX , IUT Nancy Brabois.

Sites web

<http://transmissions-radio.chez-alice.fr/page4c.htm>

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3255>

<http://www.louisreynier.com>

<http://www.hertzien.fr/>

Résumé

On appelle faisceaux hertziens les supports de transmission utilisant les ondes électromagnétiques de fréquence élevée pour établir des liaisons point à point, les faisceaux hertziens utilisent des fréquences supérieures à 2GHz. On peut classer les faisceaux hertziens en deux catégories : analogique et numérique.

Dans une liaison hertzienne, c'est une onde électromagnétique qui porte l'information à transmettre. Une onde électromagnétique comporte à la fois un champ électrique E et un champ magnétique B oscillant à la même fréquence. Ces deux champs, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale. L'onde électromagnétique doit suivre un trajet dégagé entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception donc ces deux dernières doivent être à visibilité directe.

On dit qu'une liaison en visibilité directe est dégagée s'il n'existe aucun obstacle à l'intérieur d'un certain volume appelé ellipsoïde de Fresnel. La zone de Fresnel est le lieu de point de la surface réfléchissante dont la somme des distances aux antennes d'émission et de réception dépasse une demi-longueur d'onde.

Les antennes d'émission E et de réception R constituent les foyers de cet ellipsoïde. En pratique le dégagement du premier ellipsoïde de Fresnel ($n=1$) est nécessaire et suffisant pour que la liaison soit de bonne qualité.

De nos jours, le faisceau hertzien reste le moyen le plus rapide et le moins onéreux pour installer un réseau de télécommunication par rapport aux liaisons filaires puisqu'il ne nécessite pas de support physique entre l'émetteur et le récepteur. Le FHN est la solution idéale pour amener internet dans les zones difficiles d'accès.

Mots clés

Faisceau hertzien, ondes électromagnétiques, liaison point à point, atténuation, multiplexage numérique, trame MIC, PDH, SDH, modulation QAM, TDM, FDM.

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : **Télécommunication et réseaux**

Thème

Etude d'une liaison FHN dans une zone à terrain complexe

Mémoire soutenu publiquement le 17/07/2016

Encadré par :

Mr. Mohamed TAHANOUT

Dirigé par :

Mr. Hamid YESLI

Présenté par :

M^{elle} Dalila BOUMEDINE

Lieu de stage : **Algérie Telecom**

Liste des tableaux

Tableau 1-1: comparaison des supports de transmission

Tableau 2-1 : plan de fréquences utilisé par Algérie télécom

Tableau 3-1 : caractéristiques radio électriques de la liaison Akbil_A.E.H

Tableau 3-2 : caractéristiques radio électriques de la liaison Tirmatine_Balloua

Tableau 3-3 : distance du bond Tirmatine_Balloua

Tableau 3-4 : distance du bond Akbil_A.E.H

Tableau 3-5 : tableau des puissances

Tableau 3-6 : gain des antennes d'émission et de réception

Tableau 4-1 : valeurs de A_r (dB) et α (dB)