

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 : Télécommunications et Réseaux

Présenté par :

BACHA Salem

BASSAID Nadia

Thème :

**Etude et mise en Service d'une
Liaison Faisceau Hertzien numérique
dans le MSAN**

Président : Mr LAZRI

Encadreur : Mr OUALLOUCHE

Examineur : Mr HAMMEG

Examineur : Mr SAHED

Promotion 2014 - 2015

A decorative scroll with a parchment-like texture, featuring a floral border of pink and white roses and smaller blossoms. The scroll is unrolled, showing text in French. The title 'Remerciements' is written in a purple, serif font at the top center. Below it, the text is organized into a list of six items, each preceded by a small purple square icon. The scroll is set against a white background.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement :

-  *En premier lieu le bon dieu de nous avoir donné force, foie, courage et patience pour réaliser ce travail*
-  *Nos sincères remerciements pour notre promoteur Mr OUALLOUCHE .fethi pour sa disponibilité tout au long de notre travail.*
-  *Nous tenons à remercier aussi notre encadreur Mr : ISLY hamid pour son dévouement, soutien et son orientation tout au long de notre période de stage afin d'aboutir, à l'objectif tracé.*
-  *Ainsi Mr : BERCHICHE.S et à toute l'équipe d'ALGERIE Télécom et l'ensemble des enseignants pour toute l'aide et connaissance qu'ils ont apporté durant tout notre cursus de stage et universitaire.*
-  *A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*
-  *Enfin, nous remercions s'adressent aux membres du jury qui vont nous faire l'honneur de juger notre travail.*



Dédicace

*Je dédie ce travail à mon défunt et très cher grand père ;
et à ma très chère et gracieuse grand mère, qui a toujours porté
ses espoirs en moi et que j'aime plus que tout au monde.*

*Le ciel comme feuille et la mer comme encre, ne suffiront
jamais pour les remercier tous, à ma très chère mère et dada
mouloud, pour leurs présence et soutien pendant mes études et
dans ma vie et surtout à mes très chère oncles, tantes surtout :
« Nadia ».*

*A mon frère, mes sœurs, krimo et mes amis(es)
A mes très chère beau-père, belle-mère, beau-frère et Mon
amour « HAKIM »*

*Les lignes ne suffiront jamais pour vous dénombrer mes
mon cœur est largement grand pour vous accueillir.*

*En outre, à mon cher binôme et ami SALIMO et son
aimable famille.*

A tous ceux qui m'inspirent la vie, l'espoir et la réussite...

*BASSAID Nadia
« Siham »*





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à Mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mon cher frère et adorable sœurs.

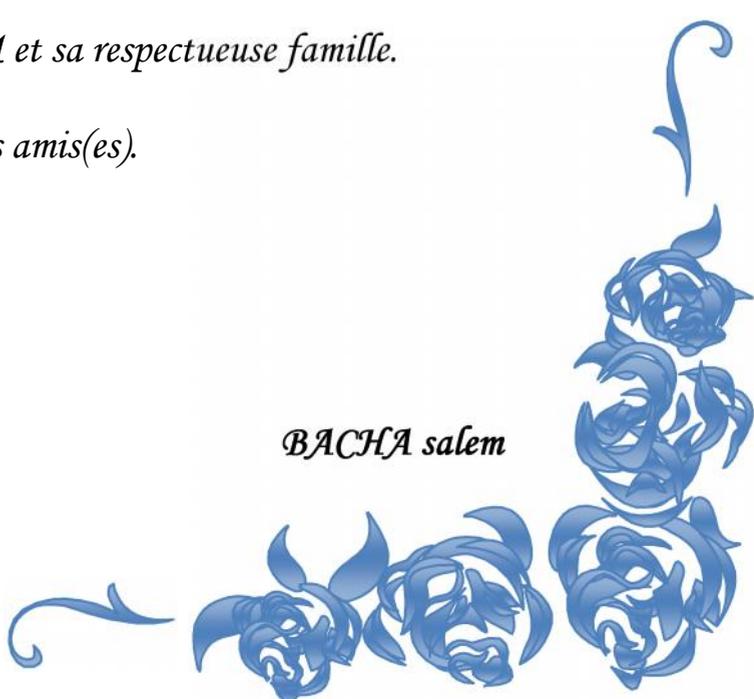
A mon grand père SALEM

A celle qui m'a été toujours fidèle et a toute sa famille.

A mon binôme SIHAM et sa respectueuse famille.

A mes amis(es).

BACHA salem



GLOSSAIRE

A

ADSL: Asymétric Digital Subscriber Line

ATM: Asynchronous Transfer Mode

ASK: Amplitude-shift keying (modulation d'amplitude)

B

BTS : Base station transceiver

BLR : boucle locale radio

C

CDMA: Code Division Multiple Accès

CNF: centre nationale de fréquence.

D

DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer

F

FSK: frequency-shift keying (modulation de fréquence)

G

GPS: Global Positioning System

I

IP: Internet Protocol

ISDN : Integrated Services Digital Network

M

MSAN: Multiservice access Node

GLOSSAIRE

N

NGN: Next Generation Network

P

PSK: phase -shift keying (modulation de phase)

PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy

R

RTC: Réseau Téléphonique Commuté

RNIS : Réseau Numérique à Intégration des Services

S

SIP: Session Initiation Protocol

V

VOIP: Voice over Internet Protocol

W

WIMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access(un standard de communication sans fil)

WLL: Wireless Local Loop (Boucle Local Radio)

X

XDSL: Digital Subscriber Line:

- IDSL (ISDN Digital Subscriber Line)
- ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)
- ADSL 2+ amélioration de l'ADSL
- ReADSL 2 (Reach Extended Digital Subscriber Line)
- HDSL (High Bit Rate Digital Subscriber Line)

GLOSSAIRE

- RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line)
- SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line)
- VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line)
- VDSL2 : amélioration du VDSL

Liste des tableaux

Tab.1. Longueurs des bords et diamètre des antennes en fonctions des fréquences.

Tab.2. Les puissances sorties d'émission P_{tx} .

Tab.3. Le gain d'antenne.

Tab.4. Coordonnées géographiques des sites.

Tab.5. Les différentes valeurs des fréquences a utilisé.

SOMMAIRE

Sommaire

Introduction	1
--------------------	---

CHAPITRE I : Généralités sur le réseau MSAN

1. préambule	3
2. Réseau téléphonique à commutation de circuit (RTC)	3
3. L'ADSL	4
3.1. Définition de l'ADSL	5
4. WIMAX	5
4.1. Définition WIMAX	5
5. WLL	6
6. Présentation du MSAN	7
6.1. Etude du concept NGN	7
6.2. Architecture NGN en couches	7
6.3. Migration des services et les phases de développement de MSAN	9
6.3.1. La première phase	9
6.3.2. La deuxième phase	11
6.4. Le Multi Service Access Node (MSAN)	13
7. Les différents types des MSAN	13
8. description de l'équipement MSAN (HUAWEI)	13
9. Discussion	14

CHAPITRE II : Etude d'une liaison FHN point à point

1. Préambule	15
2. Définition d'une liaison FH	15
3. Principe d'un faisceau hertzien	15
4. Signaux à transmettre, et Multiplexage	16
5. les liaisons radioélectriques	17
5.1. Station relais	18
5.2. Structure d'une station terminale	18
6. caractéristique de la liaison FH	18
6.1. Les catégories des faisceaux hertziens	19

Sommaire

6.1.1. Les faisceaux hertziens fonctionnent en visibilité directe.....	19
6.1.2. Les faisceaux hertziens transhorizon	20
7. Notion des Propagation des ondes.....	20
7.1. Définition d'une onde électromagnétique	20
7.2. Propagation en espace libre	21
7.3. Propagation en visibilité	21
7.4. Ellipsoïdes et zones de Fresnel.....	25
7.5. Propagation en non-visibilité	26
8. Facteurs pouvant affecter la propagation	26
8.1. Dégagement	26
8.2. Réflexion, trajets multiples	27
8.3. La diffraction	27
8.4. La réfraction	28
8.5. Atténuation par le gaz de l'atmosphère	28
8.6. Atténuation dues aux hydrométéores	28
9. les modulations	29
9.1. Modulation pour faisceaux hertziens analogiques	29
9.2. Modulation pour faisceaux hertziens numériques	29
10. Les antennes	30
10.1. Définition.....	30
10.2. Les caractéristiques de rayonnement	30
10.2.1 Intensité de rayonnement	30
10.2.2. Puissance totale rayonnée par une antenne	30
10.2.3 La résistance de rayonnement	31
10.2.4 Fonction caractéristique de rayonnement.....	31
10.2.5 L'angle d'ouverture	32
10.2.6 La directivité	33
10.2.7 Le gain d'une antenne	34
10.2.8 Le rendement d'une antenne	36
10.2.9 La polarisation	36
11. Les causes d'erreurs d'une liaison FH	37
11.1. La gigue	37

Sommaire

11.2. Le glissement d'horloge	37
11.3. Le bruit	37
12. les avantages et les inconvénients des faisceaux hertziens	37
12.1. Les avantage des faisceaux hertziens	37
12.2. Les inconvénients des faisceaux hertziens	38
13. Discussion	38

CHAPITRE III : Etude d'une liaison Faisceau Hertzien

1. Préambule	39
2. Les coordonnées géographiques des liaisons FH	39
2.1. Détermination du site	39
2.2. Les cordonnées de GPS	39
3. Vérification de la visibilité entres les deux sites	39
4. Vérification de direction de la station opposée	39
4.1. Mesure par la boussole	39
4.2. Mesure solaire d'azimut	40
5. Description d'un bond par Faisceau Hertzien	40
6. Structure de l'émission/réception pour les faisceaux hertziens	41
7. l'antenne parabolique	43
8. Bilan de liaison	44
8.1. Le choix de la liaison	44
8.2. Détermination des fréquences a utilisée	44
8.3. Calcul de niveau de réception.....	44
8.4. Puissance sortie d'émission	45
8.5. Gain d'antenne	45
8.6. Affaiblissement d'espace libre	45
8.7. Polarisation des antennes	46
8.8 Outils nécessaires pour localisation des sites	46
8.9. Source d'alimentation	46
8.10. Mesure de Latitude longitude	47
8.11. Mesure de l'Altitude	47

Sommaire

9. outils nécessaires pour l'installation.....	47
10. Discussion	50

CHAPITRE IV: Installation et mise en service

1. Préambule	51
2. Description général du projet	51
3. Localisation du projet	51
4. Détermination de la hauteur des pylônes d'antennes	53
5. Configuration	55
6. Les tests	61
7. Discussion.....	62

Conclusion	63
------------------	----

Annexe

Bibliographie

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Aujourd'hui, les réseaux des télécommunications sans fil font partie de notre quotidien. Leurs domaines d'applications sont multiples : téléphonie mobile, liaisons satellitaires, liaisons hertziennes, réseaux locaux d'entreprise,...etc. [1].

Dans le souci de permettre aux populations de communiquer partout et en temps réel, bon nombre d'entreprises s'interrogent sur les infrastructures à utiliser. La mise en œuvre de ces infrastructures demeure un important vecteur de développement d'un pays.

Les systèmes radio utilisent la propagation des ondes radio électriques pour véhiculer les informations d'un point à un autre, on les appelle généralement Faisceaux Hertziens (FH). Une liaison FH exploite le support d'ondes radioélectriques, par des fréquences porteuses allant de 1Ghz à 40Ghz, focalisées et concentrées grâce à des antennes directives. Par conséquent, les FH sont des supports de transmissions permettant de relier deux points éloignés à distance avec un bon débit.

Plusieurs équipements, peuvent être utilisés dans les liaisons FH [2]. Parmi lesquels, le MSAN (Multi Service Access Node) permet d'avoir plusieurs services : voie, TV et internet [3].

Notre travail consiste à étudier une liaison FH dans le cas d'un équipement MSAN puis à la mise en service cette liaison entre deux sites dans la région de TIZI-OUZOU. Ce travail a été effectué au sein de l'entreprise ALGERIE TELECOM.

Pour une meilleure présentation de ce travail nous avons structuré le présent mémoire en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons les généralités sur l'équipement MSAN.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude d'une liaison FH numérique et ses caractéristiques.

Le chapitre trois est dédié à la présentation des différents équipements utilisés dans une liaison FH.

Dans le dernier chapitre, nous présentons la partie pratique réalisée au sein d'Algérie Télécom. Après une étude des sites, nous avons installés et mis en service une liaison FH entre ces sites.

Enfin, nous terminons par une conclusion et une bibliographie.

CHAPITRE I:

Généralités sur les réseaux MSAN

1. Préambule:

La révolution des télécommunications a marqué un tournant majeur dans l'histoire de l'humanité. En effet, elle joue un grand rôle dans la mondialisation et la globalisation que nous vivons aujourd'hui.

L'usage de téléphone a augmenté plus vite depuis 2003 en Afrique que dans toute autre région du monde. Selon Informa Telecom & Media, l'Afrique est devenue en fin 2011 la deuxième région la plus connectée du monde après l'Asie, avec 616 millions d'abonnés à la téléphonie mobile. Tous les pays ont adoptés cette technologie, amenant l'innovation et la connectivité même dans les endroits les plus reculés.

Les télécommunications ont connu plusieurs phases dans leur évolution. D'abord on a eu l'ère du télégraphe, ensuite celle du téléphone (fixe et mobile) puis l'évènement de la télévision et de la radio enfin celle de l'internet.

Dans ce chapitre, nous présentons l'historique de l'évolution des différents réseaux utilisés pour la transmission commencent de la transmission de la voix avec le réseau RTC jusqu'au l'équipement MSAN qui permettra de transmettre la voix et les données :

2. Réseau téléphonique à commutation de circuit (RTC) :

Le service offert par le réseau téléphonique commuté (RTC) est de mettre en relation deux postes d'abonnés. L'échange d'informations nécessaires à l'établissement, au maintien et à la rupture de la relation s'appelle la signalisation. Le RTC est organisé en trois sous-parties : la commutation, la transmission et la distribution.

- La commutation : est la partie centrale du réseau. Elle permet de réaliser la mise en relation temporaire entre les abonnés. Elle est constituée de commutateur de circuits.
- La transmission : désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour relier les commutateurs entre eux. Les supports utilisés peuvent être divers : Fibre optiques, Faisceaux hertziens, Câbles métalliques. Chaque support peut transporter des multiples communications simultanément. L'objectif recherché est les dimensionner pour les utiliser au mieux tout en offrant une qualité de service suffisante.

L'ensemble des commutateurs et des supports de transmission entre les commutateurs est appelé « réseau de transmission ou réseau de transport ».

- La distribution : désigne l'organisation technique mise en œuvre pour relier les abonnés au commutateur le plus proche appelé « commutateur de rattachement ».

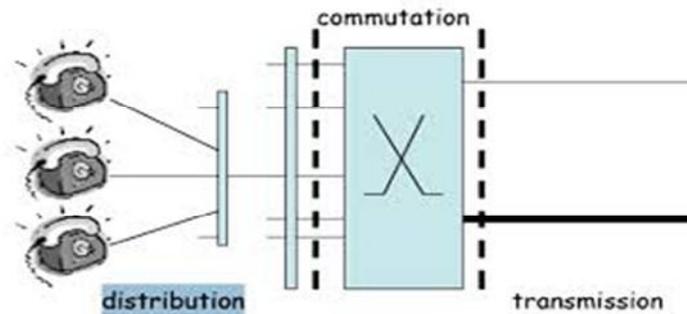


Fig.1. Schéma général du réseau téléphonique à commutation

3. L'ADSL :

A la fin du 20^{ème} siècle, le principe du réseau téléphonique commuté (RTC) restait relativement simple: Chez l'abonné le téléphone était relié à un câble constitué d'une paire torsadée de fils de cuivre. Câble dont l'autre extrémité était reliée à un commutateur téléphonique situé dans le central téléphonique. Ensuite, les communications étaient acheminées sur le réseau de l'opérateur, jusqu'au central du destinataire où l'on retrouvait la même configuration.

Avec l'arrivée de l'ADSL (L'Asymmetric Digital Subscriber Line), les choses se sont un peu compliquées. Parce que l'accès ADSL utilise une méthode pour pouvoir exploiter les mêmes câbles que le RTC. En effet, la voix utilise une bande de fréquence relativement étroite. Or une paire de cuivre torsadée (le câble téléphonique) possède une bande passante plus large que nécessaire pour le RTC. L'idée est là: pourquoi ne pas exploiter la bande passante inutilisée pour transporter des données. Cette technique, qui permet d'utiliser le même câble que le téléphone pour transporter des données numériques, porte le nom de DSL (Digital Subscriber Line).

3.2 Définition de l'ADSL :

L'ADSL est une technique de communication numérique de la famille xDSL. Elle permet d'utiliser une ligne téléphonique, une ligne spécialisée, ou encore une ligne RNIS (en anglais *ISDN*, soit *Integrated Services Digital Network*), pour transmettre et recevoir des données numériques de manière indépendante du service téléphonique conventionnel (c'est-à-dire analogique) via un filtre ADSL branché à la prise. La technologie ADSL est massivement mise en œuvre par les fournisseurs d'accès à Internet pour le support des accès dits « haut-débit ».

L'ADSL n'en est qu'une variante dans laquelle le débit montant (du client vers internet) est plus faible que le débit descendant (d'internet vers le client). Cette configuration asymétrique (d'où le 'A' de l'ADSL) est adaptée à un usage domestique où l'utilisateur final a plus besoin de recevoir des données que d'en transmettre. [4]

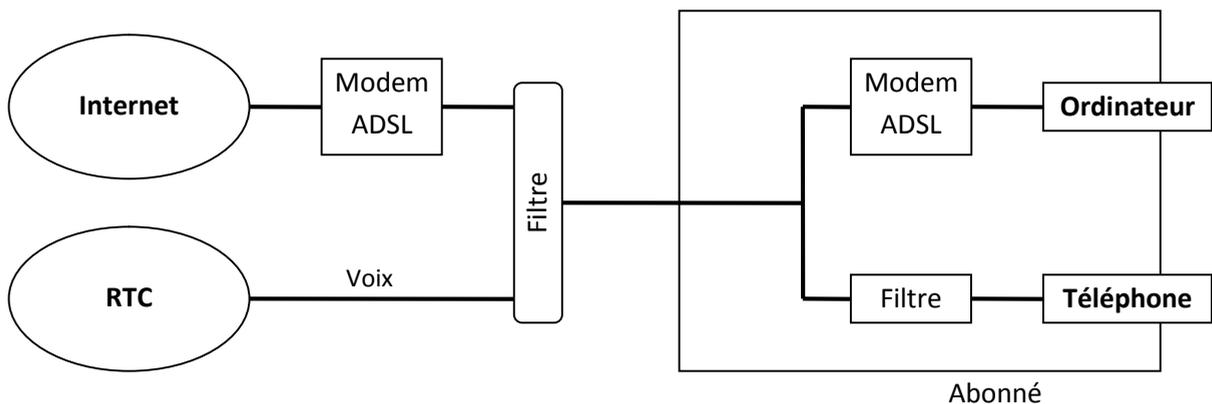


Fig.2. Connexion abonné avec réseaux voix-données

4. WIMAX :

A côté des liaisons filaires, il existe aujourd'hui des techniques sans fil qui permettent de réaliser une liaison entre l'abonné et l'infrastructure des télécommunications du fournisseur de service (ALGERIE TELECOM), car étant non couvertes par l'ADSL, la technologie WiMAX commence à faire parler d'elle. Perçu comme un remède aux zones blanches grâce à ses débits ainsi que des distances couvertes supérieurs au Wi-Fi, le WiMAX reste une technologie jeune, en devenir.

4.1. Définition du WIMAX :

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) désigne un standard de communication sans fil, par onde hertzienne. Aujourd'hui surtout utilisé comme mode de transmission et d'accès à Internet haut débit, portant sur une zone géographique étendue. Ce terme est également employé comme label commercial, à l'instar du Wi-Fi.

Le WiMAX pourra être utilisé comme réseau de collecte : relier les hotspots Wi-Fi à l'Internet par voie hertzienne (et non plus filaire comme c'est le cas avec l'ADSL), mais également relier les différents hotspots entre eux. Le WiMAX, enfin, permettra de couvrir les zones blanches (non couvertes par les technologies filaires : ADSL ; câble) en développant la Boucle Locale Radio (BLR : réseau sans fil). Le WiMAX permettra alors aux particuliers d'accéder aux offres Triple Play (téléphonie, télévision numérique via Internet, accès Internet haut débit).

Le Wimax

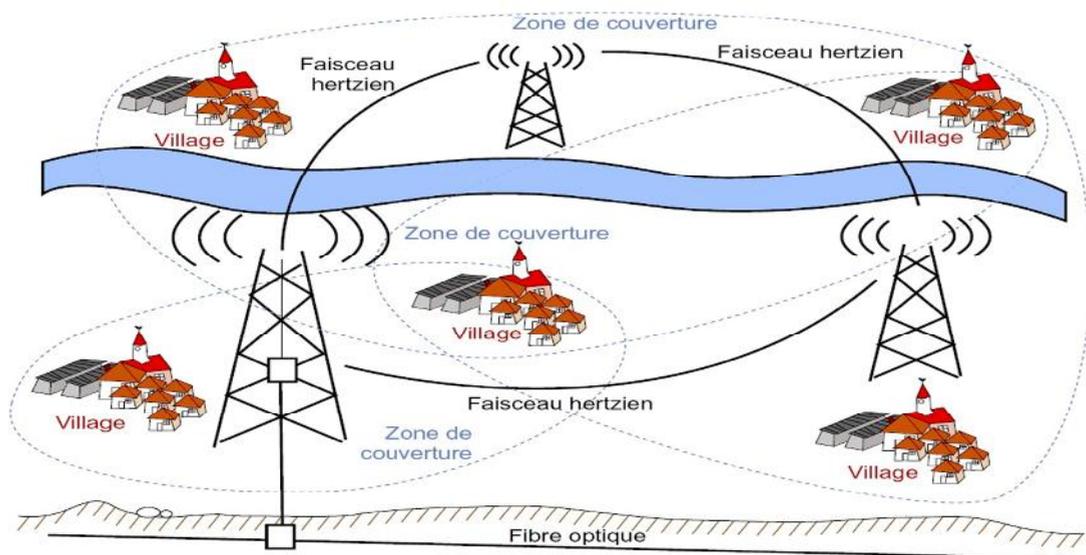


Fig.3. Schéma d'une liaison FH d'un réseau Wimax

5. Le WLL :

Alors que la demande en accès Internet haut débit ne cesse d'augmenter et que certaines régions restent à l'écart de la révolution du haut débit, pour l'ensemble de ces techniques on utilise le WLL « Boucle Local Radio », en anglais « Wireless Local Loop ». Compte tenu de la souplesse et de la fiabilité d'intégration des solutions sans fil et pour

résorber le retard important accusé en matière de pénétration téléphonique au niveau des zones urbaines, suburbaines et rurales, Algérie Télécom a opté pour le recours à la technologie d'accès CDMA-WLL.

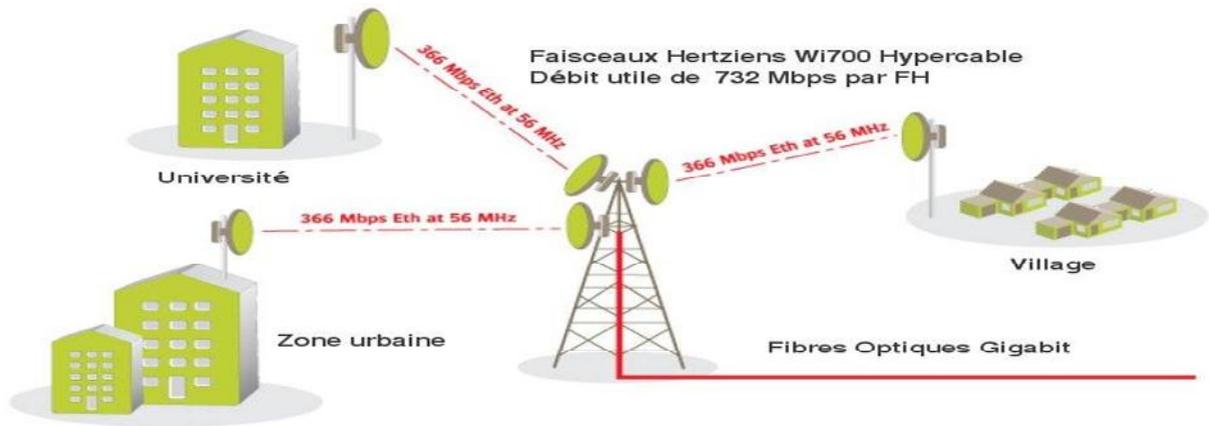


Fig.4. Schéma d'une liaison FH d'un réseau WLL

6. Etude de la solution MSAN :

6.1. Etude du concept NGN :

Les NGN (Next Generation Network) sont définis comme un réseau de transport en mode paquet permettant la convergence des réseaux Voix/données et Fixe/Mobile; ces réseaux permettront de fournir des services multimédia accessibles depuis différents réseaux d'accès.

Afin de s'adapter aux grandes tendances qui sont la recherche de souplesse d'évolution de réseau, la distribution de l'intelligence dans le réseau, et l'ouverture à des services tiers, les NGN sont basés sur une évolution progressive vers le «tout IP» et sont modélisés en couches indépendantes dialoguant via des interfaces ouvertes et normalisées.

6.2. Architecture NGN en couches :

Le passage à une architecture de type NGN est notamment caractérisé par la séparation des fonctions de commutation physique et de contrôle d'appel. L'architecture NGN introduit un modèle en couches, qui scinde les fonctions et équipements responsables du transport du trafic et du contrôle. Il est possible de définir un modèle architectural basé sur quatre couches successives:

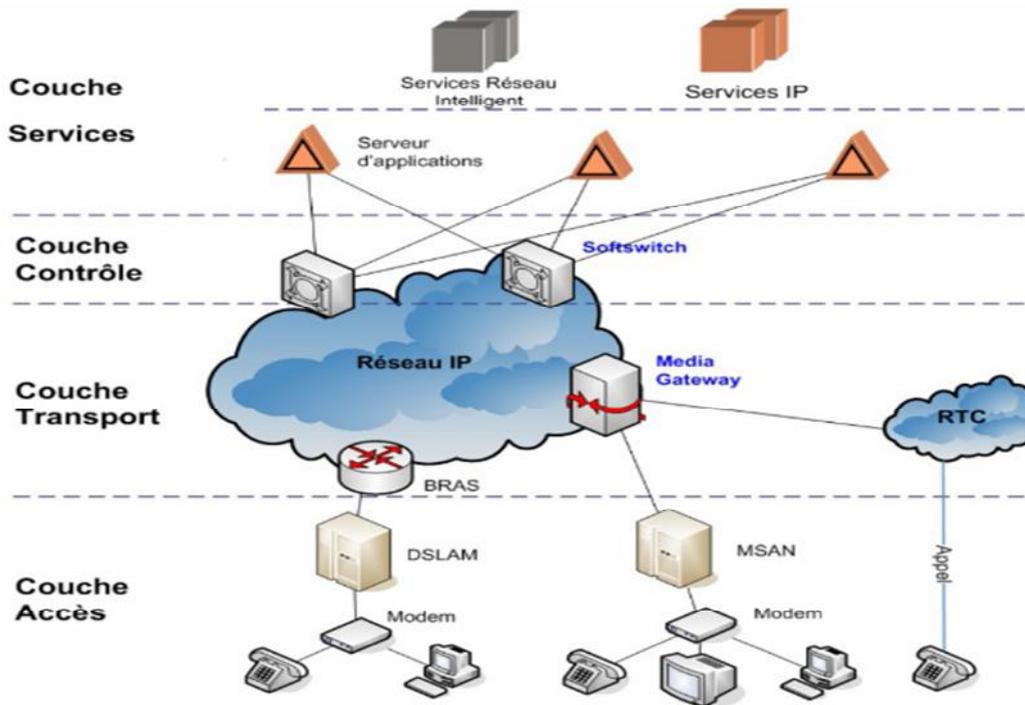


Fig.5. Architecture générale d'un réseau NGN

- ✚ **La couche d'accès**, qui regroupe les fonctions et équipements permettant de gérer l'accès des équipements utilisateurs au réseau, selon la technologie d'accès (téléphonie commutée, DSL, câble). Cette couche inclut par exemple les équipements DSLAM fournissant l'accès DSL.
- ✚ **la couche de transport**, qui est responsable de l'acheminement du trafic voix ou données dans le cœur de réseau, selon le protocole utilisé. L'équipement important à ce niveau dans une architecture NGN est le Media Gateway (MGW) responsable de l'adaptation des protocoles de transport aux différents types de réseaux physiques disponibles (RTC, IP, ATM, ...).
- ✚ **la couche de contrôle**, qui gère l'ensemble des fonctions de contrôle des services en général, et de contrôle d'appel en particulier pour le service voix. L'équipement important à ce niveau dans une architecture NGN est le serveur d'appel, plus communément appelé «softswitch», qui fournit, dans le cas de services vocaux, l'équivalent de la fonction de commutation dans un réseau NGN.
- ✚ **la couche services**, qui regroupe l'ensemble des fonctions permettant la fourniture de services dans un réseau NGN. En termes d'équipements, Cette couche regroupe deux types d'équipement : les serveurs d'application (ou application servers) et les «enablers», qui sont des fonctionnalités, comme la gestion de l'information de

présence de l'utilisateur, susceptibles d'être utilisées par plusieurs applications. Cette couche inclut généralement des serveurs d'application SIP, car SIP (Session Initiation Protocol) est utilisé dans une architecture NGN pour gérer des sessions multimédias en général, et des services de voix sur IP en particulier.

6.4. Migration des services et les phases de développement de MSAN :

6.4.1. La première phase :

Cette phase consiste à faire migrer les abonnés du DSLAM vers le MSAN et elle comporte plusieurs étapes :

1- Le DSL tel qu'il est déployé aujourd'hui permet de supporter sur une même ligne des services vocaux RTC classiques et des services de données en haut débit sur une même paire de cuivre grâce à l'usage de filtres. La carte de la ligne d'abonné est localisée dans le concentrateur local.

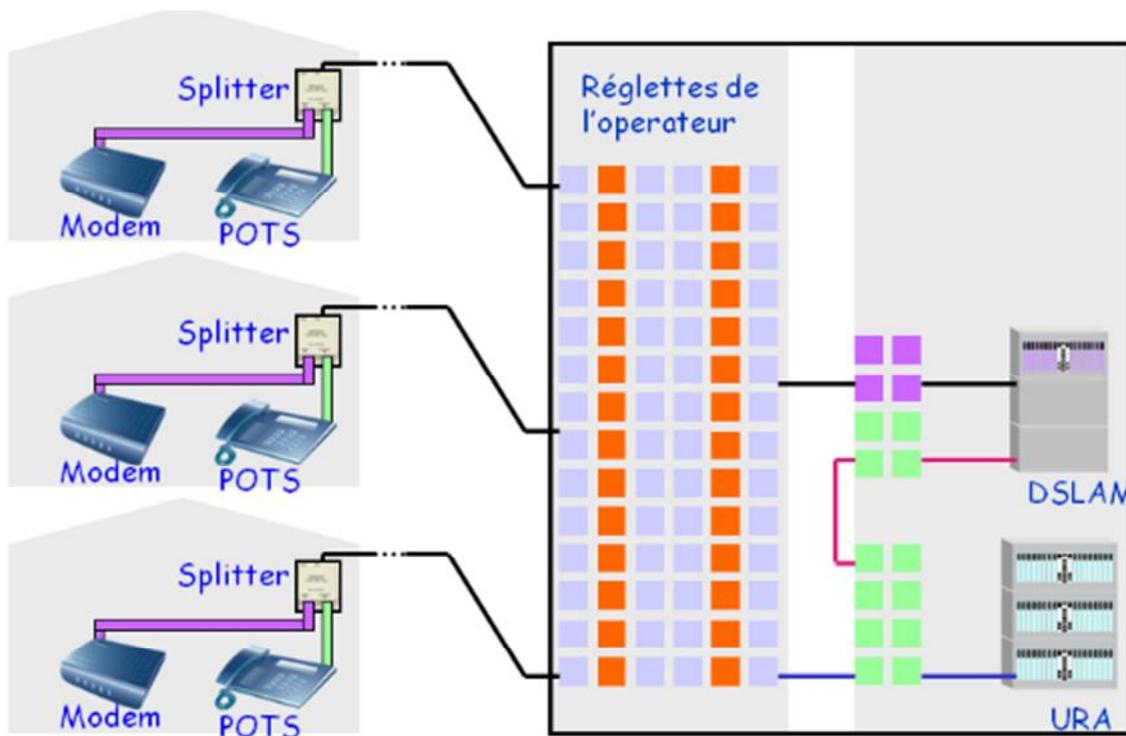


Fig.6. Phase 1 de migration

2- L'installation du MSAN sur les sites de l'Opérateur x tout en gardant l'architecture ancienne du Réseau.

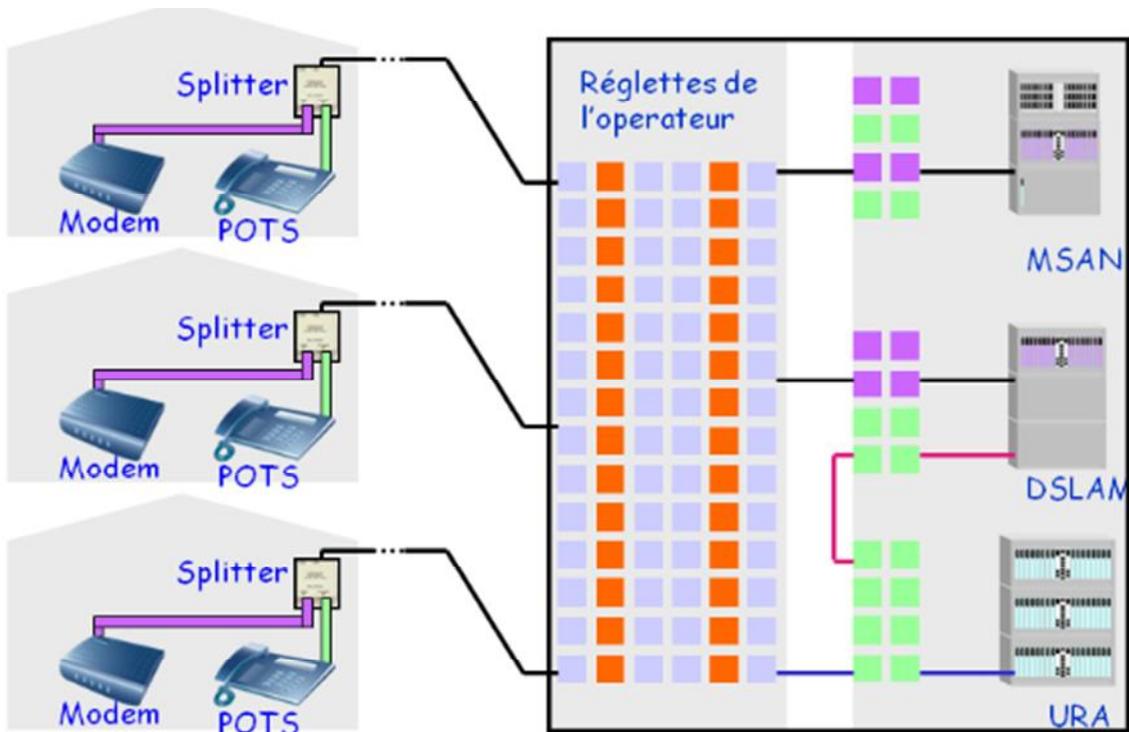


Fig.7. Phase 2 de migration

3- Raccordement du MSAN au Réseau. Dans cette étape le MSAN joue le même rôle que le DSLAM, il nous achemine juste les données, donc on peut se débarrasser du DSLAM

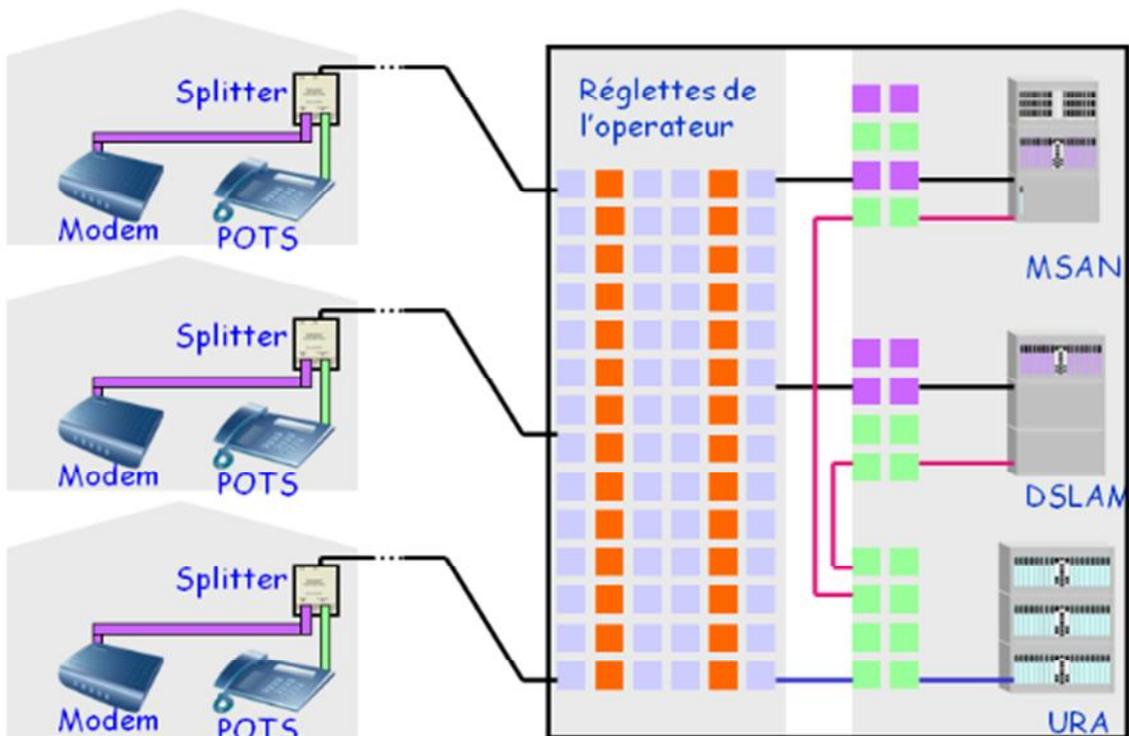


Fig.8. Phase 3 de migration

4- Dans cette étape on élimine le DSLAM et on laisse le MSAN qui fait le rôle du DSLAM enlevé.

Cette étape est la dernière étape dans la 1ere Phase. L'opérateur utilise encore son RTC pour l'acheminement de la voix et le MSAN comme point d'accès au réseau IP.

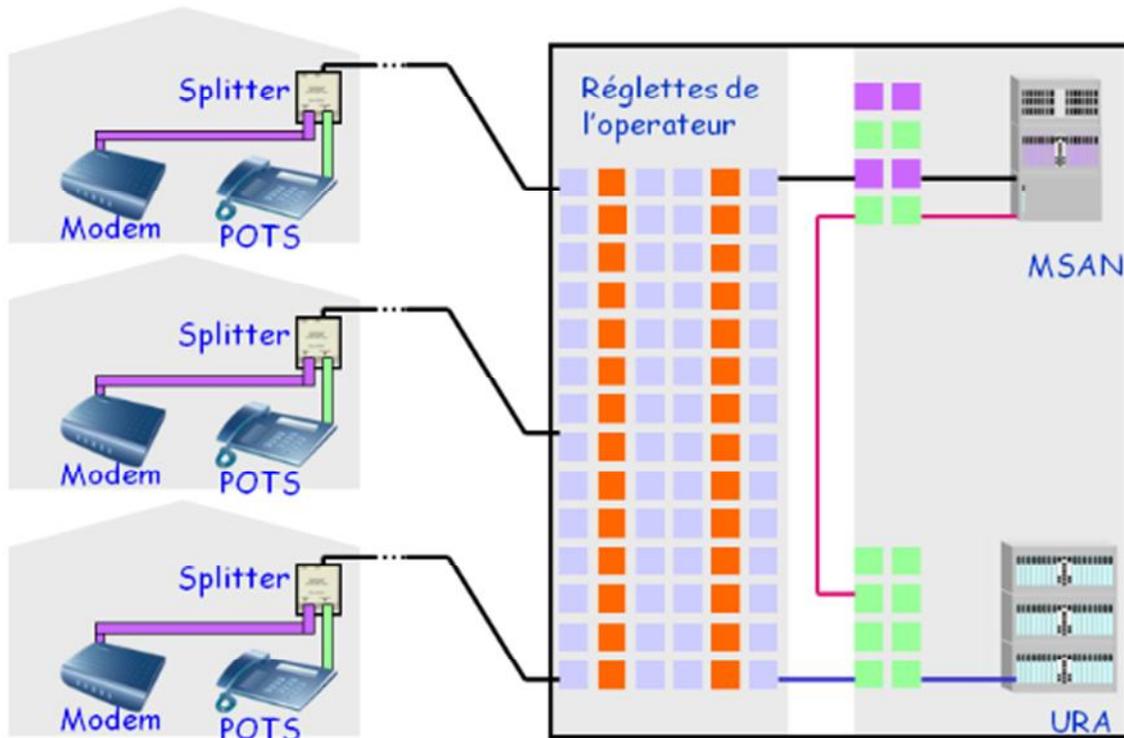


Fig.9. Phase 4 de migration

6.4.2. La deuxième phase :

1- Dans cette étape les cartes RTC et DSL sont maintenant localisées dans le MSAN pour devenir un pur équipement IP, qui assure la terminaison des appels vocaux RTC et les convertit en VoIP. Les abonnés existants et les nouveaux abonnés migrent automatiquement vers la VoIP, même si le service qu'ils reçoivent est toujours de type RTC.

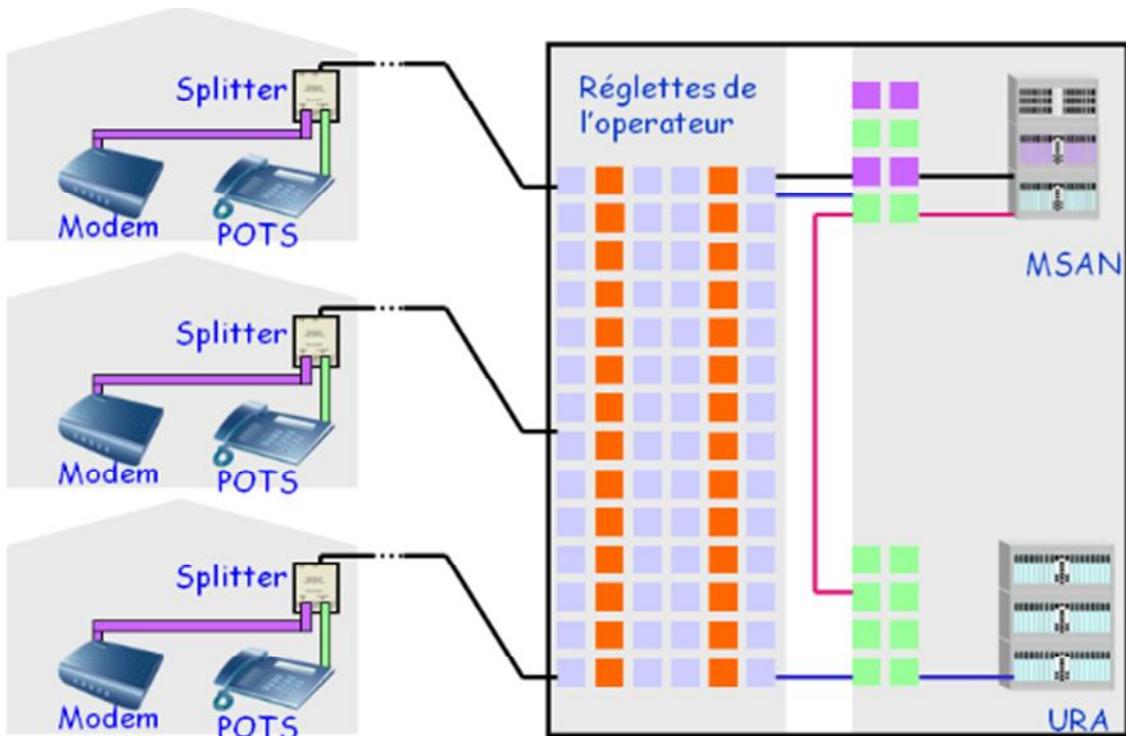


Fig.10. Phase 5 de migration

2- Une fois que la migration a attiré suffisamment d'utilisateurs et que l'opérateur est prêt, le reste des abonnés RTC peut être transféré sur la nouvelle plateforme IP et le réseau RTC peut alors être définitivement abandonné. [3]

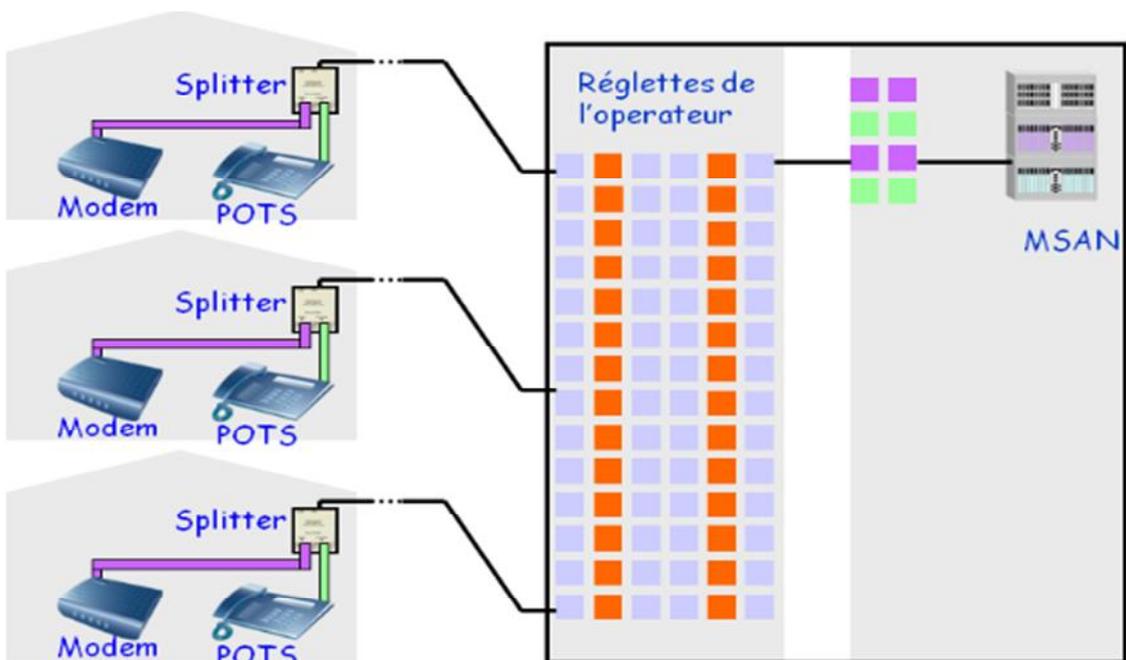


Fig.11. Phase 6 de migration

6.3. Le Multi Service Access Node (MSAN) :

Les MSAN constituent une évolution naturelle des DSLAMs. Un MSAN est un équipement qui constitue, dans la plupart des architectures de type NGN, un point d'entrée unique vers les réseaux d'accès des opérateurs. A la différence d'un DSLAM, dont le châssis ne peut supporter que des cartes permettant de proposer des services de type xDSL, un MSAN peut supporter des cartes RNIS, Ethernet,... De ce fait, au sein d'un seul et même châssis, l'opérateur peut déployer toutes les technologies d'accès envisageables sur son réseau. Le rôle de media Gateway décrit ci-avant peut, dans certains cas, être « embarqué » au sein de ce MSAN, et disparaître en tant que nœud de réseau dédié.

7. Les différents types des MSAN :

- **MSAN hub**: est un MSAN qui comprend la Carte de signalisation NVPS cette carte est chargée de gérer la signalisation de 5000 communications.
- **MSAN sous étendu** : est un MSAN qui est lié directement à un MSAN hub et que toutes les communications passante sont gérées par le MSAN hub.
- **MSAN distant**: est un MSAN qui n'est pas relié directement à un MSAN hub mais il peut être relié à un Switch du réseau et que toutes ses communications sont gérées par la carte NVPS du MSAN hub, il s'agit des MSAN déployées pour remplacer les sous répartiteurs.

8. Description de l'équipement MSAN (Huawei) :

Le MSAN Huawei UA5000, est une nouvelle technologie utilisé à Algérie télécom qui permet à travers des équipements de ligne et de commutation de transporter la voix, les données, la vidéo et multimédia.



Fig.12. Equipment MSAN (Huawei UA5000)

9. Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons introduit les différentes catégories des réseaux de communication qui contient les réseaux filaires RTC, ADSL et MSAN accompagné a des réseaux sans fils comme le WIMAX, WLL Qui sont en développement et amélioration de tous équipements pour avoir un haut débit suffisant pour la bonne transmission et acquisition des différentes données.

CHAPITRE II:

Etude d'une liaison FHN point à point

1. Préambule :

La transmission d'information est l'échange des informations entre un terminal A et un terminal B éloignés géographiquement l'un de l'autre.

Cet échange est réalisé à l'aide des équipements spéciaux, par intermédiaire d'un équipement des télécommunications.

Dans ce chapitre, nous essayons de présenter les principales caractéristiques de l'un des supports de transmission qui est le Faisceau Hertzien.

2. Définition des Faisceaux Hertiens :

Les Faisceaux Hertiens sont destinés à la mise en œuvre des réseaux des télécommunications, initialement conçus pour transmettre des multiples téléphoniques ou des images analogique, connaissent une évolution constante liée à la numérisation des supports de transmission ainsi qu'au traitement de l'information.

Les faisceaux Hertiens sont des supports de transmission point à point. Les fréquences porteuses utilisent les ondes radio électriques, hyperfréquence de 1 à 40GHz (nous utiliseront les fréquences 6, 8, 11, 15,18, 23 et 38 GHz).L'énergie des ondes est concentrée dans une direction donnée à l'aide d'une antenne assez directive.

Les faisceaux Hertiens numérique offrent de grandes capacités de débits et sont évolutifs en fonction des besoins de l'utilisateur, ils sont souvent complémentaires de réseaux de fibre optique pour assurer la continuité de certain points de raccordement.

Les débits vont de 2 à 800 Mbps. C'est le développement de la téléphonie, et en particulier l'apparition du téléphone mobile qui a permis un grand développement aux faisceaux hertiens. Ce procédé permet de transmettre des signaux d'information.

3. Principe d'une liaison FH :

Une liaison hertzienne permet de relier deux sites distants, c'est une alternative à un réseau filaire, en effet l'avantage est de pouvoir créer son propre réseau. Un opérateur de téléphonie mobile peut se développer grâce au faisceau hertzien. Il lui suffit de réserver des gammes de fréquences pour pouvoir émettre.

Les télécommunications hertiennes permettent des liaisons point fixes à point fixes (relais téléphoniques, relais de télévision, etc.) Ou entre mobiles. La souplesse de

l'infrastructure nécessaire permet de desservir des zones géographiques impropres aux communications filaires.

En contrepartie, l'encombrement spectral limite le nombre des canaux de communications et ce d'autant plus que l'atmosphère impose ses propres contraintes. Les fréquences des systèmes des télécommunications sont donc attribuées par ANF (agence nationale des fréquences). Selon la forme (numérique ou analogique) sous laquelle se présente ces informations, différents types de modulation sont utilisés, d'une part pour former le multiplex et d'autre part pour transposer le spectre des signaux dans la gamme de fréquences appropriées pour l'émission. [2]

4. Signaux à transmettre, et Multiplexage :

✚ Signaux numériques :

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

Pour numériser un signal, il est tout d'abord échantillonné, et il ensuite quantifier, pour lui attribuer un niveau de tension par rapport à son échantillonnage ; et pour terminer, il est codé pour être ainsi transmis.

Ordre 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 (dépendant de la qualité voulue).

✚ Multiplexage PDH

PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy :

Le faisceau hertzien utilise un multiplexage PDH, avec une trame de 2 Mbit/s (32 * 64kbit/s soit 30 voies téléphoniques).

Le faisceau hertzien peut transporter plusieurs trames PDH de 2Mbit/s (4x, 8x, 16x2Mbits/s).

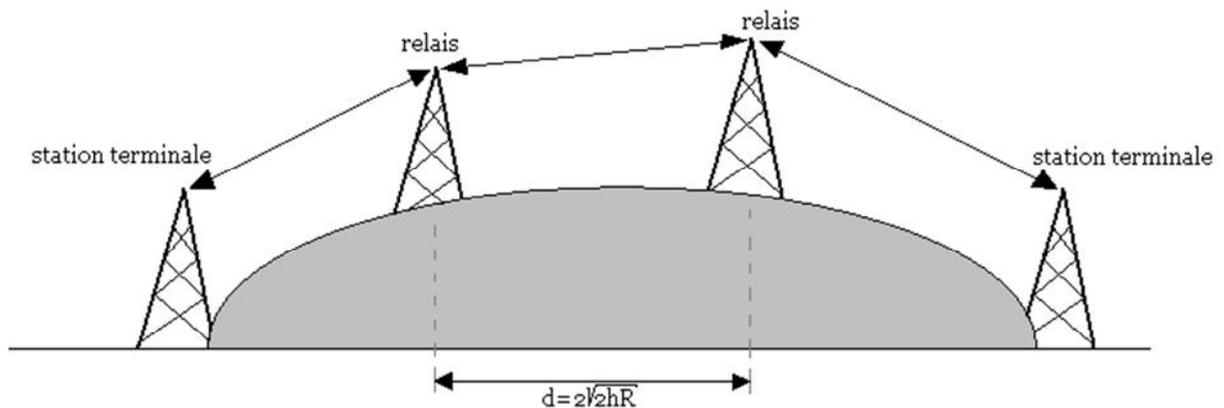
Lorsqu'un équipement de transmission transporte un signal PDH, il est ajouté à ce signal des éléments propres à la supervision de la transmission (voies de service, alarmes, téléseñalisations...) et à l'amélioration de la qualité (code correcteur d'erreurs...).

Le débit réel de l'agrégat ainsi constitué est donc toujours supérieur au débit utile client.

5. les liaisons radioélectriques :

Les liaisons radioélectriques utilisent la propagation des ondes électromagnétiques dans l'air libre. Elles ont l'avantage de ne pas nécessiter de lourds travaux d'infrastructure. Cependant le support utilisé est commun à tout le monde. Les bandes de fréquence représentent donc une ressource rare et leur utilisation est réglementée par des organismes officiels nationaux. 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 50 Km.

Une liaison hertzienne comprend deux stations terminales et des stations relais : elle est composée d'un ou plusieurs bonds. Une station terminale est toute station située à la fin d'une liaison hertzienne. Une station relais est située entre les stations terminales. Le bon hertzien, la distance séparent deux stations consécutives. [5]



avec h: hauteur des antennes

R: rayon de la terre

d = 50km

Une formule pour la distance entre deux tronçons ou bond est $d = 3,6(\sqrt{H_e} + \sqrt{H_r})$

Fig.13. Positionnement des stations terminales et des stations

d : hauteur en (Km)

h_e : hauteur de l'antenne d'émission en (m)

H_r : hauteur de réception en (m)

5.1. Station relais :

La nécessité, pour les faisceaux hertziens d'avoir une station relais 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.

5.2. Structure d'une station terminale :

La structure d'une liaison doit comporter dans chaque sens un émetteur, un récepteur, des antennes, ainsi qu'un modulateur et un démodulateur.

➤ **Modulateur /démodulateur :**

Le modulateur modifie les caractéristiques d'une onde électromagnétique pour lui faire porter l'information à transmettre. Le démodulateur effectue l'opération inverse : aux distorsions et au bruit près, il fournit un signal identique à celui qui a été appliqué au modulateur.

➤ **Emetteur :**

Grace au signal fourni par le modulateur, l'émetteur élabore une onde de puissance et de fréquence telle qu'elle puisse véhiculer l'information à travers l'atmosphère.

➤ **Récepteur :**

Grace à l'onde reçue, le récepteur élabore un signal utilisable par le démodulateur.

➤ **Antenne :**

Les antennes des faisceaux hertziens sont des dispositifs de couplages entre une ligne de transmission et le milieu ambiant.

A l'émission, elles assurent le rayonnement de l'onde électromagnétique qui les alimente. Les lignes de transmission reliant les émetteurs ou les récepteurs aux antennes sont des câbles coaxiaux ou plus souvent des guides d'ondes.

6. Caractéristiques de la liaison FH :

Utilisation :

Ce procédé permet de transporter des signaux d'information téléphonique, télévision d'un point à un autre du territoire : liaison point à point.

Ils sont utilisés dans :

- Les réseaux d'infrastructure.
- La téléphonie.
- La diffusion d'émission de télévision.

- Les réseaux de desserte.
- La boucle locale Radio.
- Débit théorique : peut atteindre les 1Gbit/s.

🚦 Full Duplex :

La transmission se fait dans les deux sens (bilatérales, elles doivent se faire simultanée, donc elle suppose l'emploi de deux fréquences distinctes dans les deux sens ;

Une succession des stations relais ayant pour chaque sens de transmission des émetteurs, des récepteurs et des antennes ;

Un rapport signal/bruit(S/B) élevé ;

Le réglage se fait à l'aide des appareils de mesure appropriés avec une procédure bien établie. [6]

6.1. Les type des faisceaux hertziens :

Les faisceaux hertziens sont classé en deux catégories suivent leurs caractéristiques radioélectriques.

6.1.1. Les faisceaux hertziens fonctionnent en visibilité directe :

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

On peut classer les FH en deux catégories:

🚦 Les FH analogiques utilisés principalement pour:

- La transmission des multiplex analogiques dont la capacité va de quelques voies téléphoniques à 2700 voies téléphoniques
- La transmission des images TV, des voies de sons et aussi d'autres signaux tels que les données.

🚦 Les FH numériques qui acheminent principalement:

- Des multiplex numériques dont les débits vont de 2 Mbits/s à 800 Mbits/s
- Des données à grande vitesse
- La télévision codée, etc....

Les deux types de FH sont différents par nature de signaux qu'ils transportent et par leur type de modulation. Les plans des fréquences établis par le CCIR peuvent être utilisés indifféremment par les FHA ou les FHN.

6.1.2. Les faisceaux hertziens transhorizon :

Les faisceaux hertziens transhorizon utilisent la diffusion et la diffraction des ondes électromagnétique dans les zones turbulentes de la troposphère pour établir la liaison entre les antennes.

7. Notions sur la Propagation des ondes :

La base de l'étude des faisceaux hertziens est la propagation des ondes. Une onde est un phénomène vibratoire dû à la propagation d'une perturbation, d'un ébranlement ou d'un choc. En effet, il a été constaté que lorsque la fréquence d'un courant alternatif s'élève, ce courant a tendance à s'échapper du conducteur qui doit normalement le véhiculer. D'où l'idée du rayonnement direct qui consiste à transmettre l'énergie au moyen d'un dispositif que l'on appelle « antenne de transmission ».

L'étude de la propagation consiste à déterminer la puissance reçue d'une antenne tout en connaissant la puissance rayonnée par une antenne émettrice, par une longueur d'onde quelconque, pour des dispositions quelconques des deux antennes, dans tous les milieux qu'ils peuvent rencontrer et en présence de tous les obstacles possible. [7]

7.1. Définition d'une onde électromagnétique :

Une onde électromagnétique est la résultante d'un champ électrique E et d'un champ magnétique H , couplés entre eux : les deux champs sont perpendiculaires l'un à l'autre, leurs amplitudes sont en rapport constant et leurs variations sont en phase. Dont les amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps. L'amplitude d'une onde électromagnétique varie donc de façon sinusoïdale au cours de sa propagation.

Une onde électromagnétique peut être produite par un courant électrique variable. Les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie, mais pas de matière.

Exemples d'ondes électromagnétiques :

- La lumière visible ;
- Les rayons X ;
- Les ondes hertziennes.

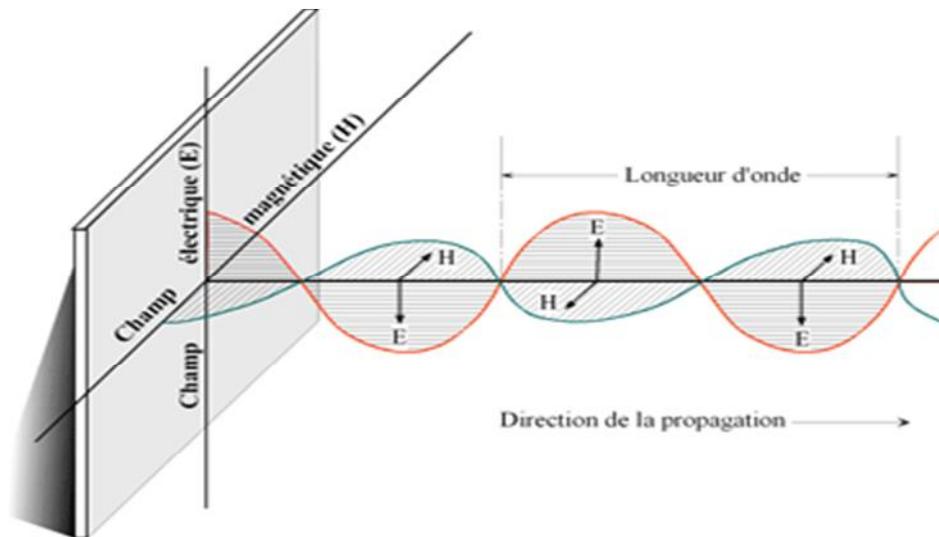


Fig.14. Propagation des ondes électromagnétiques

E : intensité du champ électrique (V/m)

H : intensité du champ magnétique (A/m)

7.2. Propagation en espace libre :

La propagation en espace libre est un cas théorique qui, dans la pratique, n'est que rarement vérifiée (cas des communications inter satellites par exemple). Dans certain cas, il est toutefois 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.

7.3. 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. Le premier ellipsoïde de Fresnel a pour foyers les antennes émettrices et réceptrices tel que la somme des distances d'un point de l'ellipsoïde aux antennes émettrices et réceptrices dépasse de 1/2 longueur d'onde la distance entre ces antennes.

Le rayon **R** du premier ellipsoïde de Fresnel est défini par la formule :

$$R = \frac{d}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_0 d}{f}} \quad \dots(1)$$

λ : longueur d'onde ;

C_0 : vitesse des ondes ;

F : Fréquence des ondes.

 **Réflexion des ondes - critères de Rayleigh :**

Lorsqu'une onde en déplacement se trouve entre deux milieux d'indices différents, elle se divise en deux ondes :

- une onde réfléchie
- une onde réfractée

L'intensité de l'onde réfléchie dépend de plusieurs facteurs :

- caractéristiques électrique du milieu réfléchissant
- de l'angle de réflexion
- d'incidence
- de la polarisation

Si α est l'angle de réflexion sur le sol (angle formé par le sol et le rayon de l'incidence), h la hauteur moyenne des irrégularités; selon les critères de Rayleigh, nous avons:

$h \sin \alpha < \lambda / 100$ pour le sol lisse

$h \sin \alpha = \lambda / 16$ si le coefficient de réflexion est réduit de moitié

 **La réfraction des ondes dans l'atmosphère :**

Dans l'atmosphère, les ondes peuvent être réfractées car l'atmosphère est caractérisée par un indice de réfraction qui dépend des paramètres météorologiques (pression, température,...)

Si l'on suppose que l'atmosphère est à symétrie sphérique et que r la distance du point considéré au centre de la terre, $n(r)$ l'indice de réfraction de r et à l'angle de la trajectoire radioélectrique avec l'horizontale local ; on obtient :

$$h(r) \cdot r \cdot \cos \alpha = k \quad \dots(2)$$

k : est une constante

✚ L'absorption des ondes dans l'atmosphère :

Les ondes deviennent facilement absorbables par divers éléments de l'atmosphère (oxygène, vapeur d'eau, pluie, brouillards, neige, grêle...) si leur fréquence dépasse 10GHz.

✚ Distance maximal de visibilité :

Si on a des antennes de hauteurs h_1 et h_2 , la distance maximal de visibilité d_m est donnée par la formule:

$$d_m = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \dots(3)$$

❖ d_m : en Kilomètre

h_1 et h_2 : en mètre.

✚ Schéma principale d'une liaison hertzienne

Le schéma de principe d'une liaison hertzienne est dans le cas général le suivant

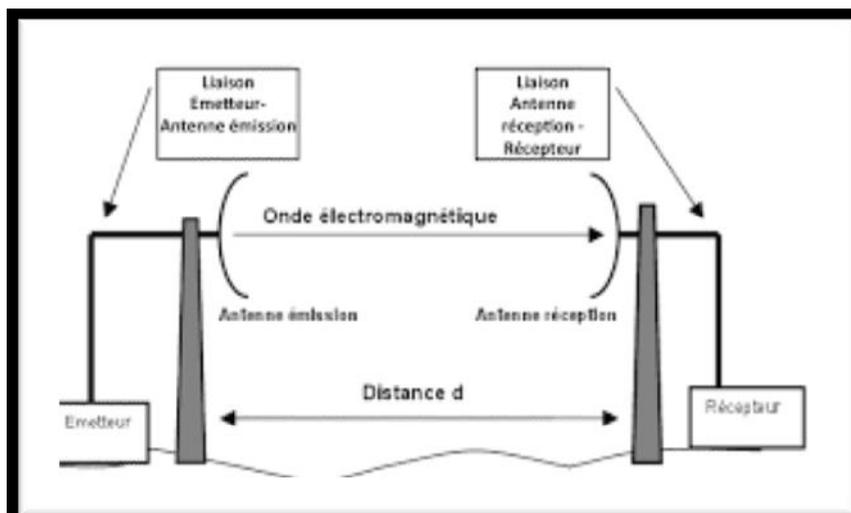


Fig.15. Schéma d'une liaison hertzienne

- **Emetteur** : Il est caractérisé par sa puissance émise P_e .
- **Liaison émetteur- antenne émission** : elle est généralement réalisée en câble coaxial.

A plus haute fréquence (> quelques GHz), elle peut être réalisée en guide d'onde. Elle est caractérisée par son atténuation LE, exprimée en dB.

Dans les petits systèmes, où tout est intégré (Wifi, téléphone mobile, etc...) Cette liaison n'existe pas ($LE = 0\text{dB}$)

- **Antenne émission** : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne GE , exprimé en dBi.
- **Distance d** : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. On peut montrer (à partir du calcul de la sphère de l'antenne isotrope et de la définition du gain d'antenne), que la distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation AEL (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$AEL = 20 \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) \quad \dots(4)$$

Cette grandeur est exprimée en dB.

- **Liaison antenne réception- récepteur**: comme la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation LR, exprimée en dB.
- **Antenne réception** : Elle est caractérisée par son gain d'antenne GR , exprimé en dBi.
- **Récepteur** : Le paramètre qui nous intéresse ici est PR, puissance reçue par le récepteur. Elle est généralement exprimée en dBm.
- **Expression de la puissance reçue**

Pour déterminer PR, la puissance reçue par le récepteur, il suffit en partant de PE de retrancher toutes les sources d'atténuation du signal et d'ajouter les gains d'antenne.

On obtient ainsi :

$$PR = PE - LE + GE - AEL + GR - LR \quad \dots(5)$$

PR : la puissance reçue en db.

PE : la puissance émise en db.

LE : atténuation au niveau d'émission.

GE : gain d'antenne coté d'émission.

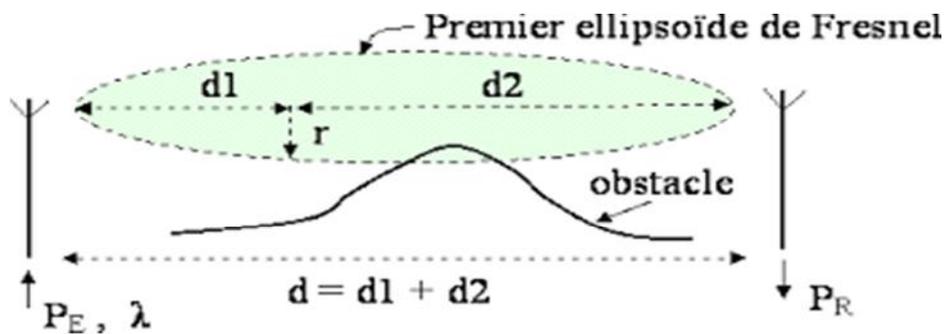
AEL : affaiblissement d'espace libre.

GR : gain d'antenne coté de réception.

LR : atténuation au niveau de réception.

7.4. Ellipsoïdes et zones de Fresnel :

Est un volume dans l'espace permettant d'évaluer l'atténuation apportée par un obstacle (immeuble, colline...) à la propagation d'une onde mécanique ou électromagnétique. Il est généralement utilisé dans le cas de liaisons VHF, UHF ou hyperfréquences, qui seraient en espace libre sans la présence du ou des obstacles. La méthode de l'ellipsoïde de Fresnel permet alors d'évaluer l'atténuation supplémentaire apportée par l'obstacle.



L'équation du premier ellipsoïde de Fresnel est donnée par :

$$EM + MR = ER + \frac{\lambda}{2} \quad \dots(6)$$

Le rayon du n^{ième} ellipsoïde en un point du parcours situé à la distance d1 de E et à la distance d2 de R est donné par la relation suivante :

$$r_{n=1} = \sqrt{\frac{n\lambda d1d2}{d1+d2}} \quad \dots(7)$$

n est un nombre entier qui caractérise l'ellipsoïde considéré (n=1 correspond au premier ellipsoïde de Fresnel)

Le rayon du 1^{er} ellipsoïde est égale à :

$$r = \frac{\sqrt{\lambda d1d2}}{d1+d2} \quad \dots(8)$$

r : rayon de l'ellipsoïde.

d1 : distance entre l'émetteur P_e et le point r

d2 : distance entre le récepteur P_r et le point r

λ : Longueur d'onde de fonctionnement

Rayon équatorial : $d_1=d_2=\frac{d}{2}$

$$R_{eq} = \sqrt{\frac{\lambda \frac{d}{2} \frac{d}{2}}{\frac{d}{2} + \frac{d}{2}}} = \sqrt{\frac{\lambda d}{4}} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d} \quad \dots (9)$$

La valeur maximale au milieu du trajet du rayon du 1^{er} ellipsoïde est donc :

$$R_{eq} = r_{em} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d} \quad \dots(10)$$

Dans le cas où la courbure de la terre est négligée, la première zone de Fresnel est l'intersection du plan du 1^{er} ellipsoïde de Fresnel définie par l'une des extrémités de la liaison et le point symétrique de l'autre extrémité par rapport au plan de propagation. [8]

7.5. 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 décamétriques. 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.

8. Facteurs pouvant affecter la propagation :

8.1. Dégagement :

L'ellipsoïde de Fresnel est parfois partiellement obstrué par un obstacle. On distingue habituellement trois types d'obstacle :

- lame, pour des obstacles « minces »,
- rugueux, pour une paire d'obstacles de type « lame »
- sphérique, pour des obstacles obstruant le faisceau sur une distance importante.

Pour chacun, des méthodes de calcul permettent de prévoir l'atténuation supplémentaire à prendre en compte dans les bilans.

Dans le cas où l'obstacle obstrue sur une portion trop importante le rayon, la liaison peut toujours être établie, mais cette fois-ci par diffraction (méthode de calcul spécifique).

8.2. Réflexion, trajets multiples :

Le signal reçu est la somme du signal principal, et de tous les signaux réfléchis (sur le sol, la végétation, et surtout les étendues d'eau) propagés selon des chemins différents, appelés « trajets multiples ». Les interférences générées entre tous ces signaux entraînent des sur-champs et des sous-champs parfois extrêmement importants mais également des distorsions (évanouissements sélectifs). La réflexion principale est le phénomène dominant de multi-trajets. Il existe cependant d'autres cas d'importance. On parle de multi trajets lorsqu'au point de réception l'onde émise arrive par des trajets différents suite à des réflexions. Le multi trajet est à l'origine du fading à la réception

Pour élaborer avec précision l'ingénierie de liaisons hertziennes en vue directe, il convient de suivre la recommandation UIT-R P.530-8 (ou supérieure), laquelle définit les paramètres de propagation les plus significatifs.

Lorsqu'elle se propage, l'onde hertzienne subit principalement trois types d'atténuations :

- Celle correspondant à son rayonnement en espace libre, laquelle est inévitable et toujours fixe (de l'ordre de 140 dB en général) et parfois aggravée par la présence d'obstacles.
- Celle provenant des variations aléatoires des conditions climatologiques : guidage et précipitations (déperditions pouvant atteindre une trentaine de dB).

Celles engendrées par certains phénomènes d'interférences, conséquences de la réflexion principale ou de multi-trajets, de perturbations électromagnétiques, brouillages, fading... (Déperditions pouvant atteindre une trentaine de dB).

8.3. La diffraction :

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

Les études sur diffraction montrent que la puissance reçue en espace libre varie en fonction de la distance du rayon à l'obstacle pour être sûr d'avoir une puissance réception suffisante, on cherche à obtenir un dégagement du rayon au-dessus de l'obstacle de sorte que

si M est un point de l'espace au-dessus de l'obstacle, E et Q étant les extrémités de la bande. Le dégagement est caractérisé par : $EM + MR = ER + \lambda/2$.

8.4. La réfraction :

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

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

8.5. Atténuation par le gaz de l'atmosphère :

L'atténuation des ondes dans l'atmosphère est due à deux causes principales :

- Une absorption par les gaz atmosphériques ;
- Une absorption et diffusion par les particules liquides et solides dans l'atmosphère, et principalement par les gouttes de pluies.

- **Atténuation par le gaz :**

Aux fréquences inférieures à 15Ghz, l'affaiblissement due aux gaz atmosphériques est négligeable. Deux pics d'absorption apparaissent à 22Ghz et 60Ghz dus respectivement à la fréquence de résonance des vapeurs d'eau et des molécules d'oxygène.

8.6. Atténuation dues aux hydrométéores :

Pour les FH de fréquence supérieure à 8 GHz, les précipitations entraînent des pertes également considérables, d'autant plus que le taux de précipitation (en mm/h) et la fréquence sont élevés. L'intensité de pluies varie de 22 à 60 mm/h ; 0,01% de l'année moyenne. De plus la phase de ces précipitations influence également l'atténuation du signal. Ainsi la neige, qui a une très petite.

9. Les modulations :

Les équipements radio analogiques et numériques sont différent fondamentalement par le type de modulation qu'ils utilisent. Pendant que les FHA utilisent la modulation de fréquence, les FHN utilisent les modulations par sauts de phase ou multi états (multi niveaux) où modulation sur fréquence porteuse.

9.1. Modulation pour faisceaux hertziens analogiques :

En modulation d'amplitude, l'information utile est véhiculée par l'amplitude du signal porteur. Or en réception, les éléments traversés par le signal présentent parfois des non linéarités en amplitude, ce qui altère la qualité du signal après démodulation. En plus cet inconvénient, en modulation d'amplitude, la propagation de la porteuse dans l'atmosphère entraîne des variations du niveau de réception d'où après la démodulation, le signal présente des parasites. En tenant compte de ces phénomènes, le choix s'est porté sur la modulation de fréquence pour les FHA car cette modulation ne présente par les défauts ci-dessus cités et en plus les modulations et démodulations de fréquence sont de réalisations plus faciles.

9.2. Modulation pour faisceaux hertziens numériques :

Les modulations analogiques, mise au point pour adapter le signal analogique à son support de transmission ne peuvent pas être utilisé pour les signaux numériques. Il a été conçu pour ces signaux un type particulier de modulation dit modulation numériques ou modulation sur fréquence porteuse: ASK, FSK et PSK. Mais, c'est la modulation à saut de phase (PSK) ou modulation multi états qui est généralement utilisées. Aujourd'hui on trouve généralement le QPSK qui tend à être la norme pour la modulation sur fréquence porteuse. Cependant, pour mieux conserver la bande passante, la modulation QAM est aussi utilisée. Dans la modulation multi états, une porteuse SHF est également utilisé. Elle est sinusoïdale et peut donc être définie en termes d'amplitude, de fréquence ou de phase modulée par rapport à la phase ou à l'amplitude.

Dans un train binaire, lorsqu'il y a changement entre deux éléments binaires successifs, on procède à un changement d'état. Le signal binaire généralement a un rythme ou horloge. L'idéal serait d'avoir une modulation cohérente, mais, à des débits élevés, il est difficile de conserver la cohérence. La modulation est alors de type non cohérent.

En général, les FHN à moyenne et grande capacité utilisent une modulation 4 états de phase avec modulation d'une fréquence intermédiaire de 70 MHz ou de 140 MHz. Mais aujourd'hui la limite supérieure est connue seulement par le type de système de transmission.

10. Les Antennes :

10.1. Définition :

D'une façon générale, une antenne peut être définie comme la partie d'une installation émettrice ou réceptrice d'ondes radioélectrique qui assure le couplage entre cette installation et l'espace où se propagent les ondes radioélectrique utilisées. Lorsque l'émetteur ou le récepteur est relié à l'antenne par une ligne de transmission, l'antenne peut aussi être considérée comme un dispositif qui permet de passer d'un régime d'onde libre à un régime d'ondes guidées ou inversement. Son fonctionnement est basé sur le fait que les équations de Maxwell imposent des relations entre les courants sur les conducteurs et les champs dans l'espace extérieur aux conducteurs. [9]

10.2. Les caractéristiques de rayonnement :

Un grand nombre de paramètres électriques que nous venons définir sont valables pour d'autres composants d'une chaîne de transmission radiofréquence. Mais, ce qui différencie réellement les antennes sont leur capacité à rayonner qui se définit au moyen de plusieurs paramètres que nous allons présenter dans cette partie. [10][11]

10.2.1 Intensité de rayonnement :

L'intensité de rayonnement $\psi(\theta, \phi)$ est une caractéristique de l'antenne dans la zone au champ lointain. par définition l'intensité de rayonnement d'une antenne est :

$$\psi(\theta, \phi) = |\langle \vec{N}(r, \theta, \phi) \rangle| r^2 \quad \dots(11)$$

Ou par :

$$\psi(\theta, \phi) = \frac{1}{2\eta} |\vec{E}(\theta, \phi)|^2 \quad \dots(12)$$

10.2.2. Puissance totale rayonnée par une antenne :

Elle est égale au flux de la valeur moyenne du vecteur de Poynting à travers une surface fermée quelconque, elle s'exprime par :

$$P_r = \iint \langle \vec{N}(M, t) \rangle \cdot \vec{ds} \quad \dots(13)$$

$$P_r = \oint |\vec{N}(M, t) \cdot \vec{u}_r| \cdot d\vec{s} \quad \dots(14)$$

On peut écrire en fonction de $\vec{E}(\theta, \phi)$ à partir de l'équation comme suit :

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{1}{2\eta} |\vec{E}(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad \dots(15)$$

10.2.3 La résistance de rayonnement :

La résistance de rayonnement R_r est liée à la puissance de rayonnement de l'antenne, donc par définition :

$$R_r = \frac{1}{I_{eff}^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{1}{2\eta} |\vec{E}(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad \dots(16)$$

Pour une antenne, plus grande est sa résistance de rayonnement mieux elle rayonne.

10.2.4 Fonction caractéristique de rayonnement :

L'antenne isotrope n'existe pas et n'est pas réalisable. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions sont 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.

Soit $\psi(\theta, \phi)$ l'intensité de rayonnement de l'antenne dans la direction $\Delta(\theta, \phi)$ et soit $\Delta_0(\theta_0, \phi_0)$ une direction particulière de l'énergie dont laquelle l'intensité de rayonnement est maximal, et $\psi_0(\theta_0, \phi_0)$ l'intensité de rayonnement maximale, alors par définition le rapport sans dimension :

$$R(\theta, \phi) = \frac{\psi(\theta, \phi)}{\psi_{max}} \quad \dots(17)$$

Est la fonction caractéristique de rayonnement [10]

Nous remarquons aussi :

$$R(\theta, \phi) = \frac{\psi(\theta, \phi)}{\psi_{max}} = \frac{\frac{1}{2\eta} |\vec{E}(\theta, \phi)|^2}{\frac{1}{2\eta} |\vec{E}(\theta, \phi)|_{max}^2} \quad \dots(18)$$

Et :

$$\sqrt{R(\theta, \phi)} = \frac{|\vec{E}(\theta, \phi)|}{|\vec{E}(\theta, \phi)|_{max}} \quad \dots (19)$$

La représentation graphique de la fonction caractéristique porte le nom de diagramme de rayonnement. Sur ce diagramme, on distingue des lobes différents.

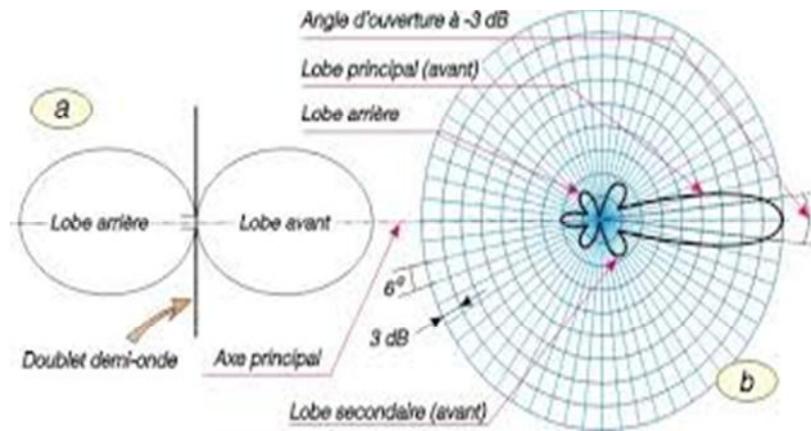


Fig.16. Diagramme de rayonnement

Cette figure présente les principaux lobes du diagramme de rayonnement :

- Le lobe principal : c'est le lobe le plus important car il présente la directivité d'une antenne
- Les lobes secondaires direction autre que la direction privilégiée. Idéalement, ils doivent être les lobes les plus faibles.
- Le lobe arrière : c'est un lobe secondaire dans la direction opposé à la direction privilégiée de l'antenne (arrière de l'antenne).

10.2.5 L'angle d'ouverture :

L'angle d'ouverture est défini comme l'angle existant entre les points dont la densité de puissance de rayonnement est égale à la moitié de la puissance de rayonnement maximum. C'est donc une séparation angulaire correspondant à une atténuation de 3dB sur le diagramme de rayonnement de la figure 17. Comme le montre la figure, l'angle d'ouverture est défini dans un plan qu'il convient de préciser.

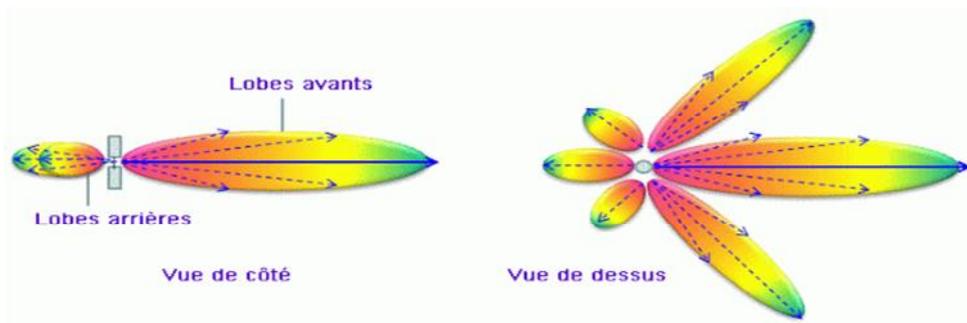


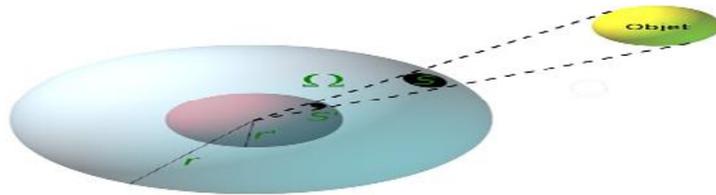
Fig.17. Illustration de l'angle d'ouverture

Cette donnée ne s'applique généralement qu'aux antennes directives présentent un lobe principal de rayonnement. L'angle d'ouverture est une donnée importante pour les antennes très directive utilisées dans des liaisons point à point ou alors dans la mise en œuvre d'antennes sectorielles au niveau des stations de base des réseaux de téléphonie sans fil.

10.2.6 La directivité :

✚ L'angle solide :

L'angle solide, notée Ω , est une notion géométrique qui est dans l'espace (3 dimension). Il s'agit d'évaluer une surface d'espace que l'on peut voir dans une direction donnée. Ainsi, l'espace toute entier (sphère depuis son centre) est vu comme angle solide de 4π stéradians.



$$d_s = r^2 d \quad \dots(20)$$

Fig.18. Figure L'angle solide

$$d_\Omega = \frac{\overline{d_s \cdot \overline{u_r}}}{r^2} \quad \dots(21)$$

✚ Antenne isotrope

Une antenne isotrope est une antenne qui rayonne son énergie uniformément dans toutes les directions de l'espace. Même si différents travaux tentent de s'approcher de cette propriété, cette antenne reste purement théorique est sert de référence pour établir la directivité ou le gain d'une antenne réelle.

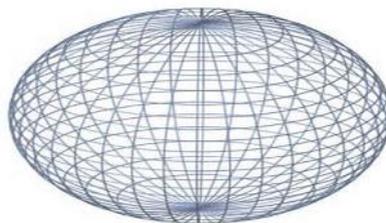


Fig.19. Digramme de rayonnement d'une antenne isotrope

✚ La directivité

La directivité d'une antenne $D(\theta, \varphi)$ dans une direction donnée $\Delta(\theta, \varphi)$, est par définition, le quotient de l'intensité de rayonnement dans cette direction par la valeur

moyenne, soit celle qui serai obtenue si la puissance était émise uniformément dans toute les directions par une antenne isotrope :

$$i_{iso} = \frac{P_t}{4\pi} \quad \dots(22)$$

Avec : P_t est la puissance total rayonnée par l'antenne.

$$D(\theta, \phi) = \frac{\psi(\theta, \phi)}{\psi_{iso}(\theta, \phi)} = \frac{\psi(\theta, \phi)}{\frac{1}{4\pi} \oint \psi(\theta, \phi) d\Omega} \quad \dots(23)$$

Avec : $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi\psi(\theta, \phi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \psi(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi} \quad \dots(24)$$

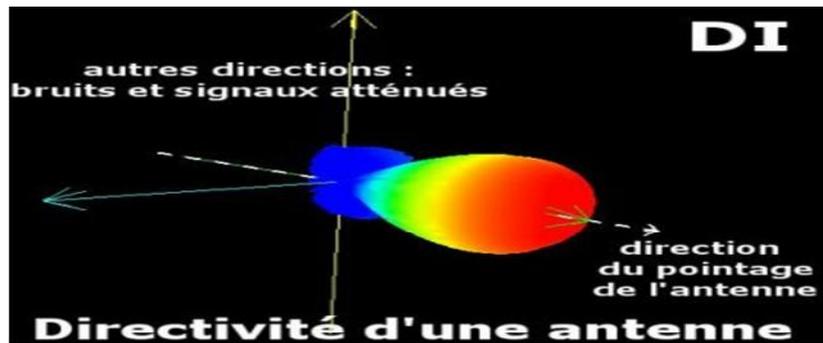


Fig.20. Représentation de la directivité dans une direction donnée

10.2.7 Le gain d'une antenne :

Le gain d'une antenne est le rapport de la quantité d'énergie reçue ou émise dans une direction et la quantité d'énergie reçue ou émise par une antenne de référence dans la même direction. Cette dernière peut être une antenne isotrope qui possède un diagramme de rayonnement circulaire : on parle alors du gain absolu (isotrope) égal à :

$$G(\theta, \phi) = \eta D(\theta, \phi) \quad \dots(25)$$

Il est exprimé en dB_i

Avec η le rendement de l'antenne.

Dans le cas où l'en prend comme référence une source étalon réelle, on parle du gain relatif exprime en dB :

$$G_R = \frac{G(\theta, \phi)}{G_0(\theta, \phi)} \quad \dots(26)$$

10.2.8 Le rendement d'une antenne :

Comme tous les circuits à pertes, une fraction plus au moins appréciable de la puissance fournie se trouve à la sortie. Dans le cas d'une antenne les pertes sont liées à la résistance de perte. Donc, par définition, le rendement est le rapport entre la puissance totale rayonnée et la puissance d'alimentation :

$$r = \frac{P_r}{P_a} \quad \dots(27)$$

Le plus souvent, surtout en hautes fréquences, le rendement est très voisin de l'unité ($\eta_R = 1$) et l'on confond le gain et la directivité.

10.2.9 La polarisation :

La polarisation est un paramètre très important dans la caractérisation d'une antenne, essentiellement parce que si deux antennes devant communiquer ensemble proposent des polarisations non adaptées, la puissance transmise sera très fortement diminuée voire nulle. Lorsque l'on parle de la polarisation d'une antenne, il s'agit de la polarisation observée dans la direction du gain maximum de l'antenne car la polarisation peut être différente en fonction de la direction considérée.

La polarisation d'une onde électromagnétique est une "figure géométrique", décrite au cours du temps, par l'extrémité du vecteur champ électrique dans le plan d'onde. Le plan d'onde est le plan perpendiculaire à la direction de propagation. Le vecteur champ électrique se décompose souvent en deux composants orthogonaux comme le montre la (figure 21)

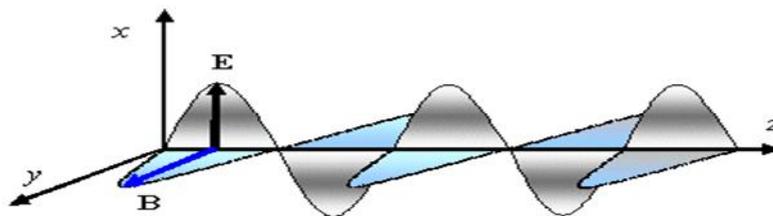


Fig.21. Composantes orthogonales du champ électrique

✚ Polarisation elliptique

La polarisation est dite elliptique si l'extrémité champ électrique décrit une ellipse (figure 22) en un point donné de l'espace.

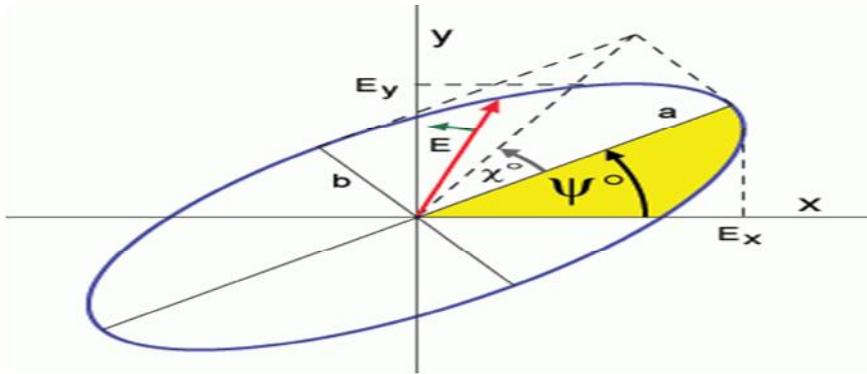


Fig.22. Représentation de la rotation du vecteur champ électrique \vec{E} dans le plan xy

✚ Polarisation linéaire

La polarisation est considérée comme linéaire si à chaque instant, le champ électrique est orienté selon une même direction.

Ceci est un cas particulier de la polarisation elliptique qui apparaît lorsque le rapport E_{x0}/E_{y0} vaut l'infini ou zéro, ou alors lorsque les deux composantes sont en phases ou en

opposition de phase. Une polarisation linéaire est dite verticale lorsque le vecteur champ électrique est orienté verticalement par rapport à l'horizon (fig.23). Inversement, une polarisation linéaire est dite horizontale lorsque le vecteur champ électrique est orienté parallèlement par rapport à l'horizon.

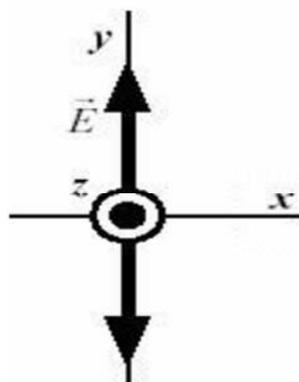


Fig.23. La polarisation linéaire

✚ Polarisation circulaire

La polarisation est circulaire si le vecteur champ électrique décrit un cercle au cours du temps.

Une polarisation circulaire implique donc que les deux composantes du champ soient en quadrature de phase et que les deux amplitudes E_x et E_y soient égales.

Les caractéristiques qui suivent sont à la réception.

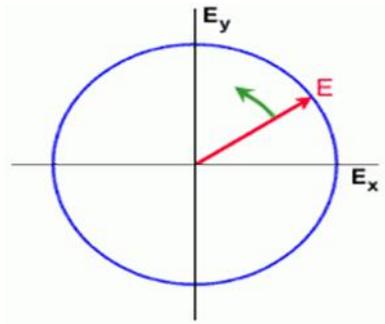


Fig.24. La polarisation circulaire

11. Les causes d'erreurs d'une liaison FH :

11.1. La gigue :

On peut définir la gigue comme étant le déplacement d'un signal par rapport à sa position idéale dans le temps. Elle peut être provoquée par les multiplexeurs, les régénérateurs ou le dérapage lié à la propagation radioélectrique et aux intempéries notamment les fortes variations de températures.

11.2. Le glissement d'horloge :

C'est un problème de rythme que se produit à l'interface de deux réseaux pilotés par des horloges différentes.

11.3. Le bruit :

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

12. les avantages et les inconvénients des faisceaux hertziens:

12.1. Les avantages des faisceaux hertziens :

- Gestion de la qualité de service.
- Ils permettent d'atteindre des sites difficiles d'accès.
- Portée étendue et éventuellement extensible. Un accès internet très haut débit dédié et sécurisé de 800 Mbit/s.

- Une gamme de débits adaptée à vos besoins sous réserve d'éligibilité technique.
- Peu de latence et de gigue et un taux de perte de paquets quasi nul.
- Un débit symétrique et garanti.
- Faible coût de déploiement comparé à la fibre optique.
- La possibilité d'avoir des débits et des portées très élevées ; v' la fiabilité et la sécurité.
- Matériel flexible et évolutif.

12.2. Les inconvénients des faisceaux hertziens :

- Impact de la topologie de la zone concernée.
- Absorption par les ions de l'atmosphère.
- Problèmes de portée.
- Obstacles dans la trajectoire « gouttes d'eau, poussière et d'autres ».
- Nécessite des lignes de vue.
- Obligation de vue directe entre les paraboles (LOS : Line Of Sight).
- Liaison sensible aux intempéries, notamment lors de fortes pluies.

13. Discussion :

Dans ce chapitre, Nous avons présenté la structure les caractéristiques et la méthode de fonctionnement de FH, son utilité d'avoir une bonne transmission de l'information entre deux sites avec un meilleur débit, et une installation facile, fiable et coût de déploiement comparé à la fibre optique.

1. Préambule :

Un faisceau hertzien autorise des débits pouvant atteindre 800 Mbit /s. Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est découpé en plusieurs tronçons appelés bonds reliés par des stations relais qui reçoivent, amplifient et réémettent le signal modulé vers la station. Mais pour de courtes distances, la nécessité de mettre en place un relais ne se pose pas. En général, les bandes de fréquences de 23 à 38 GHz sont utilisées pour des liaisons courtes distances (4 ou 5 Km). Les bandes de fréquences de 4 à 13 GHz permettent d'atteindre des portées de quelques dizaines de kilomètres, voire 50 Km en utilisant des antennes de grands diamètres.

2. Les coordonnées géographique des liaisons FH :**2.1. Détermination du site :**

La détermination du site est basée sur les critères suivants :

- La nature du site : urbaine, suburbaine, rurale.
- L'accès au site : piste, route godronnée.
- La disponibilité de destination d'énergie proximité.
- Le support de transmission est le moyen de raccordement d'une BTS et MSC.

2.2. Les coordonnées de GPS :

- Le GPS sert à nous informer sur la situation géographique du site.
- Détermine la longitude et l'altitude ainsi que l'altitude du site.

3. Vérification de la visibilité entre les deux sites :

Nous allons sur site candidat afin de nous assurer la transmission libre de tout obstacle utilisant le miroir et d'exécuter la mesure topographique. On appelle cette tâche «reconnaissance sur site pour la propagation»

Les sites reliés doivent être à visibilité directe. Pour cela on utilise l'œil nu. Une paire de talkie-walkie nous permet de se communiquer à partir des deux sites.

4. Vérification de direction de la station opposée :**4.1. Mesure par la boussole :**

Etant donné que l'antenne utilisée au système PASOLINK facilite le réglage d'angle horizontal, la mesure ne demande pas trop de précision. Et car la direction de la station

opposée peut être reconnue par le calcul de latitude et la longitude de deux stations, il suffit de vérifier ici magnétique.

Lors du test Miroir, on relève la direction en ajustant la ligne de mire de la boussole sur la lumière de réflexion. Rappelons que cette façon nous donne toute une valeur grossière qui sera seulement informative.

4.2. Mesure solaire d'azimut :

Lorsqu'on place la parabole sur le support du type treille (angle horizontale réglable +/- 3°) ou sur l'ouvrage restreint au réglage horizontal tel que le mur du bâtiment et la tour en béton, la mesure de direction demande la précision.

5. Description d'un bond par Faisceau Hertzien (FH) :

Un bond FH est une liaison de transmission entre deux points assurée par un support radioélectrique. Il est composé d'un système d'émission et de réception qui fonctionne en full duplex. Plusieurs éléments rentrent en ligne de compte dans l'établissement d'une liaison hertzienne. A chaque extrémité nous distinguons les éléments suivants :

- Un pylône d'une certaine hauteur (30m à 120m).
- Une antenne directive (antenne parabolique : 0.3 à 3.2m de diamètre).
- Un ODU (Out Door Unit) ou RFU (Radio Frequency Unit).
- Un IDU (In Door Unit) ou SPU (Signal Processing Unit).
- Un câble coaxial reliant l'ODU et l'IDU.
- Un système d'alimentation.

Tous ces éléments sont définis et installés après une étude technique. Cette étude revient à dimensionner les équipements en tenant compte de plusieurs facteurs déterminants.

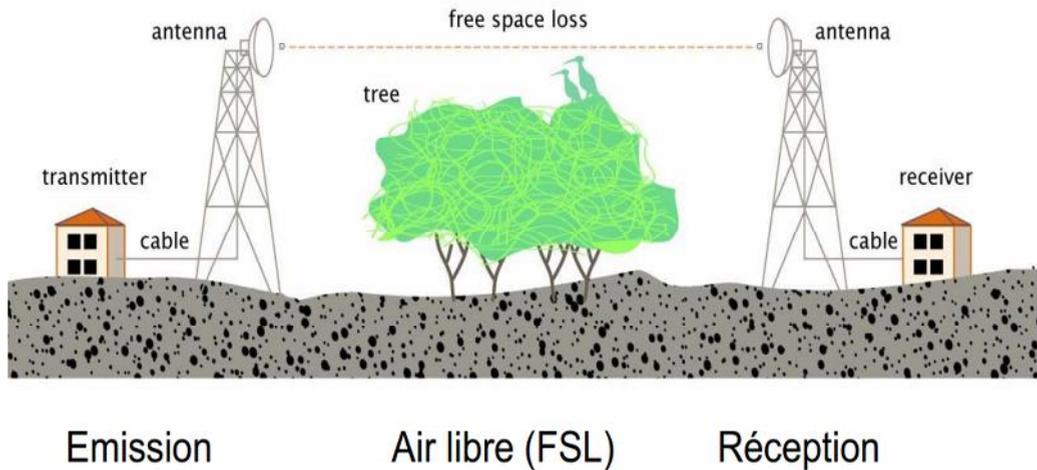


Fig.25. Un bond par Faisceau Hertzien

6. Structure de l'émission/réception pour les faisceaux hertziens :

➤ **Emetteur :**

Un émetteur d'ondes radioélectriques est un équipement électronique de télécommunications, qui par l'intermédiaire d'une antenne radioélectrique, rayonne des ondes électromagnétiques dans l'espace hertzien.

Le signal transmis par ces ondes radioélectriques peut être un programme de radiodiffusion (radio, télévision), une conversation (radiotéléphonie), une liaison de données informatiques, une impulsion de télédétection radar. Dans sa forme la plus courante, que l'équipement soit analogique ou numérique, un émetteur peut être représenté à partir du synoptique donné par la (fig.26).

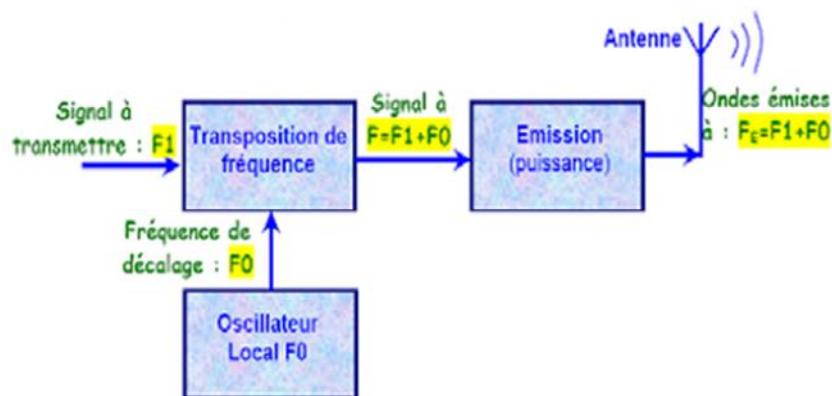


Fig.26. Schéma de principe d'un émetteur.

- **La transposition de fréquence :**

Puisque, dans la quasi-totalité des cas réels, la fréquence d'émission optimale pour une longueur d'antenne donnée ne correspond pas au domaine de fréquences du signal à émettre, on utilise l'opération de transposition. Un décalage (une translation) en fréquences. Cette opération se réalise grâce à une simple multiplication du signal (de fréquence moyenne **F0**) et le signal sinusoïdal de fréquence **F1**. On obtient ainsi un signal dont le composante pour fréquence **F1+F0**.

- **Récepteur :**

Dans le cas du récepteur, l'accord de l'antenne est réglé sur **FR=F1+F0**, on récupère ensuite le signal d'origine (**F1**) en décalant le signal reçu **FR** de la fréquence **F0** grâce au mélangeur, seule la composante contenant la fréquence **F1** est conservée après le mélangeur en utilisant un filtre sélectif centré sur **F1**.

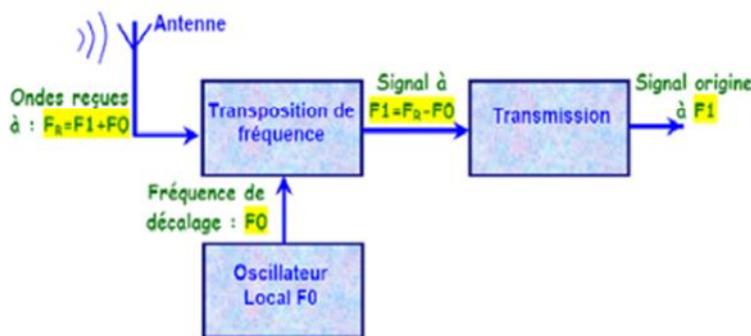


Fig.27. Schéma de principe d'un récepteur

- **Oscillateur local :**

Cet organe fournit la fréquence hétérodyne. Cette fréquence doit être très pure puisque les scintillations de fréquence de l'oscillateur se retrouvent sur le signal émis. Elle doit de plus être très stable dans le temps puisque sa stabilité fixe en grande partie celle de l'émetteur.

- **Emission (puissance) :**

Il permet de délivrer la puissance p_t en watts(W) à l'antenne d'émission.

p_r Est la puissance en watts (W) collectée sur l'antenne de réception.

7. L'antenne parabolique :

La parabole, comme son nom l'indique est un réflecteur de forme parabolique. Les installations de radiocommunication par faisceau hertziens se composent de deux antennes paraboliques, l'une à l'emplacement d'émission, l'autre à l'équipement de réception.

Leurs rôles principales est d'assurer l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

✚ Les 4 principaux modèles de paraboles sont les suivants :

- ✓ La parabole "**PRIME FOCUS**" dont l'inconvénient principal est de créer une zone d'ombre.
- ✓ La parabole "**OFFSET**" très commune qui permet de ne plus avoir de zone d'ombre et qui en plus permet de garder la parabole en position presque verticale.
- ✓ La parabole "**CASSEGRAIN**" avec un réflecteur supplémentaire, d'un rendement élevé.
- ✓ La parabole "**GREGORIENNE**" de type OFFSET et munie d'un réflecteur supplémentaire.

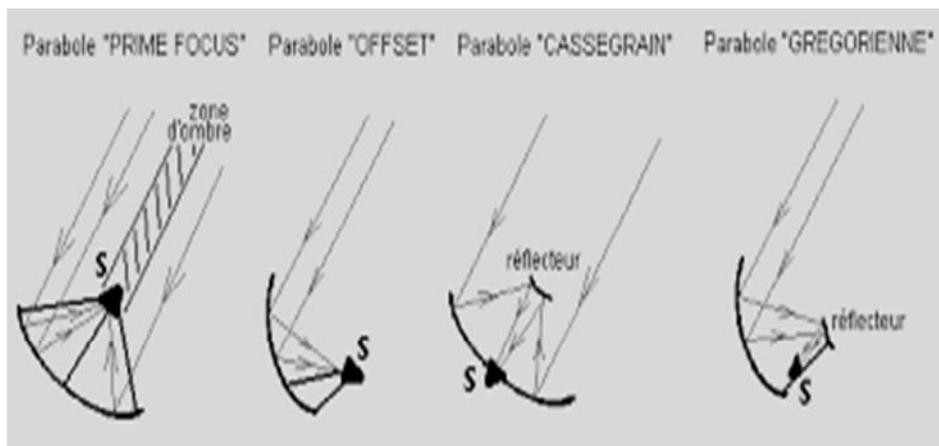


Fig.28. Les 4 principaux modèles de paraboles

8. Bilan de liaison :

8.1. Le choix de la liaison :

L'équipement a été choisi selon les besoins d'utilisation et la position des sites, on utilise la fibre optique si les points sont accessibles ou bien on passe à l'installation d'un faisceau hertzien.

8.2. Détermination des fréquences a utilisée :

La détermination des fréquences est une opération fondamentale dans la transmission par faisceaux hertziens. La stabilité de la liaison va en dépendre.

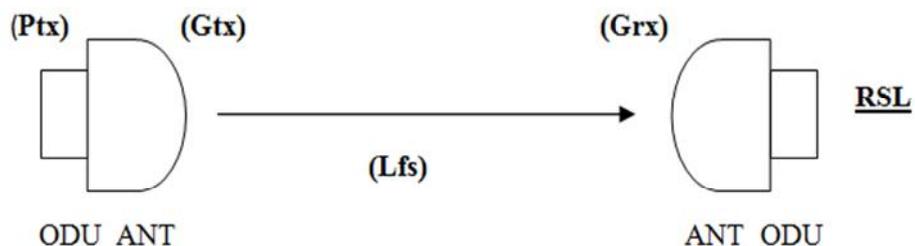
En fonction de la distance à couvrir et des conditions du milieu, un choix judicieux de fréquences sera effectué afin de garantir une bonne qualité de communication. Ce choix est aussi fonction du débit (besoin) et des conditions de propagation.

Le tableau ci-dessous récapitule les longueurs des bonds possibles ainsi que le diamètre des antennes en fonctions des fréquences sélectionnées

BANDES DE FREQUENCES	DIAMETRE ANTENNES	LONGUEUR DES BONDS
4 - 11 GHZ	2m	Moyenne 50 Km (à 7GHZ)
13 - 15 GHZ	1,80 m	15 à 60 Km (moyenne 25 Km)
15 - 18 GHZ	1,80 m	7km à 25Km (moyenne 15km)
18 - 26 GHZ	0.60 m	0.5 à 10 km (moyenne 3km)
Bande 38 GHZ	0.30m	0.5 à 6Km (moyenne 2Km)

Tab.1. longueurs des bonds et diamètre des antennes en fonctions des fréquences.

8.3. Calcul de niveau de réception :



$$RSL = P_{tx} + G_{tx} - L_{fs} + G_{rx}$$

- RSL : Niveau de réception.
- Ptx : Puissance sortie d'émission.
- Gtx : Gain d'antenne coté émission.
- Grx : Gain d'antenne coté réception.
- Lfs : Affaiblissement d'espace libre.

8.4. Puissance sortie d'émission :

Voici le Ptx (puissance sortie d'émission) d'ODU.

ODU Type	Puissance EM (dBm) Ptx
15 GHz	+ 23
18 GHz	+23
23 GHz	+23

Tab.2. Les puissances sorties d'émission Ptx

Bien que l'ODU ait physiquement 3 types (15/18/23Ghz), Ptx est la même (+23dBm).

8.5. Gain d'antenne :

Voici Gtx ou Grx (Gain d'antenne)

Diamètre d'antenne	Gain d'antenne (dB) Gtx / Grx		
	15 GHz	18 GHz	23 GHz
0.3 m	31,9 dB	34 ,0 dB	34,9 dB
0.6 m	36,6 dB	38,7 dB	40 ,1 dB
1.2 m	42,6 Db	44 ,7 dB	46,0 dB

Tab.3. Le gain d'antenne

8.6. Affaiblissement d'espace libre :

$$L_{fs} = 92.45 + 20 \text{ Log } f \text{ (GHz)} \times d \text{ (Km)}$$

f : Fréquence

d : Distance

Exemple du calcul :

1^{ère} étape :

- Ptx : +23dBm (la puissance sortie d'émission pour ODU de bande 15GHz doit être de +23dB)
- Gtx : 40.1dB (le gain d'antenne au diamètre de 0.6m doit être de 40.1dB)
- Lfs : 123dB
 $92.45 + 20 \text{ Log } 23 \text{ (GHz)} * 10(\text{km}) = 123$
- Grx : +40.1dB (le gain d'antenne au diamètre de 0.6 m doit être de 40.1)

2^{ème} étape :

$$\begin{aligned} \text{RSL} &= 23\text{dB}(\text{Ptx}) + 40.1\text{dB}(\text{Gtx}) - 123 \text{ dB}(\text{Lfs}) + 40.1\text{dB}(\text{Grx}) \\ &= -19.8 \text{ dBm.} \end{aligned}$$

8.7. Polarisation des antennes :

Pour les liaisons long distance on choisit la polarisation verticale parce que le signal est nettement mieux reçu sans distorsion. Tandis que la polarisation horizontale est employée pour les distances courtes.

La polarisation verticale peut diminuer le temps d'interruption de 30% par rapport à la polarisation horizontale. Pour qu'une liaison fonctionne correctement, il faut que l'antenne de réception soit polarisée de la même façon que l'antenne d'émission.

8.8. Outils nécessaires pour localisation des sites :

Après avoir terminé l'étude par la carte, nous allons sur site candidat afin de nous assurer la transmission libre de tout obstacle et exécuter la mesure topographique. On utilisant les instruments suivants :

- Talkie-walkie.
- GPS, Positionneur automatique pour la mesure Grossière.
- Jumelles.
- Miroir.
- Appareil de photos.
- le théodolite.
- l'altimètre.

8.9. Source d'alimentation :

L'équipement est alimenté par une tension de 48 volts, un groupe électrogène est nécessaire en cas d'urgence.

8.10. Mesure de Latitude longitude :

Le positionneur automatique « GPS », Global Positioning System, nous permet de mesurer plus facilement latitude et longitude du site élu. Le système GPS, développé d'origine par le PENTAGONE usa, nous permet de connaître notre lieu en tous les lieux dans le monde. Utilisant 24 satellites géostationnaires. Le système a été bien comme commercialisé surtout dans le domaine automobile et la navigation de loisir.

8.11. Mesure de l'Altitude :

Si on trouve au voisinage le repère géodésique, on mesure l'altitude avec le théodolite. S'il n'existe pas, on utilise généralement l'altimètre.

Voici les points importants pour l'altimètre :

- Il faut utiliser deux altimètres dont un est l'étalon et l'autre est pour la mesure. Ajustez ces deux à l'altitude près du repère laissez l'un près du repère et apportez l'autre au point de mesure. Et mesurez le temps et l'altitude avec ce dernier. D'autre part, notez les altitudes sur certaines périodes régulières afin de pouvoir utiliser dans la suite pour la correction de l'altitude variable suivant le temps écoulé.
- Comme l'altimètre est sensible à la précision atmosphérique par son caractère technique, si le point de mesure et le point du repère sont très éloignés entre eux ou leurs altitudes sont très différentes pas exemple entre le sommet et la vallée ou le temps est très variable, la mesure précise n'est pas espérée. De ce fait, il est conseillé de choisir le repère près du point de mesure autant que possible et de mesure dans le plus court délai.

En outre il est conseillé de comparer l'altitude obtenue par ce moyen avec de la carte et du GPS.

9. Outils nécessaires pour l'installation :

- Un pylône d'une certaine hauteur (30m à 120m) ;



Fig.29. Schéma d'un pylône

- Une antenne directive (antenne parabolique : 0.3 à 3.2m de diamètre) ;



Fig.30. montage de l'antenne

- Un ODU (Out Door Unit) ;

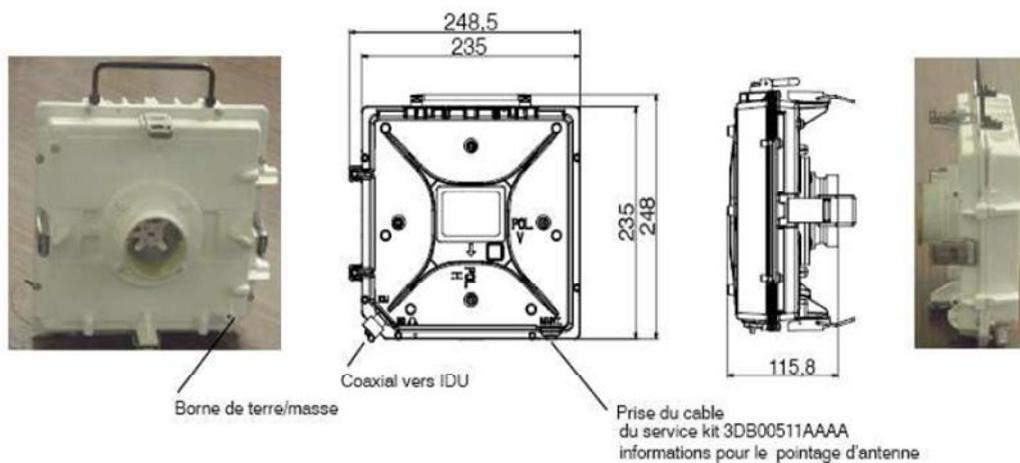


Fig.31. Schéma reprisant l'ODU

- Un IDU (In Door Unit) ;



Fig.32. Coffret principal IDU et poste d'exploitation

- Un câble coaxial reliant l'ODU et l'IDU ;

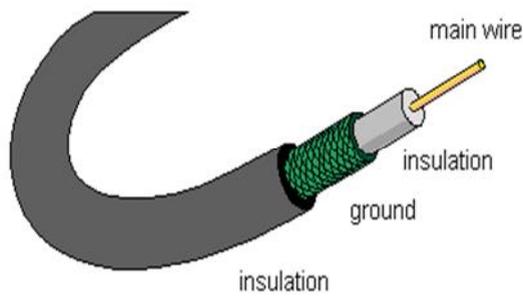


Fig.33. Le câble coaxial

- Un système d'alimentation transformateur de 48 volts ;

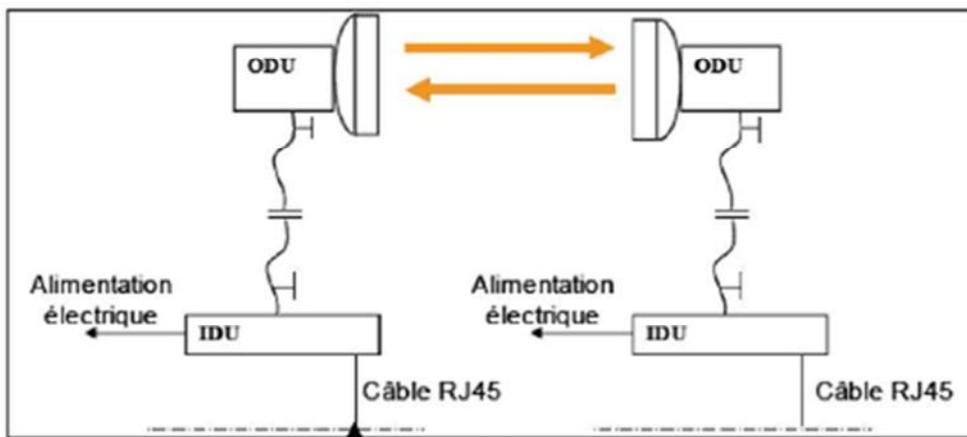


Fig.34. Schéma d'installation des différents équipements

10. Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté tous les équipements nécessaire pour l'installation après avoir faire une étude sur site concerné, nous avons donné un bilan de liaison qui englobe tout calcule et mesure avant que on entame l'installation.

CHAPITRE IV:

Installation et mise en service

1. Préambule :

Dans ce chapitre, nous allons déterminer les paramètres fondamentaux et donner le principe de fonctionnement de réseau de transmission d'information par faisceau hertzien entre le site de IGHZER N'ECHVEL et BOGHNI passent par un relaie à BENI KOUFFI.

2. Description général du projet :

L'étude de l'installation d'une liaison FH (station terminal) est l'objectif de notre étude, afin de relier un MSAN situé au site de IGHZER N'ECHVEL qu'est inaccessible a aucun support de transmission filaire (fibre optique) passant par un relié installé à BENI KOUFFI pour une bonne visibilité arrivant au site de BOGHNI qui contient un équipement MSAN qui est déjà installé.

3. Localisation du projet :

✚ Présentation des sites :

➤ Site de BOGHNI :

La commune de BOGHNI est située au sud-ouest de la wilaya de Tizi-Ouzou.

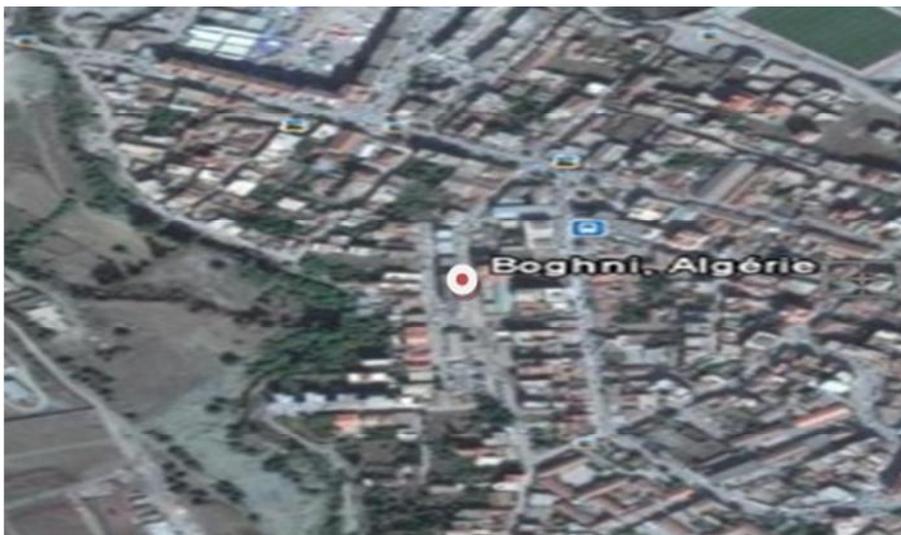


Fig.35. Carte géographique représente la position de la commune de BOGHNI

➤ Site de BENI KOUFFI :

La commune de BENI KOUFFI est située à 7km de BOGHNI

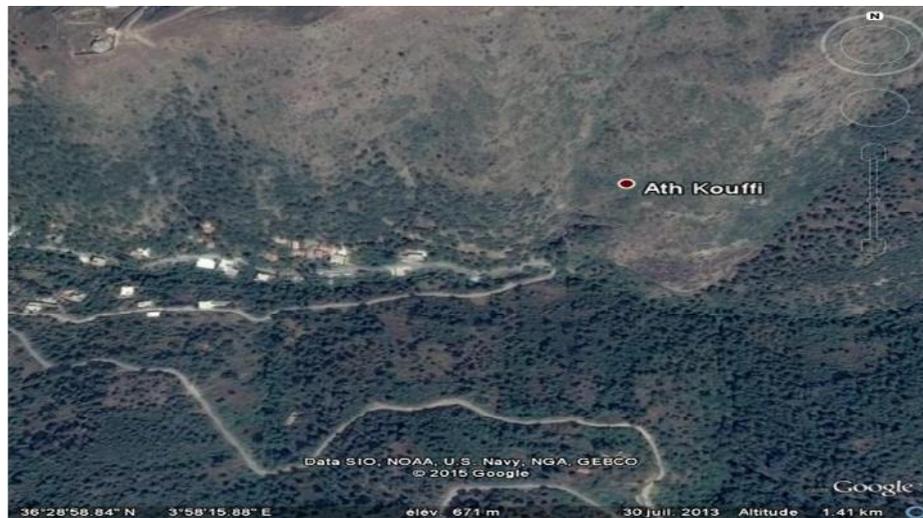


Fig.36. Carte géographique représente la position de la commune de BENI KOUFFI

➤ **Site de IGHZER N’ECHVEL :**

La commune d’IGHZER N’ECHVEL est située à 8.5km de BOGHNI

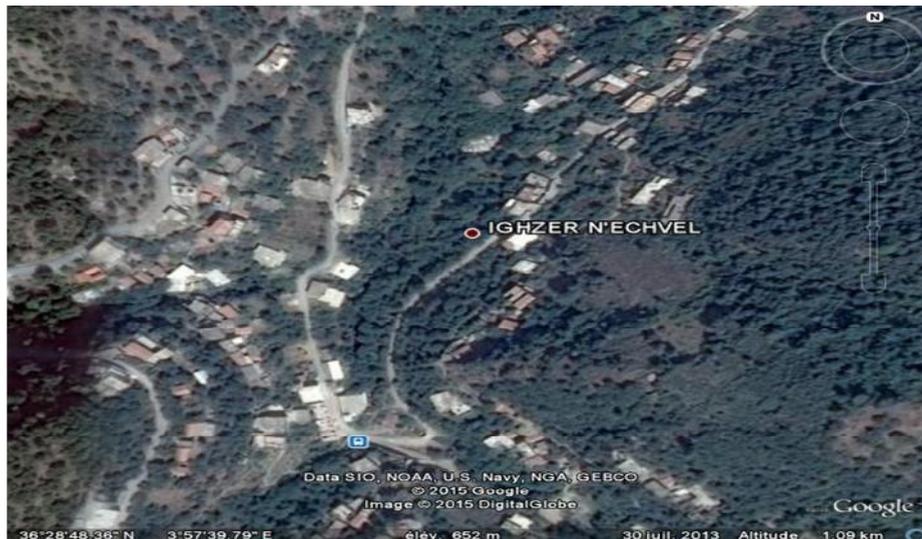


Fig.37. Carte géographique représente la position de la commune d’IGHZER N’ ECHEVEL

➤ IGHZER N’ECHVEL, BENI KOUFFI et BOGHNI après l’installation :



Fig.38. Carte géographique représente la liaison effectuée

✚ Les coordonnées Géographiques :

Sites	Longitude	Latitude	Altitude
IGHZER N’ECHVEL	3°57’ 37’’E	36°28’ 46’’	652m
BENI KOUFFI	3° 58’ 15’’ E	36°28’ 58’’	671m
BOGHNI	3° 57’ 21’’ N	36°32’ 27’’	262m

Tab.4. Coordonnées géographiques des sites

• Distance :



4. Détermination de la hauteur des pylônes d’antennes :

Il est question de déterminer la hauteur des pylônes de site pouvant supporter les antennes afin d’assurer le dégagement du premier ellipsoïde de FRESNEL ;

$$\lambda = \frac{C}{F} \dots(28)$$

λ : La longueur d'onde ;

F : fréquence : 23GHz ; soit $23 \cdot 10^9$ Hz

C : la célérité (vitesse de la lumière): $3 \cdot 10^8$ m/s

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{23 \cdot 10^9}$$

$$\lambda = 0.01m$$

$$r_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d} \quad \dots(29)$$

Avec :

d : la distance qui sépare les deux ports (d = 1.5Km)

D'où :

$$r_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{0.01 \cdot 1500}$$

Donc $r_{max} = 1.93m$

La hauteur de pylône d'antennes de ces deux sites se calcule comme suit :

$$H = r_{max} + \frac{d^2}{8R_0} \quad \dots(30)$$

Avec :

R_0 : Rayon réel de la terre ($R_0 = 6.400Km$) ;

d : la distance entre deux sites.

$$H = 1.93 + \frac{(1500)^2}{8 \cdot 6400 \cdot 10^3}$$

$H = 1.97m$ 2m IGHZER N'ECHVEL et BENI KOUFI.

$H = 5m$ BOGHNI et BENI KOUFFI.

5. Configuration :

Afin de terminer l'installation des différents équipements nécessaire pour établir une liaison entre deux sites on passe au côté configuration pour la mise en service et cela ce fait en différentes partie :

- ❖ l'accès, chaque installation contient son adresse IP spécifique qui sera fixé par le centre de supervision au niveau d'Algérie Télécom.

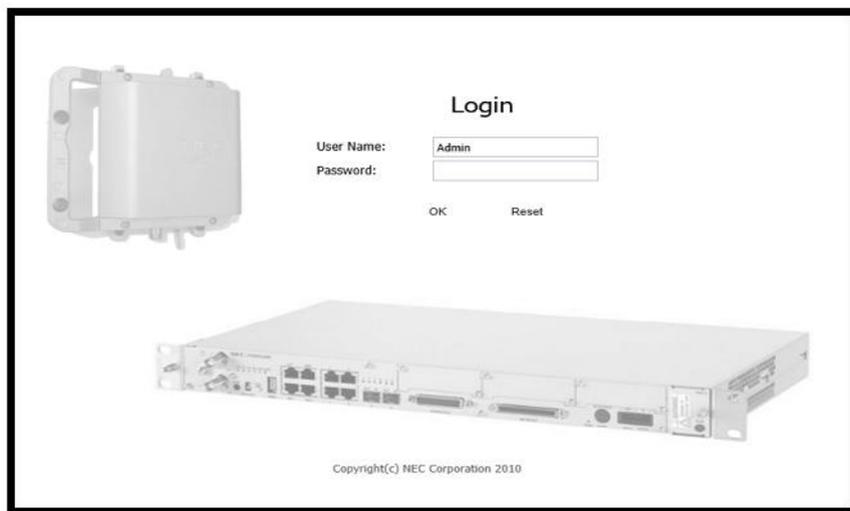


Fig.39. Fenêtre d'accès au programme

- ❖ Afin de donner un nom au site, nous sélectionnons « New Setting » qui se trouve dans le menu Easy Setup Wizard / Easy Setup /Setup.

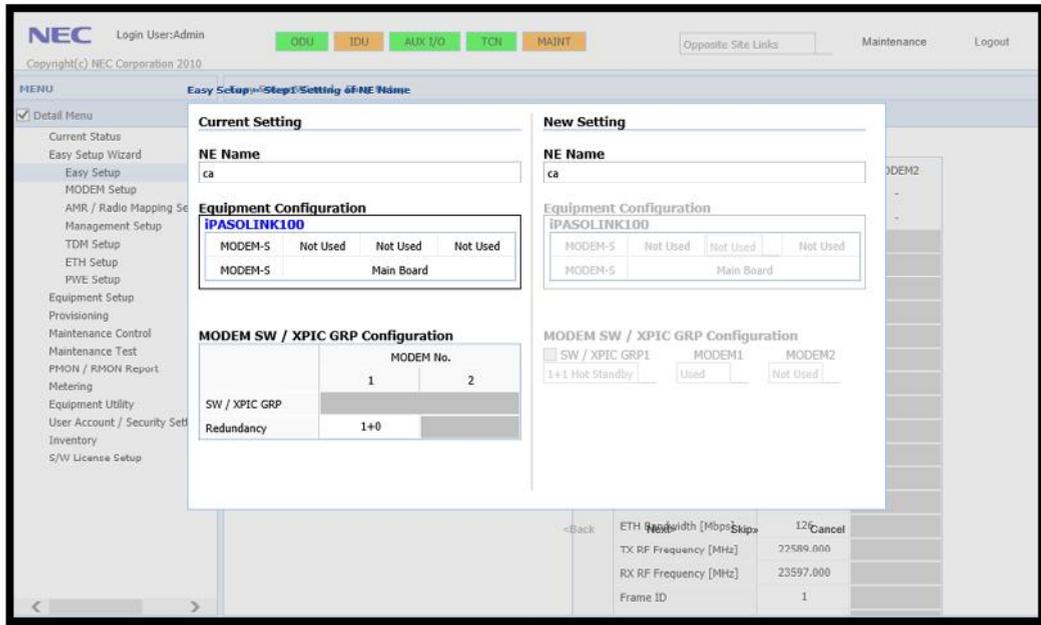


Fig.40. Fenêtre de saisie du nom

❖ Nous introduisons des adresses IP pour chaque site. Pour cela, nous sélectionnons IP Address Setting dans le menu Easy Setup Wizard/ Management Setup / Setup.

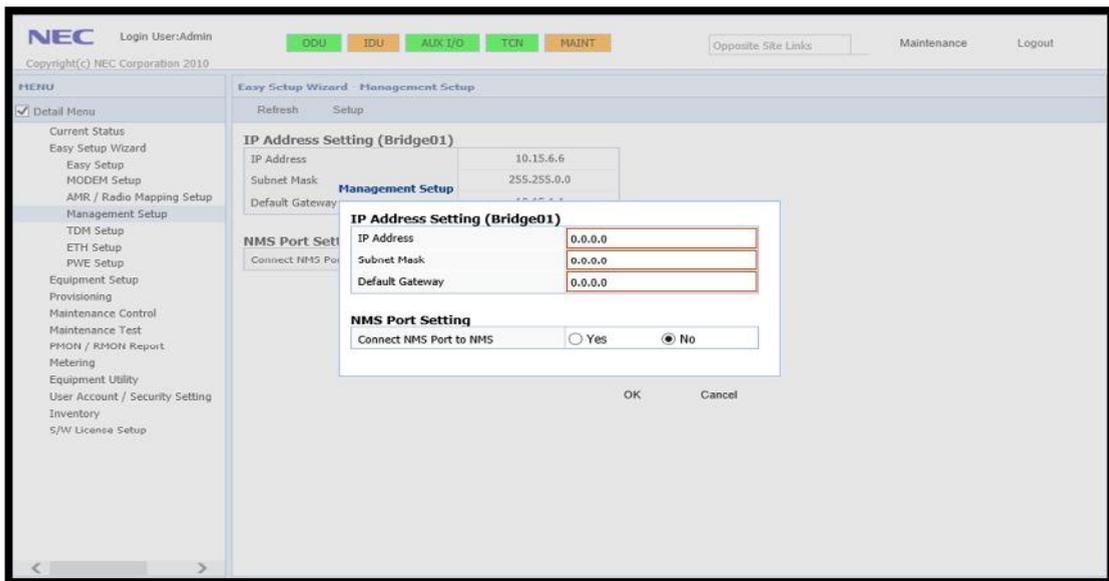


Fig.41. Fenêtre de saisie des adresses IP

- ❖ Pour donner TX frequency, nous utilisons le tableau qui nous permet de choisir la fréquence idéale et pour les introduire, on clique Easy Setup Wizard / Modem Setup/ Setup on choisit aussi la référence de modulation, Channel Spacing et Radio Mode.

Band de fréquence	Sous bande basse (Mhz)		Sous bande haute (Mhz)		Ecart Duplex (Mhz)
15GHz	14501.00	Jusqu'à	14921.00	Jusqu'à 15033.00	420
18GHz	18465.50	Jusqu'à	19475.50	Jusqu'à 19689.50	1010
23GHz	22484.00	Jusqu'à	23472.00	Jusqu'à 23597.00	1008
	22589.00				

Tab.5. Les différentes valeurs des fréquences à utiliser

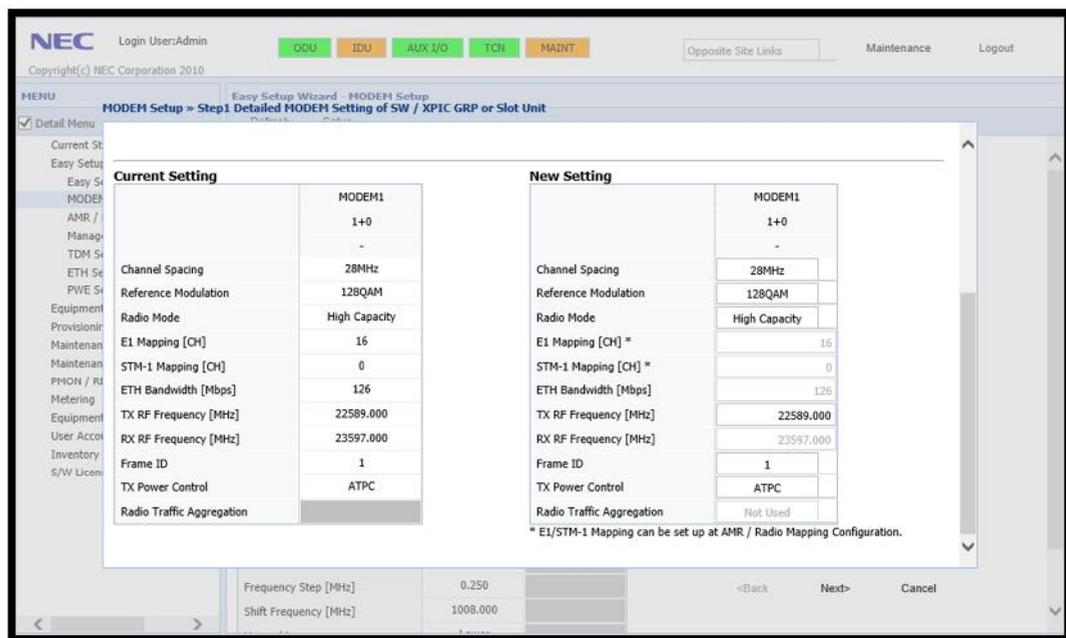


Fig.42. Fenêtre de saisie Txfrequency

- ❖ Le choix de nombre des MIC (E1) s'effectue on utilise le contenu de menu principale Easy Setup Wizard/AMR RadioMapping Setup/setup/Next/New Setting.

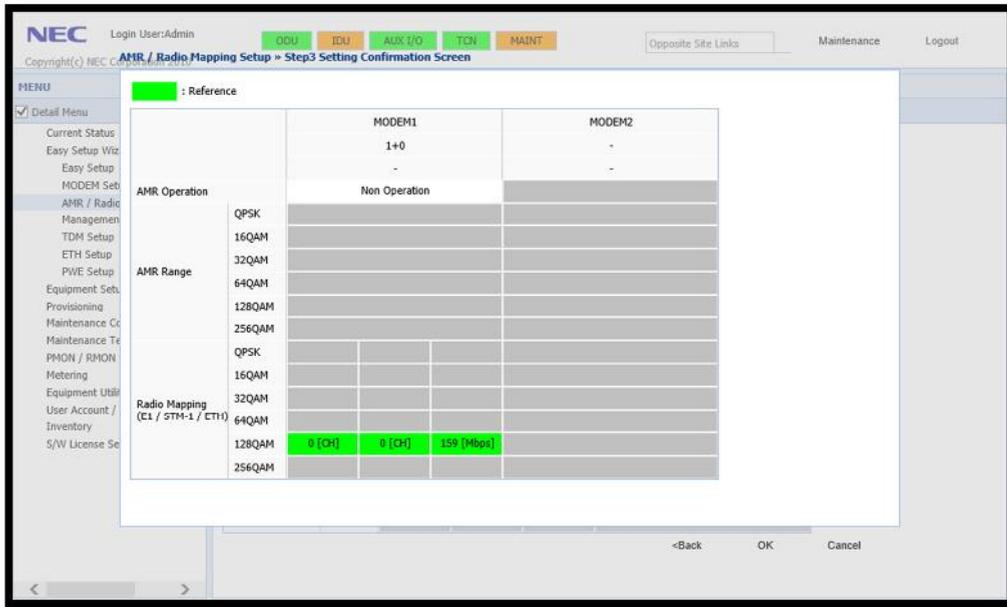


Fig.43. Fenêtre de choix de nombre des MIC (E1)

❖ Vérifier le nombre des E1

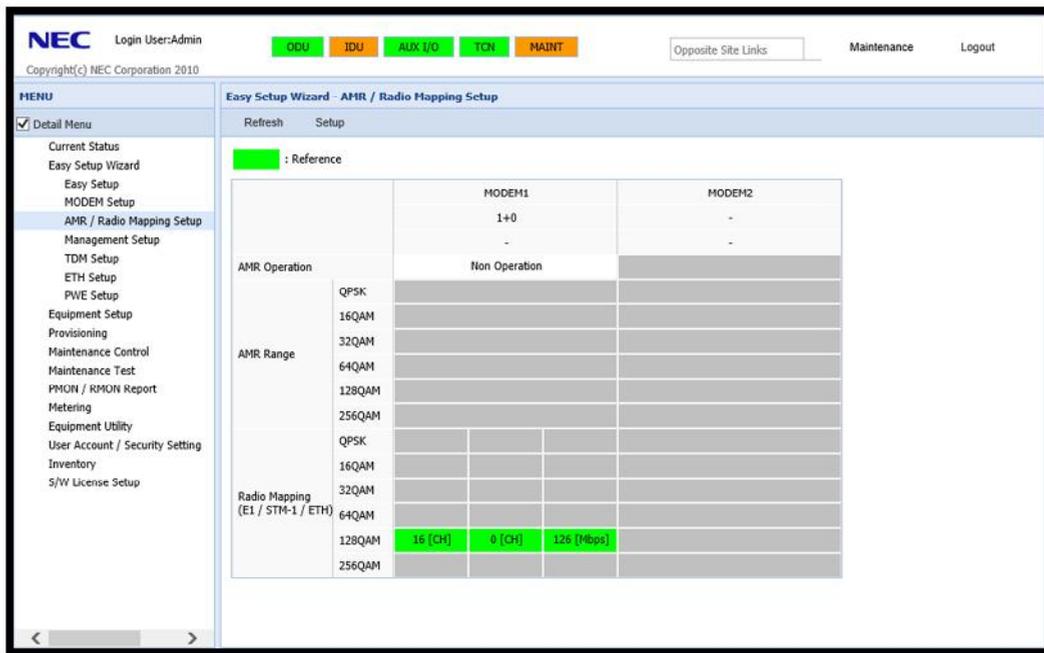


Fig.44. Fenêtre pour vérifier le nombre des E1

❖ Pour Activé les E1 en passe par Provisioning/E1 STM-1 Cross Connect/E1 Port Setting/Modify/Used.

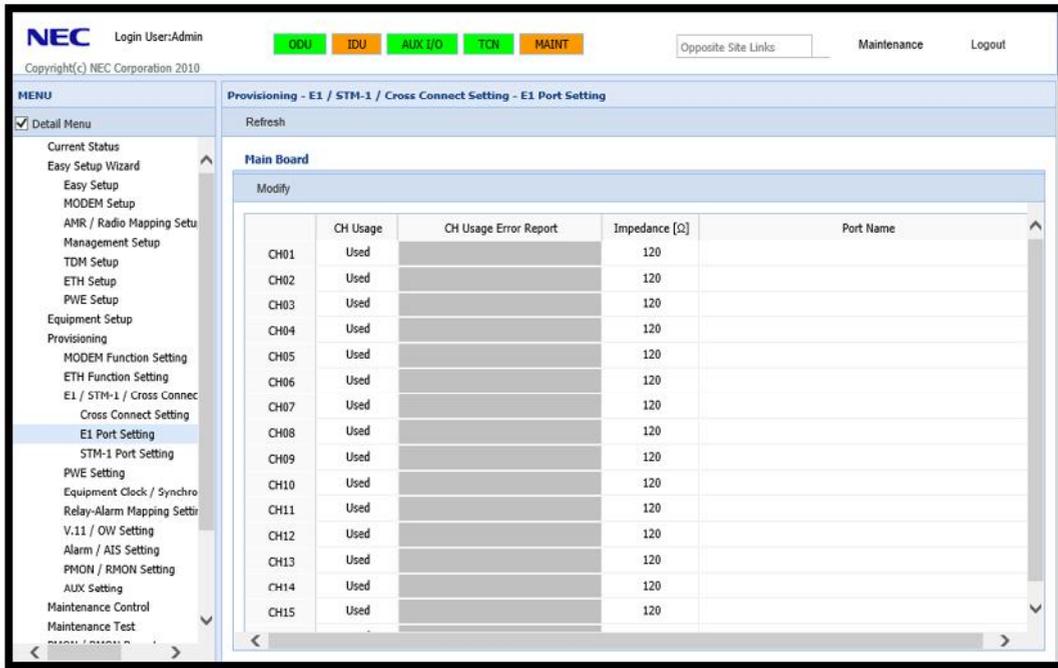


Fig.45. Fenêtre pour activer les E1

- ❖ Pour choisir le mode de fonctionnement de site soit master ou slave on sélectionne Provisioning/Equipement ClockSynchron/ Equipement Clock setting/Modify.

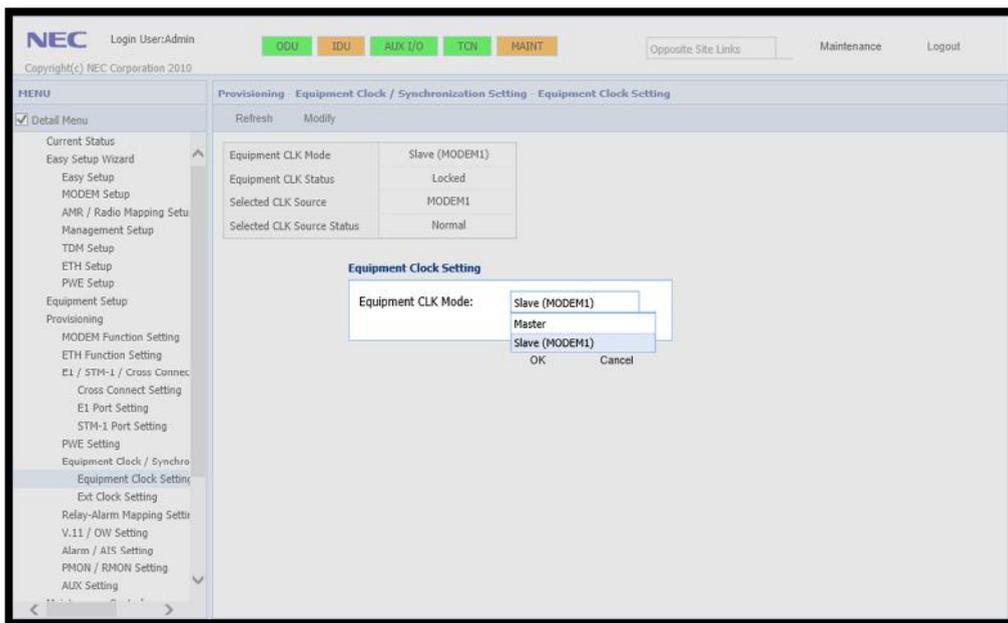


Fig.46. Fenêtre du choix de type de mode

- ❖ Changer le type des ports VLAN et les faire activé provisioning/ETH Function Setting/Vilan Setting/Port01/ port type : Tunnel.

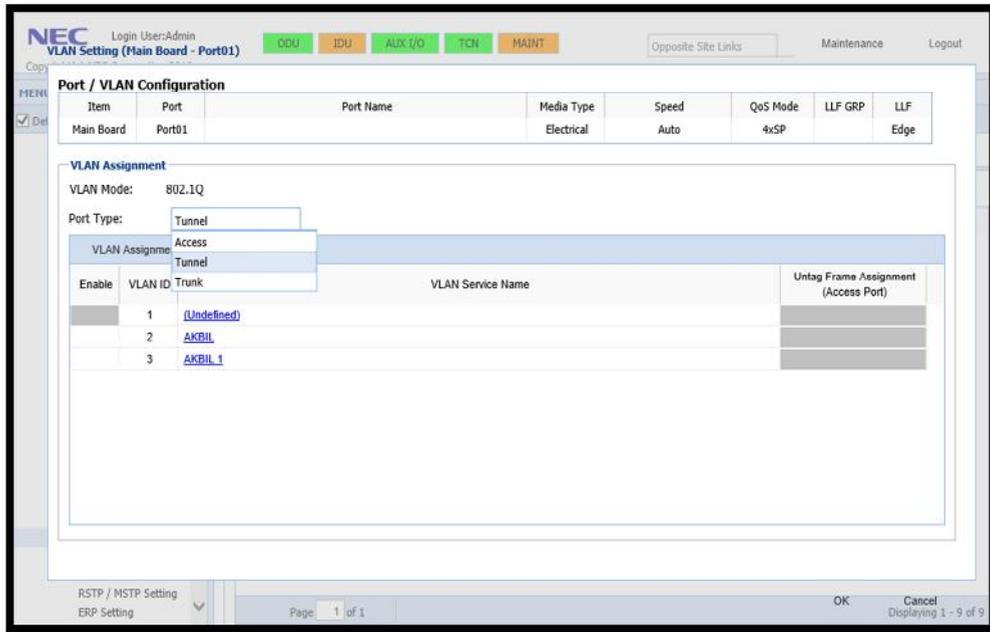


Fig.47. Fenêtre du choix de type de port

- ❖ On donne les puissances qui permettent la transmission des différents données : provisioning/Modem Fonction Setting/TX Power Setting.

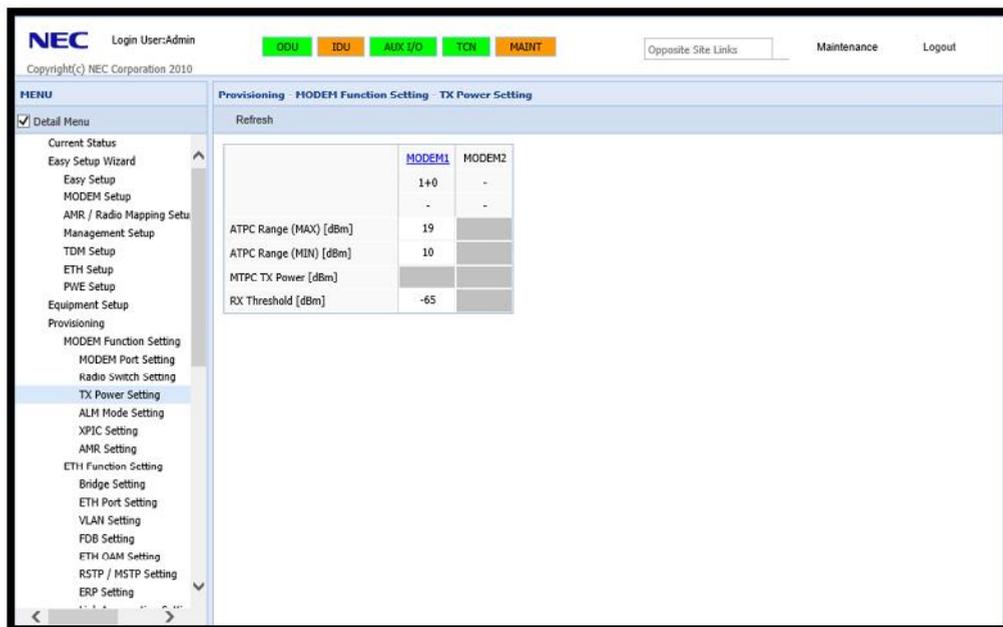


Fig.48. Fenêtre de saisie des puissances.

6. Les tests :

Après avoir finir la configuration et introduire la puissance Max et Min pour la bonne transmission du signal, on passe à la partie test de notre installation. En premier lieu le fonctionnement de notre programme on le met fonctionné d'une façon manuelle (MTPC) pour choisir la puissance correspondante par apport au climat du lieu, après avoir le bon fonctionnement de l'installation au niveau d'émission et de la réception on met notre programme a fonctionné d'une façon automatique (ATPC).

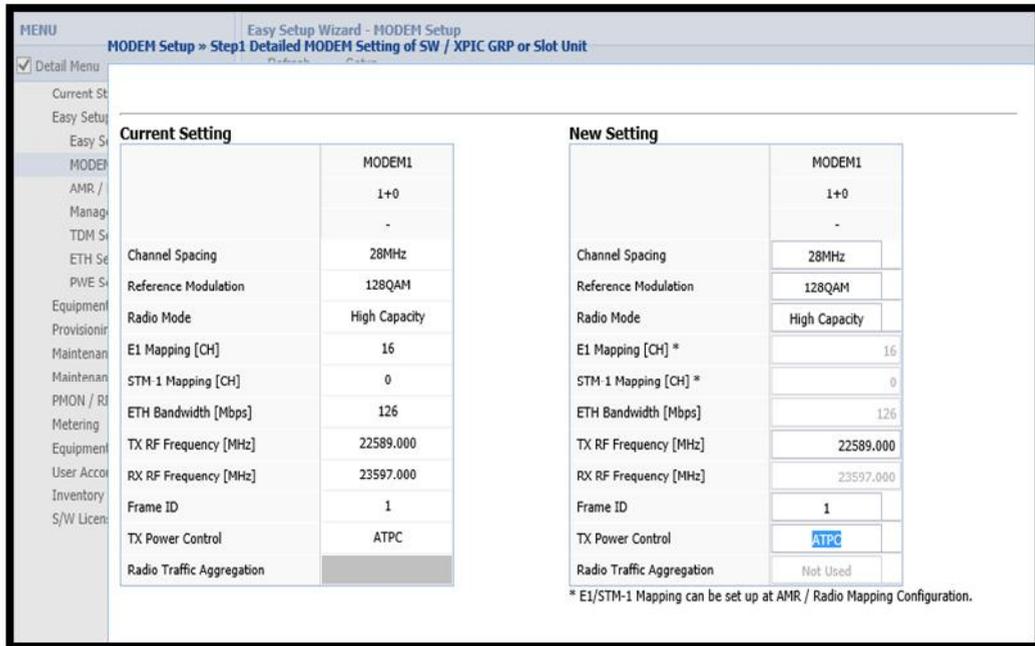


Fig.49. Fenêtre du choix de Tx power control

A la fin pour tester le bon fonctionnement, nous utilisons la commande **Ping**. Celle-ci, permet de vérifier la bonne connexion entre les liaisons.



Fig.50. Fenêtre de teste de la liaison

7. Discussion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté la structure de la liaison proposée en donnant toutes les règles pratiques à appliquer pour le calcul d'une liaison par faisceau hertzien. Vu les résultats obtenus sur les éléments fondamentaux de calcul de liaison, nous pouvons conclure que notre liaison est techniquement réalisable.

CONCLUSION

CONCLUSION

Le Faisceau Hertzien restent aujourd'hui le moyen le plus rapide et le moins onéreux pour installer un réseau des télécommunications. Il est utilisé dans les régions inaccessibles par fibre optique.

Dans ce mémoire, notre préoccupation est de montrer les principes de transmissions d'informations par Faisceau Hertzien. Pour y parvenir, nous avons étudiés puis mis en service un réseau de transmission d'informations par faisceau hertzien entre deux sites IGHZER N'ECHVEL vers BOGHNI en passant par un relais situé à BENI KOUFFI. L'objectif est de relier l'équipement MSAN du site IGHZER N'ECHVEL vers celui de BOGHNI. Le choix du FH est dû à l'inaccessibilité du site IGHZER N'ECHVEL. Par conséquent, nous ne pouvions pas utilisés la fibre optique.

Les tests effectués sur cette liaison nous ont permis de vérifier la bonne transmission des différentes données avec un débit qui peut atteindre 800 Mbits/s.

Toutefois, malgré leur simple réalisation et leur faible cout, la liaison FH réalisée est limitée par le débit. Pour surpasser cette limitation, nous proposons l'utilisation de la Radio Agrégation.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] : Quinchy RIYA. Février 2011. «Evolution et incidences de la technologie de la communication». Université Paris-Est Marne-La-Vallée.
- [2] : BENDENNAH Lydia et ALLIK Madjda .2013/2014. « Etude des liaisons FH d'un réseau WLL : Acquisition des données radioélectriques dans la région de Tizi-Ouzou ». Mémoire master en électronique .option : réseau et télécommunication. Université Mouloud MAMMERY. Tizi-Ouzou.
- [3] : SARAOUI Nassim et MAKHLOUF Djillali.2011/2012. « Etude de l'architecture du central téléphonique HONET et l'installation des MSAN de la wilaya de Tizi-Ouzou». Mémoire Master en électronique. Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou.
- [4] : Mouhamadou Lamine.2010. « Intégration d'un nouveau 'broadband access server' pour la terminaison des sessions ADSL sur le backbone IP de la Sonatel ».Université Gaston Berger de Saint-Louis. Mémoire fin d'étude en télécommunication.
- [5] : Adoum Youssouf Moussa.2010/2011. « Etude et mise en service de la liaison FH loubila- Kamboncé». Ingénieur des Travaux en Technologie des réseaux et systèmes Informatique.
- [6] : NLANDU BASINGA Anael. 2011/2012. « Etude d'un réseau de transmission d'information par faisceau hertzien entre 2 ports ». Institut supérieur de technique appliquée de Kinshasa-ingénieur en radio transmission
- [7] : Jean-Jacques Rousseau, «les guides d'ondes rectangulaire : Informatique et réseau ». Université du Marie, le Mans-Laval, 2012.
- [8] : Sahli Omar et ZEMAM Yousef .2012/2013. «Etude de liaison BTS/BSC de réseau GSM». Mémoire de licence en électronique. Université Abou Baker Belkaid-TLEMEN.
- [9] : Livre sur les FH analogique et numérique E. Fernandez et M. Mathieu année : mai 1991
- [10] : BELAID Katia et BOUMEDDANE Taoues. 2012/2013. « Etude des antennes planaires avec le modèle de la cavité et le modèle de la ligne de transmission ». Mémoire Master en électronique. Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou.
- [11]: Animation de la propagation d'une antenne parabolique sur You tube.
- [12] : Documentation Système Faisceaux Hertiens Numérique (formation IPASOLINK) NEC Corporation, TOKYO Japon.

ANNEXES



FICHE TECHNIQUE DE MISE EN SERVICE / A L'ARRET D'UNE LIAISON FH

DRT: Nom d'artère (liaison):
 DOT: Station A: Station B:
 BOND: EXT A: EXT B:
 Deg Min Sec Dir
 Coordonne géographiques : longitude : latitude: Altitude: (m)
 Azimut : EXT A EXT B
 Type de la station : EXT A EXT B

Caractéristique Du Système :

Nom ou type de l'équipement :

Système	Marque	Model
PDH	NEC	I PASOLINK 200 AMR

 Longueur du bond Km:

Capacité : Mb/S
 Fréquence de travail : GHz
 Protection de canaux :
 Diversité d'espace :
 Caractéristiques Techniques : (données relevées sur notice technique du constructeur)
 Bande de fréquences :
 Ecart de fréquence Em/Rec (schifter) : (Mhz)
 Puissance d'Emission : (dbm)
 puissance R au seuil de réception : (dbm)
 Modulation :

Mesures de mise en services	Extrémité A				Extrémité B					
	C1	POL	C2	POL	C1	POL	C2	POL		
Fréquences de travail Em (Mhz)	14600	V	14600	H	15020	V	15020	H		
Fréquences de travail RX (Mhz)	15020	V	15020	H	14600	V	14600	H		
IDU	N° de série		N° de série		N° de série		N° de série			
	241304				241314					
ODU	N° de série	HIGH/LOW	N° de série	HIGH/LOW	N° de série	HIGH/LOW	N° de série	HIGH/LOW		
	96598	LOW	96618	LOW	96658	HIGH	96664	HIGH		
Niveau de REC (dbm)	-49,4/-48,6				-48					
Champ REC (mV)										
Taux d'erreur à 2 MB/S	0				0					
Taux d'exploitation										
Débit après MES FH										
Type et hauteur du pylône	TYPE		Hauteur (m)		TYPE		Hauteur (m)			
	MAT SUR DALE		MAT 3		MAT SUR DALE		MAT 6			
Diametre et hauteur des antennes	Diametre		Hauteur (m)		Diametre		Hauteur (m)			
	0,6		3m		0,6		5m			
Type et longueur du feeder	TYPE		Longueur (m)		TYPE		Longueur (m)			
	cable coaxiale		15m		cable coaxiale		10m			
Existance paratonnerre	OUI				OUI					
Balisage										
Type De Batiment	BATIMENT1				BATIMENT1					
Autorite (propriétaire du site)	AT				ETATIQUE					
Source d'énergie disponible	RESEAU SONALGAZ				RESEAU SONALGAZ					
Mise à la terre équipement pylône /Batiment	IDU	ODU	Fedeer	Pylone	Batiment	IDU	ODU	Fedeer	Pylone	Batiment
	OUI	OUI	NON		OUI	OUI	OUI	NON		OUI
Alim secours	GROUPE /BATRIE									
Equipement existant	FHN				RSS-DSLAM					
Climatisation disponible	ACTIVE									

OBSERVATIONS:

Date de mise en service / à l'arrée	CA DE	Centre charge de l'installation
23-02-2015		CMRR TIZI OUZOU

DRT: Nom d'artère (liaison):
 DOT: Station A: Station B:
 BOND: EXT A: EXT B:
 Deg Min Sec Dir
 Coordonne géographiques : longitude : latitude: Altitude: (m)
 Azimut : EXT A EXT B
 Type de la station : EXT A EXT B

Caractéristique Du Système :

Nom ou type de l'équipement :

Système	Marque	Model
PDH	NEC	I PASOLINK 200 AMR

 Longueur du bond Km:

Capacité : Mb/S
 Fréquence de travail : GHz
 Protection de canaux :
 Diversité d'espace :
 Caractéristiques Techniques : (données relevées sur notice technique du constructeur)
 Bande de fréquences :
 Ecart de fréquence Em/Rec (schifter) : (Mhz)
 Puissance d'Emission : (dbm)
 puissance R au seuil de réception : (dbm)
 Modulation :

Mesures de mise en services	Extrémité A				Extrémité B					
	C1	POL	C2	POL	C1	POL	C2	POL		
Fréquences de travail Em (Mhz)	22321.25	V			23329.25	V				
Fréquences de travail RX (Mhz)	23329.25				22321.25					
IDU	N°de série		N°de série		N°de série		N°de série			
	233303				233302					
ODU	N°de série	HIGH/LOW	N°de série	HIGH/LOW	N°de série	HIGH/LOW	N°de série	HIGH/LOW		
	77922				77964					
Niveau de REC (dbm)	-47				-48					
Champ REC (mV)										
Taux d'erreur à 2 MB/S	0				0					
Taux d'exploitation										
Débit après MES FH										
Type et hauteur du pylône	TYPE		Hauteur (m)		TYPE		Hauteur (m)			
	MAT SUR DALE		MAT 3		AUTOSTABLE 1 PIED		MAT 6			
Diametre et hauteur des antennes	Diametre		Hauteur (m)		Diametre		Hauteur (m)			
	0.6		1		0.6		1			
Type et longueur du feeder	TYPE		Longueur (m)		TYPE		Longueur (m)			
	cable coaxiale		10		cable coaxiale		10			
Existance paratonnerre	OUI				OUI					
Balilage	NON				NON					
Type De Batiment	BATIMENT1				BATIMENT1					
Autorite (proprietaire du site)	ETATIQUE				AT					
Source d'énergie disponible	RESEAU SONALGAZ				RESEAU SONALGAZ					
Mise à la terre équipement pylône /Batiment	IDU	ODU	Feeder	Pylone	Batiment	IDU	ODU	Feeder	Pylone	Batiment
	OUI	OUI	NON		OUI	OUI	OUI	NON		OUI
Alim secours	AUCUNE				BATTERIE					
Equipement existant	AUCUNE				RSS-FH					
Climatisation disponible	AUCUNE				AUCUNE					

OBSERVATIONS:

Date de mise en service / à l'arrée	CA DE	Centre charge de l'installation
19-02-2015		CMRR TIZI OUZOU