

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

Faculté de Génie Electrique et de l'Informatique

Département d'Electronique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en

Electronique

Option : Communication

Thème

**Etude pour une mise en œuvre d'un Backbone
par FHN dans le réseau de transport
(transmission) dans la wilaya de Tizi-Ouzou.**

Proposé et dirigé par :

Mr : MEZINE Ahmed

Promoteur :

Mr: AIT BACHIR.Y

Présenté par :

Mlle: MOULLA Lyssia

Mlle: OULD HAMOUDA Tassadit

Promotion: 2009/2010

Remerciements

Nous remercions Monsieur MEZINE Ahmed, Directeur des Etudes et de l'Ingénierie des Réseaux au niveau de la Direction Générale D'ALGERIE TELECOM, d'avoir accepté de nous encadrer, de nous avoir suivies pendant toute la durée du travail et d'avoir contribué à sa réalisation et Monsieur AIT BACHIR Youcef notre promoteur pour ses conseils, tout le soutien et le suivi qu'il nous a porté.

Nos vifs remerciements vont notamment à MONSIEUR IZRI Kamel et Monsieur MOKRI Kamel D'ALGERIE TELECOM de TIZI OUZOU pour leur soutien et leurs conseils.

Nos remerciements vont également, au Président et aux Membres de jury qui nous feront l'honneur d'évaluer notre modeste travail, ainsi qu'à tous les Enseignants qui ont contribué à notre formation.

Que toute personne, qui d'une manière ou d'une autre, nous a aidé et encouragé pour l'aboutissement de ce travail, trouve ici l'expression de notre gratitude.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- ✚ Aux deux grands amours de ma vie, mon père et ma mère que je remercie du fond du cœur.*
- ✚ A mon cher frère : Baghdad .*
- ✚ A mes chères sœurs : Lamia et Kahina .*
- ✚ A mes chers amis : Krimo, Terkja, Hayet, Aziza, Sassi, Amel, Nassima et Souhila... .*
- ✚ Ainsi qu'a toute ma famille surtout Djamel et Tata Chabha.*

Lyssia

Je dédie ce modeste travail :

- ✚ A ma chère petite Maman qui m'a toujours soutenu grâce à qui j'en suis arrivée là.*
- ✚ A mon cher père.*
- ✚ A Tonton, ma Tata, Yemma et Yaya*
- ✚ A mes chers frères : Youyou, Mami , Taphino Bizbol et Tarik.*
- ✚ A mes chères petites frangines : Kahineche et Simanta.*
- ✚ A mes chères sœurs : Amouche, Ryma, Soussou et Kamouche.*
- ✚ A mes chers amis : Katcho, Djimy, Achill !, Idir, Ghiles, Dali, Lysso, Krimo, Souhila ...*

Sassi

SOMMAIRE

Préambule	1
-----------------	---

Chapitre I ***Faisceaux hertziens numériques***

I.1- Généralités.....	3
I.2- Les ondes électromagnétiques.....	4
I.2.1- Définition.....	4
I.2.2- Caractéristiques d'une onde électromagnétique.....	5
I.3- Les équations de MAXWELL.....	6
I.4- Longueur d'onde.....	6
I.5- Les antennes.....	6
I.5.1- Définition générale d'une antenne.....	6
I.5.2- Caractéristiques des antennes.....	7
I.6- Radiocommunication (Gestion et réparation du spectre de fréquence).....	11
I.7- Transmission par faisceaux hertziens numériques	12
I.8- Propagation des ondes électromagnétique dans l'environnement terrestre.....	13
I.8.1- L'atmosphère	13
I.8.2- Les types de propagation	15
I.8.3- Les facteurs pouvant affecter la propagation	17
I.9- Ingénierie d'une liaison hertzienne	19
I.9.1- Eléments d'ingénierie d'une liaison.....	19
I.9.1.1- Etablissement du profil de la liaison	19
I.9.1.2- Détermination des azimuts et de la distance	20
I.9.1.3- Bilan de liaison.....	20
I.9.2- Définition des marges.....	24
I.9.3- Diversité d'espace et de fréquence	25
I.9.4- Gain sur les bilans.....	25
I.9.5- Choix de la diversité.....	26

Chapitre II ***Transmission numérique et réseaux de télécommunications***

II.1- Introduction.....	27
II.2- Organisation du RTC.....	27
II.2.1- Hiérarchie du RTC.....	29
II.2.2- Plan fondamentaux.....	30

II.2.2.1- Plan d'Acheminement.....	30
II.2.2.2- Plan de Routage.....	30
II.2.2.3- Plan de numérotation.....	30
II.2.2.4- Plan de transmission.....	31
II.2.2.5- Plan de taxation.....	31
II.2.2.6- Plan de signalisation.....	31
II.2.2.6.1- Signalisation SS7.....	32
II.2.2.6.2- Les points de signalisation	32
II.2.2.7 - Plan de synchronisation	33
II.3- Les supports de transmission.....	34
II.4- La transmission numérique	37
II.4.1- Modulation par impulsions et codage (MIC).....	37
II.4.1.1- L'échantillonnage	38
II.4.1.2- La quantification.....	38
II.4.1.3- La compression.....	39
II.4.1.3.1- Les lois de compression.....	39
II.4.1.4- Le codage.....	40
II.4.1.4.1- Le code HDB3	40
II.4.1.5 - La trame MIC.....	41
II.4.2 - Modulation QAM	42
II.5- Hiérarchie numérique plésiochrone (PDH).....	44
II.5.1 - Définition des éléments de la SDH.....	45
II.5.1.1- Le conteneur de niveau n (C-n)	45
II.5.1.2- Le conteneur virtuel (VC-n)	46
II.5.1.3- L'unité d'affluent (TU-n).....	47
II.5.1.4- Le groupe d'unités d'affluent (TUG-n)	47
II.5.1.5 - L'unité administrative (AU-n).....	47
II.5.1.6- Le groupe d'unités administratives (GUA-n)	48
II.5.2- Le multiplexage SDH.....	48
II.5.2.1- Structure de la trame de base de la SDH.....	49
II.5.2.1.1- Le surdébit de section (SOH)	50
II.5.2.1.2- Le pointeur.....	50

II.5.2.1.2.1- Justification du pointeur.....	50
II.5.2.1.3- Le surdébit de conduit (POH).....	51
II.5.3- Étude d'un réseau SDH.....	51
II.5.3.1- Protection du réseau SDH.....	51
II.5.3.2- Synchronisation d'un réseau SDH.....	51
II.5.3.3 - Les équipements d'interconnexion au réseau SDH.....	53
II .5.3.4- Topologie des réseaux SDH.....	54

Chapitre III ***Ingénierie du Backbone FHN de TIZI-OUZOU***

III.1- Introduction.....	57
III.2- Les outils d'ingénierie et de planification.....	57
III.2.1- PATHLOSS.....	58
III.2.2- PEGASSUS.....	58
III.3- Etudes et ingénierie du réseau Backbone FHN	59
III.3.1- Pré - étude et dimensionnement.....	59
III.3.2- Etude de site.....	59
III.3.3- Etude du réseau.....	60
III.3.4- Proposition de réseau relative au projet.....	60
III.3.5- Mise en œuvre du réseau (backbone FHN).....	60
III.4- Réception en diversité d'espace : (Lutte contre les trajets multiples).....	62
III.5- Introduction au calcul du bilan de liaison.....	63

Chapitre IV ***Configuration et Dimensionnement du Backbone FHN de*** ***TIZI-OUZOU***

IV.1- Description du réseau de télécommunications de la wilaya de TIZI-OUZOU.....	65
IV.1.1- Le réseau de commutation numérique	65
IV.1.2- Le réseau de transmission existant.....	68
IV.2- Mise en œuvre du projet Backbone FHN de TIZI-OUZOU.....	69
IV.2.1- Présentation du projet	69
IV.2.2- Etudes de faisabilité et d'ingénierie.....	69
IV.2.3- Etude et procédure de mise en œuvre du projet.....	70
IV.2.4- Composition du Backbone.....	72
IV.3- Paramètres de dimensionnement.....	72

IV.3.1- Données d'Ingénierie et de Dimensionnement.....	72
IV.3.2- Résultats du dimensionnement et du calcul d'organes.....	73
IV.4- Plan d'exploitation des fréquences	74
IV.4.1- Calcul des différentes fréquences	75
IV.4.2- Description du plan d'exploitation de fréquences.....	76
IV.5 Bilan de liaison	79
Conclusion générale.....	83

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Chapitre I Faisceaux hertziens numériques

<i>Figure I.1</i> : Onde électromagnétique.....	4
<i>Figure I.2</i> : Diagramme de rayonnement.....	8
<i>Figure I.3</i> : Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnelle.....	9
<i>Figure I.4</i> : Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle.....	9
<i>Figure I.5</i> : Présentation des azimuts.....	10
<i>Figure I.6</i> : Les trois zones géographiques réglementaires.....	12
<i>Figure I.7</i> : Couches atmosphériques	15
<i>Figure I.8</i> : Ellipsoïde de Fresnel.....	16
<i>Figure I.9</i> : Diagramme synoptique donnant le bilan de liaison.....	22
<i>Tableau. I.1</i> : Couches ionosphériques.....	14
<i>Tableau. I.2</i> : Coefficients de l'affaiblissement dû à la pluie.....	24

Chapitre II Transmission numérique et réseaux de télécommunications

<i>Figure II.1</i> : Schéma global du RTC.....	28
<i>Figure II.2</i> : La commutation de circuit.....	29
<i>Figure II.3</i> : Hiérarchie du RTC.....	30
<i>Figure II.4</i> : Points de signalisation du réseau SS7.....	33
<i>Figure II.5</i> : Câble à paire torsadée.....	34
<i>Figure II.6</i> : Câble coaxial.....	35
<i>Figure II.7</i> : Propagation des faisceaux optiques.....	35
<i>Figure II.8</i> : Liaison par faisceaux hertziens.....	36
<i>Figure II.9</i> : Étapes de la modulation MIC.....	38
<i>Figure. II.10</i> : Principe du code HDB.....	41
<i>Figure. II.11</i> : Structure d'une trame MIC.....	41
<i>Figure. II.12</i> : constellation QAM8 (3 bits par baud).....	43
<i>Figure II.13</i> : Multiplexage/Démultiplexage en PDH.....	44
<i>Figure. II.14</i> : Le conteneur.....	45
<i>Figure. II.15</i> : Le conteneur virtuel.....	46

<i>Figure. II.16</i> : L'unité d'affluent.....	47
<i>Figure. II.17</i> : Les niveaux de multiplexage SDH.....	48
<i>Figure. II.18</i> : structure du multiplexage synchrone.....	49
<i>Figure. II.19</i> : Structure de la trame STM-1.....	50
<i>Figure. II.20</i> : Organisation en hiérarchie des rythmes en SDH	52
<i>Figure. II.21</i> : Le multiplexeur terminal.....	53
<i>Figure. II.22</i> : Le multiplexeur insertion/extraction.....	54
<i>Figure. II.23</i> : Le brasseur.....	54
<i>Figure II .24</i> : Topologie point à point.....	55
<i>Figure II.25</i> : Topologie bus.....	55
<i>Figure II.26</i> : Topologie étoile	56
<i>Figure. II.27</i> : Anneau bi-directionnel	56
<i>Figure. II.28</i> : Anneau directionnel.....	56
<i>Tableau. II.1</i> : Caractéristiques des systèmes de transmission MIC 30 et MIC 24.....	42
<i>Tableau. II.2</i> : Hiérarchie numérique synchrone (SDH).....	45
<i>Tableau. II.3</i> : Types de conteneurs.....	46
<i>Tableau. II.4</i> : Définition des horloges.....	53

Chapitre III Ingénierie du Backbone FHN de TIZI-OUZOU

<i>Figure III.1</i> : Etapes d'ingénierie et de planification du projet.....	57
<i>Figure III.2</i> : Trajets multiples.....	61
<i>Figure III.3</i> : Réception en diversité d'espace.....	62

Chapitre IV Configuration et Dimensionnement du Backbone FHN de TIZI-OUZOU

<i>Figure IV.1</i> : Configuration du réseau de transmissions existant.....	68
<i>Figure IV.2</i> : Configuration du Backbone de transmissions FHN.....	70
<i>Figure IV.3</i> : Agencement d'un plan de fréquences.....	77
<i>Figure IV.4</i> : Plan de fréquences 8 GHz.....	78
<i>Figure IV.5</i> : Plan de fréquences 11 GHz.....	79

Tableau IV.1 : Coordonnées géographiques des sites.....	71
Tableau IV.2 : Composition du Backbone.....	72
Tableau IV.3 : Paramètres de dimensionnement.....	72
Tableau IV.4 : Résultats du dimensionnement.....	73
Tableau IV.5 : Matrice d'exploitation.....	74
Tableau IV.6 : Plan de fréquences.....	76

Préambule :

A l'heure où l'informatique conquiert une place prépondérante dans les réseaux de télécommunications, en générant une multitude de services pour les abonnés, il s'avère toujours indispensable d'optimiser les moyens d'infrastructure à mettre en œuvre afin d'assurer la transmission des messages dans les meilleures conditions possibles, en terme de qualité, de disponibilité et de coût.

L'univers des réseaux informatiques est l'un des domaines technologiques les plus passionnants à notre époque. Le réseau mondial connu sous le nom d'Internet assure déjà l'interconnexion de millions et bientôt de milliards d'ordinateurs, procurant une infrastructure de communication, de stockage et de ressources informatiques à l'échelle planétaire. Qui plus est, on assiste actuellement à l'intégration progressive de l'internet avec les technologies mobiles et sans fil, ce qui génère une quantité d'applications toujours volumineuse.

Les réseaux composent la structure de base du nouveau monde qui se forme sous nos yeux. Par le séisme qu'il engendre, la planète entre dans une nouvelle ère. Ce nouveau monde est celui de la communication. Constitué de réseaux et se parcourant à la vitesse de la lumière, il représente une révolution semblable à celle de l'apparition de l'écriture ou la grande révolution industrielle.

Ces réseaux qui innervent aujourd'hui complètement la planète, se constituent grâce à la fibre optique, aux ondes hertziennes et à divers équipements qui permettent d'atteindre de hauts débits. Ces réseaux forment donc un domaine tellement complexe qu'il est impossible d'en rendre compte de façon exhaustive. Internet constitue pour le moment la principale architecture de ces communications.

L'interconnexion des réseaux est réalisée aux moyens de deux types de support de transport à savoir :

- Interconnexion sur support en Fibre Optique ;
- Interconnexion sur support en Faisceau Hertzien Numérique directe ou via le satellite.

Le présent projet portant sur l'étude pour une mise en œuvre d'un backbone par Faisceaux Hertiens Numériques dans le réseau de la Wilaya de Tizi - Ouzou a été menée comme suit :

Première partie : (Etude théorique)

Elle se compose de quatre chapitres :

1- Chapitre I : Ce chapitre a pour objet la présentation des ondes électromagnétiques et des faisceaux hertiens numériques ;

2- Chapitre II : Ce chapitre décrit la transmission numérique et réseaux de télécommunications.

Deuxième partie : (Etude Pratique)

Cette partie porte sur l'étude pour la mise en œuvre d'un backbone faisceaux hertiens numériques dans le réseau téléphonique de la wilaya de Tizi - Ouzou. Elle se compose de deux chapitres à :

1- Chapitre III: Ce chapitre décrit toutes les activités liées à l'ingénierie du backbone de

transmissions par faisceaux hertiens numériques (FHN);

2- Chapitre IV : Ce chapitre porte sur la configuration et le dimensionnement du backbone

De transmissions par faisceaux hertiens numériques FHN de Tizi Ouzou.

Cette étude a été menée conformément au cahier des charges techniques d'ALGERIE TELECOM qui fixe les données d'Ingénierie et de dimensionnement à prendre en considération.

Chapitre I :

Faisceaux hertziens numériques

I.1 Généralités

Les ondes électroniques constituent un remarquable moyen pour se projeter à distance en l'absence de tout support matériel et on ne finira jamais d'explorer toutes les possibilités qu'elles offrent de télé-communiquer ou de télé agir entre deux points quelconques de l'espace. Mais pour utiliser leur capacité à transporter de l'information, il ne suffit pas d'émettre et de recevoir des ondes. Celles-ci ne sont que des véhicules, des " porteuses " suivant l'expression consacrée.

En effet, une onde radioélectrique pure, en elle - même, ne porte pas d'information. Ce sont les variations de l'une des caractéristiques de cette onde susceptibles d'être détectées à la réception, qui peuvent " signifier " quelque chose. On appelle " modulation " l'action de modifier une des caractéristiques d'une onde " porteuse " pour lui faire représenter un message à transmettre et " démodulation " l'opération qui consiste à détecter les variations significatives de l'onde porteuse pour en extraire le message.

Les fréquences radio électriques sont une ressource fondamentale pour le développement de la société de l'information. La mondialisation des communications conjuguée aux évolutions technologiques entraîne un besoin toujours plus grand en bandes de fréquences qu'il faut répartir et dont il faut sans cesse améliorer l'efficacité. La gestion des fréquences est devenue un enjeu majeur pour le monde moderne.

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux permettant l'interconnexion de sites fixes et distants géographiquement.

Ce type de liaisons radio point à point est aujourd'hui principalement numérique monodirectionnel ou bidirectionnel, généralement permanent est utilisé pour des liaisons voix et données. Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1 GHz à 40 GHz (gamme des micros - ondes) très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

Ces ondes sont sensibles aux obstacles (relief, végétation, bâtiments...), aux précipitations, aux conditions de réfractivité de l'atmosphère et aux perturbations électromagnétiques. Elles présentent une sensibilité assez forte aux phénomènes de réflexion pour les signaux analogiques mais toutefois la modulation numérique permet en partie de compenser le taux d'erreur de transmission dû à ces nuisances.

Cependant les bilans de liaison réalisés préalablement permettent de réaliser des études de faisabilité et d'établir des liens avec des taux d'indisponibilité extrêmement faibles.

Destinés à la mise en œuvre de réseaux de télécommunications les faisceaux hertziens numériques offrent de grandes capacités de débit et sont évolutifs en fonction des besoins de l'utilisateur.

Le signal à transmettre est transposé en fréquence par modulation.

L'opération de modulation transforme le signal à l'origine en bande de base par un signal modulé dit à " bande étroite " dont le spectre se situe à l'intérieur de la bande passante du canal définie et conforme aux normes internationales.

Les modulations analogiques (AM et FM) sont désormais remplacées par des normes numériques utilisées comme suit à :

- 4 ou 16 états (QPSK, 4 QAM, 16 QAM...) pour les signaux [PDH](#) ;
- 64 ou 128 états (64 QAM, 128 QAM...) pour les signaux [SDH](#) ;

Les faisceaux hertziens sont complémentaires de réseaux en fibre optique pour assurer la continuité de certains points de raccordement d'une part ou sont utilisés pour assurer la sécurisation de certaines liaisons cuivre tout en optimisant les coûts notamment par rapport à des liaisons louées d'autre part. Le faisceau hertzien dispose de point d'accès à la norme G.703 et Ethernet. Les débits vont de 2 à 155 Mbits/s.

La qualité d'une liaison par faisceau hertzien et la disponibilité de la liaison sont bien supérieures aux autres types de liens classiques.

I.2 Notions sur la propagation des ondes électromagnétiques

I.2.1 Définition :

La présence d'un champ électrique et d'un champ électromagnétique perpendiculaire l'un à l'autre, et variant dans le temps, produit une onde électromagnétique se déplaçant à la vitesse de la lumière ($C=3 \cdot 10^8$ m/s), dans une direction perpendiculaire à celle des lignes de champ électriques et magnétiques.

On établit ainsi qu'une charge électrique ponctuelle q , de vitesse \vec{v} située au point \vec{r} à l'instant t , subit une force électromagnétique \vec{F} , dite force de Lorentz, et vérifiant :

$$[\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})]$$

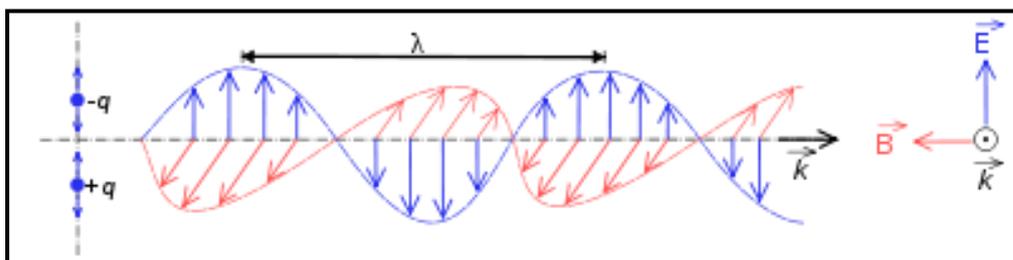


Figure I.1 : Onde électromagnétique.

I.2.2 Caractéristiques d'une onde électromagnétique

- **vitesse de déplacement:**

L'onde électromagnétique se propage en ligne droite dans un milieu homogène; sa vitesse est $C=3 \cdot 10^8$ m/s dans l'espace ou $v=C/n$ dans un milieu autre que l'espace et dont l'indice de réfraction est n .

- **fréquence et longueur d'onde:**

La fréquence d'une onde électromagnétique est la fréquence des champs électriques et magnétiques qui la composent.

La longueur d'onde λ est définie comme le trajet parcouru par une onde après une période d'oscillation T .

$$\lambda = CT = C/f$$

- **Etat de polarisation d'une onde électromagnétique :**

Supposons maintenant l'onde plane progressive monochromatique (OPPM) se propageant dans la direction x . Les champs peuvent s'écrire :

$$\vec{E} = (0, E_{0y} \cos(\omega t + kx), E_{0z} \cos(\omega t - kx + \phi))$$
$$\vec{B} = \left(0, \frac{1}{c} E_{0z} \cos(\omega t - kx + \phi), E_{0y} \cos(\omega t + kx) \right)$$

Si le déphasage ϕ n'est pas une constante mais varie aléatoirement dans le temps, les champs, tout en restant transverses, n'ont pas de direction particulière et varient eux aussi aléatoirement en direction x dans le plan d'onde : on dit alors que **l'onde est non polarisée**.

C'est ce qui se passe notamment dans le cas des ondes lumineuses émises de façon spontanée. Ainsi la lumière qui nous vient du soleil est une onde électromagnétique localement plane non polarisée.

Dans certains cas cependant, ϕ peut avoir une valeur constante : la direction des champs va alors obéir à certaines règles : l'onde est dite alors polarisée.

Ainsi, si ϕ garde une valeur constante au cours du temps, dans un plan $x = \text{cste}$, les extrémités des vecteurs \vec{E} et \vec{B} décrivent des ellipses, l'ellipse décrite par l'extrémité de \vec{B} se déduisant de celle décrite par l'extrémité de \vec{E} par une similitude de rapport $\frac{1}{c}$ et d'angle $\frac{\pi}{2}$.

Dans ce cas on dit que l'onde est **polarisée elliptiquement**. Les champs ne sont pas colinéaires à des directions fixes mais tournent à vitesse angulaire ω dans un plan d'onde.

De plus, suivant les valeurs de φ , on peut discuter du sens de rotation. Quand les champs tournent négativement autour de la direction de propagation, l'onde est dite **gauche**. Elle est évidemment dite **droite** dans le cas inverse.

Dans le cas particulier où $\frac{\pi}{2} + k\pi$ et $E_{0y} = E_{0z}$ les champs balayent des cercles et l'onde est dite **circulaire** donc **polarisée circulairement**.

Un cas très important enfin est celui de $\varphi = 0$ ou π où les champs restent colinéaires à une direction fixe : on parle alors de **polarisation rectiligne**.

I.3 Les équations de MAXWELL

$$a) \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$b) \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$c) \operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

$$d) \operatorname{div} \vec{B} = 0.$$

I.4 Longueur d'onde :

Soit le cas d'une onde progressive dont l'expression suivante :

$$\vec{E} = E_0 e^{-\alpha n r} e^{-j\beta n r} \quad \text{Il existe une distance } \lambda \text{ dans la direction de propagation (} r \text{ parallèle à } n \text{)}$$

Dans laquelle les champs subissent un déphasage de 2π

$$\text{donc } \lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

β : déphasage linéique.

I.5 Les antennes :

I.5.1 Définition générale d'une antenne :

Une antenne est la structure de transition entre une ligne de transmission et l'espace libre. A l'émission elle transforme l'énergie électrique en rayonnement électromagnétique, et à la réception elle traduit un rayonnement électromagnétique en courant électrique induit.

Une même antenne pourra servir d'antenne d'émission ou antenne de réception à la différence près que la première devra supporter des courants extrêmement forts.

Nota : Une antenne isotrope est une antenne qui irradie dans toutes les directions. Elle est utilisée comme référence.

I.5.2 Caractéristiques des antennes

- **Densité surfacique de puissance :**

Vecteur poynting :

Les ondes électromagnétiques sont utilisées pour transporter les informations d'un point à un autre, il est donc naturel d'associer au champ électromagnétique une puissance (une énergie).

La grandeur utilisée pour quantifier la puissance d'un champ électromagnétique est le vecteur de Poynting instantané définie par :

$$\vec{N}(M, T) = \vec{E}(M, T) \wedge \vec{H}(M, T)$$

- **Intensité de rayonnement :**

Intensité de rayonnement $\psi(\Delta) = \psi(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction Δ est par définition la puissance rayonnée par l'antenne par unité d'angle solide est :

$$\psi(\theta, \varphi) = \psi(\Delta) = \frac{dp}{d\Omega}$$

dp Est la puissance rayonnée par l'antenne sur l'élément de surface ds ,

- **Fonction caractéristique de rayonnement. Diagramme de rayonnement :**

Soit $\psi(\theta, \varphi)$, l'intensité de rayonnement de l'antenne dans la direction $\Delta(\theta, \varphi)$, et soit $\Delta_0(\theta_0, \varphi_0)$, une direction de l'espace dans laquelle l'intensité de rayonnement est maximale,

$$R(\theta, \varphi) = \frac{\psi(\theta, \varphi)}{\psi_{\max}(\theta_0, \varphi_0)}$$

Soit $\psi_{\max}(\theta_0, \varphi_0)$, cette intensité de rayonnement maximale, alors le rapport sans dimension suivant :

Comme la surface caractéristique est à trois dimensions, on se contente souvent de représenter certaines coupes de cette surface : ces coupes s'appellent diagramme de rayonnement.

$$R(\theta, \varphi) = \frac{\psi(\theta, \varphi)}{\psi_{\max}(\theta_0, \varphi_0)} = \frac{|\langle \vec{N}(\theta, \varphi) \rangle|}{|\langle \vec{N}_{\max}(\theta_0, \varphi_0) \rangle|} = \frac{|\vec{E}(\theta, \varphi)|^2}{|\vec{E}_{\max}(\theta_0, \varphi_0)|^2}$$

Il est représenté comme suit :

$$\sqrt{R(\theta, \varphi)} = \frac{|\vec{E}(\theta, \varphi)|}{|\vec{E}_{\max}(\theta_0, \varphi_0)|}$$

Exemple de diagramme de rayonnement :

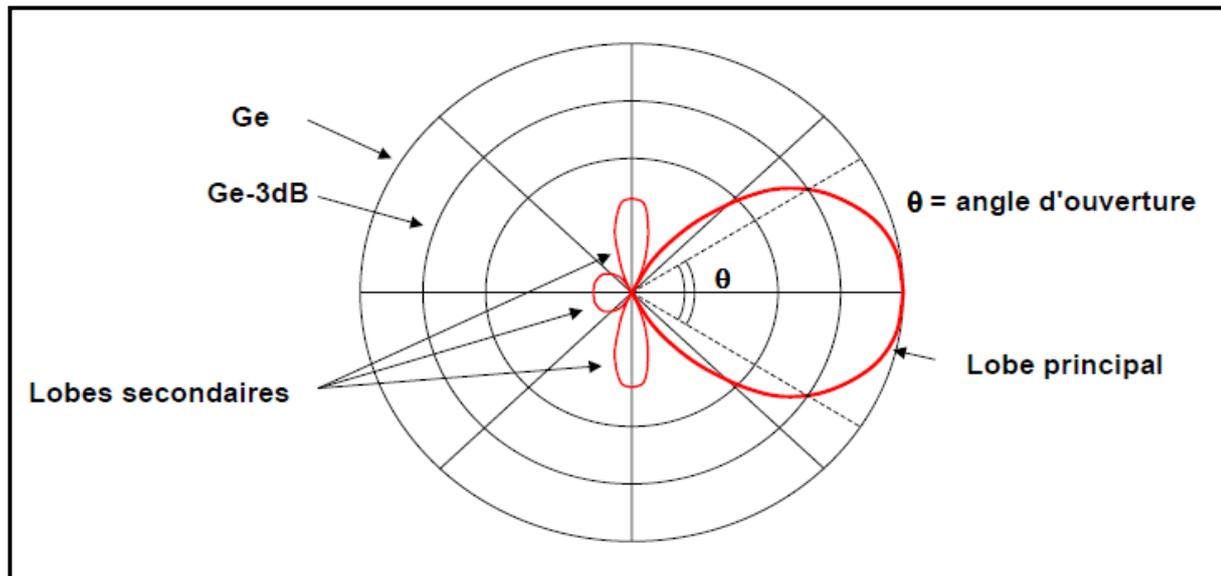


Figure I.2 : Diagramme de rayonnement

- Le rendement d'une antenne :

$$\eta = \frac{P_r}{P_a} = \frac{\text{puissance totale rayonnée}}{\text{puissance d'alimentation}}$$

- La directivité :

La directivité $D(\theta, \varphi)$ dans une direction $\Delta(\theta, \varphi)$, est par définition, le quotient de l'intensité de rayonnement dans cette direction par la valeur moyenne de cette intensité de rayonnement pour toutes les directions de l'espace, c'est-à-dire :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{\psi(\theta, \varphi)}{\frac{1}{4\pi} \iint_{(\Omega)} \psi(\theta, \varphi) d\Omega}$$

Il existe deux grands types de directivités pour les antennes :

- **Omnidirectionnelle :**

Elles sont assez peu répandues. Lors de l'utilisation pour des macros cellules, elles ressemblent à des brins d'environ 2 m de haut et 5 cm de diamètre, alors que pour les micros cellules, ce sont des brins de 40 cm de haut et 2 à 3 cm de diamètre. Ces antennes-brins sont omnidirectionnelles, elles émettent de manière égale dans toutes les directions. Pour les macros cellules, les sites comportent souvent deux à trois antennes omnidirectionnelles.

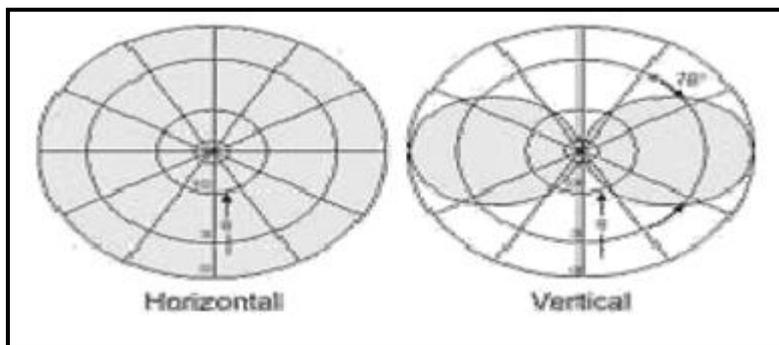


Figure 1.3 : Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnelle

- **Directionnelle :**

Elles représentent la quasi-totalité des antennes utilisées. Lors de l'utilisation pour la couverture de macro cellules, elles ressemblent à des panneaux de couleur beige ou blanche d'environ 2 m de haut, 20 cm de large et 10 cm d'épaisseur, alors que pour les micros cellules,

Ce sont de petits panneaux d'une vingtaine de centimètres de haut, 10 cm de large et quelques centimètres d'épaisseur.

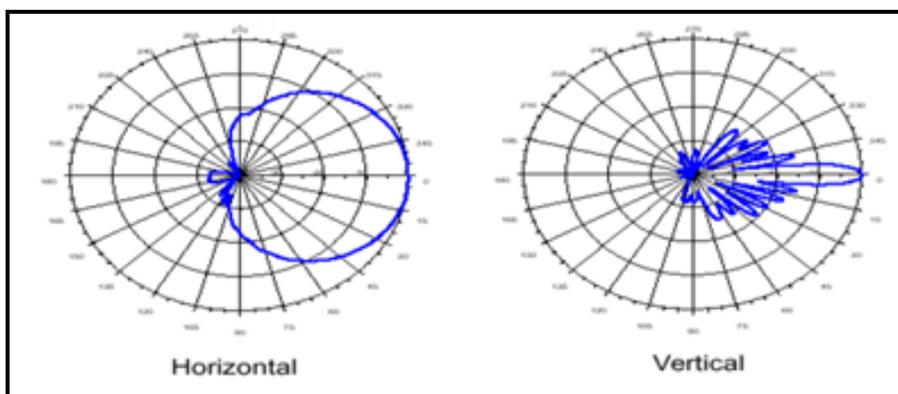


Figure I.4 : Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle

• **Gain d'une antenne :**

Toute antenne directive présente une ou plusieurs directions de rayonnement maximum.

Le gain d'une antenne est le rapport qui existe entre le champ mesuré dans la direction de rayonnement privilégié et celui que donnerait une antenne servant de référence placée au même endroit et rayonnant la même puissance ou encore le produit de son rendement par la directivité :

$$G = \eta \cdot D$$

L'azimut : est un angle qui se compte en degrés, positivement dans le sens horaire, en partant du nord (0°). De cette façon, l'azimut 90° correspond à l'est, l'azimut 180° au sud, etc.

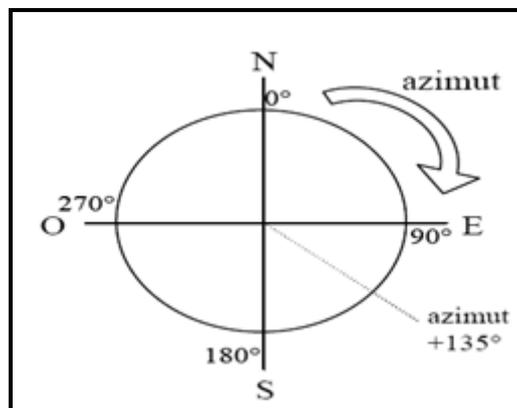


Figure I.5 : Présentation des azimuts

Le tilt (ou down-tilt) : est laissé à la discrétion des installateurs d'antennes qui les orientent selon les recommandations de l'opérateur. Le tilt est l'angle d'inclinaison (en degrés) de l'azimut du lobe principal de l'antenne dans le plan vertical.

• **Résistance de rayonnement (impédance d'entrée d'une antenne) :**

L'impédance d'entrée d'une antenne est, par définition :

- L'impédance présentée par l'antenne à son entrée d'alimentation ;
- Ou par le rapport de la ddp entre deux points de l'antenne sur le courant ;
- Ou par le rapport du champ électrique sur le champ magnétique en un point de l'antenne ;

D'une façon générale, on a :

$$Z_a = R_a + j X_a$$

R_a : résistance de l'antenne

X_a : réactance de l'antenne

- **Surface de captation d'une antenne ou aire équivalente d'une antenne :**

A la réception, une antenne capte une puissance P_c égale au produit de la densité surfacique de puissance à l'endroit où elle se trouve par un coefficient A_e caractéristique de l'antenne et homogène à une surface, appelée <<aire équivalente de l'antenne>>.

On a donc :

$$P_c(\theta, \varphi) = \langle \vec{N}(\theta, \varphi) \rangle A_e$$

- **Bande passante d'une antenne:**

La bande passante d'une antenne est la différence des fréquences f_1 et f_2 pour lesquelles la tension E_r reçue descend à 0,7 (-3dB) de sa valeur maximale.

- **Portée :**

Une autre caractéristique est la portée des antennes. Elle dépend pour beaucoup de la PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente) de l'antenne, mais aussi de son orientation.

En général, une antenne assure la couverture d'une zone appelée secteur ou cellule. Il existe deux grands types de cellules, le premier étant la micro (petite) ou pico (très petite) cellule qui couvre une zone de taille réduite, Le deuxième type est celui des macros cellules qui couvrent des zones de grande superficie (plusieurs dizaines de kilomètres carrés).

En faisceau hertziens, on utilise des antennes qui possèdent un gain important et une grande directivité (liaison point à point). ceci amène à utiliser des antennes à réflecteurs paraboliques

I.6 Radiocommunication : Gestion et réparation du spectre de fréquence

Les radiocommunications se déploient sur la Terre en s'adaptant étroitement à la géographie, tenant compte de tous les sens du mot : géographie physique, politique ou humaine. Il est donc utile d'évoquer avec un certain détail cette thématique de la géographie qui inspire une bonne partie des règles applicables à la gestion du spectre au même titre que les lois physiques qui régissent les ondes électromagnétiques ou encore que la théorie de l'information qui préside aux télécommunications.

Le relief, les terres et les mers, les masses continentales, les lignes frontières, les villes et les campagnes, l'atmosphère et l'espace sont sous-jacents dans les règles de base de la gestion des ressources hertziennes.

Les contraintes juridiques, techniques environnementales qui en découlent doivent être prises en compte lorsqu'il s'agit d'établir les principes généraux de la réglementation et la planification du spectre, de même que les spécifications et les procédures à suivre pour la mise en œuvre concrète de réseaux radioélectriques.

Afin de faciliter la gestion du spectre au niveau international, l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), instance de l'Organisation des Nations Unies (ONU) et assurant la réglementation suprême du domaine, a divisé la planète en trois zones ou Régions notées **R1**, **R2** et **R3**. La répartition en trois zones géographiques réglementaires est donnée à la figure n°1.

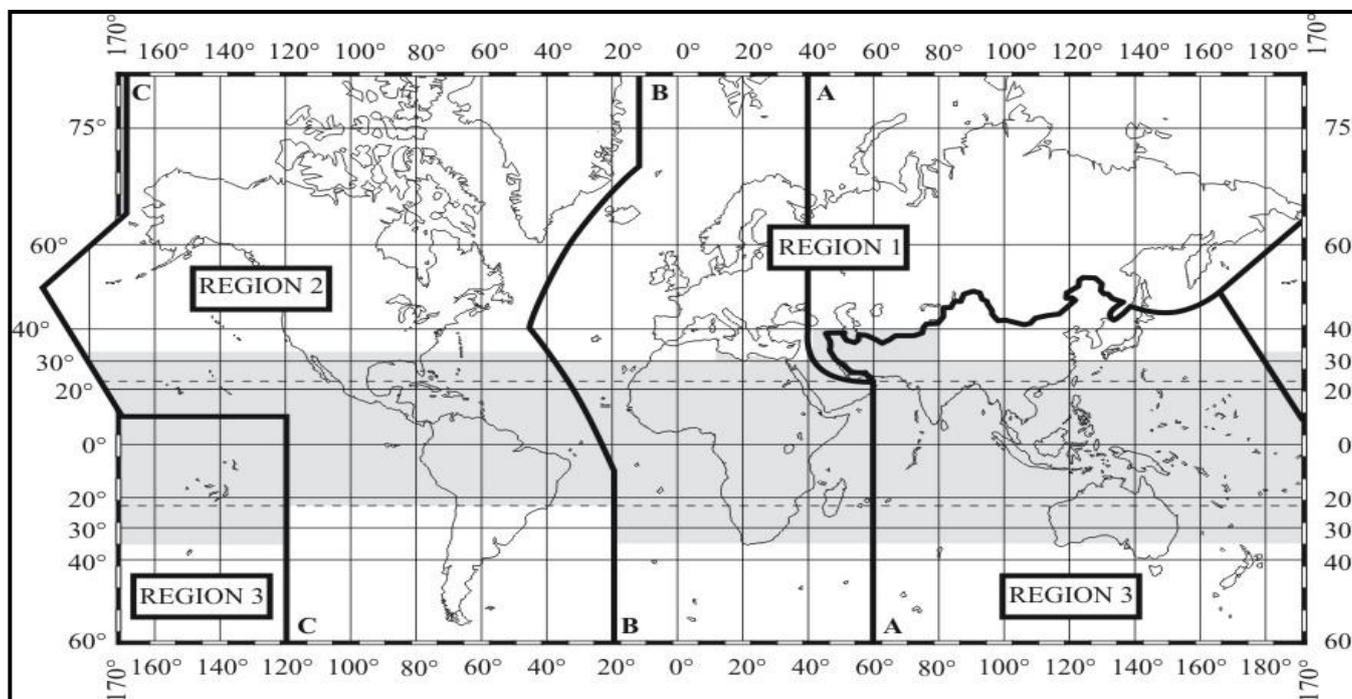


Figure I.6 : Les trois zones géographiques réglementaires

I.7 Transmission par faisceaux hertziens numériques

Pour chaque liaison hertzienne bidirectionnelle, deux fréquences distinctes sont exploitées; elles correspondent chacune à un sens de transmission.

Les limites de distance géographique et de " visibilité ", le trajet hertzien entre l'émetteur principal et le récepteur final est souvent démultiplié en plusieurs tronçons, communément appelés " bonds de liaison ", chacun reliés par des stations relais.

La ressource hertzienne est saturée en raison des multiples applications exploitées (radiotéléphonie, télédiffusion, transmissions militaires ou de sécurité, etc...). Les [bandes de fréquences](#) représentent donc une ressource rare et leur exploitation est règlementée par des organismes officiels nationaux et internationaux.

Dans le cas d'un réseau composé de plusieurs bonds ou de liaisons géographiquement proches, certains problèmes d'interférences peuvent apparaître, affectant la qualité des transmissions ou pouvant nuire à d'autres transmissions.

La définition d'un plan de fréquences est censée minimiser les perturbations tout en optimisant l'efficacité de la ressource spectrale exploitée.

I.8 - Propagation des ondes électromagnétique dans l'environnement terrestre

I.8.1- L'atmosphère

Les ondes radio sont propagées au travers de l'atmosphère, c'est-à-dire une zone qui va depuis le sol jusqu'à quelques 600 km au-dessus de la surface terrestre. L'atmosphère n'est pas un élément indispensable à la propagation des ondes, en effet, les ondes électromagnétiques se propagent aussi dans le vide.

L'atmosphère peut influencer une onde qui la traverse. L'atmosphère est composée essentiellement d'oxygène, d'hydrogène et d'azote, mais nous y trouvons aussi des traces d'autres gaz, ainsi qu'une série de matériaux tels que des poussières, du pollen, de l'eau, des bactéries, et de fragments de matière venant du cosmos. La composition de l'atmosphère est assez constante depuis le niveau de la mer jusqu'à la fin. Toutefois la densité décroît lorsque l'altitude croît.

L'atmosphère peut être divisée en couches appelées :

- **La troposphère**

La partie de l'atmosphère qui va du niveau de la mer à une altitude de 10 km environ s'appelle la troposphère ou "zone météo". C'est le lieu où se produisent les vents, les tempêtes et les pluies qui érodent en permanence l'écorce terrestre. Les changements météorologiques dans la troposphère sont responsables de plusieurs phénomènes de propagation très intéressants.

- **La stratosphère**

S'étend de 10km à 40km d'altitude; elle intervient peu dans la propagation des ondes.

- **L'exosphère** : est la couche ultime de l'atmosphère. La première barrière s'étend de 500 à 3500 km alors que la deuxième barrière s'étend de 12000 à 50000km.

- **L'ionosphère**

S'étend de 40km à 1000km d'altitude; elle est exposée au rayonnement solaire ainsi qu'aux rayons cosmiques et aux météorites qui provoquent l'ionisation des molécules, c'est à dire l'arrachement des électrons des couches extérieures de la molécule. Les particules chargées négativement (électrons) et positivement (ions) ont tendance à se regrouper en couches ionisées qui vont jouer un rôle très important dans la propagation des ondes, principalement des ondes HF.

L'ionosphère se compose de couches de densités électroniques bien différentes.

Les différentes couches ont reçu des lettres pour les désigner.

La **couche D** est la plus basse, elle est située dans une partie relativement dense de l'atmosphère entre 50 et 88 km. La couche D n'affecte pas la réfraction des ondes radio.

L'effet principal de la couche D est d'absorber l'énergie des ondes radio. Lorsqu'une onde radio traverse la couche D libère une partie de son énergie aux ions. Les fréquences basses sont plus absorbées que les fréquences élevées.

Ensuite vient la **couche E** qui apparaît à environ 100 km (= 60 à 70 miles) A cette hauteur, l'atmosphère est encore assez dense et l'ionisation produite par le soleil ne dure pas longtemps. La couche E va réfracter les ondes uniquement pendant les heures diurnes.

La **couche F** est responsable des communications à grande distance. C'est une couche très vaste qui va de 160 à 420 km en fonction de la saison de l'heure et de l'activité solaire. A cette altitude les électrons et les ions se recombinaient lentement, de telle façon que la couche F reste ionisée même pendant la nuit, atteignant un minimum juste avant le lever du soleil.

Pendant la journée la couche F se divise en deux couches **F1 et F2** avec des centres respectivement aux environs de 224 et 320 km. Mais ces altitudes peuvent varier avec la saison, à midi en été la couche F2 peut se situer à 480 km. Pendant la nuit, les deux couches F se recombinaient. La couche F1 n'intervient pas fortement dans

Les communications radioamateur à longue distance. En un seul bond, l'onde radio peut atteindre 4000 km par réfraction sur la couche F2.

Couches	De jour	De nuit
Couche D	50 à 90 Km	disparaît
Couche E	env.100 Km	disparaît
Couche F1	env.250 Km	Se recombinaient
Couche F2	Entre 300 et 400 Km	Se recombinaient

Tableau 1.1 : couches ionosphériques

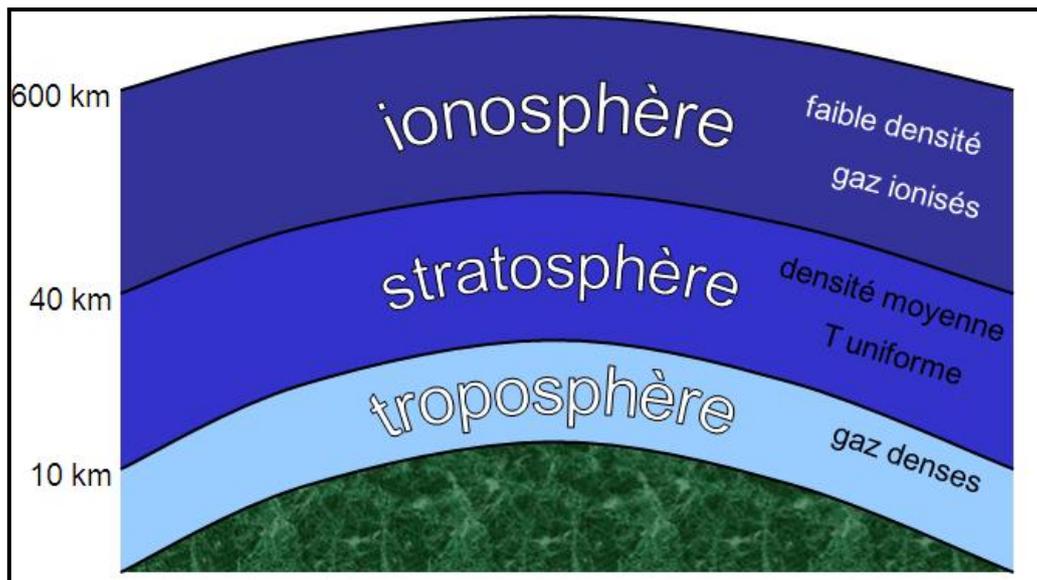


Figure I.7 : Couches atmosphériques

I.8.2 Les types de propagation :

a) Propagation en onde de sol :

Lorsqu'on examine la formation des ondes pour une antenne verticale, on distingue des lignes de force du champ électrique, celles-ci se referment sur la terre, et des lignes de forces du champ magnétiques qui sont concentriques à l'antenne.

Ces deux composantes donnent lieu au champ électromagnétique qui se propage en suivant le sol. Ce type de propagation est donc lié à la présence du sol, et à ses caractéristiques (conductivité et coefficient de perméabilité).

Ce type de propagation utilisé depuis longtemps pour les courtes et moyennes distances (station de radiodiffusion par exemple) s'explique par le fait que l'onde émise se "courbe" et épouse la forme arrondie de la terre par un phénomène de diffraction.

Le sol lui même peut servir de conducteur.

b) Propagation en espace libre et dégagement

Une liaison en visibilité directe est dégagée s'il n'existe aucun obstacle à l'intérieur d'un certain volume appelé premier ellipsoïde de Fresnel. Les antennes d'émission E et de réception R constituent le grand axe de cet ellipsoïde. Ce dégagement signifie que les phénomènes de diffraction par les obstacles situés au voisinage du trajet directe ont un effet négligeable sur le niveau reçu.

Le Nième ellipsoïde de Fresnel est le lieu de l'ensemble des points M qui satisfont la relation suivante :

$$EM + MR = n \frac{\lambda}{2} + ER$$

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

Rayon du premier ellipsoïde de Fresnel

Le calcul de ce paramètre est nécessaire pour savoir si un obstacle quelconque pénètre à l'intérieur du premier ellipsoïde.

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

r : rayon de l'ellipse

d₁ : distance entre l'émetteur et le point M.

d₂ : distance entre le récepteur et le point M.

λ : longueur d'onde de fonctionnement.

Rayon équatorial :

$$r_{eq} = \sqrt{\frac{\lambda d}{4}}$$

Normalisation

$$\frac{r}{r_{eq}} = 2 \sqrt{\frac{d_1}{d_2} \left(1 - \frac{d_1}{d}\right)}$$

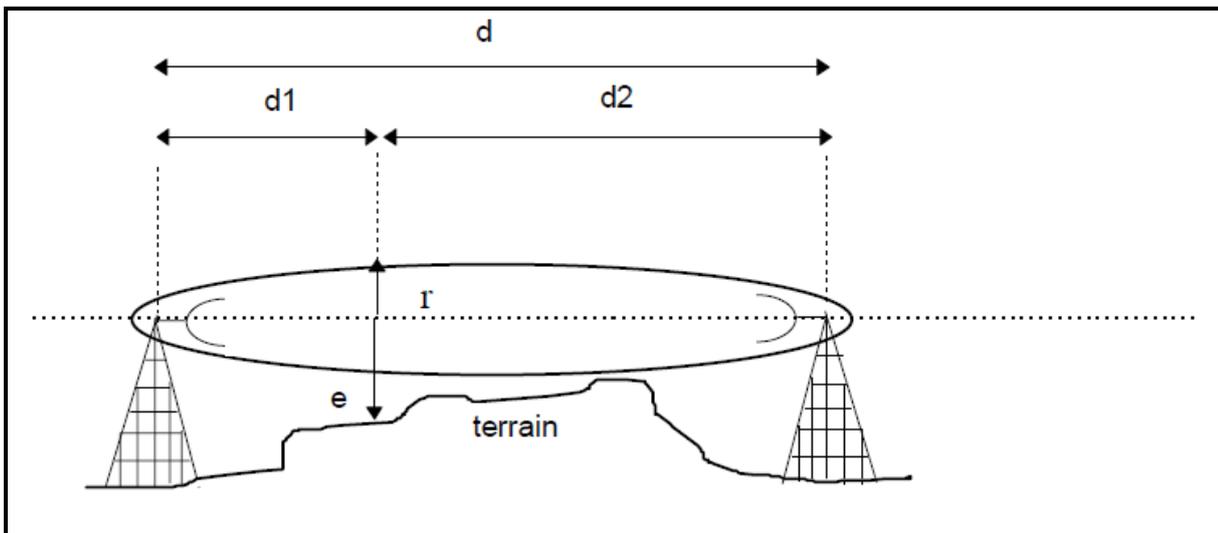


Figure 1.8 : Ellipsoïde de Fresnel

C) Propagation en non-visibilité :

On considère qu'une liaison est en non visibilité lorsque le premier ellipsoïde de Fresnel est très loin d'être dégagé, ce qui se produit toujours si l'une des extrémités est au-delà de l'horizon de l'autre, mais ce qui peut aussi se produire pour des liaisons en deçà de l'horizon en onde décimétrique et plus longues, en raison des dimensions énormes de l'ellipsoïde de Fresnel et du fait que, ces ondes, les antennes sont généralement très près du sol (les hauteurs étant mesurées en nombre de longueur d'onde).

Plusieurs phénomènes physiques permettent aux ondes de contourner les obstacles que constituent les montagnes et surtout la courbure terrestre. Ce sont principalement :

- La diffraction au tour de la surface terrestre supposée sphérique (diffraction sphérique) ;
- La diffraction par le sommet d'arêtes d'épaisseur relativement faible ;
- La diffusion par les hétérogénéités de l'atmosphère y compris la pluie ;
- La réflexion sur les couches ionisées de la haute atmosphère (propagation dite ionosphérique) ;

I.8.3 Les facteurs pouvant affecter la propagation

Pour élaborer avec précision l'ingénierie de liaisons hertziennes en vue directe, il convient de suivre la recommandation [UIT-R P.530-8](#), 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 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) ;

a) Réfraction atmosphérique

Le volume de Fresnel toutefois n'est pas fixe, il faut tenir compte pour la définition de cette zone des conditions de l'atmosphère le long du trajet de l'onde. En effet, les rayons ne se propagent pas en ligne droite, mais suivent préférentiellement les zones de fort indice électromagnétique, soit les couches de l'atmosphère les plus denses. C'est la [réfraction atmosphérique](#).

En fonction des paramètres climatiques, la disposition de ces couches change. Les rayons hertziens sont donc plus ou moins courbés vers la terre (super réfraction), ou au contraire, " pointent " vers le ciel (infra réfraction). Dans ce dernier cas, le dégagement de la liaison est rendu plus difficile.

Il est donc nécessaire de mener des études statistiques pour quantifier la durée au cours de laquelle ces phénomènes pourront nuire à la qualité de la liaison, et avec quelle intensité.

On remarque que pour l'ensemble des calculs, cela revient à donner une courbure moyenne au rayon.

b) Dégagement / diffraction

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).

c) Guidage et précipitations

Certaines caractéristiques du milieu propagateur sont donc " aléatoires ". Pour celles-ci, on a recours à des statistiques climatologiques (par exemple la concentration moyenne en vapeur d'eau). Il convient de considérer principalement deux phénomènes :

- **Phénomènes de guidage**

Pendant un certain temps, les conditions atmosphériques peuvent entraîner un guidage du faisceau, généralement en super réfraction. Le résultat est alors similaire à un dépointage d'antenne.

Ce phénomène de guidage est dimensionné dans l'ingénierie des liaisons dont la bande fréquence est inférieure à 15 GHz. Il réduira la longueur possible du bond pour des exigences de disponibilité données.

- **Atténuations dues aux hydrométéores**

Pour les faisceaux hertziens numériques 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. De plus, la [phase](#) de ces précipitations influence également l'atténuation du signal. Ainsi la neige, qui a une très petite [constante diélectrique](#), a beaucoup moins d'influence que des gouttes de pluie de même masse.

d) 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). 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 de multi-trajet dominant.

I.9 Ingénierie d'une liaison hertzienne

I.9.1 Eléments d'ingénierie d'une liaison

Généralités

Les Faisceaux Hertiens Numériques sont considérés comme à visibilité directe lorsque les rayons transmis entre les deux stations ne rencontrant aucun obstacle pendant la majorité du temps.

Dans la phase d'ingénierie de ce type de liaison, il convient de tenir compte des effets de la propagation dont les principaux sont :

- Les évanouissements par diffraction dus aux obstacles de terrain qui obstruent le trajet ;
- L'affaiblissement dû à la présence de particules solides dans l'atmosphère ;
- L'atténuation et la transpolarisation par les hydrométéores (pluie, neige, glace...);
- Les trajets imputables aux trajets multiples ;
- La variation verticale des angles de départ et d'arrivée des rayons radioélectriques ;
- Les brouillages par les autres liaisons du réseau qui partagent le même plan de fréquences et de polarisation, ou d'autres sources d'émission extérieures ;

I.9.1.1 Etablissement du profil de la liaison

Cette tâche peut être réalisée de différentes manières à partir :

- De cartes d'état major, de préférence à l'échelle 1/25.000ème afin de discerner au mieux les détails qui concernent les principaux obstacles ;
- D'un relevé déterminé par photogrammétrie à partir de photos aériennes ;
- D'un relevé topographique réalisé sur le terrain ;
- De la base de données d'une carte numérique ;

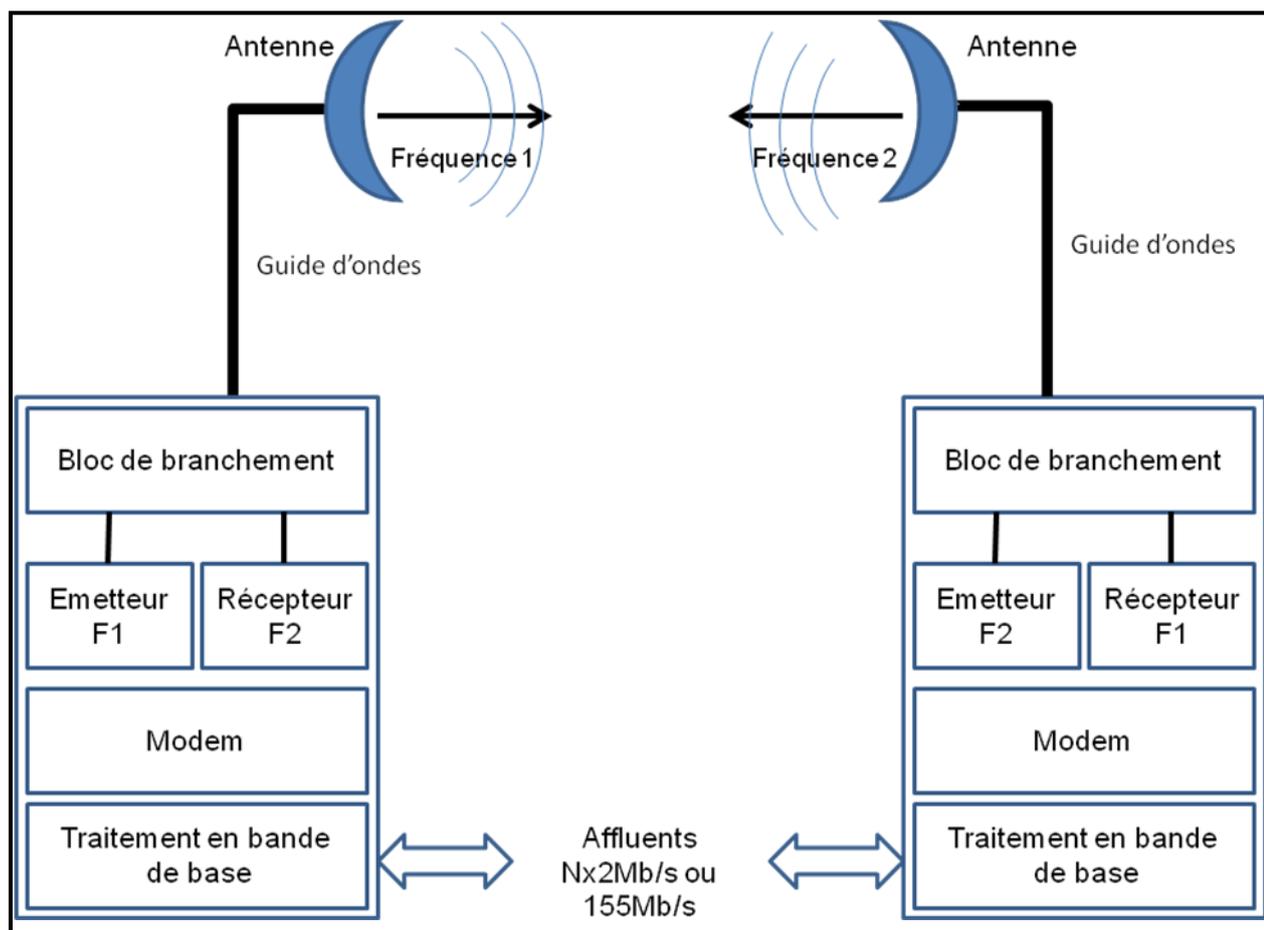
I.9.1.2 Détermination des azimuts et de la distance

Il convient de définir, tout d'abord, les coordonnées des stations d'extrémité avec le plus grand soin de manière à les repérer sur une carte dont l'échelle correspond à la précision recherchée pour la détermination de la distance et de l'altitude des obstacles qui peuvent se dresser sur le trajet : la précision de l'ordre de 1/100ème de degré pour les angles et de 10 m pour les distances, est

généralement suffisante pour réaliser une étude sur des cartes d'état major au 1/25.000ème et effectuer des relevés topographiques sur le terrain ou encore matérialiser les azimuts des antennes à l'aide d'un théodolite.

I.9.1.3 Bilan de liaison

Le schéma synoptique typique d'un faisceau hertzien est donné ci-dessous :



- **Calcul du bilan de liaison**

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

a) **Puissance d'émission** : C'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer. Elle est couramment comprise entre 20 et 30 dBm ;

b) **Seuils de réception** : Définis par rapport à un Taux d'Erreur Binaire donné ($\text{TEB} = 10^{-3}$ ou 10^{-6}), ils traduisent la capacité pour le récepteur à traiter le signal affaibli après propagation (vis-

à-vis du [bruit thermique](#)). Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation, ils sont généralement compris entre - 70 et - 95 dBm ;

c) **Pertes de branchement** : ([guide d'onde](#), connectique...) : Pour les équipements ne présentant pas d'antennes intégrées, il est nécessaire de relier par un [câble coaxial](#) ou un guide d'onde l'émetteur/récepteur à l'antenne. Ces déports induisent des pertes linéiques de 1 à plusieurs dB, auxquels s'ajoutent les pertes dues aux connecteurs et autres éléments de branchements ;

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

L'obtention du bilan de liaison repose sur le constat simple : la station distante doit recevoir un signal tel qu'elle puisse le retranscrire avec un taux d'erreur acceptable, au regard des exigences de qualité de la liaison. Le bilan de liaison, sommation de la puissance émise et de tous les gains et les pertes rencontrés jusqu'au récepteur, doit donc être tel que le niveau de signal reçu soit supérieur au seuil de réception. Le bilan de liaison peut être représenté par le diagramme suivant.

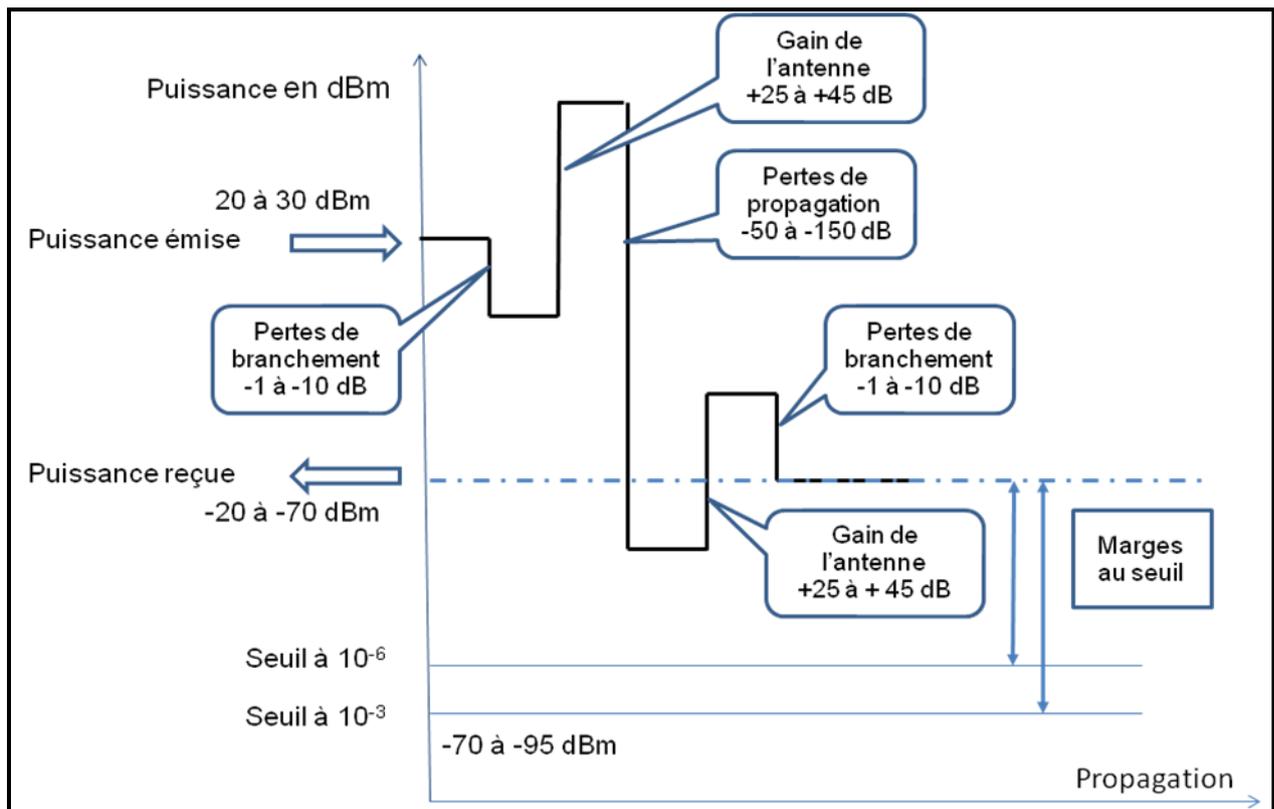


Figure I.9 : Diagramme synoptique donnant le bilan de liaison

e) Calcul des affaiblissements de propagation

• Affaiblissement en espace libre

Quand il s'agit d'une liaison point à point, il est préférable de calculer l'affaiblissement en espace libre (symbole : A_0 ou L_{bf}) de la manière suivante :

$$A_0 = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) (dB)$$

Dans laquelle A_0 : étant l'affaiblissement en espace libre exprimé en décibels ;

d : étant la distance

λ : étant la longueur d'onde

La formule peut encore s'écrire en utilisant la fréquence au lieu de la longueur d'onde.

$$A_0 = 92,5 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{KM} (dB)$$

• Affaiblissement par le gaz de l'atmosphère

L'affaiblissement par les gaz atmosphériques est du essentiellement à l'absorption moléculaire par l'oxygène et la vapeur d'eau. La majorité des liaisons d'infrastructure étant réalisées à des fréquences inférieures à 50 GHz, nous nous limiterons à celle-ci dans les relations suivantes :

Pour les liaisons terrestres

L'affaiblissement linéique en dB/Km, se décompose en deux termes ; γ_0 qui représente la contribution de l'air sec et le second, γ_w , celle de la vapeur d'eau :

Pour : $f < 57$ GHz

$$\gamma_0 = \left[3,79 \cdot 10^{-7} \cdot f + \frac{0,265}{(f - 63)^2 + 1,59} + \frac{0,028}{(f - 118)^2 + 1,47} \right] (f + 198)^2 \cdot 10^{-3}$$

Et pour : $f < 350$ GHz

$$\gamma_w = \left[0,05 + 0,0021 \cdot \nu + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} + \frac{10,6}{(f - 183,3)^2 + 9} + \frac{8,9}{(f - 325,4)^2 + 26,3} \right] \cdot f^2 \cdot \nu \cdot 10^{-4}$$

Avec ν la concentration de la vapeur d'eau (g/m^3) et qui est donnée par la relation suivante :

$$\nu = 216,7 \cdot \frac{p_v}{T}$$

Avec : p_v la pression de la vapeur d'eau (h Pa) et T la température absolue

La pluie cause une absorption et une diffusion qui donnent lieu à un affaiblissement qui dépend de l'intensité de la précipitation et de la fréquence. Comme les gouttes de pluies ont une forme lenticulaire pendant la chute, leur axe de révolution étant vertical, l'atténuation diffère selon que

L'onde est polarisée horizontalement ou verticalement et se produit un transfert d'énergie d'une polarisation à une autre qui est appelé transpolarisation.

- **Atténuation par la pluie**

La relation entre l'affaiblissement linéique γ_R du à la pluie dépend et l'intensité de pluie R (mm/h), est donnée par L'UIT-R p.838, est de la forme :

$$\gamma_R = K \cdot R^\alpha$$

Avec :

$$K = \frac{K_H + K_v + (K_H - K_v) \cdot \cos^2(\theta) \cdot \cos(2\tau)}{2}$$

$$\alpha = \frac{K_H \cdot \alpha_H + K_v \cdot \alpha_v + (K_H \cdot \alpha_H - K_v \cdot \alpha_v) \cdot \cos^2(\theta) \cdot \cos(2\tau)}{2K}$$

Où :

θ est l'angle de site du trajet

τ l'inclinaison de la polarisation sur le plan horizontal ou 45° dans le cas d'une polarisation circulaire. Le tableau ci-après donne les valeurs des coefficients K_H , K_V , α_H , α_V quelques fréquences.

Fréquence (GHz)	K_H	K_V	α_H	α_V
8	0,00454	0,00395	1,327	1,310
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200
15	0,0367	0,0335	1,154	1,28

Tableau I.2 : coefficients de l'affaiblissement dû à la pluie

I.9.2 Définition des marges

Les critères de performance d'une liaison définissent les pourcentages de temps alloués au cours desquels le signal doit être reçu avec une qualité et une disponibilité suffisantes. Etant donné les conditions fluctuantes de propagation qui peuvent dégrader voir interrompre occasionnellement la liaison, on définit en réception les marges de fonctionnement permettant de remplir ces critères.

a) **La marge au seuil** : Pour compenser la majorité des pertes occasionnelles de puissance (évanouissements non sélectifs) que subit le signal, la réception se fait avec une marge appelée marge uniforme ou marge au seuil. C'est la puissance que l'on pourra perdre par dégradation des conditions de propagation sans perdre pour autant la qualité de la liaison ;

b) **La marge sélective** : Comme on l'a vu, le signal ne subit qu'un affaiblissement au cours de la propagation. Il subit également des distorsions. Ceci complique encore la tâche de réception. Pour traduire la capacité d'un équipement à traduire correctement un signal entaché de distorsion, on introduit une marge dite sélective, qui découle de la caractéristique de signature du récepteur.

c) **La présence d'un perturbateur** : (par exemple une autre liaison émettant sur une fréquence trop proche) peut également amener une dégradation du seuil effectif du récepteur, et réduit par conséquent ces marges.

I.9.3 Diversité d'espace et de fréquence

En introduisant une diversité on peut tirer profit des phénomènes d'interférence évoqués précédemment :

- **Diversité d'espace** : Un des principaux problèmes déjà mentionné concerne la présence d'un rayon réfléchi en plus du rayon direct qui entraîne la formation d'interférences dans le plan vertical des antennes de réception. La puissance mesurable présente donc des pics de sur-champ et des creux de sous-champ suivant un axe vertical. L'idée est de placer une deuxième antenne de réception distante de la première d'une demi frange d'interférence, ou d'un multiple impair de celles-ci, de manière à ce que les champs principal et de diversité soient corrélés en opposition. Le champ combiné permet ainsi de s'affranchir très largement des instabilités du champ dues aux réflexions ou aux trajets multiples ;

- **Diversité de fréquence** : l'idée est semblable à celle de diversité d'espace. Il s'agit également de combiner deux champs dont les déphasages sont complémentaires. On exploite cette fois-ci les différences de propriétés de propagation des ondes de fréquences voisines. On émet ainsi de façon redondante sur un deuxième couple de fréquences, préférentiellement sur une polarisation croisée ;

- **Diversité mixtes et hybrides** : il est possible également de proposer des configurations mêlant les deux types de diversité précédents. On peut ainsi émettre à deux fréquences différentes sur les deux antennes de diversité d'espace (on parle alors de diversité quadruple). Il est également possible de placer une seule antenne croisée d'un côté, et de profiter de la diversité d'espace en réception de façon dissymétrique (diversité triple).

I.9.4 Gain sur les bilans

Selon les liaisons envisagées, ces techniques permettent de maintenir une puissance reçue stable à quelques dB alors qu'en leur absence, les évanouissements de champ pourraient atteindre jusqu'à 40 dB.

- Les gains obtenus par ces méthodes se mesurent en termes de disponibilité accrue, bien que les marges uniforme et sélective restent identiques.

- Elles ne présentent de véritable intérêt que pour les situations où les réflexions sont prédominantes (liaison à fort survol d'étendues très réfléchissantes : eau, plaines désertiques) et la probabilité d'occurrence de trajets multiples élevée (liaisons longues ou dans des zones à fort facteur pluviométrique).

I.9.5 Choix de la diversité :

La diversité de fréquence présente l'avantage de ne nécessiter qu'une seule antenne. Les efforts sur les structures portantes sont donc moindres ; leur taille peut également être moindre. En revanche, une fois données les hauteurs d'antenne, l'écart optimal en fréquence est fixe. Cette exigence n'est pas toujours compatible avec les plans de fréquence imposés par ailleurs. Elle présente également un rendement spectral faible.

La diversité d'espace nécessite deux antennes (y a-t-il la place sur le pylône correspondant à l'espacement voulu ?) mais leur taille est souvent moindre. Par ailleurs, la méthode présente l'avantage d'une plus grande souplesse, et de performances généralement supérieures. Elle est de plus économe en fréquences, ressource ô combien rare.

Chapitre II :
Transmission numérique et réseaux
de télécommunications

II.1 Introduction

La transmission des signaux numériques fait appel à quelques notions de base qui sont rappelées ci-après :

- Débit binaire : $1/T_b$ où T_b est la durée d'un bit en seconde ;
- Taux d'erreur de bits : $TEB = \text{nombre d'éléments binaire faux} / \text{nombre d'éléments émis}$;
- Efficacité spectrale : $\eta = D/B$ (B : bande occupée autour de la porteuse) ;
L'efficacité spectrale s'exprime en bit/s/Hz. Elle caractérise la capacité d'une modulation à faire "passer" un débit maximum dans une largeur de canal minimum ;
- Fréquence intermédiaire (FI) : fréquence interne à l'émetteur et au récepteur servant de support à la modulation. Le signal modulé FI est ensuite transposé à une fréquence HF porteuse pour émission réception hertzienne. En pratique la valeur du FI comprise entre 70 ou 140 MHz. Plus cette fréquence est élevée, plus le débit binaire transmissible sera important ;
- Interférence intersymbole : Elle caractérise la qualité de la liaison et l'aptitude du récepteur à discriminer les 0 et les 1 après une transmission qui a altéré et déformé les bits

Avant d'aborder la transmission numérique nous présentons l'organisation du RTC.

II.2 Organisation du RTC:

Le réseau téléphonique commuté est à la base de la téléphonie à accès public.

Il assure le service téléphonique de la voie de bout en bout. Le RTC a connu dans les années 80 avec le progrès technologique une évolution architecturale permettant ainsi l'accès à d'autres types de service tels que : le service prépayé, le numéro vert.

On distingue dans un RTC, en plus de ce qu'on appelle les nœuds de commutation, un réseau de distribution et un réseau de transmission.

Le RTC est organisé en trois (3) sous-parties :

a) LA COMMUTATION : partie centrale du réseau. Elle permet de réaliser la mise en relation entre les abonnés.

La fonction de base d'un commutateur temporel de circuit est d'assurer une liaison temporaire entre une jonction entrante sur laquelle est présentée une demande de connexion et une jonction sortante sélectionnée par le commutateur.

Une jonction est un circuit ou une ligne d'abonné.

L'établissement d'une connexion nécessite :

- l'échange de signalisation entre les commutateurs;

- une suite d'actions, appelée traitement du signal assurée par l'unité de commande.

Les Unités de Raccordement d'Abonnés (URA) :

- Fournissent l'énergie à l'alimentation des postes téléphoniques;
- respectent les caractéristiques électriques (boucle de courant);
- détectent le décroché et le raccroché d'un poste;
- génèrent une sonnerie vers un poste et exécutent des tests des lignes d'abonnés;
- offrent une fonction de concentration.

b) LA TRANSMISSION : ensemble des techniques mises en œuvre pour relier les commutateurs entre eux. L'ensemble des commutateurs et des supports de transmission entre commutateurs est appelé réseau de transmission ou réseau de transport.

c) LA DISTRIBUTION : organisation technique mise en œuvre pour relier les abonnés au commutateur le plus proche (commutateur de rattachement). L'ensemble des dispositifs permettant cette liaison est appelé réseau de distribution.

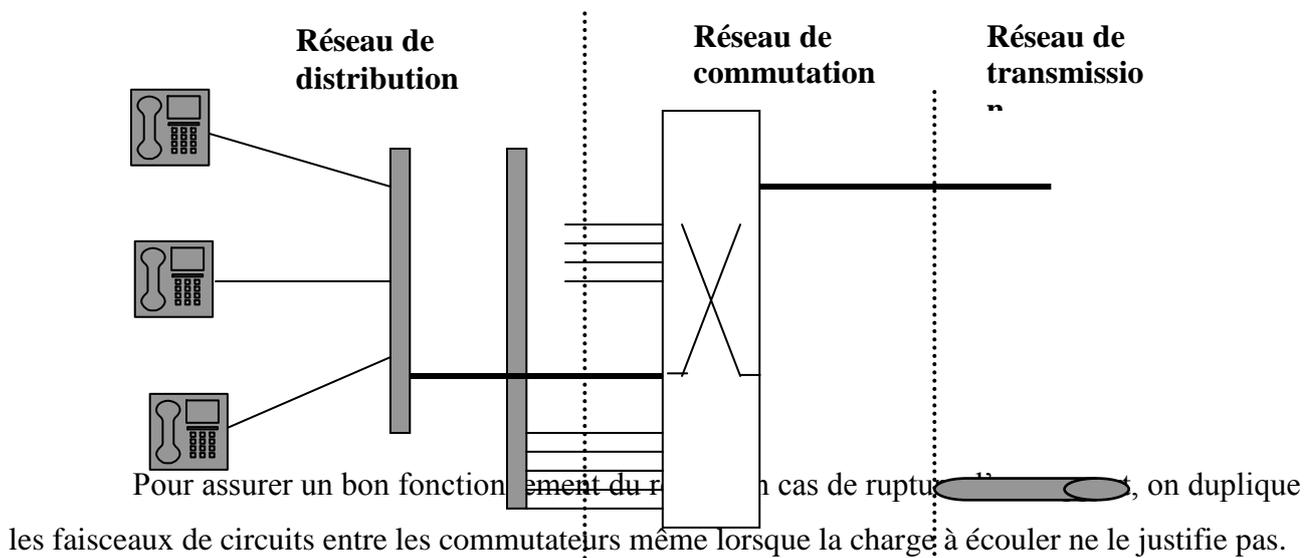
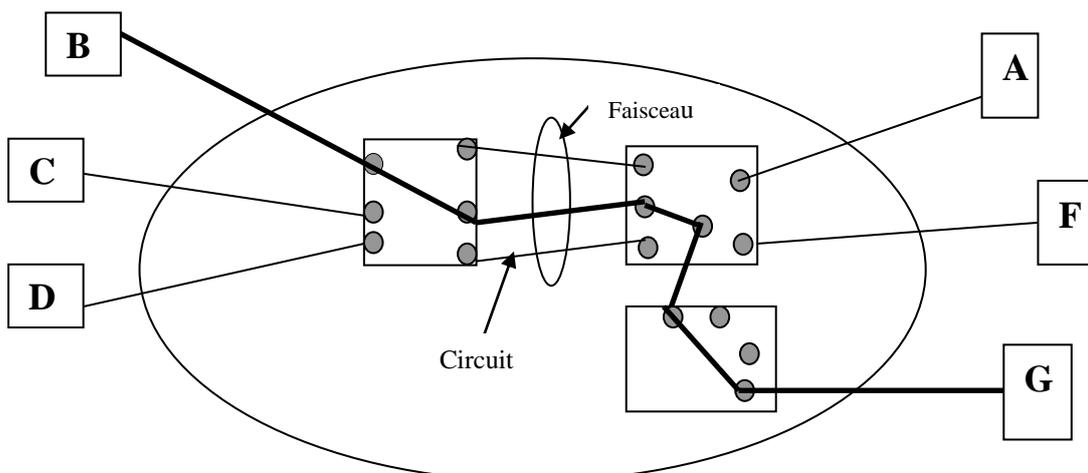


Figure II.1 : Schéma global du RTC



II.2.1 Hiérarchie du RTC:

Le réseau téléphonique est organisé en trois (3) niveaux (zones) :

- Zone à Autonomie d'Acheminement (ZAA) : au bas de la hiérarchie, les commutateurs (CAA) accueillent les abonnés et peuvent établir différents types de communications (dont locales);
- Zone de Transit Secondaire (ZTS) : comporte les commutateurs CTS. Les abonnés ne sont pas reliés aux CTS. Ils assurent les brassages des circuits lorsqu'un CAA ne peut atteindre le CAA destinataire directement;
- Zone de Transit Principale (ZTP) : cette zone assure la commutation des liaisons longue distance. L'un des commutateurs CTP est relié au Commutateur de Transit International (CTI);
- Dans les zones à faible densité, les abonnés sont rattachés à des commutateurs locaux (CL) : concentrateur de trafic.

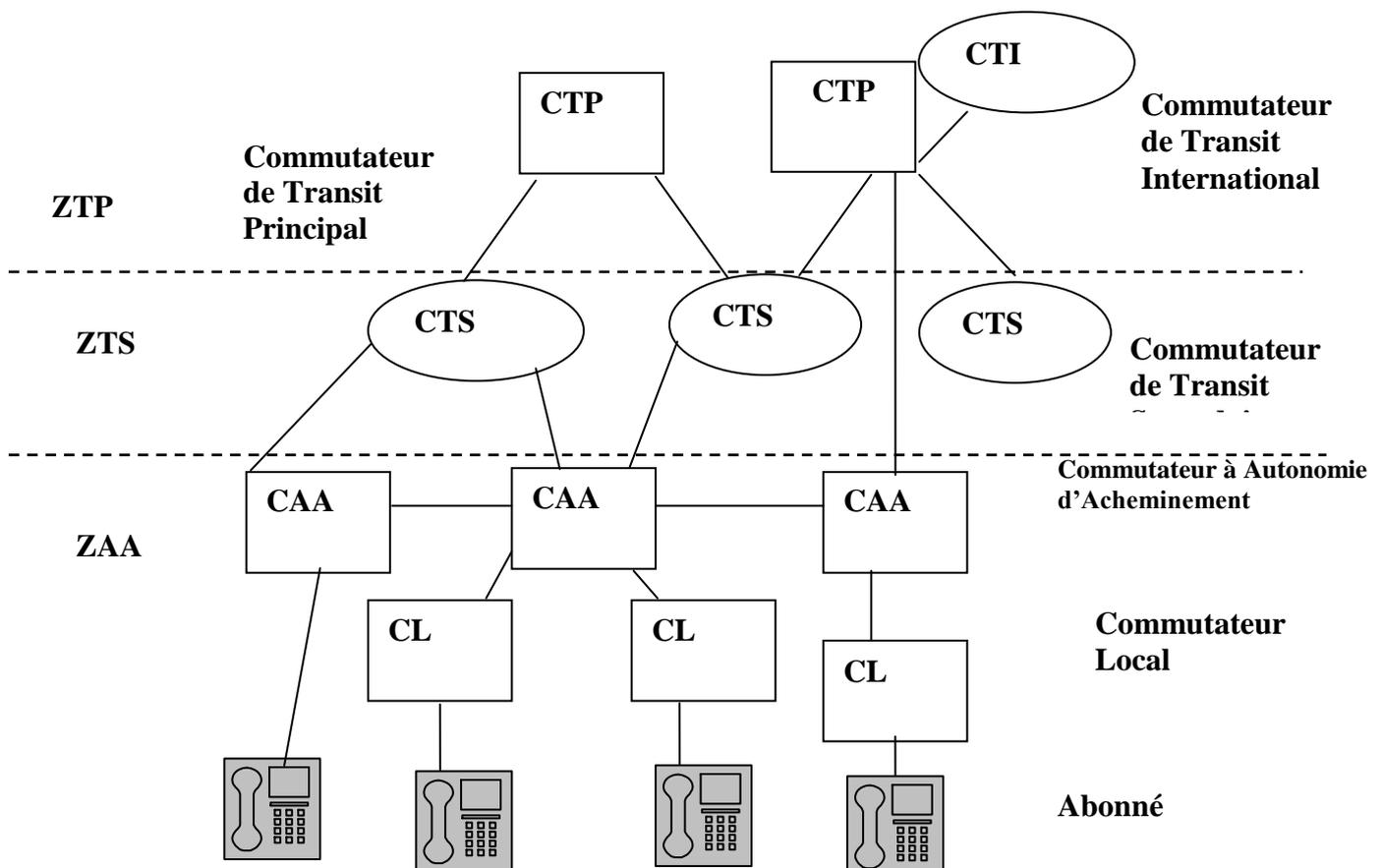


Figure II.3 : Hiérarchie du RTC

II.2.2 Plan fondamentaux

II.2.2.1 Plan d'Acheminement

L'acheminement consiste à choisir la liste des centres de transit que doivent emprunter toutes les communications d'un réseau.

II.2.2.2 Plan de Routage

L'acheminement est l'opération logique du chemin emprunté par la communication. Mais par quels moyens de transmission faut-il passer ?

II.2.2.3 Plan de numérotation

Chaque pays a un plan national de numérotation par le quel les abonnés sont identifiés et dans lequel sont spécifiés les règles à suivre d'une part par les usagers pour accéder aux différents services téléphoniques et d'autre part par ALGERIE Telecom pour affecter à chaque poste téléphonique un seul et même numéro national.

II.2.2.4 Plan de transmission

Les routages des circuits sont plus simples à planifier dans les grands réseaux de transmission si ceux-ci sont structurés, bien qu'il y ait aucune raison proprement technique à une hiérarchisation des artères de transmission. Il y a deux contraintes à respecter dans la partie transmission du réseau :

- L'affaiblissement;
- La distorsion d'affaiblissement (c'est-à-dire la différence entre les valeurs maximales et les valeurs minimales de l'affaiblissement entre 300 et 3400 Hz).

II.2.2.5 Plan de taxation

Le lien entre la numérotation et la taxation s'effectue à travers le cheminement de l'appel, selon la hiérarchie des commutateurs du réseau en général.

Quatre paramètres essentiels influent sur la tarification de la communication et des services :

- La zone où réside l'abonné peut influencer sur le montant de l'abonnement mensuel ;
- La distance entre les abonnés ;
- La durée de la communication ;
- L'heure et le jour de l'appel ;

L'unité de taxation est ce qu'on appelle la taxe de base.

II.2.2.6 Plan de signalisation

Définition de la signalisation

La signalisation concerne l'échange d'information entre les nœuds d'un réseau. Ces informations servent à l'établissement et au contrôle des connexions à travers le réseau. Il existe trois types de signalisation :

- La signalisation entre l'utilisateur et le réseau (User Network Signaling) ;
- La signalisation entre les nœuds du réseau (Inter Office Signaling) ;
- La signalisation entre les usagers de réseau (End To End).

L'utilité de la signalisation repose bien sûr sur le principe de l'établissement des connexions, mais elle permet aussi le transfert d'information concernant la gestion du réseau et ses ressources, la taxation.....

Il existe un réseau particulier qui peut être attribué pour effectuer la signalisation. Ce genre de réseau se trouve notamment en combinaison avec les technologies de l'ISDN et du PSTN. Il s'agit du réseau SS7 (ou CCS7 ou CCIT n°7).

II.2.2.6.1 Signalisation SS7 :

SS7 ou « Common Channel Signaling System » est un standard global de télécommunication défini par l'ITU. Ce standard définit les procédures et les protocoles par lesquels les éléments du réseau, dans un réseau commutations de circuits, s'échangent des informations de contrôle et de routage sur un réseau digital de signalisation par canal sémaphore. SS7 est utilisé pour :

- L'établissement et la gestion des appels ;
- Les services mobiles comme roaming ;
- La probabilité des numéros ;
- Les services intelligents ;
- Les services de transfert (call forwarding).

La signalisation s'effectue par transmission de messages, entre les éléments du réseau, à une vitesse de 56 à 64 Kbps sur un canal bidirectionnel appelé « Signaling Link». La signalisation se transmet en dehors de la bande de transmission réservée au transport proprement dit des données. C'est de la signalisation « Out Of Band».

II.2.2.6.2 Les points de signalisation :

A chaque point de signalisation dans un réseau SS7 est assigné un numéro unique appelé "Point Code". Ces numéros sont utilisés pour connaître les destinataires et émetteurs des messages. Il existe des tables de routage qui permettent un choix du meilleur chemin pour émettre les messages. il existe trois types de points de signalisation :

- Les SSP (Service Switching Point): sont des commutateurs qui envoient des messages de signalisation à d'autres SSP pour démarrer, gérer et arrêter un circuit vocal. Ils peuvent également lancer des requêtes vers les bases de données centralisées comme les SCP pour déterminer comment router un appel.
- Les SCP (Service Control Point) : envoient, suite aux requêtes des SSP, des messages qui contiennent les informations de routages nécessaires.
- Les STP (Signaling Transfer Point) : le trafic réseau entre les points de signalisation peut être routé via des commutateurs STP. Un STP route chaque message entrant vers un lien de signalisation sortant, sur base de l'information de routage contenue dans le message.

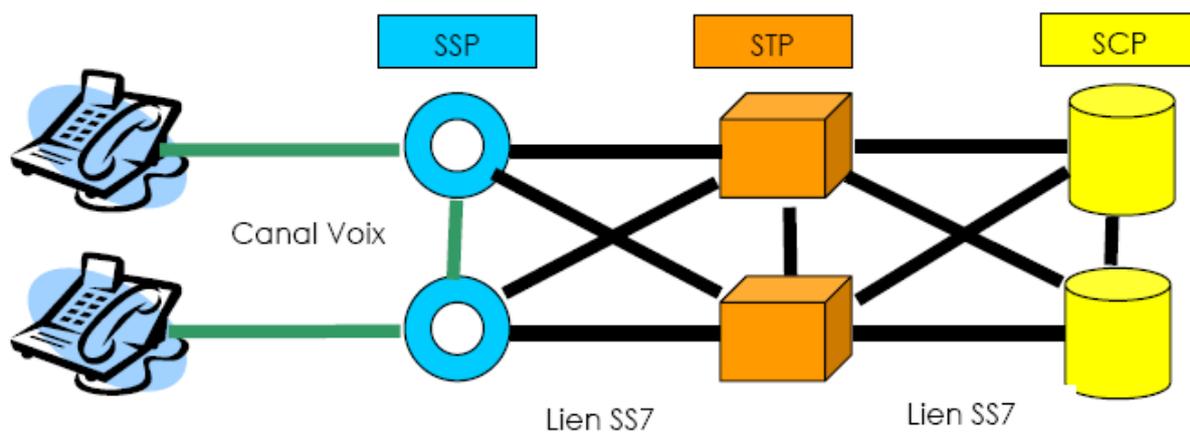


Figure II.4 : Points de signalisation du réseau SS7

II.2.2.7 Plan de synchronisation

Dans le but d'assurer un fonctionnement synchrone de commutateurs et des artères de transmission, il faut établir un plan de synchronisation du réseau.

La préférence est accordée à un réseau entièrement synchronisé avec une hiérarchie de nœuds de synchronisation, cette hiérarchie pouvant correspondre mais pas obligatoirement à la hiérarchie de commutation pour l'acheminement. Au niveau le plus élevé la hiérarchie de synchronisation, on aura un ou plusieurs points nodaux comportant une horloge maitresse, alors qu'au niveau le plus bas (centraux locaux) les horloges seraient asservies à un niveau plus élevé. Aux niveaux intermédiaires, les points nodaux peuvent recevoir et émettre une information de rythme de référence servant à établir un réseau d'horloges mutuellement synchronisées.

Remarque :

- Le réseau RTC est un système réparti ; il est composé de nœuds (commutateurs) échangeant un ensemble minimum d'informations au moyen de protocoles de communications rustiques (signalisation)
- Le RTC est un ensemble de systèmes hétérogènes ; les divers équipements proviennent de différents fabricants avec de différentes technologies.
- Le RTC est un système peu flexible ; il présente une sérieuse difficulté quant à l'intégration de nouveaux services, même si cette dernière est faisable mais cela prendra plusieurs années ce qui n'est pas acceptable dans un environnement concurrentiel

II.3 Les supports de transmission :

a) Supports bifilaires (symétriques) :

La paire torsadée est le support de transmission le plus ancien et encore le plus largement utilisé, principalement pour les services téléphoniques. La paire torsadée est composée de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre, et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe longitudinale. L'affaiblissement croit rapidement avec la longueur du support.

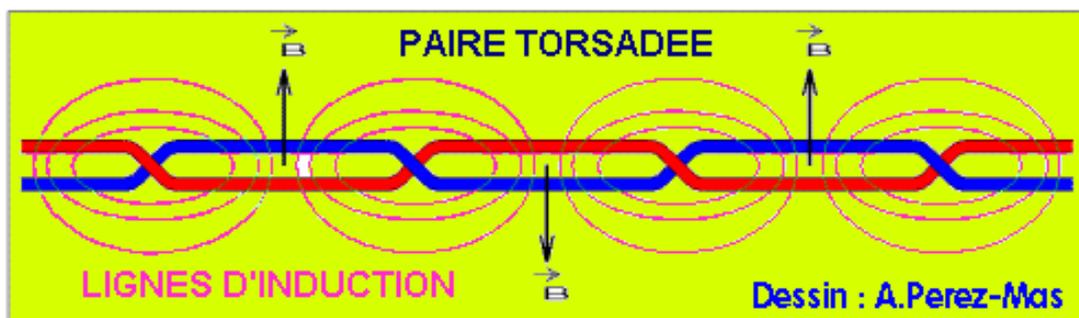


Figure II.5 : Câble à paire torsadée

b) Support coaxial

Le câble coaxial est encore largement utilisé pour des artères à moyen débit des réseaux de transport, ainsi que pour les réseaux de télédiffusion.

La bande passante peut atteindre 400 MHz sur plusieurs dizaines de km. Le débit binaire typiquement employé est de 10 Mbit/s (réseaux Ethernet) sur des distances inférieures à 1km et peut monter jusqu'à plusieurs centaines de Mbit/s sur des distances très courtes.

La sensibilité aux parasites ainsi que l'affaiblissement sont réduits par rapport à la paire torsadée.

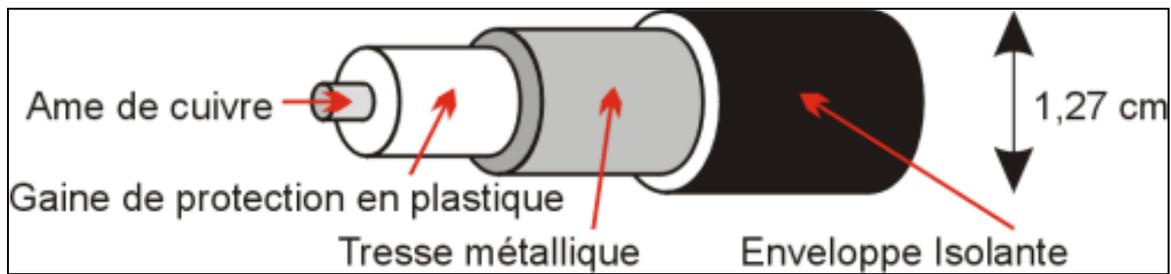


Figure II.6 : Câble coaxial

c) Câbles à fibres optiques :

La fibre optique est constituée d'un cœur et d'une gaine dont l'indice de réfraction est plus faible. La différence d'indice de réfraction entre le cœur (n_1) et la gaine (n_2) est choisie très faible, de façon à obtenir une faible différence de trajet entre le rayon direct axial et la limite d'obliquité conduisant à des réflexions multiples.

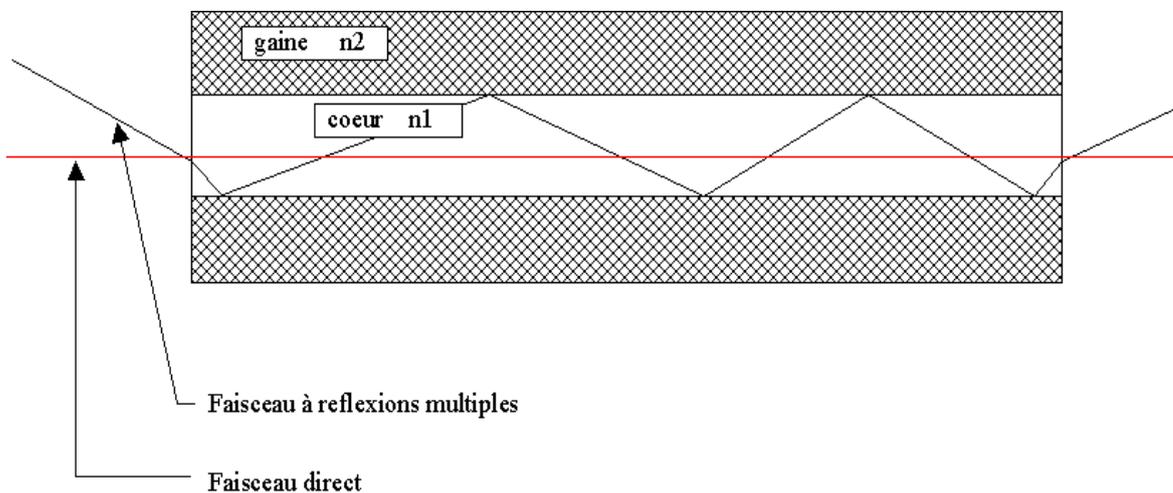


Figure II.7 : Propagation des faisceaux optiques

Il existe deux types de fibres optiques qui sont la fibre multimodes et monomode :

- La fibre multimodes.

Les fibres multimodes se caractérisent par un nombre important de mode de propagation dans la fibre. Plusieurs chemin peuvent être suivis par les rayons lumineux, se qui entraîne une dispersion modale qui limite la bande passante de la fibre. Les deux types de fibres multimodes sont la fibre à saut d'indices (S-I) et la fibre à gradient d'indice :

- La fibre monomode :

Dont le cœur est si fin que le chemin de propagation des différents modes est pratiquement direct. La dispersion modale devient quasiment nulle.

Fibre multimode	Fibre monomode
A été la première utilisée. Facile à utiliser (gros cœur, tolérances élevées....) mais a une limitation intrinsèque de bande passante. Réservée aux courtes distances : réseaux informatique.	A une bande passante pratiquement infinie (en théorie) mais requiert des composants chers et des tolérances faibles. devenue la solution universelle des systèmes de télécommunication.

d) Faisceaux hertziens :

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux directement entre deux points. Il utilise des ondes radioélectriques très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. Les dimensions de ces antennes deviennent extrêmes en dessous de la bande [0.250-22] GHz.

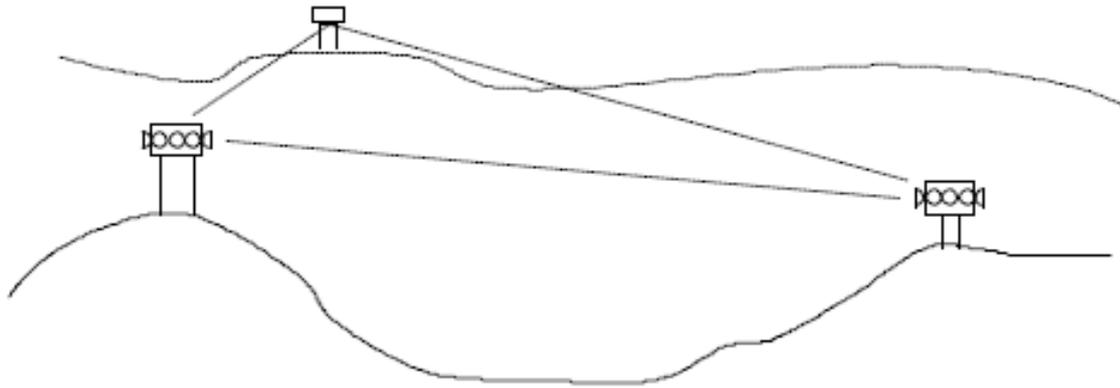


Figure II.8 : Liaison par faisceaux hertziens

Le faisceau hertzien est surtout utilisé pour couvrir en point à point de petites distances et pour raccorder des équipements informatiques mobiles. Ils sont caractérisés par :

- Transmission hertzienne (par onde électromagnétique) entre deux points fixes ;
- Bonds de l'ordre de 20 à 100 km ;
- Antennes très directives (antennes paraboliques) ;
- Puissance émises relativement faibles (< 20W) ;
- Systèmes analogiques (FM) ou numériques (PSK, QAM) ;
- Domaine de fréquence: 250 MHz à 40 GHz (principalement 2 à 20 GHz) ;
- Fonctionnement en visibilité directe, éventuellement avec relais passifs.

Les faisceaux hertziens de télécommunications transportent les différents échelons de la hiérarchie numérique plésiochrone (2/8/34 et 140 Mbit/s), ou 1.5/6/45 Mbit/s en hiérarchie américaine, et le premier échelon de la SDH (155 Mbit/s). Ceci permet leur interconnexion, au niveau des jonctions normalisées électriques ou optiques, avec le reste du réseau. Sur des liaisons à forte capacité, chaque faisceau émet de 4 à 12 canaux multiplexés en fréquence.

II.4 La transmission numérique

La tâche d'un système de transmission est d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible.

II.4.1 Modulation par impulsions et codage (MIC)

Principe

Les modulations numériques, consistent à convertir une information analogique, portée par un signal à variations continues, en une séquence de caractères discrets, issus d'un alphabet fini de q caractères, pris à des intervalles réguliers. C'est le cas de la modulation MIC utilisée dans la téléphonie. Cette modulation nécessite les opérations principales suivantes :

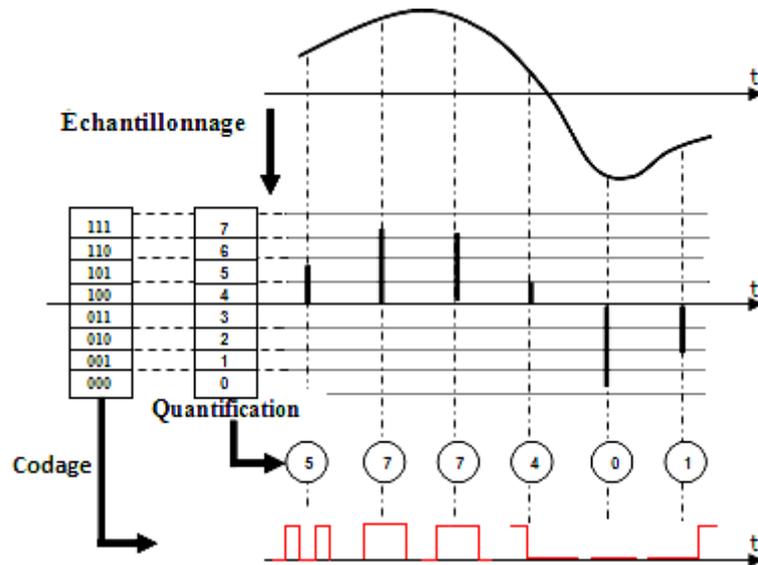


Figure II.9 : Étapes de la modulation MIC

II.4.1.1 L'échantillonnage :

Quand un signal est émis en bande de base ou par une modulation sinusoïdale. Tous les points de ce signal sont effectivement transmis (signal continu). Pour des signaux dont le spectre est limité il n'est cependant pas nécessaire de transmettre tous points du signal.

Le théorème de d'échantillonnage « théorème de Shannon » dit que :

- Si un signal possède un spectre en bande de base limité à une fréquence f_{Max}
- Si ce même signal est échantillonné à une fréquence constante f_e (fréquence d'échantillonnage) telle que : $f_e > 2 f_{Max}$

Le signal émis peut alors être reconstitué à la réception théoriquement sans distorsion. Ce théorème constitue le fondement théorique de la modulation d'impulsions codées (MIC).

II.4.1.2 La quantification :

La quantification permet d'approximer une valeur instantanée à l'aide d'un ensemble de valeurs discrètes séparées les unes des autres par un intervalle appelé « pas de quantification ».

Cette opération est réalisée par un convertisseur analogique numérique, et tous les échantillons contenus dans un même intervalle de quantification (appelé : pas de quantification q_i) sont représentés par la même valeur centrale x_i . En téléphonie on utilise le nombre des intervalles $N=2^n$ valeurs discrètes ($N=256$ pour $n=8$ bits).

II.4.1.3 La compression :

On se rend intuitivement compte que si le nombre de bits à transmettre par unité de temps est important (bits/sec), la bande requise sera également importante. Dès lors il est primordial de ne transmettre que le débit strictement nécessaire, ou encore, de supprimer au mieux la redondance incluse dans la séquence binaire obtenue. Les techniques visant à extraire la redondance portent le nom de techniques de compression.

La compression est une opération purement logique qui consiste à confondre certaines plages obtenues par une quantification linéaire pour obtenir un mot de 8 éléments binaires. Pour coder les échantillons compris entre « 0 » et « 1 », on va trouver 32 échelons sur la loi linéaire qu'il va falloir comprimer en 16 échelons.

II.4.1.3.1 Les lois de compression

- **La loi A européenne :**

Selon la proposition de la Conférence européenne des Postes et Télécommunications (CEPT), adoptée par le CCITT (actuellement UIT-T Rec. G 711), la caractéristique de compression logarithmique idéale a été approchée par le compromis suivant : segment logarithmique pour des amplitudes relatives situées entre $1/A$ et 1 ; raccordement à l'origine par un segment linéaire pour $x < 1/A$, tangent au segment logarithmique.

Son expression en amplitude relative, appelée loi A, est :

$$y = \begin{cases} \frac{Ax}{1 + \ln A} & \text{si } 0 < x < \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln Ax}{1 + \ln A} & \text{si } x > \frac{1}{A} \end{cases}$$

La pente du segment linéaire à l'origine est appelée taux de compression C. Il a été choisi égal à 16.

$$C = \frac{A}{1 + \ln A} = 16$$

Il en résulte la valeur du paramètre $A = 87.6$.

- **La loi μ américaine :**

L'approximation de la loi de compression logarithmique idéale a donné lieu en Amérique à une autre solution, antérieure à la loi A européenne : la loi μ , dont l'expression mathématique est :

$$Y = \frac{\ln(1+\mu x)}{\ln(1+\mu)} \quad \text{Pour } x > 0 \text{ avec } \mu=255$$

Cette caractéristique de compression a un comportement asymptotique

- linéaire, pour $x < 1/\mu$
- logarithmique, pour $1/\mu < x < 1$

La loi μ fait aussi l'objet de la recommandation G 711 de l'UIT-T avec $\mu=255$. Selon cette loi, le taux de compression vaut :

$$C = \frac{\mu}{\ln(1 + \mu)} = 46$$

II.4.1.4 Le codage :

Le processus de quantification remplace la valeur exacte d'un échantillon par un nombre représentant l'intervalle dans lequel se trouve cette valeur. La transcription de ce nombre en une expression logique, généralement binaire, appelée mot PCM, constitue le codage et la table de correspondance entre les q intervalles numérotés et leur expression binaire définit le code. Le format des mots PCM est de 8 bits pour $q = 256$.

Le codage n'influence pas la qualité de la modulation proprement dite. Le choix du code est dicté par d'autres arguments :

- Avantages technologiques pour la réalisation du codage ;
- Facilité de réalisation du décodage ;
- Conditions relatives à la transmission numérique des échantillons codés : bonne teneur en fréquence d'horloge, annulation de la composante continue, limitation du domaine fréquentiel occupé, etc.

II.4.1.4.1 Le code HDB3

Les systèmes numériques européens font usage d'un mode pseudo-ternaire appelé mode à haute densité HDB3 (High Density Bipolar code) qui évite l'apparition de plus de trois moments nuls consécutifs. Il consiste à remplacer des groupes de quatre 0 binaires consécutifs par des groupes de

quatre moments ternaires dont le dernier est non nul et émis avec la même polarité que le dernier moment non nul, c'est-à-dire en violation de la loi d'alternance de polarité du mode AMI.

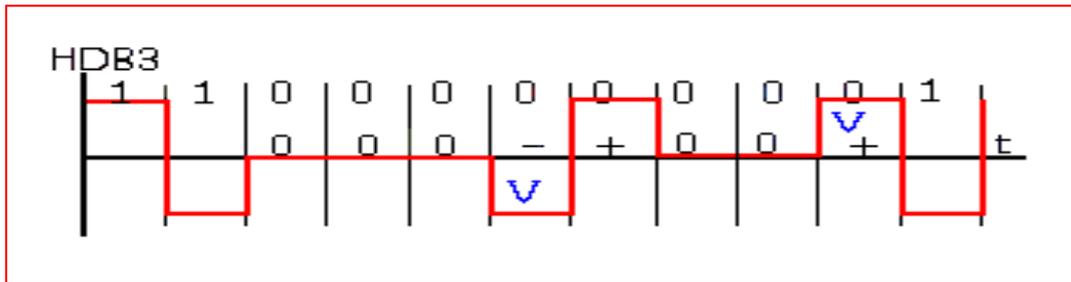


Figure. II.10 : Principe du code HDB3

II.4.1.5 La trame MIC

La fenêtre de 125 µs appelée trame est découpée en 32 morceaux et chaque échantillon est donc de $125 \mu\text{s}/32 = 3,9 \mu\text{s}$ cette durée est appelée intervalles de temps (IT) ou bien time slot.

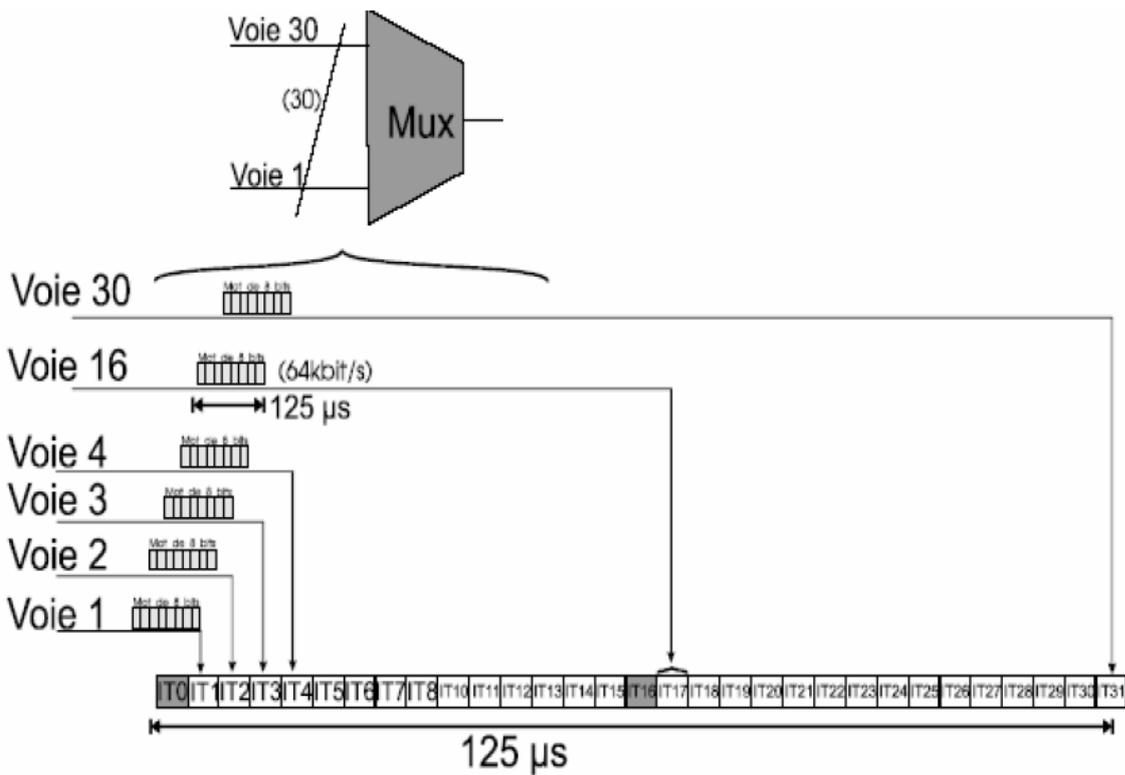


Figure. II.11 : Structure d'une trame MIC

Pour un IT : $8 \times 8000 = 64 \text{ K bits/s}$

Soit pour trame : $64 \text{ Kbits/s} \times 32 = 2,048 \text{ Mbits/s}$

IT0 et IT16 sont particuliers :

- IT0 : est réservé à la synchronisation
- IT16 : est réservé à la signalisation

Il existe deux types de trame MIC : MIC 30 pour 30 voies (recommandation CCITT G732) et MIC 24 pour 24 Voies (recommandation CCITT G733), la plus utilisé notamment en Algérie est la MIC 30.

Nous donnons ici un tableau comparatif de leurs caractéristiques :

Critères de comparaison	Système européen (REC G732)	Système américain (REC G733)
Fréquence d'échantillonnage		$f_e = 8 \text{ KHz}$
Nombre de niveaux de quantification		$q=256$
Nombre de bits par échantillon		8 bits
Débit binaire par voie		64 Kbit \ s
Loi de quantification	$A= 87,6$	$\mu=225$
Nombre d'IT	32	24
Nombre de voies	30	24
Nombre de bits par trame	$32 \times 8=256$	$(24 \times 8)+ 1= 193$
Débit binaire total	$256 \times 8 \text{ KHz}=2.048 \text{ Mbits/s}$	$193 \times 8 \text{ KHz}=1.544 \text{ Mbits/s}$

Tableau. II.1 : Caractéristiques des systèmes de transmission MIC 30 et MIC 24.

II.4.2 Modulation QAM :

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

Prenons par exemple un signal modulé QAM avec 3 bits transmis par baud. Une telle modulation requiert donc 2^3 soit 8 combinaisons binaires différentes. Dans notre exemple, nous prendrons 2 amplitudes combinées avec 4 décalages de phases différents représentés comme sui :

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

101	2	$\frac{1}{2}$
110	1	$\frac{3}{4}$
111	2	$\frac{3}{4}$

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

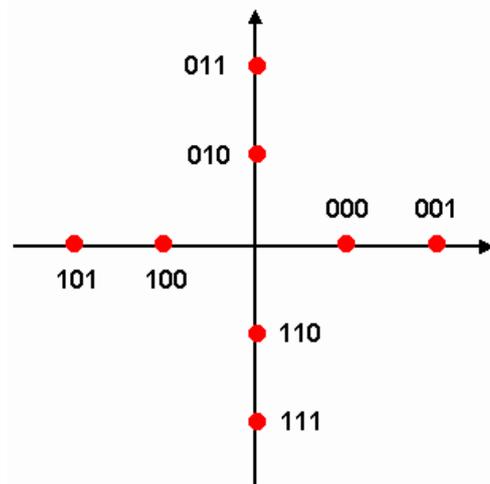


Figure. II.12 : constellation QAM8 (3 bits par baud)

Dans une constellation QAM, l'éloignement du point par rapport à l'origine indique l'amplitude, son angle indique le décalage de phase.

Par exemple, la constellation de la modulation QAM-16 est une modulation souvent utilisée, notamment pour la transmission sur ligne téléphonique du RTC (à 9600 bit/s) et pour les faisceaux hertziens à grande capacité (140 Mbits/s) développés dans les années 1980.

II.5 Hiérarchie numérique plésiochrone (PDH)

La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH Plesiochronous Digital Hierarchy) a été réalisée et stabilisée durant les années 1960 et 1970. Elle trouve son origine dans le transport de signaux téléphoniques vocaux, convertis en canaux numériques à 64 Kbits/s (systèmes primaires).

Afin de constituer des systèmes de débit plus élevés, on effectue un multiplexage temporel de trames MIC, assemblées 4 par 4, La difficulté provient de ce que les différentes trames, constituées

parfois en différents points du réseau, ne sont pas toujours synchronisées. On pratique alors le multiplexage plésiochrone.

Par ailleurs, la technologie PDH utilise un multiplexage bit à bit. Il faut multiplexer quatre liens E1 pour obtenir un lien E2, quatre liens E2 pour obtenir un lien E3 et quatre liens E3 pour obtenir un lien E4. Pour récupérer un lien E1 dans un train binaire E4, il est nécessaire de démultiplexer l'ensemble du flux .

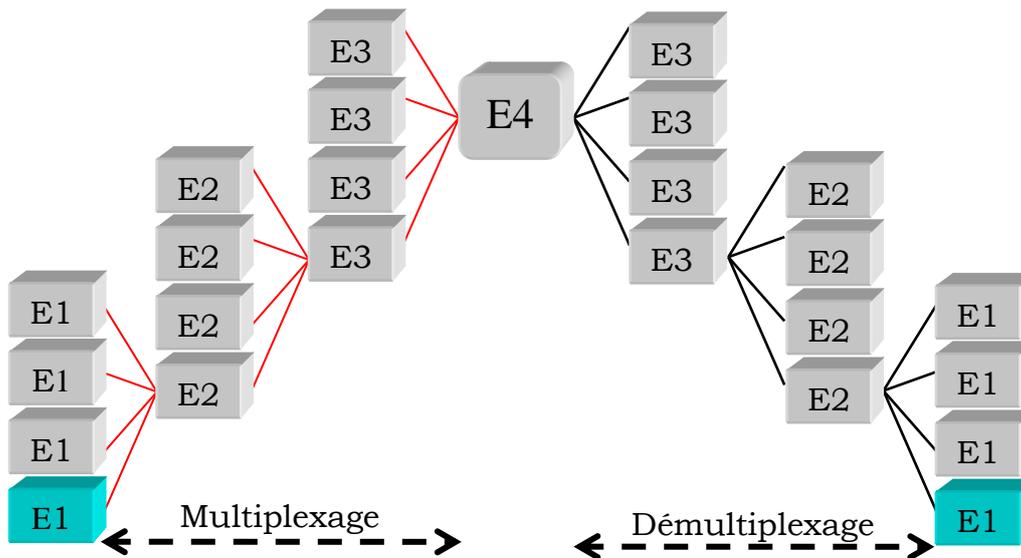


Figure II.13 : Multiplexage/Démultiplexage en PDH

De plus, la synchronisation de chaque émetteur avec chaque récepteur qui est une condition clef à une transmission sans erreur est parfois délicate à obtenir dans ce système où les horloges donnant le rythme sont réparties sur les émetteurs et les récepteurs et on se retrouve avec presque autant d'horloges différentes qu'il y a de machines différentes dans le réseau. Pour palier ces problèmes, une nouvelle hiérarchie de système de transmission a vu le jour : **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) en Europe et **SONET** (Synchronous Optical NETWORK) aux USA.

Hiérarchie européenne

Désignation	Nombre de voies	Débit binaire(Mbit/s)	Durée du bit (µs)
E1	30	2,048	0,488
E2	120	8,448	0,118
E3	480	34,368	0,029

Tableau. II.2 : Hiérarchie numérique synchrone (SDH)

La SDH (synchronous Digital Hierarchy) est une nouvelle hiérarchie à haut débit, normalisée au niveau international. Elle permet d'unifier le réseau mondial de télécommunications, en étant compatible avec les réseaux existants : hiérarchies numériques plésiochrones européenne, américaine et japonaise.

Les débits de transmission sont déterminés à partir d'un module de transport, ou trame de base, appelé STM-1 qui est composé de 2340 octets transmis en 125 μ s. Soit un débit de 149.76 Mbit/s.

II.5.1 Définition des éléments de la SDH

II.5.1.1 Le conteneur de niveau n (C-n)

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

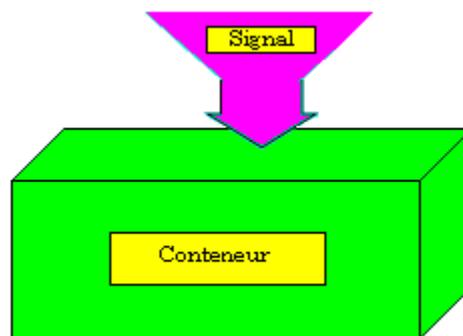


Figure. II.14 : Le conteneur

II.5.1.2 Le conteneur virtuel (VC-n)

Les conteneurs virtuels VC-n comportent les conteneurs de réception C-n (la charge utile) auxquels sont ajoutés plusieurs octets (POH) afin de réaliser les adaptations, ou mappages, des débits d'entrées d'affluents sur le rythme de l'équipement de multiplexage

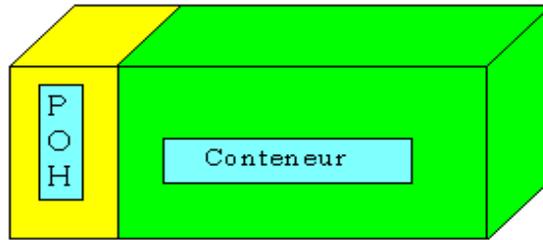


Figure. II.15 : Le conteneur virtuel

Il existe deux types de conteneurs virtuels :

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

Le tableau 2.2 rappelle les valeurs des conteneurs [ITU-T G.709].

		Ordre	Type	Nombres d'octets	Débits maximal admissibles Mbit/s	Débits d'affluents Mbit/s
Conteneurs C-n	Low Order (LO)		C-11	25	1.6	1.544
			C-12	34	2.176	2.048
			C-2	106	6.784	6.312
	High Order (HO)		C-3	756	48.348	34.386
			C-3	756	48.348	44.736
			C-4	2340	149.760	139.264
Conteneurs virtuels VC-n	Low Order (LO)		VC-11	26	1.664	1.544
			VC-12	35	2,24	2.048
			VC-2	107	6.848	6.312
	High Order (HO)		VC-3	765	48.96	34.386
			VC-3	765	48.96	44.736
			VC-4	2349	150.336	139.264

Tableau.II.3 : Types de conteneurs

II.5.1.3 L'unité d'affluent (TU-n)

On appelle unité d'affluent une structure d'informations qui assure l'adaptation entre les couches de conduits de niveau inférieur et supérieur. Elle se compose d'une capacité utile d'information (le

conteneur virtuel de niveau inférieur) et d'un pointeur d'unité d'affluent indiquant le décalage entre le début de la trame de la capacité utile et le début de la trame du conteneur virtuel de niveau supérieur

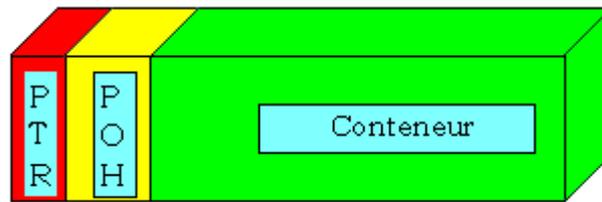


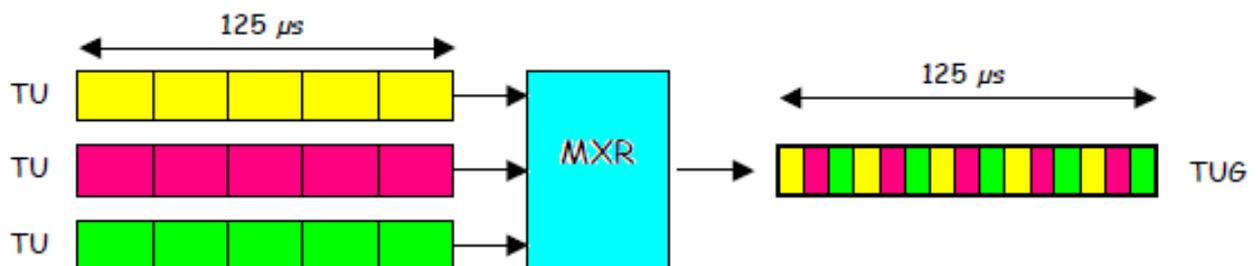
Figure. II.16 : L'unité d'affluent

II.5.1.4 Le groupe d'unités d'affluent (TUG-n)

Les TUs de différents affluents sont multiplexées (groupées par 3 ou 4) pour former des blocs plus grand appelé des Tributary Unit Group (TUG) Le multiplexage se fait toujours octet par octet.

Il n'y a pas de surdébit propre à une TUG. On trouve :

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



II.5.1.5 L'unité administrative (AU-n)

Elle assure l'adaptation entre la couche du conduit de niveau supérieur et la couche de la section de multiplexage, elle comprend une capacité utile d'informations qui est celle du conteneur virtuel correspondant et un pointeur d'unité administrative. Deux unités administratives sont définies :

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

II.5.1.6 Le groupe d'unités administratives (GUA-n)

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

- Trois AU-3.
- Une AU-4

II.5.2 Le multiplexage SDH

La SDH comprend deux niveaux de multiplexage qui correspondent à la représentation des réseaux en deux couches (basse : LO et haute : HO), elle emploie deux types de conteneurs virtuels :

- des LVC (Low Virtuel Container) : conteneurs virtuels d'ordre inférieur ou bas, identifiés aussi par VC-LO ou LO-VC.
- des HVC (High Virtuel Container) : conteneurs virtuels d'ordre supérieur ou haut, identifiés aussi par VC-HO ou HO-VC.

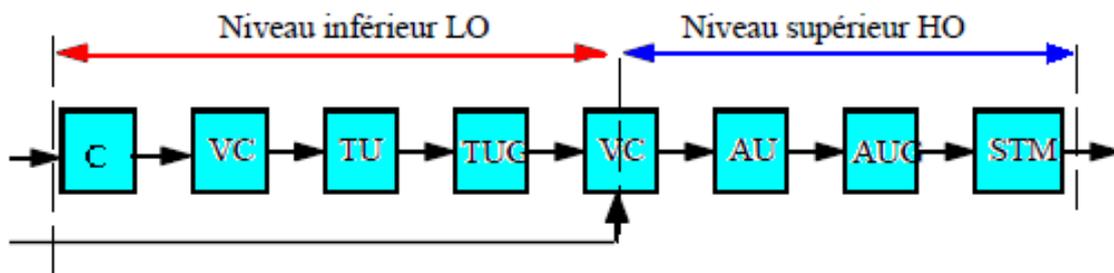


Figure. II.17 : Les niveaux de multiplexage SDH

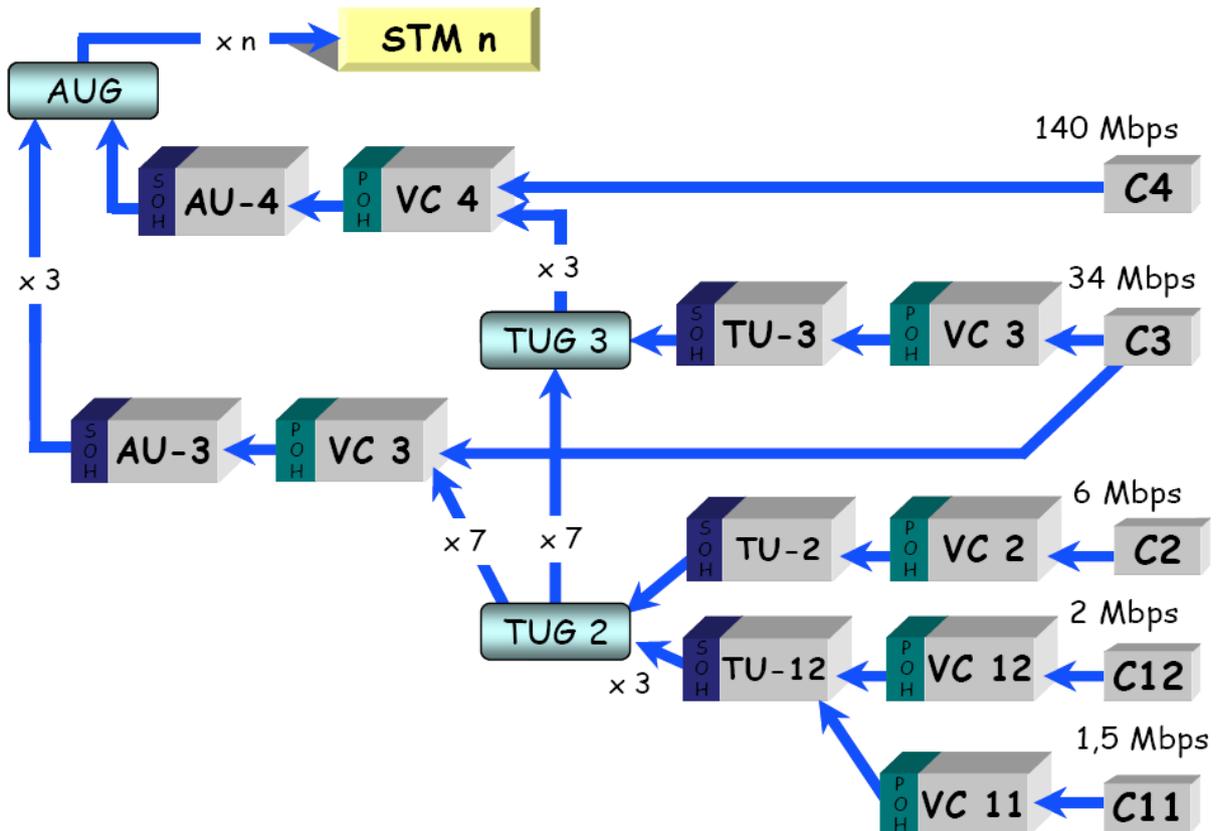


Figure. II.18: structure du multiplexage synchrone

II.5.2.1 Structure de la trame de base de la SDH :

La trame de base, appelée STM-1 (synchrones transport module 1)

Elle est subdivisée en 3 zones auquel sont affectées les informations suivantes :

- La capacité utile (payload) qui est l'information utile, i.e celle de l'utilisateur (cette zone d'information forme un conteneur virtuel).
- Les pointeurs : l'information transportée est indiquée par un pointeur situé dans la zone de supervision.
- Le surdébit de section (SOH =section overhead) qui est réservé à l'exploitation.

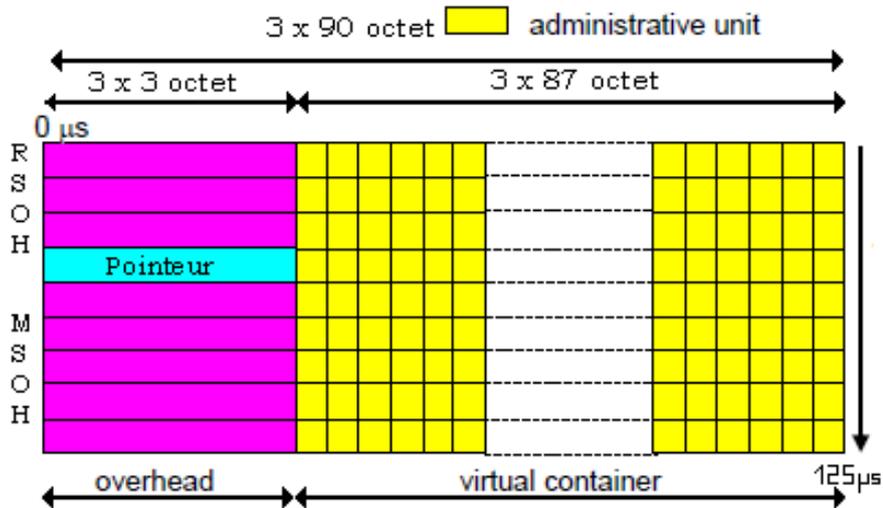


Figure. II.19 : Structure de la trame STM-1

II.5.2.1.1 Le surdébit de section (SOH)

Le surdébit de section (SOH) se divise en deux parties :

- le RSOH, Régénération Section Overhead : réserve à la régénération.
- le MSOH, Multiplex Section Overhead : réservé au multiplexage

II.5.2.1.2 Le pointeur

L'intérêt du multiplexage synchrone est de pouvoir accéder directement aux conteneurs qui composent un multiplex. Cependant, dans un nœud du réseau, les différents signaux affluents peuvent arriver avec une phase quelconque (temps de propagation différents et variables dans le temps, écarts de fréquence entre horloges). Pour préserver la visibilité et l'intégrité des affluents en présence de ces variations de phase, la SDH utilise des pointeurs et la technique de justification positive-négative-nulle. L'information utile peut ainsi "flotter" dans l'espace qui lui est alloué à l'intérieur de la trame, sa position étant repérée à chaque instant par le pointeur.

II.5.2.1.2.1 Justification du pointeur

- Justification nulle** : Le débit d'affluent est égal au débit nominal.
- Justification positive** : Si le débit des affluents est inférieur à celui de la trame (débit nominal), on a recours au bourrage. La justification est donc positive. Trois octets désignés (000), placés après le 3^{ème} H3. Ces trois octets sont prélevés dans la charge utile de la trame.

- c) **Justification négative** : Par contre, si le débit des affluents est supérieur à celui de la trame, on a recours à la justification négative. Les octets H3 entrent en jeu et absorbent le surplus d'information.

II.5.2.1.3 Le surdébit de conduit (POH)

Les POH (Path Overhead) sont utilisés pour la gestion des différents conduits transportés. Ils contiennent des indications liées à la surveillance du conduit, à la transmission d'alarmes distantes et de signaux de maintenance et des indications de structure de multiplexage.

Le surdébit de conduit (POH) se divise en deux ordres :

- Surdébit de conduit de bas ordre (LOP : Low Order Path).
- Surdébit de conduit de haut ordre (HOP : High Order Path).

II.5.3 Étude d'un réseau SDH

La hiérarchie numérique synchrone est une technologie de la couche physique (niveau 1 et 2 du modèle OSI) qui est elle-même décomposée en sous-couches

II.5.3.1 Protection du réseau SDH

La sécurité de la technologie SDH prévoit qu'en cas de coupure de ligne, le signal est automatiquement réacheminé sur un réseau de secours.

Pour cela plusieurs niveaux de protection sont mis en œuvre dans les réseaux SDH :

- Protection de carte qui agit en cas de défaillance d'une carte, par contre le déclenchement et la méthode de basculement dépend du constructeur.
- Protection de section de multiplexage (MSP) ou ASP (Automatic protection Switching) qui utilise les octets K1, K2 du MSOH pour basculer à la voie de secours.

II.5.3.2 Synchronisation d'un réseau SDH

La synchronisation parfaite des équipements du réseau SDH est la base du bon fonctionnement de ce réseau.

Le dispositif général de synchronisation est de type maître-esclave ; chaque équipement du réseau possède une horloge propre qui se synchronise sur une horloge de niveau supérieur ; l'horloge unique de plus fort niveau est appelée horloge primaire (PRC : Primary Reference Clock) qui a une précision de 10^{-11} .

Le schéma illustrant la hiérarchie et le secours en rythme est donné en figure II.20

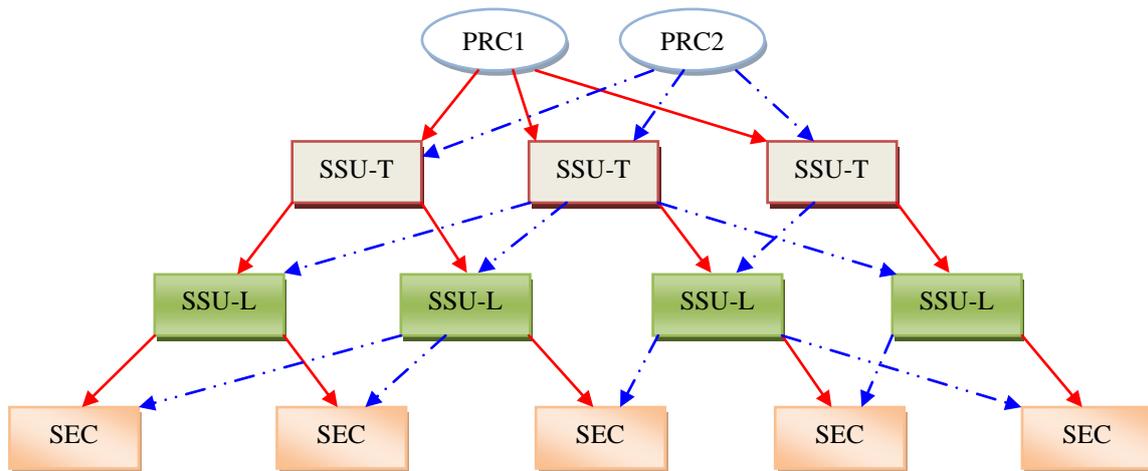


Figure. II.20 : Organisation en hiérarchie des rythmes en SDH

Chaque circuit d'horloge est doublé par un circuit de secours et le millage est effectué de manière telle qu'il y a au moins deux circuits d'horloge pour chaque équipement de réseau.

Le tableau. II.4 donne les principales caractéristiques des horloges d'un réseau.

- Le nombre maximum de SSU dans une chaîne de distribution de rythme est de 10, le nombre maximum de SSU et de SEC pilotés simultanément est de 60.
- Chaque horloge est identifiée par l'octet SSM (StatuS Message Byte), octet de message indiquant le statut de l'horloge ; c'est l'octet S1 dans le SOH des trames STM. Les codes utilisés sont :
 - 0010 pour PRC.
 - 0100 pour SSU-T.
 - 1000 pour SSU-L.
 - 1011 pour SEC.
 - 1111 pour DNU (Do Not Use, ne pas utiliser).
 - 0000 pour inconnue

Abréviations	Désignation	Précision	Norme UIT-T
PRC	Horloge primaire de référence	10^{-11} sur le long terme	G.811
SSU-T	Horloge asservie de nœud de transit	50.10^{10} variation quotidienne	G.812
SSU-L	Horloge asservie de nœud local	10^{-8} variations quotidiennes	G.812
SEC	Horloge d'équipement	5.10^{-8} variation quotidienne	G.813

Tableau. II.4 : Définition des horloges

II.5.3.3 Les équipements d'interconnexion au réseau SDH

Quatre types d'équipements vont permettre une grande flexibilité dans l'interconnexion des réseaux SDH

a) Multiplexeur terminal :

Le multiplexeur terminal est l'équipement terminal de conduit (ETC) du SDH, son rôle étant d'insérer ou d'extraire les affluents en bout de conduit.

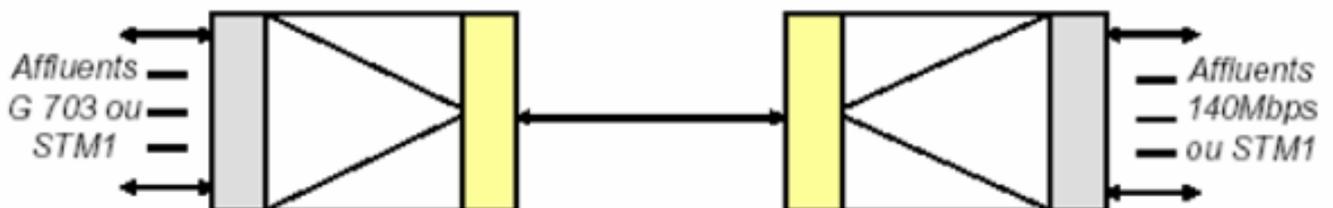


Figure. II.21: Le multiplexeur terminal

b) Les régénérateurs (REG) :

Le régénérateur est par fois 3R, en anglais : Re-time, Re-Shape, Re-Amplify ; ce mot représente bien les trois opérations que doit effectuer ce dispositif qui sont : une remise en forme temporelle, une remise en forme des amplitudes des signaux et enfin une réémission.

c) Multiplexeur à insertion et extraction : Add/Drop multiplexeur (ADM)

- Il permet d'insérer ou d'extraire des affluents dans le conduit, différentes options existent en fonction des débits utilisés.
- Remplace les informations de surdébit de section de multiplexage(MS).

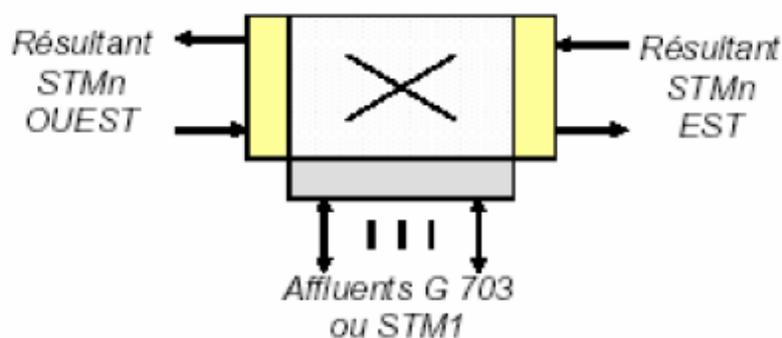


Figure. II.22 : Le multiplexeur insertion/extraction

d) Les brasseurs (DXC) :

Ce sont les éléments les plus complexes et les plus flexibles. Ils sont dotés de plusieurs ports supportant différents débits. Un signal entrant par n'importe quel port peut être connecté à un signal d'un autre port, d'où la notion de brassage de signaux.

Les brasseurs permettent d'éviter de nombreuses opérations de câblage puisqu'une fois que deux sous réseau sont reliés par un brasseur, il est possible d'aiguiller de l'un à l'autre des liaisons sans opération manuelles, mais seulement avec des commandes depuis les gestionnaires de réseau.

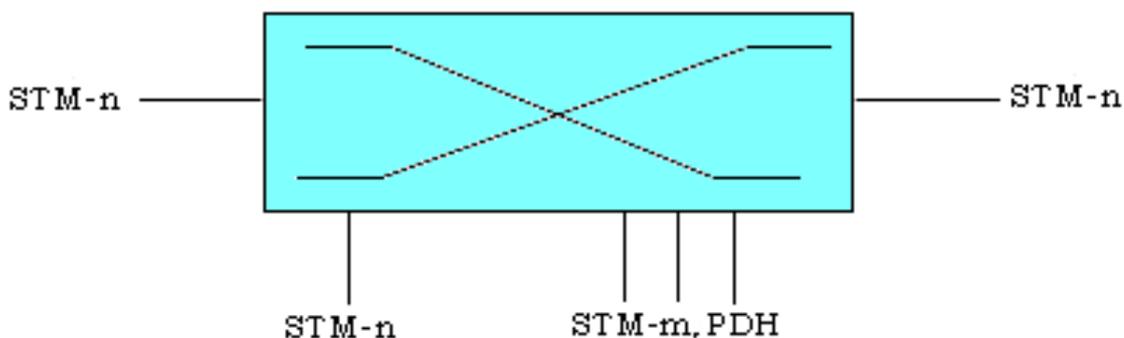


Figure. II.23 : Le brasseur

II .5.3.4 Topologie des réseaux SDH

a) Topologie point à point

Le plus simple des réseaux implique deux équipements terminaux pour réaliser le multiplexage vers une hiérarchie SDH, avec ou sans régénérateur.

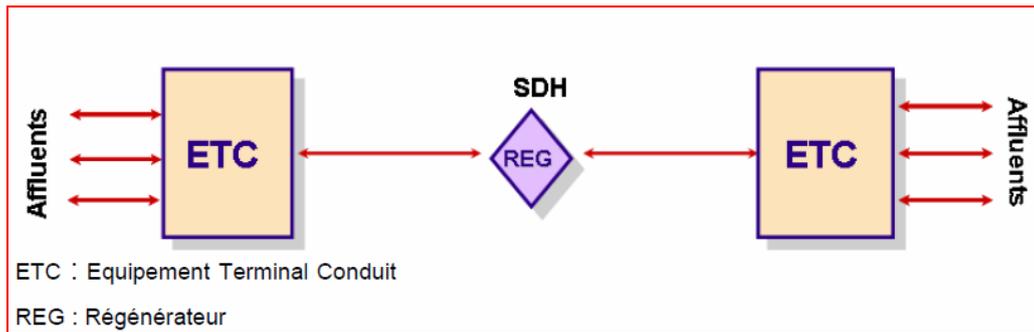


Figure II.24 : Topologie point à point

b) Topologie, Bus

Dans un réseau Bus, on inclut un ou plusieurs ADM le long du conduit. Ces derniers permettent l'insertion ou l'extraction des services (voie, donnée, vidéo) sur certains points du réseau.

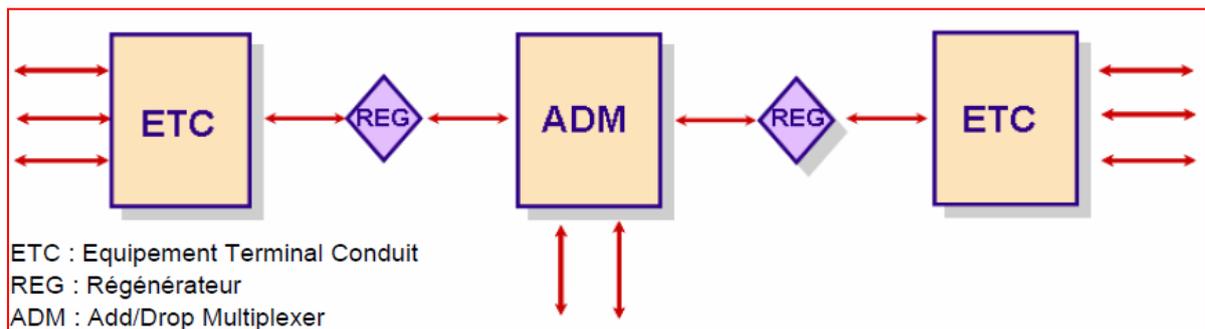


Figure II.25 : Topologie bus

c) Topologie, Etoile

Tous les nœuds sont connectés en un seul point grâce au DCS (brasseur haut débit) qui est utilisé en tant que concentrateur (Hub).

Cette topologie s'accommode d'éventuels rajouts de branches dans le réseau.

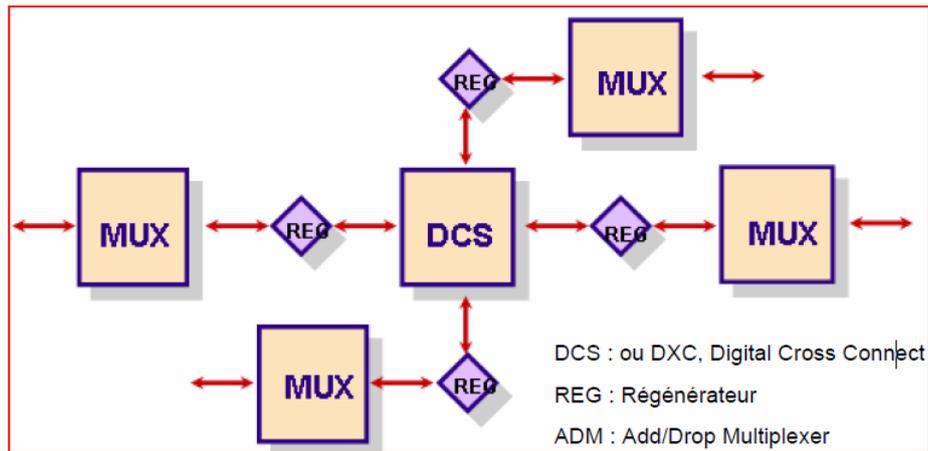


Figure II.26 : Topologie étoile

d) Topologie, Anneau

- Le réseau est en boucle fermée.
- Suivant le type de réseau, l'information émission et réception transite soit dans le même sens, anneau directionnel ou bien dans les deux sens, anneau bi-directionnel.
- L'information est retirée par la source ou le destinataire.
- L'avantage principal est la survivance, si l'une des voies se coupe le réseau est capable de travailler en alternance sur une voie.

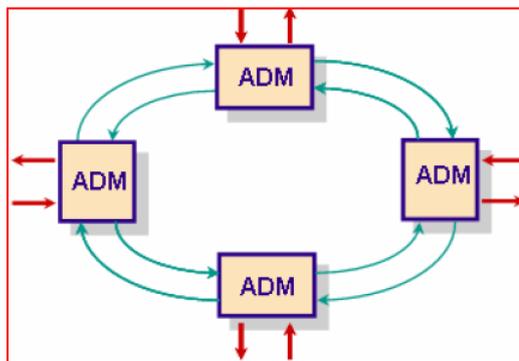


Figure. II.27 : Anneau bi-directionnel

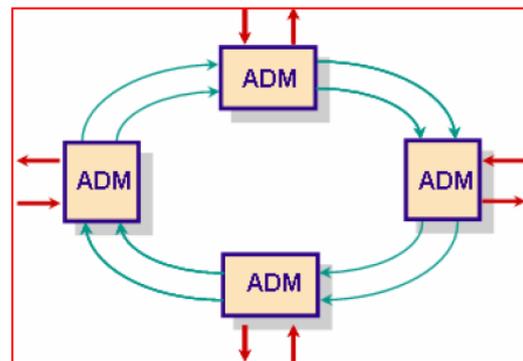


Figure. II.28 : Anneau directionnel

Chapitre III :
Ingénierie du Backbone FHN de
TIZI-OUZOU

III.1 Introduction

Préalablement à chaque étude et mise en œuvre d'un projet, un travail de fond est nécessaire.

Ces études seront réalisées au moyen d'outils d'ingénierie et de planification.

L'ingénierie et la planification du projet de mise en œuvre d'un backbone de transmission par faisceaux hertziens numériques (FHN) seront réalisées en cinq (05) étapes comme illustré dans la figure III.1

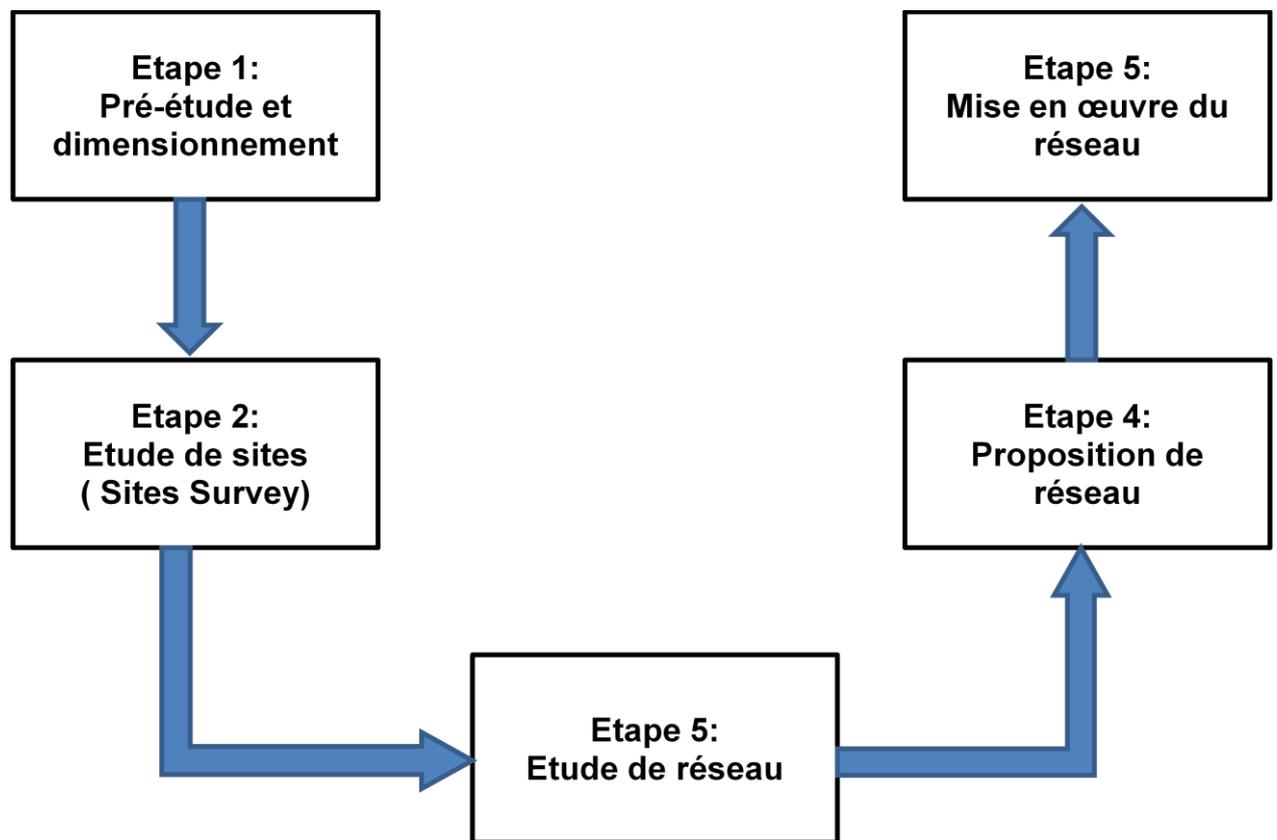


Figure III.1 : Etapes d'ingénierie et de planification du projet

III.2 Les outils d'ingénierie et de planification

La mise en œuvre d'un réseau de transport par faisceaux hertziens numériques nécessite l'utilisation d'outils d'ingénierie et de planification PATHLOSS et PEGASUS ceci afin d'assurer un bon dimensionnement et une bonne ingénierie du projet.

Préalablement à l'étude de site, un travail de fond est nécessaire pour préparer les relevés sur le terrain. L'étude cartographique en est la première étape et s'appuie essentiellement sur les outils d'ingénierie et de planification que sont **PATHLOSS** et **PEGASUS**.

Ces outils fonctionnent avec des modèles de cartes numériques permettant d'avoir un aperçu théorique sur les possibilités des sites de rattachement pouvant offrir une visibilité directe avec le site cible. En cas de présence d'obstacles potentiels, l'étude de site (Site Survey) permet de vérifier ces caractéristiques (Immeubles, Végétation, Hauteur etc...).

III.2.1 PATHLOSS :

Le PATHLOSS outil d'ingénierie et de planification est un logiciel qui constitue une référence pour visualiser rapidement le profil d'une liaison sur le terrain. C'est un outil qui peut exploiter des bases de données (mises en ligne) et couvrant un nombre important de pays.

Ainsi les premières caractéristiques techniques tels que le bilan de liaison, le profil, la fréquence, la hauteur, les diamètres d'antennes et tout autre paramètre de dimensionnement peuvent être déduits.

III.2.2 PEGASUS :

Le PEGASUS est un outil d'ingénierie et de planification qui apporte des fonctionnalités complémentaires au PATHLOSS. En particulier, pour la recherche de sites potentiels de rattachement, il permet d'identifier une zone de points distants pouvant offrir une visibilité directe avec le site cible d'une part et le calcul de faisabilité des liaisons d'autre part.

Entre deux sites donnés, le principe de balayage de la torche permettra de déterminer un site relais.

Par ailleurs, dans une approche réseau, PEGASUS permet le calcul des interférences de la liaison FHN en prenant en compte les autres liaisons dans la zone environnante, et ainsi on peut en déduire et proposer l'attribution d'un couple de fréquence.

L'affinage des études cartographiques est réalisé sur la base de tous les moyens existants (cartes géographiques précises, relevés GPRS, mesures de hauteur etc...).

L'introduction de toutes les données d'ingénierie et de Sites Survey permet donc :

- d'améliorer la qualité de la liaison ;
- d'améliorer la disponibilité de la liaison .

III.3 ETUDES ET INGENIERIE DU RESEAU BACKBONE FHN

Les études et l'ingénierie consistent essentiellement en la pré - étude et le dimensionnement, l'étude de site (Site Survey), l'étude de réseau, la proposition de réseau et enfin la mise en place du réseau.

III.3.1 Pré - étude et dimensionnement

Cette première phase consiste en l'étude initiale du projet. Cette pré-étude commence à partir de la réception du cahier des charges techniques décrivant dans sa totalité les besoins en matière d'équipements, de liaisons FHN, les coordonnées géographiques des différents sites, etc....

L'analyse de ces besoins donne lieu à des résultats théoriques (dimensionnement des liaisons FHN, équipements, prestations de service, formation des personnels...)

Enfin, l'équipe d'étude et d'Ingénierie propose un schéma théorique et fonctionnel du réseau à mettre en œuvre qui sera remis aux équipes chargées de l'étude de site (Ingénierie du Site) pour Vérification, Correction et Validation.

III.3.2 Etude de site

Préalablement à l'étude de site, un travail de fond est nécessaire pour préparer les relevés sur le terrain. L'étude cartographique en est la première étape et s'appuie essentiellement sur des outils de planification tels que **PATHLOSS, PEGASUS**.

Ces outils fonctionnent avec des modèles de cartes numériques permettant d'avoir un aperçu théorique sur les possibilités des sites de rattachement pouvant offrir une visibilité directe avec le site cible. En cas de présence d'obstacles potentiels, l'étude de site (Site Survey) permet de vérifier ces caractéristiques (Immeubles, Végétation, Hauteur etc...).

- Par ailleurs, une négociation de sites sera engagée pour :
- L'analyse des besoins ;
- La recherche de sites adéquats pour l'installation des équipements ;
- La reconnaissance des sites ;
- L'étude des sols ;
- Les démarches administratives ;

Une fois les sites retenus :

- Des dossiers de reconnaissance de sites seront élaborés (rapports d'étude de sites) ;

- L'approbation des dossiers de reconnaissance de sites ;
- La révision des documents d'ingénierie et du planning de réalisation du projet ;
- L'acceptation et la validation des documents d'ingénierie ;

Enfin, l'étude des sites consiste essentiellement en la vérification des :

- Points hauts ;
- Des locaux devant abriter les équipements ;
- Des infrastructures existantes (pylônes, équipements FHN etc....) ;

III.3.3 Etude du réseau

Cette partie consiste essentiellement en l'étude détaillée pour :

- Bâtir une architecture du réseau à mettre en œuvre ;
- Le calcul du bilan de liaisons FHN;
- L'expertise et la recherche de perturbateurs (zones avec surface de réflexion) qui pourront provoquer des risques d'évanouissement dus essentiellement aux trajets multiples et aux ondes réfléchies dans des liaisons maritimes.

Pour lutter contre ces perturbateurs, on utilise la solution de réception en diversité d'espace.

III.3.4 Proposition de réseau relative au projet

Une fois, les études d'ingénierie terminées et validées par les équipes ayant effectué les études de sites (SITE SURVEY), une proposition technique optimisée de réseau sera élaborée en vu de son étude et de son évaluation.

III.3.5 Mise en œuvre du réseau (backbone FHN)

Cette phase finale de mise en œuvre du projet, consiste en :

- Le déploiement de la solution à savoir : l'installation des équipements conformément aux documents d'ingénierie et d'étude des sites et leur mise en service technique ;
- L'intégration du projet au réseau existant et en exploitation ;
- La formation des personnels du client ;
- L'expertise du nouveau réseau ainsi que l'assistance technique aux personnels d'exploitation du client ;

Parallèlement à la mise en service du réseau FHN, le département ingénierie et planification procèdera à l'élaboration des documents de recette concernant le projet. Ces documents se composent des éléments suivants :

- Procédures et cahier de recette technique ;
- Procédures et cahier de recette de liaison ;
- Procédures et cahier de recette réseau ;
- Approbation de tous les documents de recette ;

Par ailleurs, les études d'ingénierie et de planification permettent de lutter contre les trajets multiples qui sont des sources de phénomènes de perturbation et d'interférences ce qui affecte la qualité de la liaison radio par faisceaux hertziens numériques (FHN).

A cet effet, on sait que :

- L'affaiblissement de propagation caractérise l'affaiblissement que subit une onde électromagnétique lorsqu'elle parcourt une distance. Cet affaiblissement est dû à la dispersion de la puissance émise, mais également aux obstacles rencontrés le long de la distance entre émetteur et récepteur tels que : édifices, montagnes, précipitations, végétations et autres pouvant bloquer le signal de propagation ;
- La probabilité d'apparition d'évanouissements du signal de propagation dus aux trajets multiples augmente avec la longueur du trajet ;
- De plus, pour des liaisons maritimes, l'onde réfléchie peut être comparable à l'onde directe et donner aussi des évanouissements très profonds ;

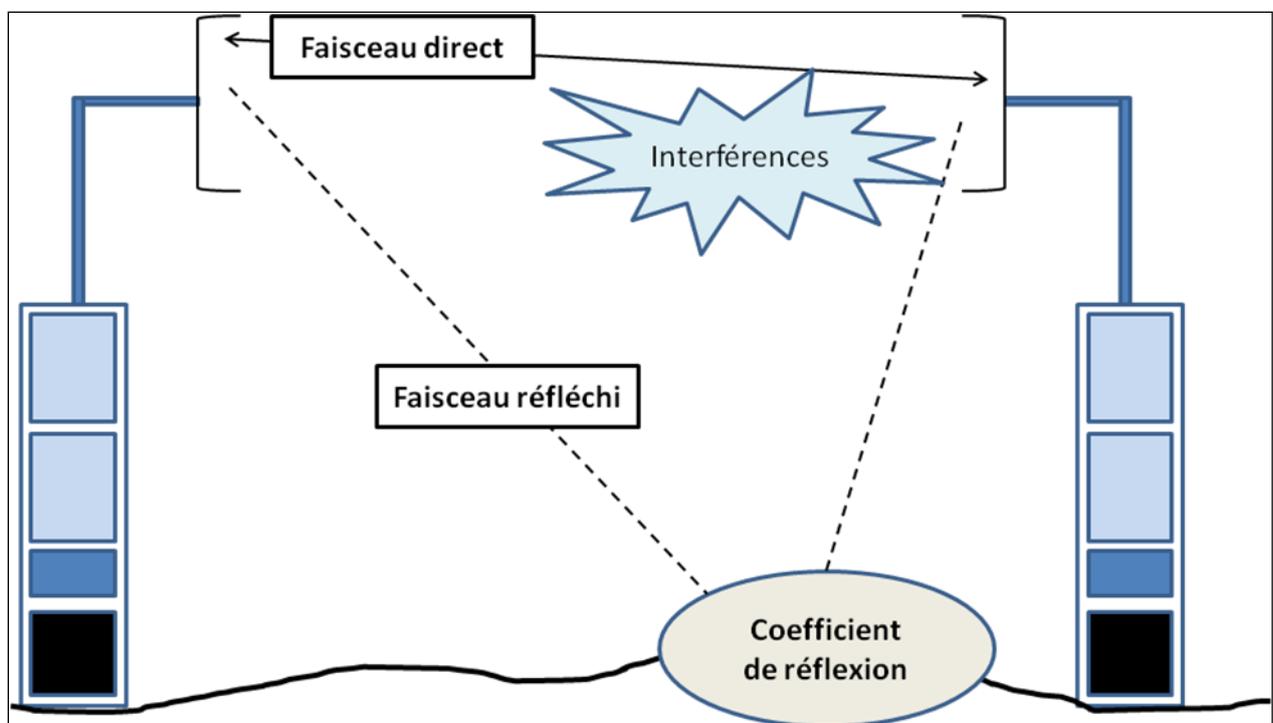


Figure III.2 : Trajets multiples

III.4 Réception en diversité d'espace : (Lutte contre les trajets multiples)

Pour lutter contre les contraintes de propagation (phénomènes d'évanouissements du signal) on utilise la technique de réception en diversité d'espace.

Cette technique de réception en diversité d'espace permet de s'affranchir des effets néfastes dus aux évanouissements du signal de propagation.

Cette technique de transmission consiste à installer, sur le même pylône deux antennes de même diamètre espacées verticalement. Il ya apparition d'un déphasage entre le signal reçu par l'antenne principale et celui reçu par l'antenne de diversité :

- Déphasage dû aux conditions de propagation : ce déphasage est corrigé automatiquement de façon dynamique par le module (équipement) "compensateur de phase sans fin" ;
- Déphasage connu et fixe dû à la différence de longueur des guides d'ondes : ce déphasage est corrigé automatiquement par le module "ligne à retard" ;

Le signal reçu par l'antenne principale est combiné avec celui reçu par l'antenne de diversité de manière à optimiser le rapport signal sur bruit.

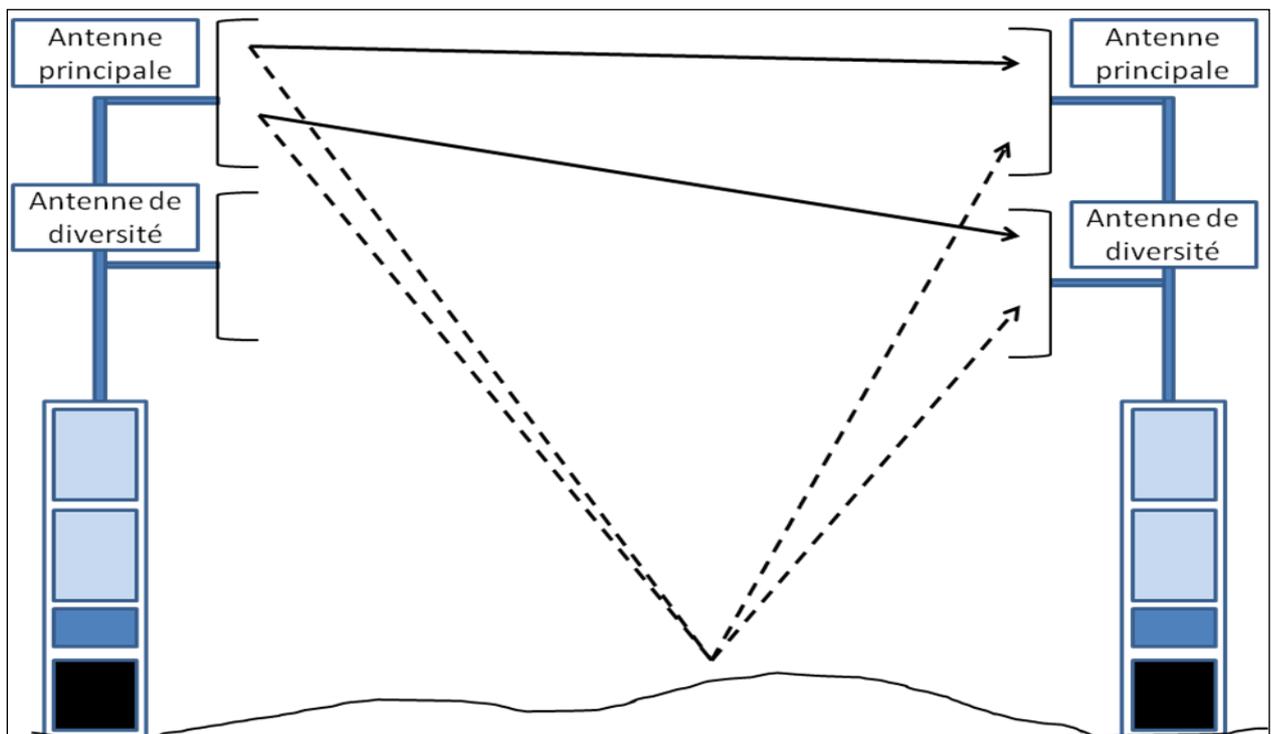


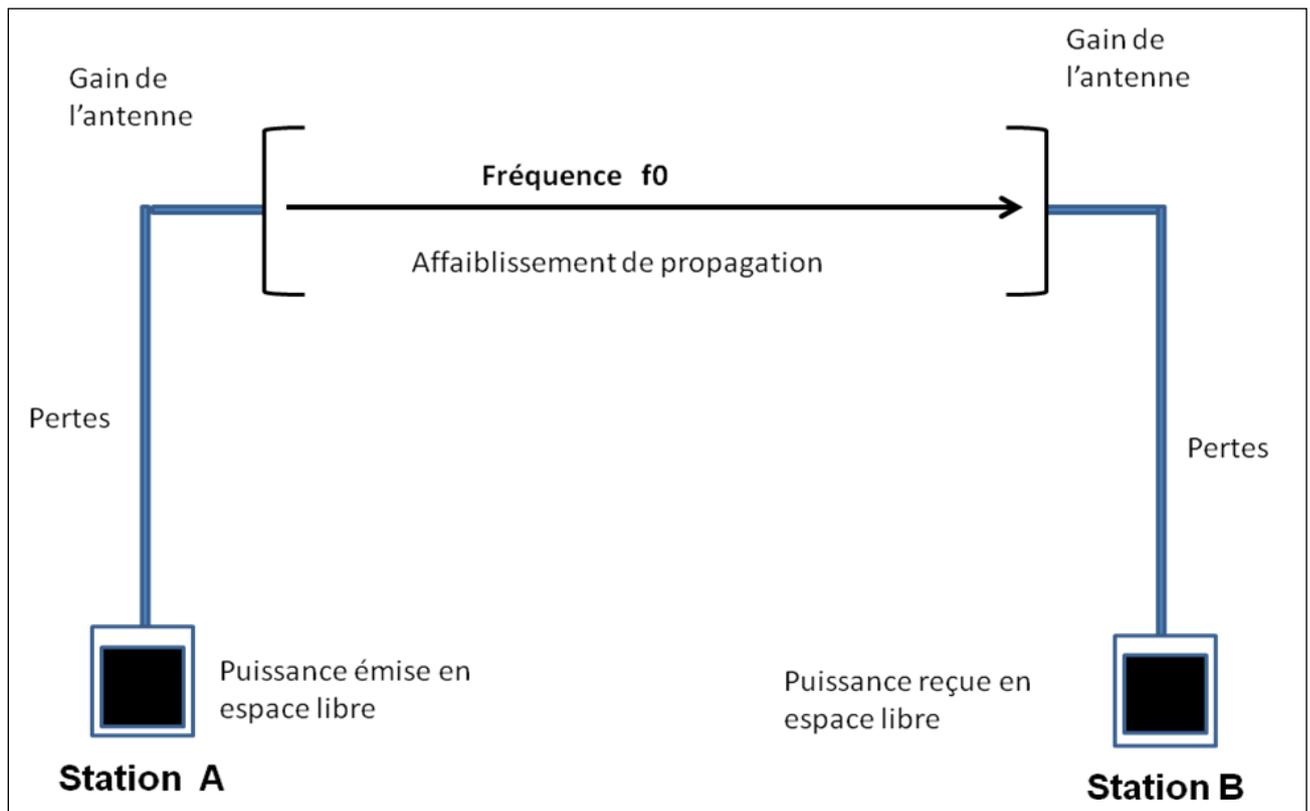
Figure III.3 : Réception en diversité d'espace

III.5 Introduction au calcul du bilan de liaison

a) Puissance reçue en espace libre :

La puissance reçue en espace libre est donnée comme suit :

Puissance reçue en espace libre (dBm) = Puissance de l'émetteur (dBm) – Somme des pertes dans les circuits de branchement et dans les guides d'ondes (dB) + Gain de l'antenne d'émission (dBi) + Gain de l'antenne de réception (dBi) – Affaiblissement d'espace libre (dB) - Affaiblissement dû à la diffraction (dB) - Affaiblissement dû aux gaz (dB).



b) Affaiblissement en espace libre :

L'Affaiblissement en espace libre est donné par la formule suivante :

$$A_0 = \frac{P_e}{P_r} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

$$A_0 \text{ (dB)} = 92,4 + 20 \log (d) + 20 \log (f)$$

Avec : **d** = Longueur de la liaison en Km ; **f** = Fréquence en GHz

P_e = Puissance émise ; **P_r** = Puissance reçue ; **λ** = Longueur d'onde

c) Puissance du bruit et seuil du récepteur :

Cette puissance est donnée par la relation : **P = F . log (K . T . B)** ; avec :

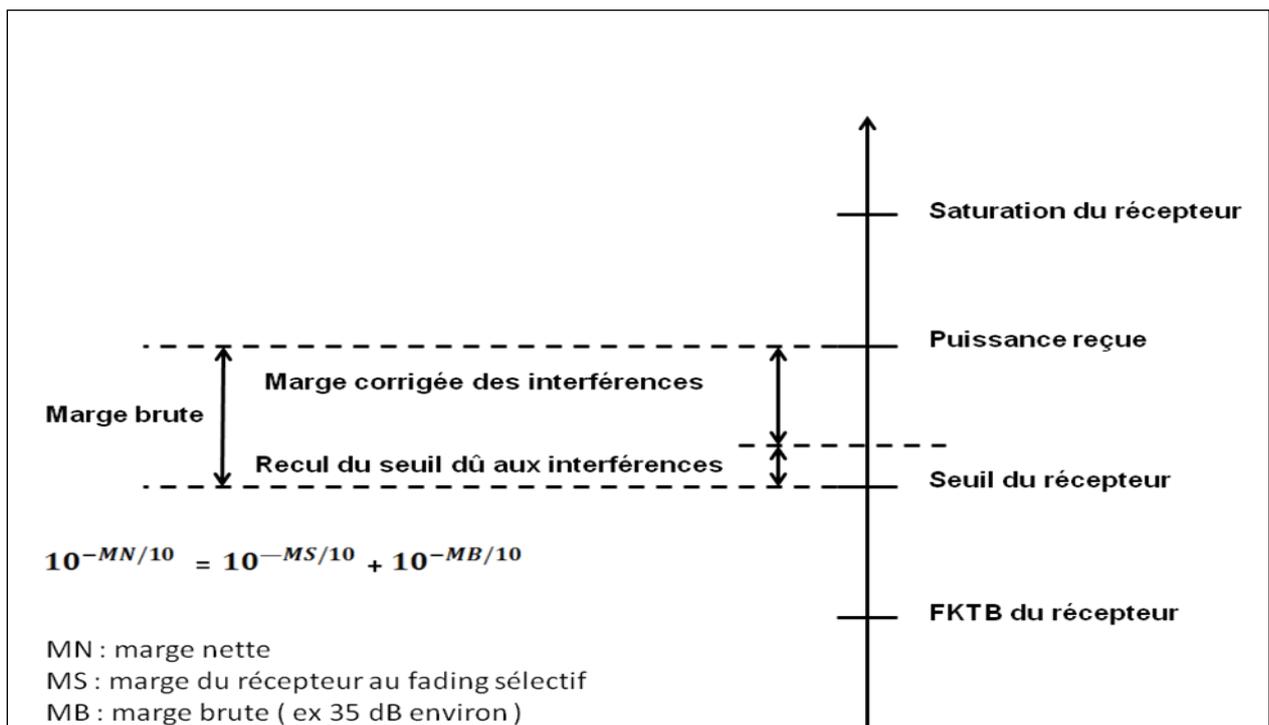
F = Facteur de bruit du récepteur

K = Constante de Boltzmann

T = Température ambiante

B = Largeur de bande

d) Marge brute, Marge nette et Marge Sélective :



Chapitre IV :
Configuration et Dimensionnement
du Backbone FHN de TIZI-OUZOU

IV.1 Description du réseau de télécommunications de la wilaya de TIZI-OUZOU

IV.1.1 Le réseau de commutation numérique

a) Description du réseau de commutation

Le réseau de commutation numérique de la wilaya de Tizi-Ouzou se compose d'un centre Combiné Local /Transit (CCL/T) fixe, d'un centre WLL, de trois (03) centres cœurs de chaîne fixes et de plusieurs Unités de Raccordement d'Abonnés Distants (URAD) de type :

- URAD pour les capacités allant de 1.000 lignes à 7.000 lignes ;
- RSS pour les petites capacités jusqu'à 512 abonnés ;

Ce réseau de commutation numérique, d'une capacité totale de 140.000 lignes se compose de cinq (05) centraux téléphoniques se répartissant comme suit :

- Un centre combiné local transit (CCL/T) à Tizi-Ouzou d'une capacité de 10.000 joncteurs et de 45.000 lignes d'abonnés dont 35.000 lignes en URAD. Les 10.000 joncteurs permettent d'écouler le trafic téléphonique engendré par l'ensemble des 140.000 lignes d'abonnés que compte la wilaya de Tizi-Ouzou vers les différentes destinations (trafic Intra Wilaya, National et International) ;
- Un centre de technologie WLL à Tizi-Ouzou d'une capacité de 25.000 lignes d'abonnés ;
- Un centre local à Larbaa Nath Irathen d'une capacité totale de 30.000 lignes dont 20.000 lignes en URAD et 2.700 joncteurs destinés à l'écoulement du trafic téléphonique des abonnés locaux et des URAD rattachées vers le CCL/T de Tizi-Ouzou à destination de tout le réseau national ;
- Un centre local à Azazga d'une capacité totale de 20.000 lignes dont 12.000 lignes en URAD et 1.500 joncteurs destinés à l'écoulement du trafic téléphonique des abonnés locaux et des URAD rattachées vers le CCL/T de Tizi-Ouzou à destination de tout le réseau national ;
- Un centre local à Draa El Mizan d'une capacité totale de 20.000 lignes dont 10.000 lignes en URAD et 1.200 joncteurs destinés à l'écoulement du trafic téléphonique des abonnés locaux et des URAD rattachées vers le CCL/T de Tizi-Ouzou à destination de tout le réseau national ;

b) Configuration actuelle du réseau de commutation

Le réseau de commutation numérique de la wilaya de Tizi-Ouzou est de configuration en « étoile » conçue autour d'un centre principal: le CCL/T de Tizi-Ouzou.

Ce centre principal (CCL/T) considéré comme le nœud de transit permet d'écouler les différents types de trafic à savoir :

- Le trafic local (trafic des abonnés qui lui sont rattachés) ;
- Le trafic intra wilaya (communications à l'intérieur de la wilaya de Tizi Ouzou) ;
- Le trafic national (trafic à destination du réseau téléphonique national) ;
- Le trafic international ;

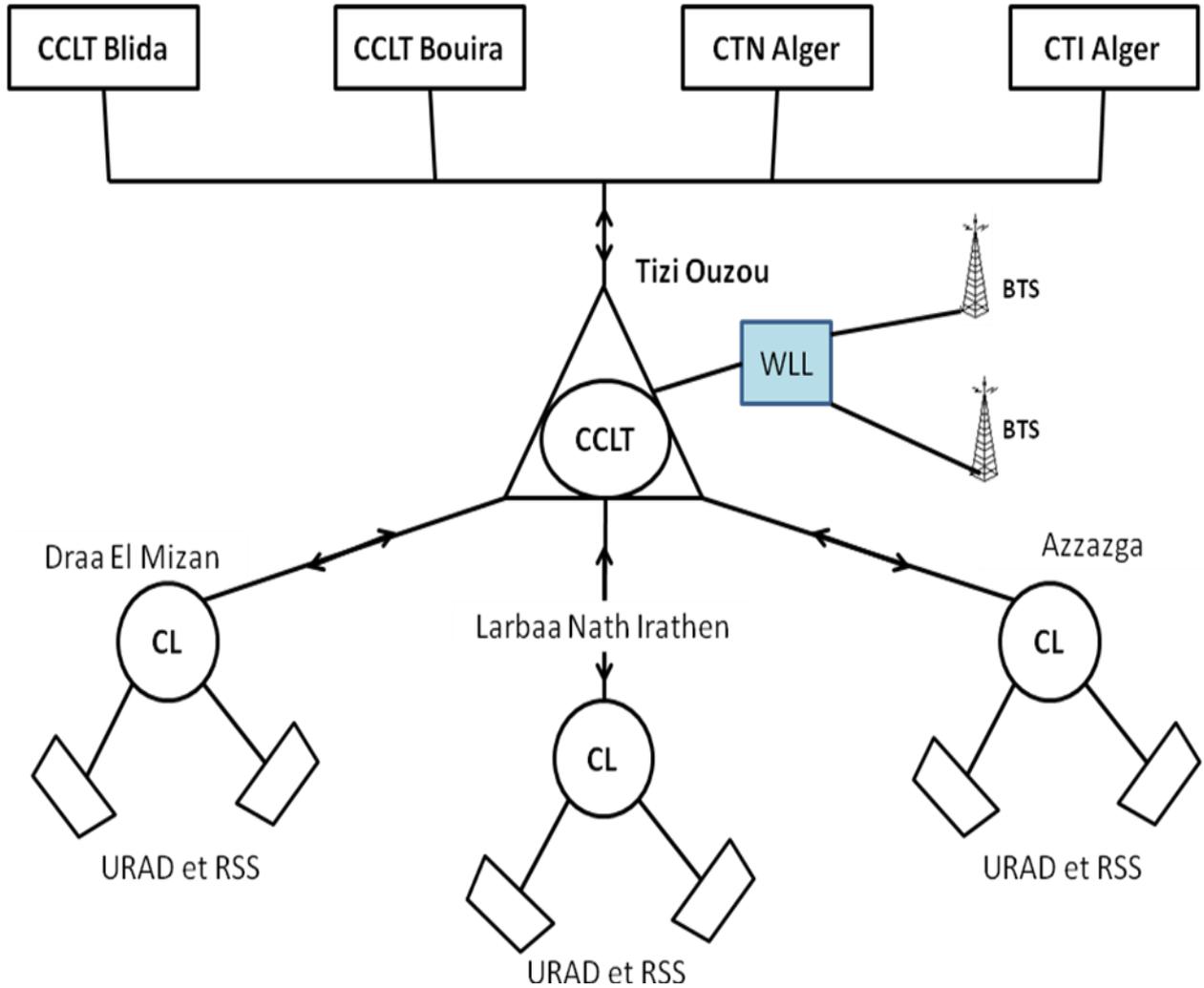
La configuration du réseau de commutation de la wilaya de Tizi Ouzou s'établit comme suit :

Centre	Relations avec les centres de la Wilaya
Tizi Ouzou CCL/T (45.000)	Tizi Ouzou (WLL) (25.000 L) Azzazga (20.000 L) Draa El Mizan (20.000 L) Larbaa Nath Irathen (30.000 L)

Chaque centre local a une relation directe avec le centre CCL/T de Tizi Ouzou pour l'écoulement du trafic généré par les abonnés reliés à chaque centre local.

Les communications inter centraux locaux se font à travers le niveau hiérarchique supérieur à savoir le centre de transit CCL/T de Tizi Ouzou.

Schéma de la configuration du réseau de commutation



Légende :

CCL/T : Centre Combiné Local /Transit

CL : Centre Local

URAD : Unité de Raccordement d'Abonnés Distants

RSS : URAD de petite capacité (inférieure à 1.000 abonnés)

WLL: Boucle Locale sans fil

CTN : Centre de Transit National

CTI : Centre de Transit International

IV.1.2 Le réseau de transmission existant

Le réseau de transmissions de la wilaya de Tizi - Ouzou se compose essentiellement de liaisons par faisceaux hertziens et de Fibres Optiques.

Vu son relief accidenté, le support de transmissions le plus répandu dans le réseau de la wilaya de Tizi - Ouzou reste quand même le Faisceau Hertzien (FHN) et la radio rurale.

Les liaisons par Faisceaux Hertziens Numériques de technologie PDH déclarée obsolète sont utilisées pour assurer les relations de grandes capacités (jusqu'à 34 Mbits/s) et la radio rurale pour les petites capacités allant jusqu'à huit (08) circuits.

L'interconnexion vers le réseau national de transmissions est réalisée en Fibre Optique et en faisceaux hertziens numériques vers Alger selon la configuration ci après.

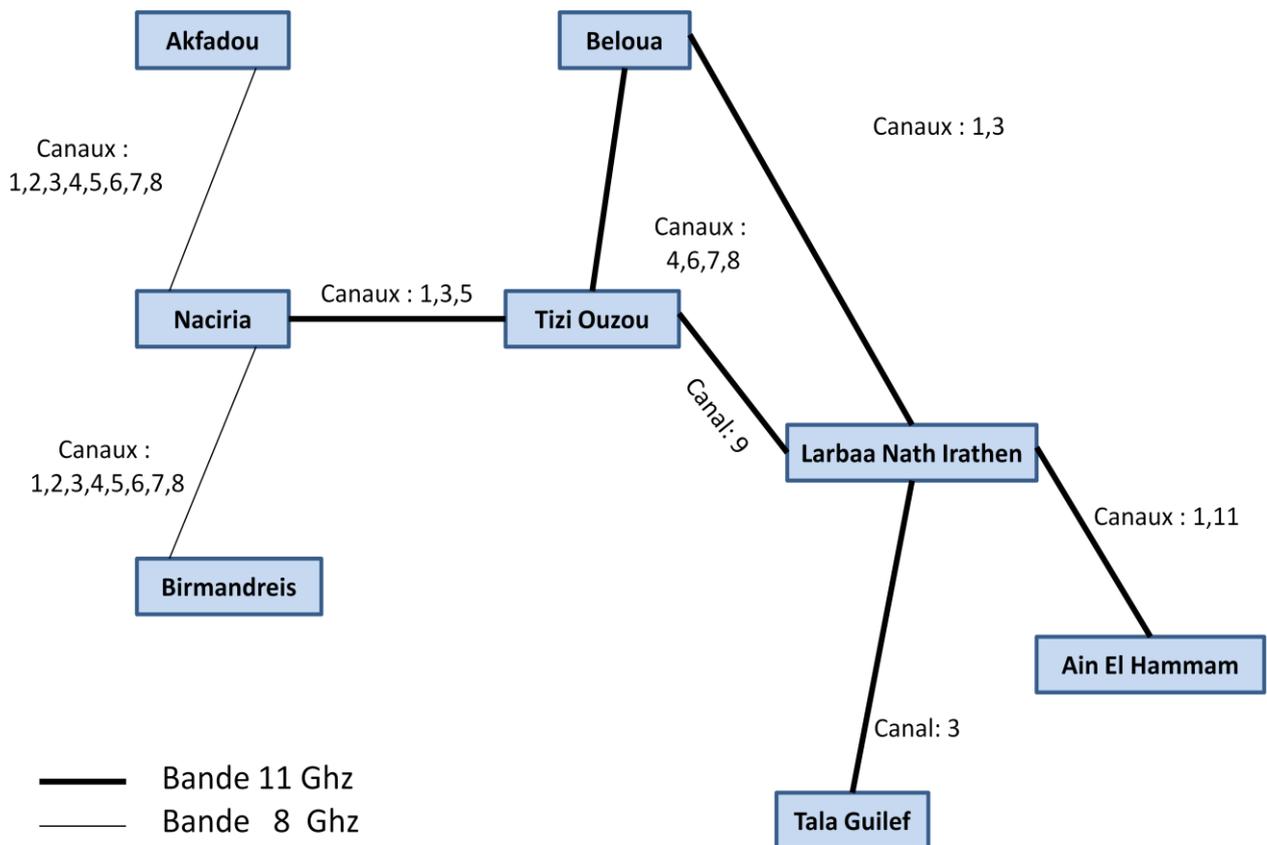


Figure IV.1 : Configuration du réseau de transmissions existant

IV.2 Mise en œuvre du projet Backbone FHN de TIZI-OUZOU

IV.2.1 Présentation du projet

Le présent projet de mise en œuvre d'un backbone par faisceaux hertziens numériques (FHN) dans la wilaya de Tizi Ouzou consiste en la réalisation d'un réseau de transmissions par faisceaux hertziens pour assurer la couverture totale de la wilaya d'une part et assurer la sécurisation de tout le réseau d'autre part.

En outre, ce projet doit être capable de s'interconnecter aux réseaux téléphoniques existants et futurs (réseaux fixe et mobile) afin de prendre en charge l'écoulement du trafic et le traitement des appels sans altérer ni affecter la voix, les données et la qualité de service.

IV.2.2 Etudes de faisabilité et d'ingénierie

Partant de la structure du réseau de transmissions par faisceaux hertziens numériques (FHN) existants, les études d'opportunité et de faisabilité ont montré que pour :

- Répondre aux nouveaux besoins en matière de services haut débit ;
- Assurer un bon fonctionnement du réseau de transmissions FHN avec une couverture globale de toute la wilaya de Tizi-Ouzou ;
- Assurer une sécurisation de tout le réseau de télécommunications de la wilaya de Tizi-Ouzou ;

Et surtout assurer une bonne qualité de service répondant à des normes précises type SLA, la mise en œuvre d'un backbone FHN de technologie SDH à 155 Mbits/s est une nécessité absolue et urgente à réaliser.

Les études d'ingénierie et de planification ont conduit à la sélection des différents sites de manière à arrêter une configuration du backbone adéquate qui puisse prendre en charge les besoins exprimés en matière de haut débit, de sécurité de tout le réseau et surtout assurer une bonne qualité de service. La configuration du backbone FHN retenue est donnée ci après à la figure IV.2.

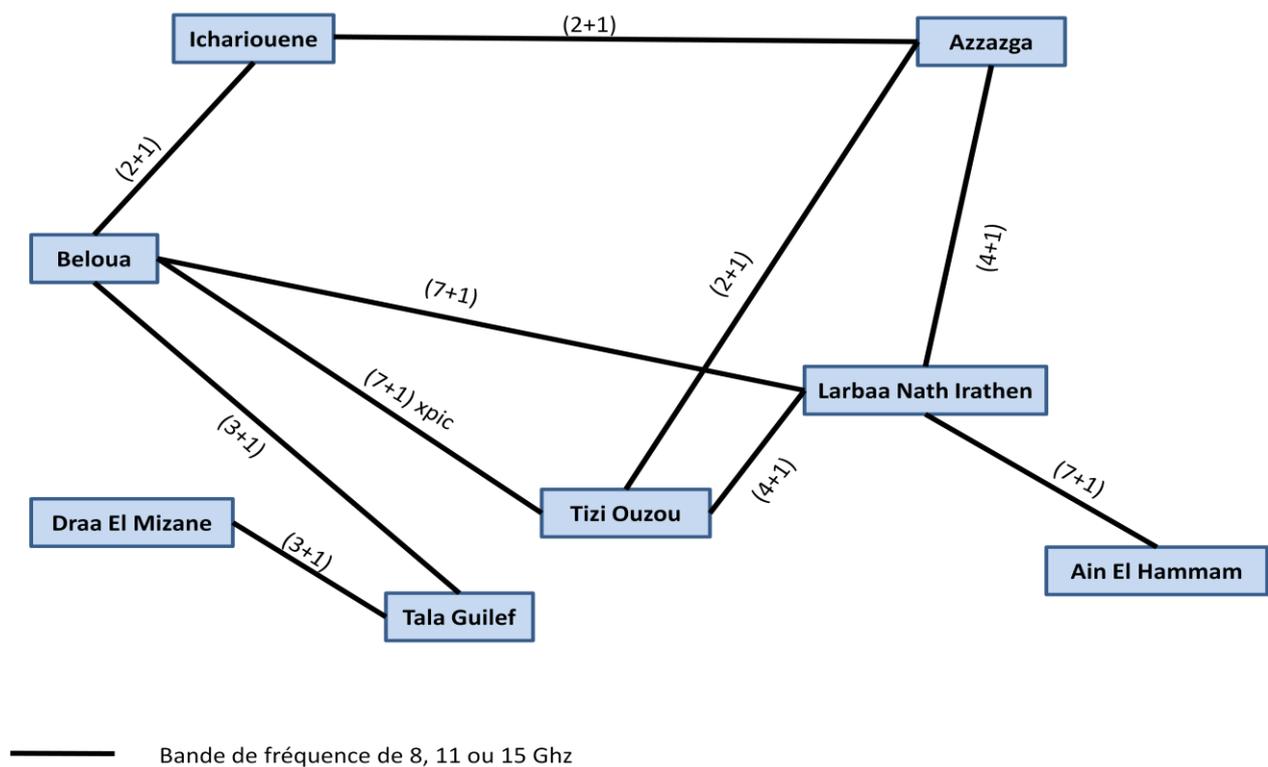


Figure IV.2 : Configuration du Backbone de transmissions FHN

IV.2.3 Etude et procédure de mise en œuvre du projet

- La mise en œuvre du projet consiste en :
- La définition des sites d’implantation des équipements radio ;
- L’évaluation des infrastructures existantes (locaux, pylônes...) ;
- L’évaluation des besoins en équipements de transmissions (TRX, ODU, IDU....) ;
- Les zones de couverture du projet ;
- La configuration cible du backbone ;
- Le dimensionnement et le calcul d’organes (nombre d’antennes, nombre de joncteurs, interfaces) .

Conformément aux études d'ingénierie menées, le choix des sites s'établit comme suit :

a) Equipements de transmissions et supervision

Ces équipements seront localisés au niveau du Centre d'Amplification (CA) de Tizi Ouzou lequel constitue le nœud principal de transmissions où aboutissent toutes les liaisons de transmissions nationales d'une part et il est en visibilité directe avec le site stratégique de BELOUA (Tizi Ouzou centre) d'autre part.

b) Equipements radio et antennes

Ces équipements seront localisés au niveau des sites de Beloua, Azazga, Larbaa Nath Irathen, Ain El Hammam, Tala Guilef, Ichariouène et Draa El Mizan.

Ces sites ont été choisis en fonction des résultats des études de sites (Site Survey) donnant leurs coordonnées géographiques comme suit :

SITE	LATITUDE				LONGITUDE				ALTITUDE (M)
	N	36	41	48,00	E	4	3	1,60	
Tizi Ouzou	N	36	41	48,00	E	4	3	1,60	120
Beloua	N	36	43	45,22	E	4	3	0,22	639
Laabaa Nath Irathen	N	36	38	23,00	E	4	11	59,34	919
Ain El Hammam	N	36	34	16,00	E	4	19	17,00	1236
Azazga	N	36	44	49,30	E	4	22	12,00	140
Ichariouène	N	36	49	41,00	E	4	7	34,00	383
Tala Guilef	N	36	28	41,00	E	3	59	50,00	270
Draa El Mizan	N	36	31	59,00	E	3	50	30,00	462
Naceria	N	36	41	26,90	E	3	50	33,40	887

Tableau IV.1: Coordonnées géographiques des sites

IV.2.4 Composition du Backbone

Le backbone se compose de trois liaisons principales et de trois liaisons secondaires.

Liaisons principales	Tizi Ouzou vers Beloua Tizi Ouzou vers Azazga Tizi Ouzou vers Larbaa Nath Irathen
Liaisons Secondaires	Beloua vers Azazga Beloua vers Draa El Mizan Beloua vers Larbaa Nath Irathen

Tableau IV.2 : Composition du Backbone

IV.3 Paramètres de dimensionnement

IV.3.1 Données d'Ingénierie et de Dimensionnement

Les données d'ingénierie et de dimensionnement à prendre en considération sont résumées dans le tableau ci après :

PARAMETRES	DONNEES
Nombre d'abonnés	140.000
Durée moyenne d'un appel	120 s
Trafic par abonné	0,15 E
Pourcentage de surcharge de trafic	30 %
Rendement d'un circuit	80 %

Tableau IV.3 : Paramètres de dimensionnement

Le trafic téléphonique est défini comme étant le produit du nombre d'appels effectués et de la durée moyenne de l'appel en une heure (3.600 secondes). Il permet d'évaluer l'occupation optimale d'un circuit.

IV.3.2 Résultats du dimensionnement et du calcul d'organes

Chaque centre génère un trafic téléphonique. Partant des données d'ingénierie précédemment données au chapitre " Paramètres de Dimensionnement " notre étude à consisté en le calcul dans une première étape :

- Du trafic par abonné avec une surcharge ;
- Du trafic total généré par centre ;
- Du nombre de circuits ou joncteurs ;
- Du nombre d'interfaces E1 ;
- Du nombre d'interfaces STM-1 ;

Les résultats du dimensionnement sont consignés dans le tableau ci - après :

Centre	Nombre d'abonnés	Trafic par abonné	Surcharge de trafic	Trafic généré	Nombre de circuits	Interfaces E1	Interfaces STM-1
Tizi ousou CCL/T	45.000	0,15 E	30 %	8.775	7.020	234	4
Tizi Ouzou WLL	25.000	0,15 E	30 %	4.875	3.900	130	3
Larbaa Nath Irathen	30.000	0,15 E	30 %	5.850	4.680	156	3
Azazga	20.000	0,15 E	30 %	3.900	3.120	104	2
Draa El Mizan	20.000	0,15 E	30 %	3.900	3.120	104	2
Total	140.000	-	-	27.300	21.840	728	14

Tableau IV.4 : Résultats du dimensionnement

La deuxième étape a consisté en l'élaboration de la matrice d'exploitation des interfaces STM-1 du backbone FHN. La matrice d'exploitation est donnée ci après :

SITES	TIZI OUZOU	LARBBA NATH IRATHEN	AIN EL HAMMAM	AZAZGA	BELOUA	DRAA EL MIZAN
TIZI OUZOU		6	5	4	2	3
LARBAA NATH IRATHEN	6		2	4	-	-
AIN EL HAMMAM	5	2		-	-	-
AZAZGA	4	4	-		-	-
BELOUA	2	-	-			-
DRAA EL MIZAN	3	-	-	-	-	
Total	20	12	7	8	2	3

Tableau IV.5 : Matrice d'exploitation

IV.4 Plan d'exploitation des fréquences

L'exploitation du backbone de transmissions par faisceaux hertziens numériques (FHN) de technologie SDH à 155 Mbits/s de la wilaya de Tizi-Ouzou sera réalisée conformément au plan de fréquences en vigueur au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou dont le fonctionnement est assuré soit dans la bande de fréquences 8 GHz ou soit dans la bande de fréquences 11 GHz.

Les liaisons existantes déjà en exploitation dans la bande de fréquences 8 GHz seront basculées sur le backbone et exploitées dans la même bande de fréquences soit 8 GHz et les liaisons existantes déjà en exploitation dans la bande de fréquences 11 GHz seront basculées sur le backbone et exploitées dans la même bande de fréquences soit 11 GHz .

A cet effet, il convient d'optimiser l'utilisation du spectre radioélectrique, c'est-à-dire de trouver, des méthodes qui permettent de transmettre le maximum d'informations sur un trajet donné, avec la bande la plus étroite possible et des brouillages acceptables.

IV.4.1 Calcul des différentes fréquences

L'exploitation des liaisons dans les bandes de fréquences de 8 GHz et de 11 GHz se fait selon les recommandations de l'UIT : Rec. ITU-R F. 386 – 6 pour la bande de fréquences 8 GHz et

Rec. ITU-R F. 387 – 9 pour la Bande de fréquences 11 GHz.

Ces recommandations permettent d'élaborer le plan d'exploitation des fréquences, le calcul des différentes fréquences est obtenu à partir des formules données ci après :

Rec. ITU - R F. 386–6 : Bande 8 GHz	Rec. ITU - R F. 387–9 : Bande 11 GHz
$f_n = f_0 - 281,95 + 29,65 n$ $f'_n = f_0 + 29,37 + 29,65 n$ $f_0 = 8.000 \text{ MHz}$ $n = 1, 2, 3,4, 5, 6, 7, 8$	$f_n = f_0 - 525 + 40 n$ $f'_n = f_0 + 5 + 40 n$ $f_0 = 11.200 \text{ MHz}$ $n = 1, 2, 3,4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$

Avec :

f₀ = Fréquence centrale de la bande utilisée ;

f_n = Fréquence centrale de l'un des canaux radioélectriques dans la demi bande inférieure de la bande utilisée ;

f'_n = Fréquence centrale de l'un des canaux radioélectriques dans la demi bande supérieure de la bande utilisée.

De ce qui précède, le plan de fréquences s'établit comme suit :

Bande des 8 GHz			Bande des 11 GHz		
Canal	fn	f'n	Canal	fn	f'n
1	7.747,70	8.059,02	1	10.715	11.245
2	7.777,35	8.088,67	2	10.755	11.285
3	7.807,00	8.118,32	3	10.795	11.325
4	7.836,65	8.147,97	4	10.835	11.365
5	7.866,30	8.177,62	5	10.875	11.405
6	7.895,95	8.207,27	6	10.915	11.445
7	7.925,60	8.236,92	7	10.955	11.485
8	7.955,25	8.266,57	8	10.995	11.525
-	-	-	9	11.035	11.565
-	-	-	10	11.075	11.605
-	-	-	11	11.115	11.645
-	-	-	12	11.155	11.685

Tableau IV.6 : Plan de fréquences

IV.4.2 Description du plan d'exploitation de fréquences

Afin d'assurer une cohérence dans la réalisation du backbone et pour réduire les possibilités de brouillage, il est nécessaire d'organiser la disposition des canaux radioélectriques en demi bande afin d'éviter tout danger de brouillage d'émission sur la réception par couplage dans une même station, on a intérêt à :

- Grouper tous les canaux radioélectriques servant à l'émission ;
- Grouper tous les canaux radioélectriques servant à la réception ;

- Eloigner ces deux groupes de canaux radioélectriques de telle façon qu'ils puissent être séparés par filtrage ;

On obtient ainsi la configuration : les canaux radioélectriques 1, 2, 3, ..., n constituent la demi bande inférieure (basse) et les canaux radioélectriques 1', 2', 3', ..., n' constituent la demi bande supérieure (haute). Chaque station émet dans une demi - bande et reçoit dans l'autre demi-bande.

On peut obtenir d'excellents résultats en alternant les polarisations des ondes émises : sur un bond de transmissions donné dans un sens si le canal radioélectrique n°1 est émis en polarisation horizontale (H), le canal n°2 est émis en polarisation verticale (V) comme suit :

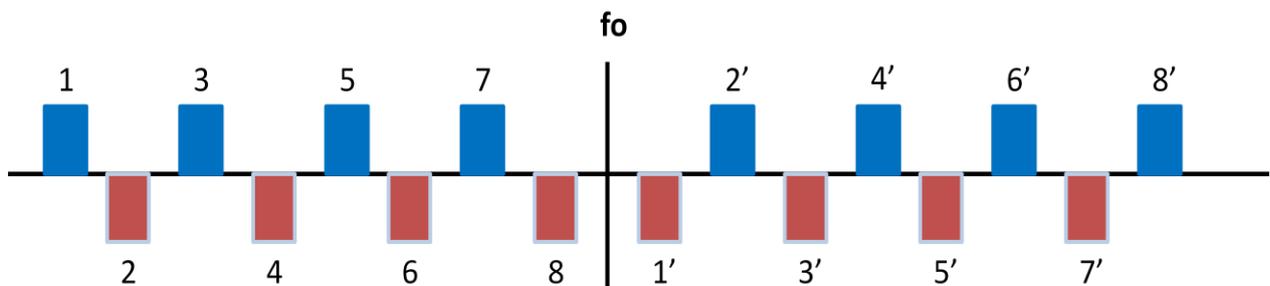


Figure IV.3 : Agencement d'un plan de fréquences

La mise en service du plan de fréquences sera réalisée conformément au plan de fréquences en exploitation et en vigueur dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Ce plan de fréquences sera mis en exploitation comme suit :

a) Liaison à 8 GHz

Beloua– Larbaa Nath Irathen (7+1) : Utilisation des canaux 1, 3, 5,7 en polarisation horizontale (H) et 2, 4, 6,8 polarisation verticale (V) ;

Beloua – Tala Guilef (3+1) : Utilisation des canaux 1,3 en polarisation verticale (V) et 2,4 en polarisation horizontale (H) ;

Larbaa Nath Irathen – Azaga (4+1) : Utilisation des canaux 1, 2, 3, 4,5 en polarisation

verticale (V) ;

Azazga–Ichariouène (2+1) : Utilisation des canaux 1,3 en polarisation horizontale (H) et 2 en

polarisation verticale (V) ;

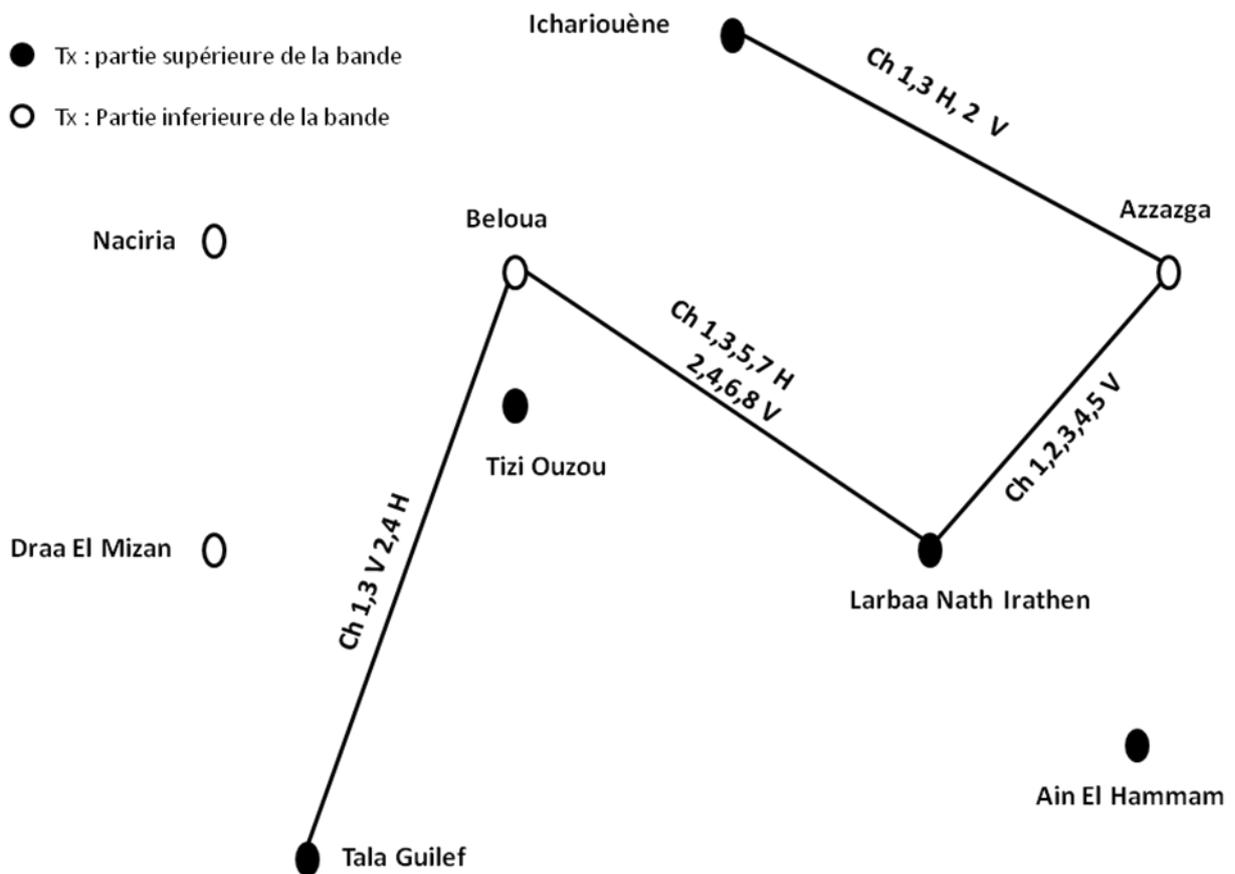


Figure IV.4 : Plan de fréquences 8 GHz

b) Liaison à 11 Ghz

Beloua–Ichariouène et Tizi Ouzou–Azazga : Utilisation des canaux 10 et 12 en polarisation verticale (V) et 11 en polarisation horizontale (H) ;

Beloua–Tizi Ouzou (7+1) XPIC : Utilisation des canaux 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8 en double polarisation

verticale (V) et horizontale (H) ;

Tizi Ouzou–Larbaa Nath Irathen (4+1) : Utilisation des canaux 1, 2, 3, 4,5 en polarisation verticale (V) ;

Larbaa Nath Irathen–Ain El Hammam (7+1) : Utilisation des canaux 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8 en polarisation verticale (V) ;

Draa El Mizan–Tala Guilef (3+1) : Utilisation des canaux 1, 3 en polarisation verticale (V) et 2,4 en polarisation horizontale (H) ;

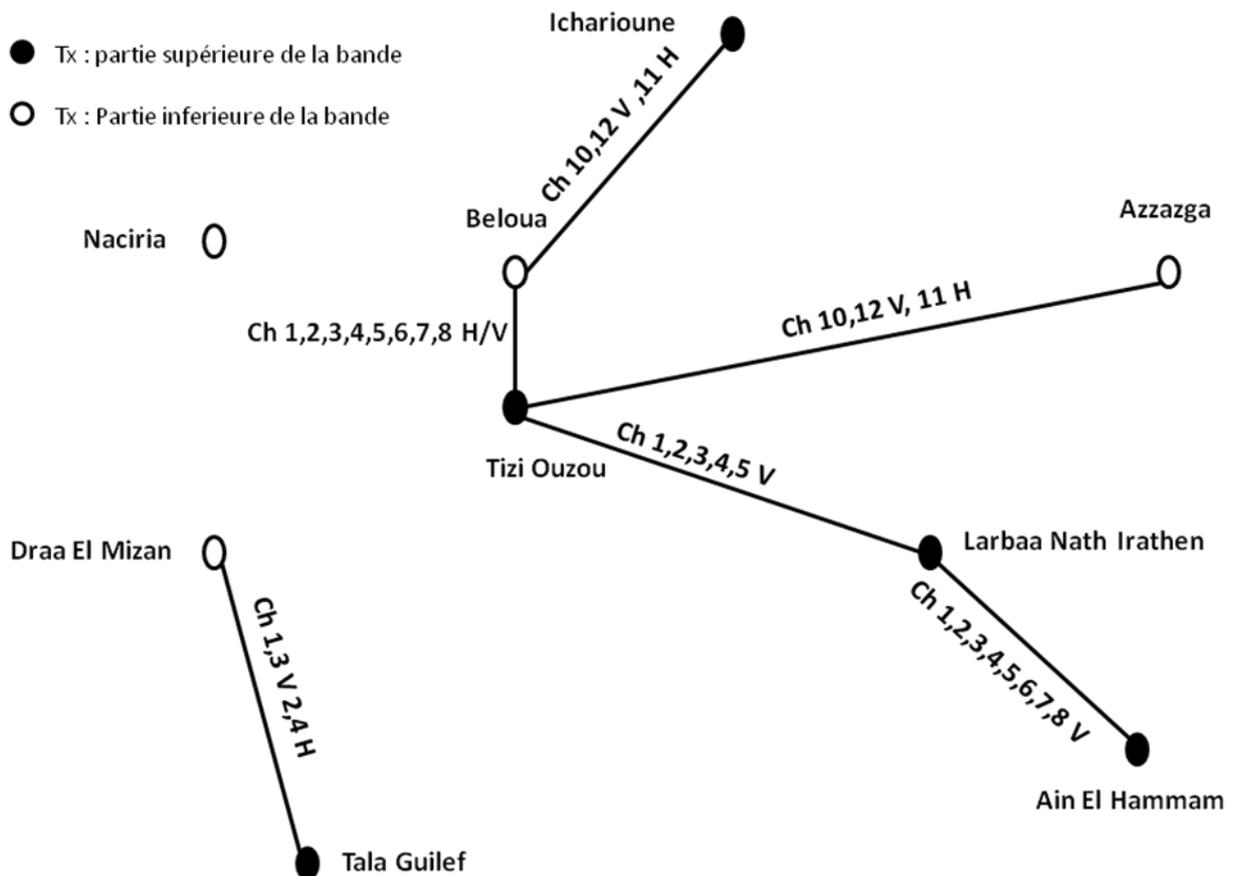


Figure IV.5 : Plan de fréquences 11 GHz

IV.5 Bilan de liaison

C'est un fait connu, que les choses de la vie sont limitées, ceci s'applique aussi à la portée des liaisons radio.

Le but principal d'une liaison radio est de transporter du trafic voix et données d'un point à l'autre. La liaison radio utilise l'air comme moyen de transport pour envoyer des ondes électromagnétiques codées.

Lors des études d'ingénierie et de planification, il est important d'utiliser des coupes de terrain. Ce sont des dessins montrant les obstacles relevés entre les sites. Sur ce dessin on superpose la zone de Fresnel pour déterminer les hauteurs d'antenne.

Le bilan de liaison a pour objectif de résoudre au mieux les problèmes de réflexion afin d'optimiser les performances pour toutes les conditions de propagation qui peuvent se présenter.

A cet effet, le bilan consiste à définir les objectifs de performance en termes de qualité de service et de disponibilité, d'une part, puis de déterminer les caractéristiques des équipements à mettre en œuvre pour les atteindre d'autre part.

L'une des performances les plus importantes à satisfaire pour assurer un bon fonctionnement d'une liaison radio par faisceaux hertziens numériques (FHN) est la disponibilité globale du système de télécommunications. Cette disponibilité en règle générale se répartit en trois parties distinctes à savoir :

- La partie liée aux aléas de propagation des ondes électromagnétiques ;
- La partie liée au brouillage et aux interférences ;
- La partie liée à la fiabilité des équipements et des matériels ;

Enfin le bilan de liaison complet du backbone "bond de liaison par bond de liaison" est donné en annexe. Ce bilan de liaison a été élaboré grâce aux outils d'ingénierie et de planification PATHLOSS et PEGASUS. Toutefois à titre d'illustration le bilan de liaison du bond Tizi-Ouzou – Larbaa Nath Irathen est donné ci-après :

Bilan de liaison : Bond TIZI OUZOU-LNI

Tizi-Ouzou

LNI

Coordinates [deg]	36.4147N 4.0304E
Site Level [masl]	136
	Main Space
Feeder Length [m]	84
Feeder type	EW 90
Antenna Height [magl]	30
Antenna Type	ARTA-12HXP107
Antenna Gain [dB]	41,2
XPD [dB]	36
Feeder Loss [dB]	8,4
Receiver Level (B) [dBm]	-42,5
Fading Margin	
SES [dB]	29,5
Fading Margin	
DM [dB]	28,5

Coordinates [deg]	36.3817N 4.1200E
Site Level [masl]	942
	Main Space
Feeder Length [m]	64
Feeder type	EW 90
Antenna Height [magl]	30
Antenna Type	ARTA-20HXP107
Antenna Gain [dB]	45,5
XPD [dB]	36
Feeder Loss [dB]	6,4
Receiver Level (B) [dBm]	-42,5
Fading Margin	
SES [dB]	29,5
Fading Margin	
DM [dB]	28,5

Path data

Distance [km]	14,8
Path Type	inland
Terrain Type	hills
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	54,4
Fading occurrence factor P0 [%]	0,0
Path Latitude [deg]	36,4
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'Tizi Ouzou' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	137,1
Other loss [dB]	0,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METROLH-SP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	10.7 - 11.7
Configuration	4+1
Tx Power (B') [dBm]	25,0
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	2,2
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-72,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,2E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	64 BW40
Frequency Diversity [MHz]	40
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000042
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvement factor SES	1
Total diversity improvement factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000043
Total multipath outage SES [min:sec]	00:01,1
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000695
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:03:39
Availability H-pol [%]	99,999305
Unavailability V-pol [%]	0,000349
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:01:50
Availability V-pol [%]	99,999651
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Conclusion générale

Le travail qui nous a été confié a consisté en l'étude pour la mise en œuvre d'un backbone de transmissions par faisceaux hertziens numériques (FHN) dans la wilaya de Tizi Ouzou.

Le but principal d'une liaison radio est de transporter du trafic voix et données d'un point à l'autre.

La liaison radio utilise l'air comme moyen de transport pour envoyer des ondes électromagnétiques codées.

L'ingénierie d'un réseau radio électrique constitue la tâche la plus importante et la plus sensible à concevoir lors du déploiement d'un backbone, elle conditionne de façon significative la qualité de service offerte aux utilisateurs du backbone.

L'opérateur doit d'abord assurer une couverture radio de toute la wilaya selon les objectifs arrêtés dans le cahier des charges techniques, de garantir une qualité de service (QoS) de standard international (normes SLA, GTR, IMS...) aux utilisateurs et surtout d'assurer une disponibilité du réseau à 99,999 %.

La mise en œuvre du projet a été menée conformément aux conditions du cahier des charges techniques.

En effet, s'agissant d'un projet de transmissions radio (FHN), les études se sont déroulées comme suit :

- Pré-étude et dimensionnement ;
- Etudes de sites (Site Survey) ;
- Etude de réseau ;
- Proposition du réseau ;
- Mise en œuvre du réseau du backbone.

Il ya lieu de constater que contrairement aux projets faisant appel à des supports de transmissions sur câble (fibre optique), la nouveauté dans ce projet consiste à réaliser d'abord les études de sites (Site Survey) avant de procéder au dimensionnement et le calcul d'organes.

Enfin, au cours de notre stage pratique effectué sur l'étude de sites (Site Survey), nous nous sommes rendues compte que la transmission par faisceaux hertziens numériques (FHN) est sujette aux contraintes de perturbations liées à la propagation en espace libre, aux phénomènes de réflexion des ondes, aux interférences et surtout aux contraintes dues aux obstacles tels que : Végétation, Montagnes, Immeubles et divers autres obstacles.

Annexes

Le modèle de référence OSI de ISO (international standard organization) :

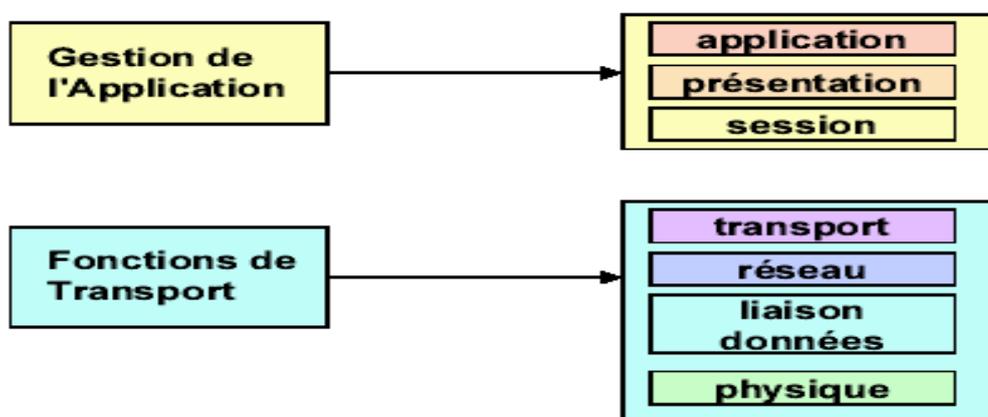
Au début des années 70, chaque constructeur a développé sa propre solution réseau autour d'architecture et de protocoles privés et il s'est vite avéré qu'il serait impossible d'interconnecter ces différents réseaux si une norme internationale n'était pas établie.

Cette norme établie par l'international standard organization (ISO) est la norme open system interconnexion (OSI, interconnexion de systèmes ouverts).

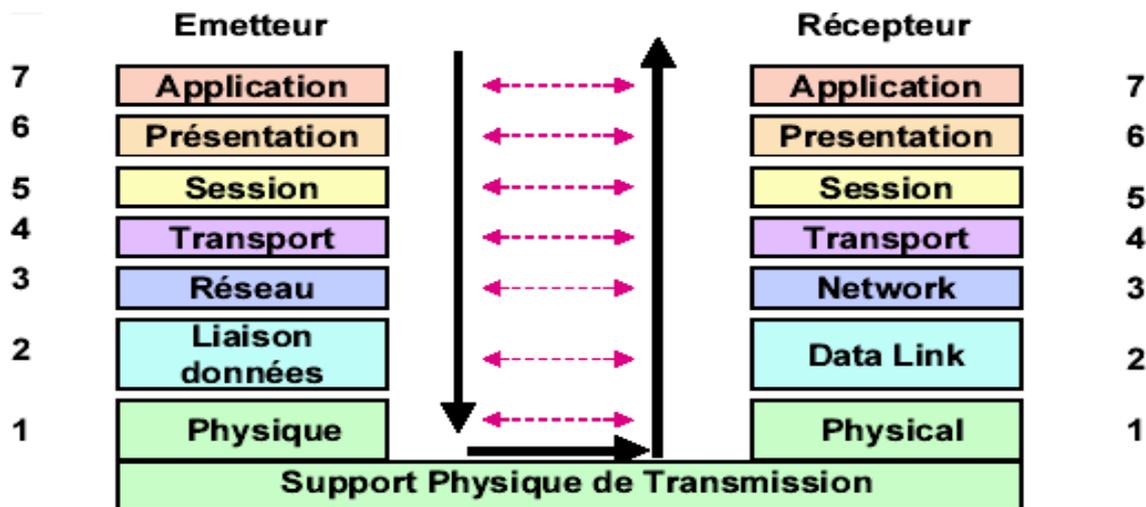
Un système ouvert est un ordinateur, un terminal, un réseau, n'importe quel équipement respectant cette norme et donc apte à échanger de l'information avec d'autres équipements hétérogènes et issus de constructeurs différents.

Le premier objectif de la norme OSI a été de définir un modèle de toute architecture de réseau basé sur découpage en sept couches, chacune de ces couches correspondant à une fonctionnalité particulière d'un réseau.

Les couches 1, 2, 3 et 4 sont dites basses et les couches 5, 6 et 7 sont dites hautes.



Le model OSI



Le model OSI en détail

La couche physique :

Cette couche définit les caractéristiques techniques, électriques, fonctionnelles et les procédures nécessaires à l'activation et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de liaisons de données.

La couche liaison :

Cette couche définit les moyens fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation et à l'établissement ainsi qu'au maintien et à la libération des connexions de liaisons de données entre les entités du réseau.

Cette couche détecte et corrige, quand cela est possible, les erreurs de la couche physique et signale à la couche réseau les erreurs irrécupérables.

La couche réseau :

Cette couche assure toutes les fonctionnalités de services entre les entités du réseau, c'est à dire : l'adressage, le routage, le contrôle de flux, la détection et la correction d'erreurs non résolues par la couche liaison pour préparer le travail de la couche transport.

La couche transport :

Cette couche définit un transfert de données entre les entités en les déchargeant des détails d'exécution (contrôle entre l'OSI et le support de transmission).

Son rôle est d'optimiser l'utilisation des services de réseau disponibles afin d'assurer à moindre coût les performances requise par la couche session.

La couche session :

Cette couche fournit aux entités de la couche présentation les moyens d'organiser et de synchroniser les dialogues et les échanges de données.

Il s'agit de la gestion d'accès, de sécurité et d'identification des services.

La couche présentation :

Cette couche assure la transparence du format des données à la couche application.

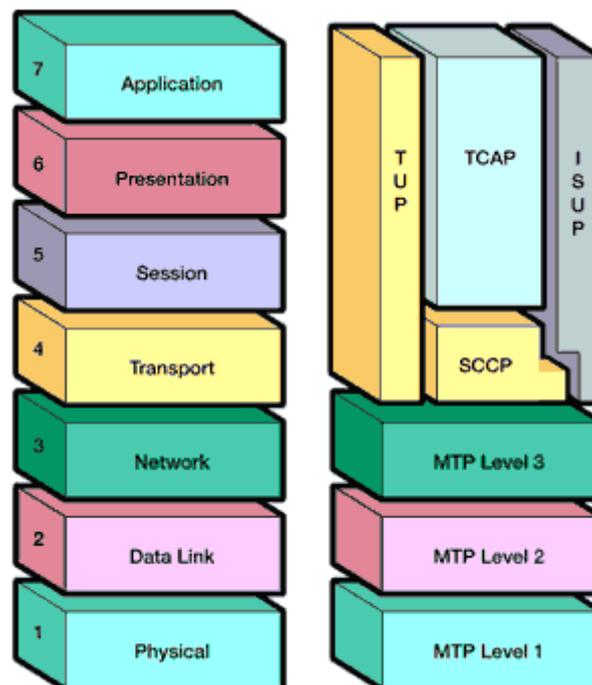
La couche application :

Cette couche assure aux processus d'application le moyen d'accès à l'environnement OSI et fournit tout les services directement utilisables par l'application (transfert e données, allocation de ressources, intégrité et cohérence des informations, synchronisation des applications).

Pile du protocole SS7 :

Les fonctions matérielles et logicielles du protocole SS7 sont réparties suivant des couches. Le schéma suivant représente ces différentes couches. La couche MTP1, définit les caractéristiques physiques, électriques, et fonctionnelles du lien de signalisation numérique.

La couche MTP2 définit les fonctions et les procédures relatives au transfert du message de signalisation sur un lien de signalisation. Elle implémente un contrôle de flux, vérifie l'ordre séquentiel des messages, détecte les erreurs. Lors d'une erreur, le message est retransmis. La couche MTP3 fournit la commutation des messages entre les nœuds du réseau SS7



Pile du protocole SS7

ISDN User Part (ISUP) – définit le protocole et les procédures employées pour établir, gérer et rompre des circuits de commutation qui acheminent la parole et les données entre commutateurs. L'ISUP est utilisé pour le RNIS et la téléphonie, ainsi que d'autres types de communications. Les appels qui commencent et se terminent sur le même commutateur n'emploient pas la signalisation ISUP. Les principaux messages sont les suivants :

- Le message IAM, (Initial Address Message), est le message d'appel téléphonique ; il contient les numéros de l'appelé et de l'appelant, et des informations complémentaires ;
- le message ACM, *Address Complete Message*, signifie que le poste du demandé sonne ;
- Le message ANM, (ANswer Message), signifie que le demandé a décroché ;
- Le message REL, (Release Message), signifie que le demandé ou le demandeur a raccroché ;
- Le message RLC, (Release Complet), signifie que les libérations des circuits nécessaires après le raccroché ont été effectuées ;

TUP (Telephone User Part) – le protocole TUP gère les fonctions de base pour la téléphonie uniquement. Le TUP manipule les circuits analogiques seulement ; de ce fait le TUP se voit de plus en plus, remplacé par L'ISUP

SCCP (Signaling Connection Control Part) ou SSCS (Sous-Système de Connexions Sémaphores) assure des fonctions supplémentaires à MTP3 pour transférer des informations de signalisation en mode avec ou sans connexion. Tandis que la couche MTP3 fournit des codes de point pour permettre à des messages d'être adressés aux points de signalisation spécifiques, SCCP fournit des nombres de sous-ensemble pour permettre à des messages d'être adressés aux applications spécifiques (appelées les sous-ensembles) à ces points de signalisation. SCCP est employé en tant que la couche transport pour TCAP - services basés tels que le free-phone (800/888), la télécarte, la portabilité locale de nombre, et les services personnels de communications (PCS). SCCP fournit également les moyens par lesquels un STP peut effectuer la traduction de titre global (GTT), un procédé par lequel le point de signalisation de destination et le nombre de sous-ensemble (SSN) est déterminé à partir des chiffres présents dans le message de signalisation.

TCAP (Transactions Capabilities Applications Part) ou SSGT (Sous-Système de Gestion de Transactions) fournit un support de communication aux applications interactives dans un environnement distribué. TCAP permet le déploiement des services de réseau intelligents avancés

en soutenant l'échange de l'information reliée par circuit entre les points de signalisation en utilisant le service sans connexion de SCCP. Un SSP emploie TCAP pour questionner un SCP pour déterminer les nombres de cheminement liés à un numéro 800, 888, ou 900 composé. Les fonctions TCAP de SCP sont de renvoyer une réponse contenant les nombres de cheminement (ou une erreur, ou rejeter le composant) de nouveau aux appels de télécarte d'espèce sont également validées en utilisant des messages de question et de réponse de TCAP. Dans le cas de réseaux mobiles (IS-41 and GSM), TCAP transporte les messages MAP (Mobile Application Part) échangés entre MSCs pour assurer les fonctions d'identification, authentification et localisation de mobiles ; ainsi que le roaming.

Bilans de liaisons de tous les bonds

Bilan de liaison : Bond BELOUA - LNI

	Beloua	LNI
Coordinates [deg]	36.4400N 4.0259E	36.3817N 4.1200E
Site Level [masl]	673	942
	Main Space	Main Space
Feeder Length [m]	35	50
Feeder type	EW 77	EW 77
Antenna Height [magl]	30	30
Antenna Type	ARTA- 20HXP77	ARTA- 20HXP77
Antenna Gain [dB]	42,2	42,2
XPD [dB]	36	36
Feeder Loss [dB]	2,0	2,9
Receiver Level (B) [dBm]	-30,1	-30,1
Fading Margin SES [dB]	40,4	40,4
Fading Margin DM [dB]	39,4	39,4

Path data

Distance [km]	17,1
Path Type	inland
Terrain Type	hills
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	15,7
Fading occurrence factor P0 [%]	0,1
Path Latitude [deg]	36,4
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'Beloua' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	135,4
Other loss [dB]	0,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METROLH-DP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	7.725 - 8.275
Configuration	7+1
Tx Power (B') [dBm]	27,5
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	1,8
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-70,5
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,4E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	128 BW28
Frequency Diversity [MHz]	28
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000001
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvement factor SES	7
Total diversity improvement factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000002
Total multipath outage SES [min:sec]	00:00,0
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000001
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:00:00
Availability H-pol [%]	99,999999
Unavailability V-pol [%]	0,000001
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:00:00
Availability V-pol [%]	99,999999
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Bilan de liaison: Bond LNI - AZAZGA

LNI		Azazga	
Coordinates [deg]	36.3817N 4.1200E	36.4444N	4.2217E
Site Level [masl]	942	424	
	Main Space	Main Space	
Feeder Length [m]	59	41	
Feeder type	EW 77	EW 77	
Antenna Height [magl]	30	30	
Antenna Type	ARTA-20HXP77	ARTA-20HXP77	
Antenna Gain [dB]	42,2	42,2	
XPD [dB]	36	36	
Feeder Loss [dB]	3,4	2,4	
Receiver Level (B) [dBm]	-33,3	-33,3	
Fading Margin SES [dB]	35,7	35,7	
Fading Margin DM [dB]	34,7	34,7	

Path data

Distance [km]	19,4
Path Type	inland
Terrain Type	hills
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	26,7
Fading occurrence factor P0 [%]	0,1
Path Latitude [deg]	36,4
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'LNI' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	136,5
Other loss [dB]	0,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METROLH-SP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	7.725 - 8.275
Configuration	4+1
Tx Power (B') [dBm]	27,5
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	3,0
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-69,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,8E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	128 BW28ACCP
Frequency Diversity [MHz]	28
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000013
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvement factor SES	3
Total diversity improvement factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000014
Total multipath outage SES [min:sec]	00:00,4
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000005
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:00:02
Availability H-pol [%]	99,999995
Unavailability V-pol [%]	0,000001
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:00:00
Availability V-pol [%]	99,999999
Customized Availability Objective [%]	99,999000

BILAN DE LIAISON : BOND LNI - AIN EL HAMMAM

	LNI		AinElHammam
Coordinates [deg]	36.3817N 4.1200E		36.3416N 4.1917E
Site Level [masl]	942 Main Space		1207 Main Space
Feeder Length [m]	60		49
Feeder type	EW 90		EW 90
Antenna Height [magl]	30 ARTA-		30 ARTA-
Antenna Type	20HXP107		12HXP107
Antenna Gain [dB]	45,5		41,2
XPD [dB]	36		36
Feeder Loss [dB]	6,0		4,9
Receiver Level (B) [dBm]	-38,7		-38,7
Fading Margin SES [dB]	33,3		33,3
Fading Margin DM [dB]	32,3		32,3

Path data

Distance [km]	13,2
Path Type	inland
Terrain Type	hills/mountains
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	20,2
Fading occurrence factor P0 [%]	0,0
Path Latitude [deg]	36,4
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'LNI' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	136,0
Other loss [dB]	0,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METROLH-SP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	10.7 - 11.7
Configuration	7+1
Tx Power (B') [dBm]	25,0
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	3,4
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-72,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,2E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	64 BW40
Frequency Diversity [MHz]	40
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000012
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvment factor SES	1
Total diversity improvment factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000012
Total multipath outage SES [min:sec]	00:00,3
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000337
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:01:46
Availability H-pol [%]	99,999663
Unavailability V-pol [%]	0,000155
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:00:49
Availability V-pol [%]	99,999845
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Bilan de liaison : Bond TIZI OUZOU - BELOUA

	Tizi Ouzou	Beloua
Coordinates [deg]	36.4147N 4.0304E	36.4400N 4.0259E
Site Level [masl]	136 Main Space	673 Main Space
Feeder Length [m]	67	34
Feeder type	EW 90	EW 90
Antenna Height [magl]	30	30
Antenna Type	ARTA-12HXP107	ARTA-12HXP107
Antenna Gain [dB]	41,2	41,2
XPD [dB]	36	36
Feeder Loss [dB]	6,7	3,4
Receiver Level (B) [dBm]	-31,9	-31,9
Fading Margin SES [dB]	40,1	40,1
Fading Margin DM [dB]	39,1	39,1

Path data

Distance [km]	4,1
Path Type	inland
Terrain Type	hills
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	131,3
Fading occurrence factor P0 [%]	0,0
Path Latitude [deg]	36,4
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'Tizi Ouzou' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation	
due to atmospheric gases [dB]	125,7
Other loss [dB]	0,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METROLH-DP
Radio family	Evolution
Diversity type	None
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	10.7 - 11.7
Configuration	Co-channel 2 x (7+1)
Tx Power (B') [dBm]	25,0
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	3,4
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-72,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,2E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	64 BW40
Frequency Diversity [MHz]	0
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	20,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvment factor SES	0
Total diversity improvment factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000000
Total multipath outage SES [min:sec]	00:00,0
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000002
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:00:01
Availability H-pol [%]	99,999998
Unavailability V-pol [%]	0,000002
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:00:01
Availability V-pol [%]	99,999998
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Bilan de liaison : Bond BELOUA - ICHRIOUNE

	Beloua			Icharioune
Coordinates [deg]	36.4400N 4.0259E			36.4941N 4.0609E
Site Level [masl]	673			826
	Main	Space		Main
Feeder Length [m]	0			0
Feeder type	N/A			N/A
Antenna Height [magl]	40			30
Antenna Type	ARTA-12HXP107			ARTA-12HXP107
Antenna Gain [dB]	41,2			41,2
XPD [dB]	36			36
Feeder Loss [dB]	0,0			0,0
Receiver Level (B) [dBm]	-38,3			-38,3
Fading Margin SES [dB]	35,7			35,7
Fading Margin DM [dB]	34,7			34,7

Path data

Distance [km]	11,5
Path Type	inland
Terrain Type	hills
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	12,4
Fading occurrence factor P0 [%]	0,0
Path Latitude [deg]	36,5
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'Beloua' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	134,9
Other loss [dB]	1,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METRO-DP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	10.7 - 11.7
Configuration	2+1
Tx Power (B') [dBm]	22,0
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	6,8
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-74,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,2E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	64 BW40
Frequency Diversity [MHz]	40
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000005
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvement factor SES	2
Total diversity improvement factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000005
Total multipath outage SES [min:sec]	00:00,1
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000178
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:00:56
Availability H-pol [%]	99,999822
Unavailability V-pol [%]	0,000075
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:00:24
Availability V-pol [%]	99,999925
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Bilan de liaison : Bond AZAZGA - ICHRIOUNE

	Azazga					Icharioune
Coordinates [deg]	36.4444N 4.2217E			36.4941N 4.0609E		
Site Level [masl]	826 Main Space			424 Main Space		
Feeder Length [m]	0			0		
Feeder type	N/A			N/A		
Antenna Height [magl]	30 ARTA-			30 ARTA-		
Antenna Type	20HXP77			20HXP77		
Antenna Gain [dB]	42,2			42,2		
XPD [dB]	36			36		
Feeder Loss [dB]	0,0			0,0		
Receiver Level (B) [dBm]	-38,4			-38,4		
Fading Margin SES [dB]	32,6			32,6		
Fading Margin DM [dB]	31,6			31,6		

Path data

Distance [km]	25,7
Path Type	inland
Terrain Type	hills
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	15,6
Fading occurrence factor P0 [%]	0,6
Path Latitude [deg]	36,5
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'Azazga' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	139,0
Other loss [dB]	1,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METRO-DP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	7.725 - 8.275
Configuration	2+1
Tx Power (B') [dBm]	24,0
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	6,8
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-71,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,4E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	128 BW28ACCP
Frequency Diversity [MHz]	28
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000234
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvement factor SES	2
Total diversity improvement factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000241
Total multipath outage SES [min:sec]	00:06,2
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000030
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:00:10
Availability H-pol [%]	99,999970
Unavailability V-pol [%]	0,000006
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:00:02
Availability V-pol [%]	99,999994
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Bilan de liaison : Bond AZAZGA - TIZI OUZOU

Azazga		Tizi Ouzou	
Coordinates [deg]	36.4444N 4.2217E		36.4147N 4.0304E
Site Level [masl]	424		136
	Main	Space	Main Space
Feeder Length [m]	0		0
Feeder type	N/A		N/A
Antenna Height [magl]	34		40
Antenna Type	ARTA-20HXP107		ARTA-20HXP107
Antenna Gain [dB]	45,5		45,5
XPD [dB]	36		36
Feeder Loss [dB]	0,0		0,0
Receiver Level (B) [dBm]	-38,0		-38,0
Fading Margin SES [dB]	36,0		36,0
Fading Margin DM [dB]	35,0		35,0

Path data

Distance [km]	29,1
Path Type	inland
Terrain Type	hills
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	9,7
Fading occurrence factor P0 [%]	4,3
Path Latitude [deg]	36,4
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'Azazga' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	143,2
Other loss [dB]	1,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METRO-DP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	10.7 - 11.7
Configuration	2+1
Tx Power (B') [dBm]	22,0
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	6,8
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-74,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,2E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	64 BW40
Frequency Diversity [MHz]	40
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000455
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000002
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvement factor SES	3
Total diversity improvement factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000473
Total multipath outage SES [min:sec]	00:12,3
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,001069
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:05:37
Availability H-pol [%]	99,998931
Unavailability V-pol [%]	0,000560
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:02:57
Availability V-pol [%]	99,999440
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Bilan de liaison : Bond BELOUA -TALAGUILEF

Beloua		Talaguilef	
Coordinates [deg]	36.4400N 4.0259E	36.2841N	3.5950E
Site Level [masl]	673	1338	
	Main Space	Main Space	
Feeder Length [m]	0	0	
Feeder type	N/A	N/A	
Antenna Height [magl]	40	40	
Antenna Type	ARTA-	ARTA-	
Antenna Gain [dB]	20HXP77	20HXP77	
XPD [dB]	42,2	42,2	
	36	36	
Feeder Loss [dB]	0,0	0,0	
Receiver Level (B) [dBm]	-39,4	-39,4	
Fading Margin SES [dB]	31,6	31,6	
Fading Margin DM [dB]	30,6	30,6	

Path data

Distance [km]	28,7
Path Type	inland
Terrain Type	hills/mountains
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	23,2
Fading occurrence factor P0 [%]	0,3
Path Latitude [deg]	36,4
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'Beloua' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

Losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	140,0
Other loss [dB]	1,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METRO-DP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	7.725 - 8.275
Configuration	3+1
Tx Power (B') [dBm]	24,0
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	6,8
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-71,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,4E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	128 BW28ACCP
Frequency Diversity [MHz]	28
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000175
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvement factor SES	1
Total diversity improvement factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000182
Total multipath outage SES [min:sec]	00:04,7
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000048
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:00:15
Availability H-pol [%]	99,999952
Unavailability V-pol [%]	0,000012
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:00:04
Availability V-pol [%]	99,999988
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Bilan de liaison : Bond TALAGUIEF - DRAA EL MIZANE

Talaguief		Draa ElMizane	
Coordinates [deg]	36.2841N 3.5950E	36.3159N	3.5005E
Site Level [masl]	1338	448	
	Main Space	Main Space	
Feeder Length [m]	0	0	
Feeder type	N/A	N/A	
Antenna Height [magl]	40	40	
Antenna Type	ARTA-20HXP107	ARTA-12HXP107	
Antenna Gain [dB]	45,5	41,2	
XPD [dB]	36	36	
Feeder Loss [dB]	0,0	0,0	
Receiver Level (B) [dBm]	-36,8	-36,8	
Fading Margin SES [dB]	37,2	37,2	
Fading Margin DM [dB]	36,2	36,2	

Path data

Distance [km]	15,8
Path Type	inland
Terrain Type	hills
PL-factor [%]	30
Rain Rate (0.01%, 1min.int. time) [mm/h]	42
Water vapor [g/m3]	10,0
Temperature [C°]	25,0
Ratio of path in coastal area [%]	
Inclination angle [mrad]	56,4
Fading occurrence factor P0 [%]	0,0
Path Latitude [deg]	36,3
Path Longitude (Clon)	3,0

Passive repeater

Reflector Type	none
Description	
Distance to 'Talaguief' [km]	
Area Plane Reflector [m^2]	
Reflection Angle [deg]	
Net Gain Passive Repeater [dB]	

Objectives and definitions

Customized objectives	
Outage/unavail. objective =(100-Customized availability obj.)%	
SES defined in G.826. BER approximately 5E-5	

losses

Free space loss and attenuation due to atmospheric gases [dB]	137,7
Other loss [dB]	1,0
Receiver threshold degradation [dB]	0,0

Equipment data

Radio type	METRO-DP
Radio family	Evolution
Diversity type	Frequency
Data rate [Mb/s]	155,0
Frequency band [GHz]	10.7 - 11.7
Configuration	3+1
Tx Power (B') [dBm]	22,0
High power [dB]	0,0
Branching Loss (B' to B) [dB]	6,8
Receiver Threshold SES (B) [dBm]	-74,0
Receiver Threshold DM (B) [dBm]	
Signature Factor SES [GHz, dB]	1,2E-03
Signature Factor DM [GHz, dB]	
Modulation	64 BW40
Frequency Diversity [MHz]	40
Vertical antenna separation [m]	0
XPIC	0,0

Predicted performance due multipath and related mechanisms for worst month

Flat Fading Occurrence SES [%]	0,000002
Flat Fading Occurrence DM [%]	
Selective Fading Occurrence SES [%]	0,000000
Selective Fading Occurrence DM [%]	
Total diversity improvment factor SES	3
Total diversity improvment factor DM	
Total multipath outage SES [%]	0,000002
Total multipath outage SES [min:sec]	00:00,0
Objective SES [min:sec]	00:25,9
Total multipath outage DM [%]	

Predicted rain outage for SES

Unavailability H-pol [%]	0,000326
Unavailability H-pol [h:m:s / year]	00:01:43
Availability H-pol [%]	99,999674
Unavailability V-pol [%]	0,000150
Unavailability V-pol [h:m:s / year]	00:00:47
Availability V-pol [%]	99,999850
Customized Availability Objective [%]	99,999000

Listes des pays suivant les trois régions R1, R2 et R3

Région 1

Contury	Region	Contury	region	contury	region	contury	region
ALBANIA	1	EQUATORIAL GUINEA	1	LIECHTENSTEIN	1	SIERRA LEONE	1
ALGERIA	1	ERITREA	1	LITHUANIA	1	SLOVAKIA	1
ANDORRA	1	ESTONIA	1	LUXEMBOURG	1	SLOVENIA	1
ANGOLA	1	ETHIOPIA	1	MADAGASCAR	1	SOMALIA	1
ARMENIA	1	FINLAND	1	MALAWI	1	SOUTH AFRICA	1
AUSTRIA	1	FRANCE	1	MALI	1	SPAIN	1
AZERBAIJAN	1	GABON	1	MALTA	1	SUDAN	1
BAHRAIN	1	GAMBIA	1	MAURITANIA	1	SWAZILAND	1
BELARUS	1	GEORGIA	1	MAURITIUS	1	SWEDEN	1
BELGIUM	1	GERMANY	1	MOLDOVA	1	SWITZERLAND	1
BENIN	1	GHANA	1	MONACO	1	SYRIA	1
BOSNIA	1	GREECE	1	MONGOLIA	1	TAJIKISTAN	1
BOTSWANA	1	GUINEA	1	MOROCCO	1	TANZANIA	1
BULGARIA	1	GUINEA-BISSAU	1	MOZAMBIQUE	1	THE FORMER YUGOSLAV REP. OF MACEDONIA	1
BURKINAFASO	1	HUNGARY	1	NAMIBIA	1	TOGO	1
BURUNDI	1	ICELAND	1	NETHERLANDS	1	TUNISIA	1
CAMEROON	1	IRAQ	1	NIGER	1	TURKEY	1
CAPE VERDE	1	IRELAND	1	NIGERIA	1	TURKMENISTAN	1
CENTRAL AFRICAN REP.	1	ISRAEL	1	NORWAY	1	UGANDA	1
CHAD	1	ITALY	1	OMAN	1	UKRAINE	1

COMOROS	1	JORDAN	1	POLAND	1	UNITED ARAB EMIRATES	1
CONGO	1	KAZAKSTAN	1	PORTUGAL	1	UNITED KINGDOM	1
COTE D'IVOIRE	1	KENYA	1	QATAR	1	UZBEKISTAN	1
CROATIA	1	KUWAIT	1	ROMANIA	1	VATICAN	1
CYPRUS	1	KYRGYZSTAN	1	RUSSIA	1	YEMEN	1
CZECH REP.	1	LATVIA	1	RWANDA	1	YUGOSLAVIA	1
DENMARK	1	LEBANON	1	SAN MARINO	1	ZAIRE	1
DJIBOUTI	1	LESOTHO	1	SAO TOME AND PRINCIPE	1	ZAMBIA	1
EGYPT	1	LIBERIA	1	SAUDI ARABIA	1	ZIMBABWE	1
		LIBYA	1	SENEGAL	1		

Région 2

Country	region	Country	region
ANTIGUA AND BARBUDA	2	GRENADA	2
ARGENTINA	2	GUATEMALA	2
BAHAMAS	2	GUYANA	2
BARBADOS	2	HAITI	2
BELIZE	2	HONDURAS	2
BOLIVIA	2	JAMAICA	2
BRAZIL	2	MEXICO	2
CANADA	2	NICARAGUA	2
CHILE	2	PANAMA	2
COLOMBIA	2	PARAGUAY	2
COMMONWEALTH OF DOMINICA	2	PERU	2
COSTA RICA	2	ST VINCENT AND THE GRENADINES	2
CUBA	2	SURINAME	2
DOMINICAN REP.	2	TRINIDAD AND TOBAGO	2

ECUADOR	2	UNITED STATES of AMERICA	2
EL SALVADOR	2	URUGUAY	2
		VENEZUELA	2

Région 3

Contury	region	Contury	Region
AFGHANISTAN	3	MARSHALL ISLANDS	3
AUSTRALIA	3	MICRONESIA	3
BANGLADESH	3	MYANMAR	3
BHUTAN	3	NAURU	3
BRUNEI DARUSSALAM	3	NEPAL	3
CAMBODIA	3	NEW ZEALAND	3
CHINA	3	PAKISTAN	3
DEM. PEOPLE'S REP. OF KOREA	3	PAPUA NEW GUINEA	3
FIJI	3	PHILIPPINES	3
INDIA	3	SINGAPORE	3
INDONESIA	3	SOLOMON	3
IRAN	3	SRI LANKA	3
JAPAN	3	THAILAND	3
KIRIBATI	3	TONGA	3
KOREA (REP. OF)	3	TUVALU	3
LAO P.D.R.	3	VANUATU	3
MALAYSIA	3	VIET NAM	3
MALDIVES	3	WESTERN SAMOA	3

Glossaire

RTC : réseau téléphonique commuté

ISDN : Integrated Services Digital Network. Equivalent en anglais de RNIS pour Réseau Numérique à Intégration de Services. Liaison de communication s'appuyant sur le réseau de lignes téléphonique.

PSTN : Public Switched Telephone Network. Réseau téléphonique public commuté (RTC).

PSK : Phase-shift keying (ou **PSK**, soit « modulation par déplacement de phase »)

QPSK : QPSK (ou 4-PSK : quatre valeurs de phase possibles)

SLA « Le **Service Level Agreement** » : engagement de qualité de service de l'opération (la disponibilité mensuelle, durée maximum d'indisponibilité, temps de réponse) pour lesquels il s'engage à payer des pénalités s'il ne parvient pas à les respecter.

GTR « garantie de temps de rétablissement » : engagement du fournisseur sur le temps maximum qui s'écoulera entre le début d'une panne et sa résolution.

IMS « interruption maximal de service » : engagement de qualité de service complémentaire à la GRT, portant sur la durée maximale pendant laquelle un service ne sera pas disponible au cours d'une période définie (exemple : disponibilité mensuelle de 99.8%).

Overhead : il désigne l'ensemble des informations ajoutées aux données des utilisateurs pour permettre leur transmission au travers du réseau (entête du paquet, contrôle d'erreur)

QoS : Qualité de service, venant de Quality of Service en anglais .

TRX : tranceiver (transmetteur)

ODU : OUTDOOR UNIT

IDU : INDOOR UNIT

Résumé

Résumé

Les faisceaux hertziens représentent un système de transmission de l'information entre des liaisons point à point en utilisant comme support les ondes radioélectrique à fréquence élevées de 1 à 40 GHz (gamme des micro-ondes).

Ce système est principalement constitué par une succession de stations relais comportant chacune un transmetteur et l'antenne qui doit être très directive avec un gain important

En faisceaux hertziens la liaison doit être en visibilité directe, et pour qu'elle soit dégagée il ne doit exister aucun obstacle à l'intérieur du premier ellipsoïde de Fresnel, il a été montré qu'un dégagement de 60% est suffisant pour avoir une liaison en visibilité directe.

Lorsqu'elle se propage, l'onde hertzienne rencontre des obstacles, elle subit donc des affaiblissements dont les principaux sont:

- L'évanouissement par diffraction dus aux obstacles de terrain, on distingue trois types d'obstacles qui sont les obstacles : lame, rugueux et sphérique.
- L'affaiblissement par les gaz atmosphériques: qui est du essentiellement à l'absorption moléculaire par l'oxygène et la vapeur d'eau.
- Les brouillages par les autres liaisons du réseau qui partagent le même plan de fréquences et de polarisation, ou d'autres sources d'émission extérieures.

Pour lutter contre ces perturbations on utilise la solution de réception en diversité, qui est une technique destinée à réduire l'effet d'évanouissement, et celles utilisées principalement dans la transmission par FHN sont :

- la diversité d'espace
- la diversité de fréquence

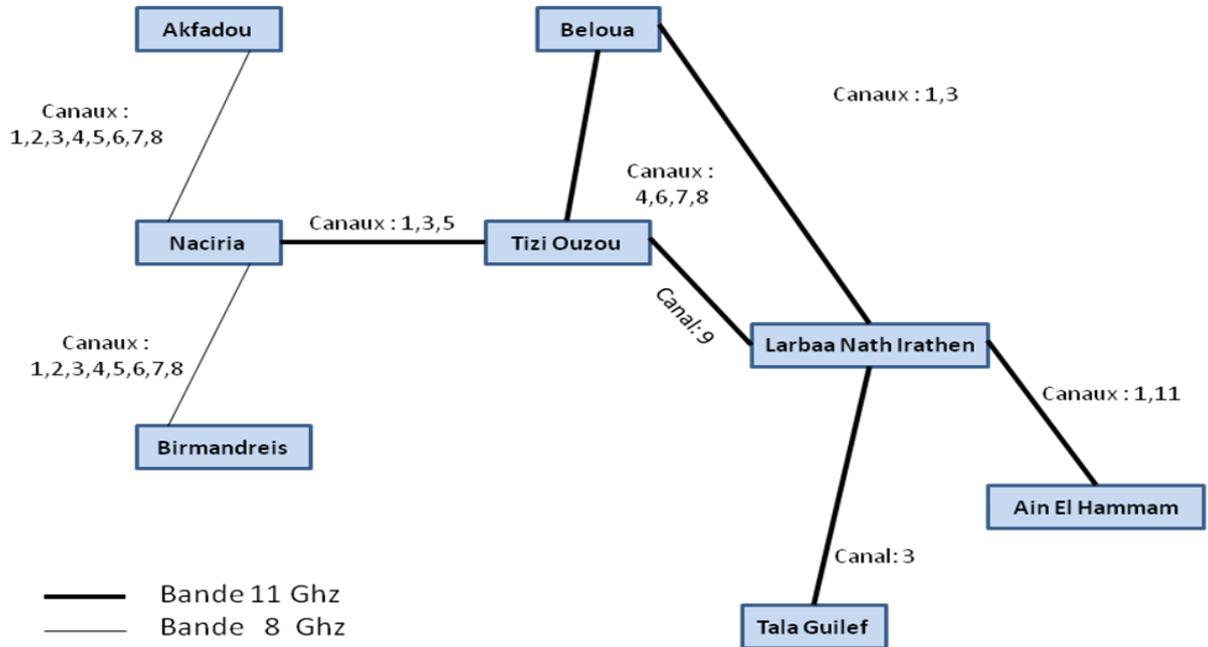
Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que cette puissance reçue soit supérieure à la sensibilité du récepteur. De plus, on prendra généralement une marge pour tenir compte des atténuations supplémentaires. Donc les deux objectifs principaux dans le calcul du bilan de liaison sont:

- Un bon niveau de réception qui généralement est compris entre - 34 dBm et -40dBm;
- une disponibilité de **99,999 %**.

Le réseau de transmission existant est constitué des liaisons par Faisceaux Hertziens Numériques de technologie PDH qui sont utilisées pour assurer les relations de grandes

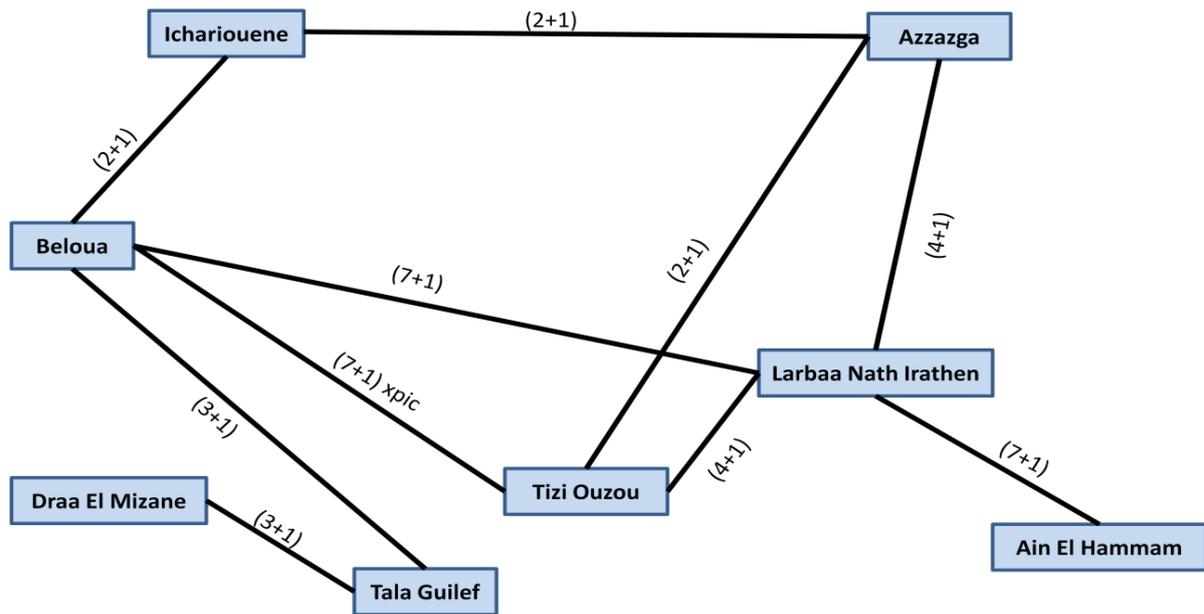
capacité (jusqu'à 34 Mbits/s) et la radio rurale pour les petites capacités allant jusqu'à huit (08) circuits.

L'interconnexion vers le réseau national de transmissions est réalisée en Fibre Optique et en faisceaux hertziens numériques vers Alger selon la configuration ci après.



Configuration du réseau de transmissions existant

La configuration du nouveau Backbone se présente comme suit :



— Bande de fréquence de 8, 11 ou 15 Ghz

Conclusion

Au cours de notre stage pratique effectué sur l'étude du site (Site Survey), nous nous sommes rendues compte que la transmission par faisceaux hertziens numériques (FHN) est sujette aux contraintes de perturbations liées à la propagation, malgré cet inconvénient, la transmission par FHN présente un avantage certain et primordial qui consiste à sortir de l'isolement toutes les régions enclavées et difficilement accessibles par d'autres supports de transmission notamment le câble à paires de cuivre et surtout la fibre optique.

Bibliographie

Ouvrages

- [1] « Système de télécommunication » : Mr FONTOLLIET Pierre-Gérard édition “presses polytechniques et universitaires ROMANDES“.
- [2] « Communication numérique » : Mr COMON Pierre édition Hermès, 3 décembre 2003.
- [3] « Bases de transmission numériques » : Mr Patrice KADIONIK édition 2000, école supérieure Electronique, Informatique et Radiocommunications, BORDEAUX.
- [4] « Cours de transmission de données » : Mr Jamal EL ABBADI édition 2006-2007.
- [5] « Cours d’antennes » : Mr KANNAN enseignant à l’université Mouloud MAMMERI, faculté de Génie Electrique et d’Informatique.
- [6] « Réseaux et télécommunication » : encyclopédie technique de l’ingénieur édition TEA 2.
- [7] «Radio communication et radio télédétection » : encyclopédie technique de l’ingénieur E7.
- [8] « Communication et transmission » : revue trimestrielle par SOTELC.
- [9] «Cahier des charges techniques » : ALGERIE Telecom.
- [10] «Télécommunication et infrastructures » : Mr Gérard BARUE édition Ellipses, 2003.

Thèses:

- [11] « Etude et planification des liaisons de transmission par FH PDH » : thèse par BENMOUSSA Rochdi, école militaire polytechnique, année 2006.
- [12] « Etude pour la mise en œuvre d’un réseau de Nouvelle Génération (NGN) et migration du réseau téléphonique commuté (RTC) de la wilaya de TIZI-OUZOU » : thèse par Mr DAHMANE

Mohand, Mr TAMGOUT Omar ET Mlle LACEB Rachida, université de Mouloud MAMMERY,
année 2005/2006.

Sites WEB

[13] <http://www.neraworld.com/en/products/Evolution-Series/>.

[14] www.efacec.pt.

[15] www.enseirb.fr/~kadionik/formation/tx.../txnum_enseirb.pdf

[16] www.technique-ingenieur.fr

[17] www.emi.ac.ma/~elabbadi/Fichiers/Tx_Data_Partie_1.pdf

