

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE Mouloud MAMMARI DE TIZI- OUZOU



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

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER ACADEMIQUE**

Filière : télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème

**Etude de l'architecture de transmission du
réseau Mobilis et test de liaison radiofréquence
entre les sites Mini Link**

Présenté par :

M^r AMRAOUI Rachid Fateh

M^r DJEBBAR Nassim

M^r M. LAZRI

Maitre de conférences A, UMMTO, Président

M^r F. OUALLOUCHE

Maitre de conférences B, UMMTO, Encadreur

M^r D. ALLOUACHE

Maitre de conférences B, UMMTO, Examineur

Soutenu le : 27/09/2018

Remerciements

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur Mr Alouache Djamal pour la confiance qu'il nous a accordé en acceptant de nous encadrer dans ce mémoire. Nous le remercions pour son implication, ses conseils et l'intérêt qu'il a porté à notre travail.

Nous adressons nos vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

Nous tenons aussi à remercier nos chères familles pour leurs soutient, encouragements et leurs bienveillance pour notre bien-être et notre succès.

On tient à remercier nos amis(e)s pour leur sincère amitié et confiance. Nous leur devons toute notre reconnaissance et notre attachement.

Un grand merci à l'opérateur Mobilis pour leur précieuse collaboration sans laquelle ce projet n'aurait pas vu le jour. Et plus particulièrement, Mr Touati et le personnel du service maintenance.

DJEBBAR.N & AMRAOUI.R.F

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère

A mon cher père

A mon cher frère

A mes chers grands parents

Ainsi qu'à mes tantes et mes oncles

Mes cher(e)s ami(e)s

A mon binôme Rachid Fateh et toute sa famille

*A toute personne ayant contribué de près ou de loin
à l'élaboration de ce travail et en particulier à M^{lle}
Mouheb Lynda et à M^r Berchiche Amine.*

Nassim

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère

A mon cher père

A mon cher frère

A mes chères sœurs

A mes chers grands parents

Ainsi qu'à mes tantes et mes oncles

Mes cher(e)s ami(e)s

A mon binôme Nassim et toute sa famille

*A toute personne ayant contribué de près ou de loin
à l'élaboration de ce travail.*

Rachid Fateh

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des acronymes

Introduction 1

Chapitre I : Les supports de transmission en télécommunication

1	Préambule.....	3
2	Les supports guidés	3
2.1	Les paires torsadées	3
2.1.1	Les paires blindées	4
2.1.2	Les paires écrantées.....	5
2.1.3	Les connecteurs pour paire torsadée	5
2.1.4	Les références de câble	6
2.2	Câble coaxial	6
2.3	La fibre optique	8
2.3.1	Durée de vie d'un câble à fibre optique	9
2.3.2	Avantages et inconvénients de la fibre optique.....	9
2.3.3	Principe de fonctionnement de la fibre optique	9
2.3.4	L'ouverture numérique	10
2.3.5	Comparaison entre les différents types de fibres optiques.....	13
3	Les supports libres.....	13
3.1	Faisceaux hertziens.....	13
3.1.1	Classification des ondes hertziennes	15
3.1.2	Antenne	16
3.2	Antennes à réflecteur parabolique	17
3.2.1	Diagramme de rayonnement	17
3.2.2	Directivité.....	18

3.2.3	Le gain d'antenne parabolique	19
3.3	Ellipsoïde de Fresnel	19
3.3.1	Intérêts et inconvénients	20
3.4	Les transmissions par satellite	21
3.4.1	Caractéristiques principales des systèmes satellitaires.....	22
3.4.2	Architecture d'un système de transmission par satellite	22
4	Discussion	25

Chapitre II : Les techniques de transmission

1	Préambule :.....	27
2	Mode de propagation.....	27
2.1	Signaux à transmettre, et Multiplexage	27
2.1.1	Signaux numériques	27
3	Multiplexage des signaux numériques	28
3.1	Multiplexage temporel (TDMA : Time Division Multiple Acces)	28
3.2	Le système de transmission PDH	30
3.2.1	Principe de fonctionnement.....	30
3.2.2	La hiérarchie du PDH :.....	30
3.2.3	Limitation du PDH	31
3.3	Le système de transmission SDH	31
3.3.1	Principe de fonctionnement.....	31
3.3.2	Structure de multiplexage SDH.....	34
3.3.3	Les équipements SDH.....	36
3.3.4	Les avantages de SDH :	36
3.3.5	Limitation des SDH :.....	37
3.4	Système de transmission WDM :	37
3.4.1	Le principe de WDM :	37
3.4.2	Le fonctionnement :	37
3.4.3	Principe d'une liaison WDM :	38
3.5	Système de transmission D-WDM :	39
3.5.1	Principe de fonctionnement :.....	39
3.5.2	Les avantages du D-WDM.....	39
4	Modulation QAM.....	40
4.1	Modulation X-QAM	41
5	Discussion	42

Chapitre III : Les équipements de transmission

1	Préambule.....	45
2	Mini Link.....	45
2.1	Compact Node (CN).....	45
2.2	Trafic Node (TN).....	45
2.2.1	AMM 2p (Access Module Magazine).....	46
2.2.2	AMM 6p.....	46
2.2.3	AMM 20p.....	47
2.2.4	Les principaux composants de l'AMM.....	49
3	Radio Terminal.....	52
3.1	Unité de radio (RAU).....	53
3.2	Antenne.....	54
3.3	Protection (1+1).....	54
3.4	Double polarisation et XPIC (2+0).....	56
4	Configuration Radio.....	57
5	System de transmission.....	63
5.1	Sites de réseau de transmission Mini Link.....	64
5.1.1	Site terminal.....	65
5.1.2	Site répéteur.....	65
5.1.3	Site hub.....	66
5.1.4	Site BSC/RNC.....	66
6	Discussion.....	67

Chapitre IV : Simulation

1	Préambule.....	69
2	Test d'interférence.....	69
2.1	Cas d'un test sans interférence.....	70
2.2	Cas d'un test sans interférences mais avec un niveau du RSL à la limite inférieure.....	72
2.3	Cas d'interférence.....	74
3	Discussion.....	80

<i>Conclusion</i>	82
--------------------------------	----

<i>Bibliographie</i>	85
-----------------------------------	----

<i>Résumé</i>	87
----------------------------	----

Liste des figures :

Figure I.1 : Paire torsadée.	3
Figure I.2 : Paire torsadée blindée.....	4
Figure I.3 : Paire torsadée écrantées.....	5
Figure I.4 : connecteurs RJ-45.	5
Figure I.5 : pince à sertissage.	6
Figure I.6 : référence de câble à paire torsadée.....	6
Figure I.7 : câble coaxial.	7
Figure I.8 : types du câble coaxial.	8
Figure I.9 : Structure d'une fibre optique.	8
Figure I.10 : Guidage de la lumière dans une fibre optique.....	10
Figure I.11 : Fibre optique multimode a saut d'indice.....	11
Figure I.12 : fibre optique multimode à gradient d'indice.	11
Figure I.13 : fibre optique monomode.	12
Figure I.14 : faisceaux hertziens transhorizon.	14
Figure I.15 : faisceaux hertziens en visibilité.....	14
Figure I.16 : liaison en plusieurs bonds.	14
Figure I.17 : antenne parabolique équipée d'une radio.....	17
Figure I.18: Diagramme de rayonnement d'une antenne.....	18
Figure I.19 : Ellipsoïde de Fresnel.	19
Figure I.20 : Principe d'une liaison satellitaire.....	21
Figure I.21 : Architecture d'un système de transmission par satellite	22
Figure II.1 : Système de transmission FH.....	27
Figure II.2 : principe de multiplexage temporel.	29
Figure II.3 : structure de la trame mic.....	29
Figure II.4: Les cinq niveaux de la hiérarchie plésiochrone.....	31
Figure II.5 : structure d'une trame STM-1 et ordre de transmission.	33
Figure II.6 : Exemple de transport de cellules et de paquets dans une trame STM-1.	33
Figure II.7 : Hiérarchisation des débits sur les liens d'interconnexion.....	34
Figure II.8 : Les équipements SDH.	36
Figure II.9 : principe d'une liaison WDM.	38
Figure II.10 : Principe de multiplexage WDM.....	38
Figure II.11 : multiplexage D-WDM.	39
Figure II.12 : Forme générale du modulateur.....	40
Figure II.13 : Principe de constellation.....	42
Figure II.14 : Exemples des constellations M-QAM.....	42
Figure III.1 : Mini Link Compact Node 510.	45
Figure III.2 : Une configuration avec Mini-Link TN	46
Figure III.3 : Module d'accès AMM 2p.	46
Figure III.4 : Module d'accès AMM 6p.	47
Figure III.5 : Unité de filtre d'alimentation PFU2 et unité de ventilation FAU2.	47
Figure III.6 : Module d'accès AMM 20p.	48
Figure III.7 : Unité de filtre d'alimentation PFU1	48
Figure III.8 : Unité de filtre d'alimentation PFU1.	49

Figure III.9 : Unité modem MMU2 B & C.	50
Figure III.10 : Unité modem MMU2 H.	50
Figure III.11 : Différents types du NPU.	51
Figure III.12 : LTU 12xE1.....	51
Figure III.13 : LTU 16xE1.....	52
Figure III.14 : LTU 155.	52
Figure III.15 : Un terminal radio non protégé (1 + 0) et protégé (1+1).....	53
Figure III.16 : L'Unité Radio RAU1 et RAU2.	54
Figure III.17 : Les dimensions des antennes.	54
Figure III.18 : Type de protection (1+1).....	55
Figure III.19 : Mode de protection Hot standby.	55
Figure III.20 : Mode de protection Working standby.....	56
Figure III.21 : Configuration double polarisation.....	56
Figure III.22 : Double polarisation (2+0 XPIC).	57
Figure III.23 : Liaison Radio Terminal (1+0).....	57
Figure III.24 : Les éléments d'une configuration radio.	58
Figure III.25 : Interface Mini Link Craft pour choisir le type de configuration.....	58
Figure III.26 : Configuration radio avec Mini Link Craft.	60
Figure III.27 : Test de RSL et AGC.	60
Figure III.28 : Principe d'alignement d'antenne.....	61
Figure III.29 : Diagramme de RSL par rapport à l'AGC.	61
Figure III.30 : Liaison entre Beloua et l'ancienne gare.	62
Figure III.31 : Liaison entre souk el had et Mira (route de Friha).....	62
Figure III.32 : Liaison entre Beni douala et Larbaâ Nath Irathen.	63
Figure III.33 : Technique de transmission utilisée par Mini Link TN.....	63
Figure III.34 : Equipement de transmission Mini Link TN.....	64
Figure III.35 : Structure d'une trame STM-1.	64
Figure III.36 : Architecture des sites de transmission.	65
Figure III.37 : Architecture d'un site terminal.....	65
Figure III.38 : Architecture d'un site répéteur.	66
Figure III.39 : Architecture d'un site hub.	66
Figure III.40 : Architecture d'un site BSC/RNC.	67
Figure III.41 : Schéma synoptique d'architecture de transmission de quelques sites à Tizi-Ouzou.	67
Figure IV.1 : Liaison entre sud-ouest et BOUKHALFA.	70
Figure IV.2 : Extraction du far end (Boukhalfa).	71
Figure IV.3 : Borne near end avec un RSL de -93.1Dbm.....	71
Figure IV.4 : Liaison entre Freha et Azrou.	72
Figure IV.5 : Extinction du far end (Azrou).	72
Figure IV.6 : Borne du near end avec un RSL de -90.3 Dbm.....	73
Figure IV.7 : Borne near end avec un RSL de -90.6Dbm.....	73
Figure IV.8 : Liaison entre le fort (15034) et l'ancienne gare (15666).....	74
Figure IV.9 : Cas d'interférence.....	75
Figure IV.10 : Shema represantant les reliefs entre les deux sites.....	75
Figure IV.11 : Extinction du far end	76
Figure IV.12 : Cas d'interférence.....	76
Figure IV.13 : Image représentant le site de Beloua.	77

Figure IV.14 : Liaison entre Beloua et l'ancienne gare.	78
Figure IV.15 : Test d'interférence pour le site de Beloua.	79
Figure IV.16 : Activation du far end pour le rétablissement du trafic.	79
Figure IV.17 : Liaison rétablie.	80

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison entre les différents types de fibre optiques.	13
Tableau I.2 : Classification des ondes hertziennes.	15
Tableau II.1 : Débits hiérarchisés du protocole SDH.	32
Tableau II.2 : Débit entrant dans chaque conteneur.	34
Tableau IV.1 : Les données de la liaison entre Beloua et l'ancienne gare.	78

Liste des acronymes:

10/100BASE-T: Ethernet traffic at 10 Mbit/s or 100 Mbit/s.

ADM: Add-Drop Multiplexer

AM: Access Module

AGC: Access Gain Control

ATM: Asynchronous Transfer Mode

BSC: Base Station Control

BTS: Base Transceiver Station

C-QPSK: Constant Envelope Offset Quadrature Phase Shift Keying

CN: Compact node

DCN: Data Communication Network

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing

E1: PDH traffic at 2 Mbit/s (2 048 kbit/s)

E2: PDH traffic at 8 Mbit/s (8 448 kbit/s)

E3: PDH traffic at 34 Mbit/s (34 368 kbit/s)

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier

EHF: Extrêmement hautes fréquences

eNode B: evolved Node B

FAU: Fan Unit

GSM: Global System for Mobile

ID: Identity

IP: Internet Protocol

LAN: Local Area Network

LCT: Local Craft Terminal

LED: Light Emitting diode

LF: Basses fréquences

LTU: Line Termination Unit

MAC: Media Access Control

MF : Moyennes fréquences

MHz : Mégahertz

MMU: Modem Unit

MSOH: Multiplexer Section Overhead

NPU: Node Processor Unit

PC: Personal Computer

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy

PFU: Power Filter Unit

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

Radio Terminal (1+0): one side of an unprotected radio link at traffic rate 4-34 Mbit/s the indoor part comprises an MMU2.

Radio Terminal (1+1) One side of a protected radio link at traffic rate 4-34 Mbit/s the indoor part comprises two MMU2 units and one SMU2(Protection).

RAI: Remote Alarm Indication

RAU: Radio Unit

RF: Radio Frequency

RNC: Radio Network Controller

RNIS : réseau numérique à intégration de services

RSL: Received Signal Level

RSOH: Regenerator Section Overhead

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

SHF: Hyperfréquences

STM-1: Synchronous Transport Module level 1. SDH traffic at 155Mbit/s.

STP : Shielded Twisted Pair

TCP: Transmission Control Protocol

TDM: Time Division Multiplex

TDMA: Time Division Multiple Access

TN: Traffic Node

USB: Universal Serial Bus

UHF: Ultra Haute Fréquence

UTP: Unshielded Twisted Pair

VHF : Très hautes fréquences

VLf : Très basses fréquences

WDM: Wavelength Division Multiplexing

XPIC: Cross Polarization Interference Cancellation

Introduction

Il n'y a pas de société sans communication. Et de tout temps celle-ci s'est heurtée au problème de la distance. Comment entrer rapidement en relation avec ceux qui sont sur une île voisine ou qui gardent les troupeaux dans la montagne ? Comment signaler l'arrivée de l'ennemi aux paysans pour qu'ils puissent se réfugier ? Pour cela les premiers moyens de communication connus étaient des signaux sonores et lumineux.

L'invention du téléphone en 1876 a révolutionné le domaine de la communication, l'essentiel des télécommunications longues distances se fait par l'intermédiaire d'un support filaire. Mais l'invention des télécommunications sans fil a vite changé la donne, en effet cette dernière offre des avantages considérables notamment sur les longues distances.

De nos jours les télécommunications sont devenues essentielles dans la vie quotidienne, qu'elle soit privée ou professionnelle. Par conséquent le dysfonctionnement d'un site peut causer la chute du réseau de toute une région, ce qui peut provoquer l'arrêt de l'activité dans cette région. Les interférences sont parmi les problèmes les plus récurrents, il est donc pertinent de s'intéresser aux pratiques de réduction de ce phénomène.

Les pannes à répétition du trafic nous ont interpellé et ont éveillé notre intérêt face à ce problème, ce qui nous a orientés vers le sujet de ce mémoire qui est l'étude de l'architecture du réseau de transmission chez MOBILIS.

Pour cela tout d'abord nous exposerons les principaux supports de transmission utilisés, ensuite nous présenterons les principaux types de multiplexages, leurs principes de fonctionnements et leurs domaines d'application, en expliquant la modulation QAM utilisée dans les équipements de transmission.

Nous allons poursuivre en présentant les équipements de transmission utilisés chez MOBILIS Tizi-Ouzou pour la transmission entre les sites, nous expliquerons ainsi leur fonctionnement et la configuration côté radio, nous allons aussi exposer le schéma synoptique du réseau de transmission de la wilaya.

Enfin nous procéderons aux tests d'interférences avec l'application MINI LINK craft, tout en proposant des solutions afin d'éliminer les interférences et discuterons des résultats.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion et une bibliographie.

Chapitre I : Les supports de transmission en télécommunication

1 Préambule

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilité des métaux (paires torsadées, câble coaxial), celles des ondes électromagnétiques (faisceaux hertziens, guides d'onde, satellites) ou encore celles du spectre visible de la lumière (fibre optique). Généralement on classe les supports en deux catégories :

- les supports guidés (supports cuivre et supports optiques) ;
- les supports libres (faisceaux hertziens et liaisons satellites). [1]

2 Les supports guidés

2.1 Les paires torsadées

Une paire torsadée est constituée de deux brins de cuivre, de diamètre inférieur au millimètre, isolés et agencés en spirale pour limiter les phénomènes d'interférences électromagnétiques parasites dues à l'environnement (diaphonie). Plusieurs paires sont groupées dans une même gaine protectrice pour former généralement un câble de 2, 4 ou 8 paires (4 le plus souvent).

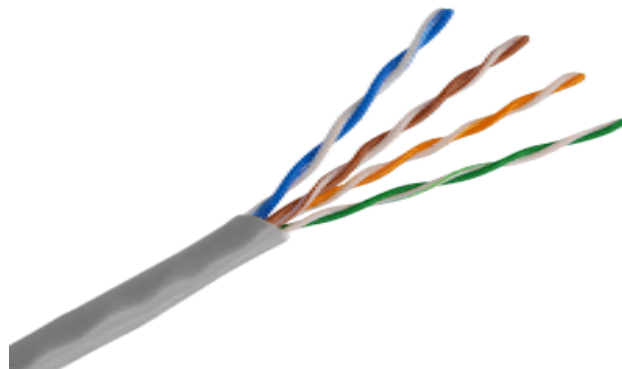


Figure I.1 : Paire torsadée.

De façon générale, ce type de support possède une bande passante de quelques centaines de kHz permettant le transfert d'un signal modulé à un débit d'environ 10 kbit/s sur des distances de 5 à 6 km. Il est aussi possible de transférer directement un signal numérique à des débits allant jusqu'à 100 Mbit/s sur des distances courtes. 100 m au maximum. La connexion des

équipements peut se faire soit en point à point soit en multipoint. Il s'agit donc d'un support simple et économique. En fait, ses principaux avantages résident, d'une part, dans un coût intéressant par rapport à celui du câble coaxial ou de la fibre optique et, d'autre part, dans la possibilité d'utiliser le pré câblage téléphonique des immeubles diminuant ainsi de près de 40 % le coût total du réseau. Ses principaux inconvénients résident dans sa sensibilité aux perturbations électromagnétiques de l'environnement et dans une atténuation très importante du signal, proportionnelle à sa longueur. Les paires torsadées sont de ce fait souvent caractérisées par leur produit de bande passante * longueur. Elles se distinguent entre elles par leur impédance (100, 120 ou 150 ohms), ainsi que par leur nature :

- les paires non blindées (UTP — Unshielded Twisted Pair) ;
- les paires blindées (STP — Shielded Twisted Pair).

2.1.1 Les paires blindées

Le blindage est réalisé par une partie métallique, tresse ou ruban, visant à protéger le ou les conducteurs du câble des perturbations extérieures et à limiter le rayonnement du câble. Il est efficace contre les interférences à fréquences basses (inférieures à 10 MHz). Le câble blindé doit être relié à la masse, mais il peut apparaître comme une source d'interférences dès lors que les masses ne donnent pas en permanence les mêmes mesures ;



Figure I.2 : Paire torsadée blindée.

2.1.2 Les paires écrantées

L'écrantage est réalisé par une fine feuille d'aluminium qui s'enroule autour du câble, le dispositif permettant de protéger le câble des interférences à fréquences hautes (supérieures à 1 MHz) tout en assurant une protection relative aux effets de masse. L'écrantage peut être utilisé en conjonction avec le blindage. [2]

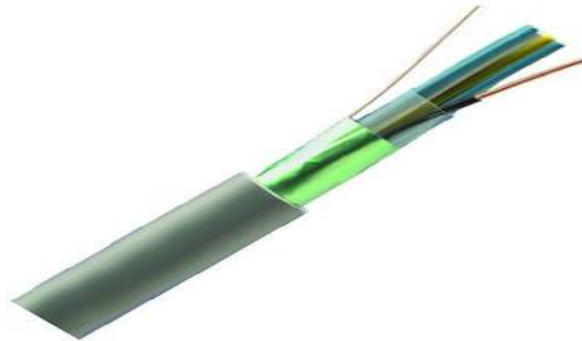


Figure I.3 : Paire torsadée écrantée.

2.1.3 Les connecteurs pour paire torsadée

La paire torsadée se branche à l'aide d'un connecteur RJ-45. Ce dernier est similaire au RJ-11 utilisé dans la téléphonie mais différent sur certains points : le RJ-45 est légèrement plus grand et ne peut être inséré dans une prise de téléphone RJ-11. De plus, le RJ-45 se compose de huit broches alors que le RJ-11 n'en possède que six, voire quatre généralement. [3]



Fiche femelle



Fiche mâle
blindée



Fiche mâle non
blindée

Figure I.4 : connecteurs RJ-45.

Le sertissage de ses fichiers se fait à l'aide d'une pince spécialisée (fig.I.5)



Figure I.5 : pince à sertissage.

2.1.4 Les références de câble

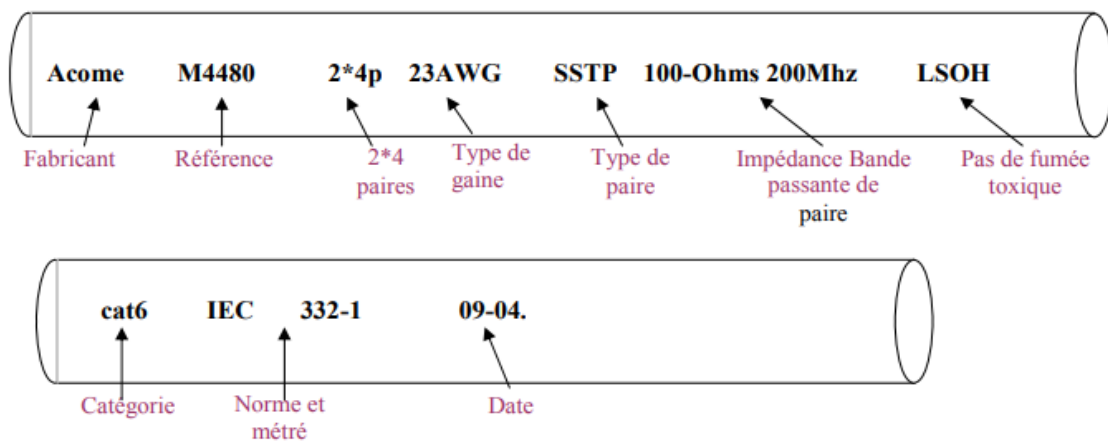


Figure I.6 : référence de câble à paire torsadée.

2.2 Câble coaxial

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques de même axe séparés par un isolant diélectrique. Différentes études ont permis de montrer que le rapport des diamètres des deux conducteurs devait être de 3,6 : on trouvera donc des câbles 2,6/9,5 ou 1,2/4,4 mm. Moins sensible que les paires torsadées aux phénomènes électriques (atténuation, interférences et autres), le câble coaxial offre des débits potentiels beaucoup plus importants (jusqu'à 150 Mbit/s). Mais là aussi, comme pour les paires torsadées, la bande passante est fonction de la qualité des conducteurs, de celle des isolants et de la longueur. [2]

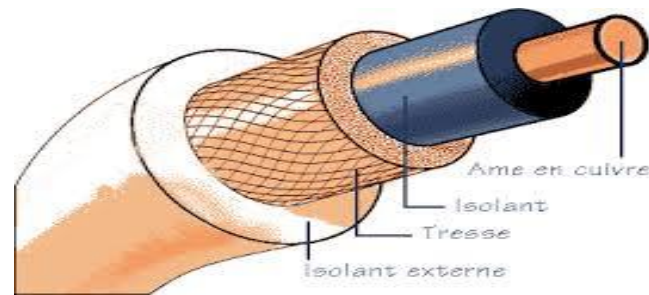


Figure I.7 : câble coaxial.

La gaine permet de protéger le câble de l'environnement extérieur. Elle est habituellement en caoutchouc (parfois en Chlorure de polyvinyle (PVC), éventuellement en téflon).

Le blindage (enveloppe métallique) entourant les câbles permet de protéger les données transmises sur le support des parasites (autrement appelés *bruit*) pouvant causer une distorsion des données.

L'isolant entourant la partie centrale est constitué d'un matériau diélectrique permettant d'éviter tout contact avec le blindage, provoquant des interactions électriques (court-circuit).

L'âme, accomplissant la tâche de transport des données, est généralement composée d'un seul brin en cuivre ou de plusieurs brins torsadés. [3]

Ce câble présente de meilleures performances que la paire torsadée : affaiblissement moindre, transmission de signaux de fréquences plus élevées, etc. La capacité de transmission d'un câble coaxial dépend de sa longueur et des caractéristiques physiques des conducteurs et de l'isolant. Sur 1 km, un débit de plusieurs centaines de Mbit/s peut être atteint.

Sur des distances supérieures à 10 km, l'atténuation des signaux réduit considérablement les débits possibles. C'est la raison pour laquelle on utilise désormais les fibres optiques sur les liaisons grandes distances.

Il y a deux types de câble coaxial qui diffèrent par leur impédance caractéristique qui correspond à la résistance du support. Le câble 50 ohms est généralement utilisé pour transmettre des signaux numériques en bande de base alors que le câble 75 ohms permet la transmission en large bande de signaux numériques ou analogiques. En particulier, le câble 75 ohms est utilisé depuis de nombreuses années dans l'industrie de la télévision câblée d'où son nom de câble CATV. Le câble 50 ohms est encore appelé câble « bande de base » (baseband) par opposition avec le câble CATV qui est dédié à des services large bande. [2]



Figure I.8 : types du câble coaxial.

2.3 La fibre optique

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de lumière et sert dans la transmission de données par la lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques. Le principe de la fibre optique a été développé au cours des années 1970 dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporated). Entourée d'une gaine protectrice, la fibre optique peut être utilisée pour conduire de la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'information. En permettant les communications à très longue distance et à des débits jusqu'alors impossibles, les fibres optiques ont constitué l'un des éléments clés de la révolution des télécommunications. Ses propriétés sont également exploitées dans le domaine des capteurs (température, pression, etc.), dans l'imagerie et dans l'éclairage. D'une manière générale, le câble à fibre optique a trois éléments principaux, entre autres :

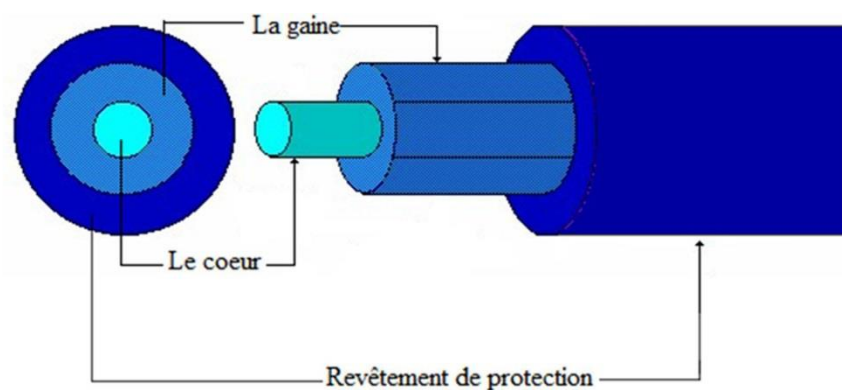


Figure I.9 : Structure d'une fibre optique.

Le cœur : Est un milieu dans lequel une quantité d'énergie lumineuse véhiculée au sein de la fibre sera confiné au voisinage du centre dont l'indice de réfraction est dans laquelle se propage la lumière.

La gaine : Elle est la partie qui enveloppe le cœur dont la réfraction est plus faible.

Le fourreau (revêtements) : Aussi appelé la gaine protectrice, assure à son tour la protection mécanique et chimique adéquate à la fibre optique.

2.3.1 Durée de vie d'un câble à fibre optique

La durée de vie d'un tel conducteur est estimée à au moins 20 ans. Le signal électrique à transmettre, est transformé en signal lumineux à l'aide d'un émetteur. L'émetteur utilise une LED (Light Emitting diode) diode électro luminescente ou un laser pour produire la lumière.

2.3.2 Avantages et inconvénients de la fibre optique

La fibre ne connaît pas beaucoup de points négatifs. Son principal inconvénient demeure son prix. La connectique et les travaux représentent un investissement conséquent dans le cadre du déploiement de la fibre optique mais offre de nombreux avantages pour les télécommunications :

La perte de signal sur une longue distance est très faible. Les débits sont très élevés et symétriques

La fibre optique est insensible aux perturbations radioélectriques. Vous ne risquez donc pas, par exemple, de voir votre image TV brouillée par temps de pluie.

L'entretien de la fibre est moins coûteux que certains autres types de câblages.

La rentabilité de la fibre est un autre avantage : le réseau fibre optique a un cycle de vie de 20 ans. Le seuil de rentabilité moyen est de 2 à 5 ans.

2.3.3 Principe de fonctionnement de la fibre optique

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne). L'ensemble est généralement recouvert d'une gaine plastique de protection.

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique sans perte, en empruntant un parcours en zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée.

Une fibre optique est souvent décrite selon deux paramètres :

La différence d'indice normalisé, qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine : est l'indice de réfraction du cœur, et celui de la gaine

2.3.4 L'ouverture numérique

L'ouverture numérique de la fibre "ON" représente le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre, pour que la lumière puisse être guidée sans pertes ; cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre, l'ouverture numérique est définie par la relation suivante : [4]

$$MON = \sin\alpha = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

n_c : indice de réfraction du cœur.

n_g : indice de réfraction de la gaine.

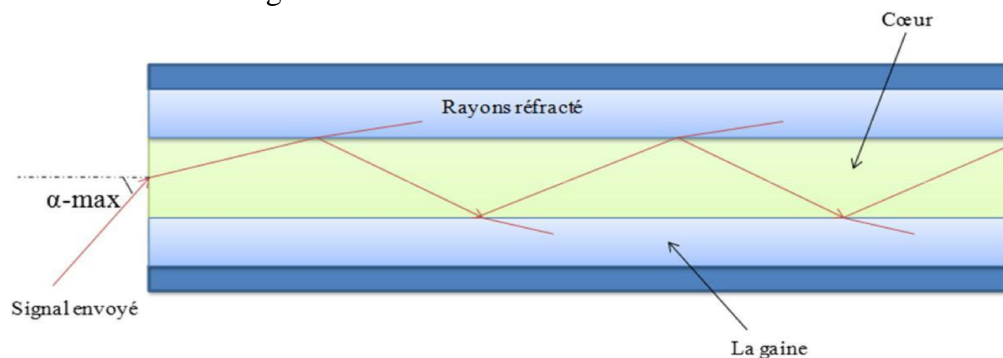


Figure I.10 : Guidage de la lumière dans une fibre optique.

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée :

- Fibre optique monomode.
- Fibre optique multimode.

2.3.4.1 Fibre optique multimode

Les fibres multimodes ont été les premières sur le marché et permettent la propagation de plusieurs modes (plusieurs trajets ou plusieurs faisceaux). Elles autorisent jusqu'à 680 modes pour $\lambda = 850 \text{ nm}$. En conséquence, elles sont utilisées uniquement pour des bas débits ou de courtes distances. Il existe deux familles pour la fibre optique multimode :

a) Fibre optique multimode à saut d'indice

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN. Etant donné que la fibre à saut d'indice est multimode, il existe plusieurs modes de propagation de la lumière au sein de son cœur de silice. Il existe dans cette fibre une très grande variation entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine optique. C'est pour cela que les rayons lumineux se propagent par réflexion totale interne en "dent de scie".

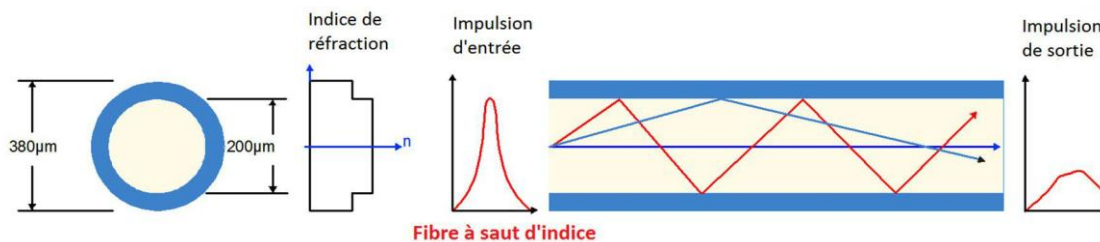


Figure I.11 : Fibre optique multimode a saut d'indice.

La fibre à saut d'indice possède un cœur très large. L'atténuation sur ce type de fibre est très importante comme on peut le voir sur la différence des impulsions d'entrée et de sortie. Le débit est d'environ 100Mb/s avec une portée maximale de 2km et un affaiblissement de 10dB/km.

b) Fibre optique multimode à gradient d'indice

La fibre multimode à gradient d'indice est elle aussi utilisée dans les réseaux locaux. C'est une fibre multimode, donc plusieurs modes de propagation coexistent. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence d'indice de réfraction entre cœur et gaine.

Cependant, le cœur des fibres à gradient d'indice est constitué de plusieurs couches de matière ayant un indice de réfraction de plus en plus élevé. Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique.

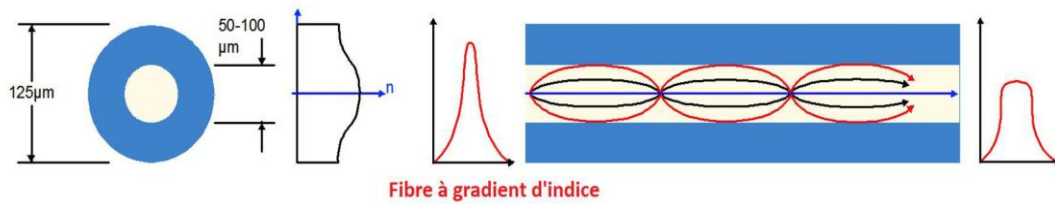


Figure I.12 : fibre optique multimode à gradient d'indice.

La fibre à gradient d'indice possède un cœur de taille intermédiaire. L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice.

- Débit : environ 1 Gbit/s.
- Portée maximale : environ 2 Km.
- Affaiblissement : 10 dB/Km.

2.3.4.2 Fibre optique monomode

La fibre monomode est la meilleure fibre existante à l'heure actuelle. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les cœurs de réseaux mondiaux. Un seul mode de propagation de la lumière existe : c'est le mode en ligne droite.

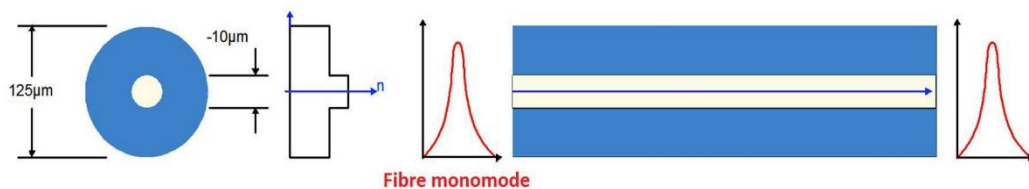


Figure I.13 : fibre optique monomode.

L'atténuation sur ce type de fibre est quasi nulle, c'est ce qui fait sa force.

- Débit : environ 100 Gbit/s.
- Portée maximale : environ 100 Km.
- Affaiblissement : 0,5 dB/Km.

2.3.5 Comparaison entre les différents types de fibres optiques

Etant donné qu'il y a différentes structures de fibres, elles ont par conséquent des capacités et des caractéristiques différentes. [5]

Le tableau suivant donne un bref récapitulatif des avantages et des inconvénients de chaque structure :

Tableau 1.1 : Comparaison entre les différents types de fibre optiques.

Structures	Avantages	Inconvénients	Applications pratiques
Multimode à saut d'indice (SI)	Grande ouverture numérique connexion facile, faible prix, facilité de mise en œuvre	Pertes, dispersion et distorsion importante du signal	Communications Courtes distance, réseaux locaux.
Multimode à gradient d'indice (GI)	Bande passante raisonnable et bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre	Communications courtes et moyennes distances
Monomode	Très grande bande passante et aucune distorsion	Prix très élevé	Communication longues distances

3 Les supports libres

3.1 Faisceaux hertziens

Le faisceau hertzien est un système de transmission radioélectrique comportant, en général, des stations relais intermédiaires entre le point de départ du signal et le point d'arrivée. Les faisceaux hertziens transhorizon utilisent la diffusion des ondes électromagnétiques dans la troposphère (figure 1.14) alors que les ondes hertziennes en visibilité supposent un trajet entre antennes d'émission et de réception suffisamment dégagé de tout obstacle (figure 1.15). [6]

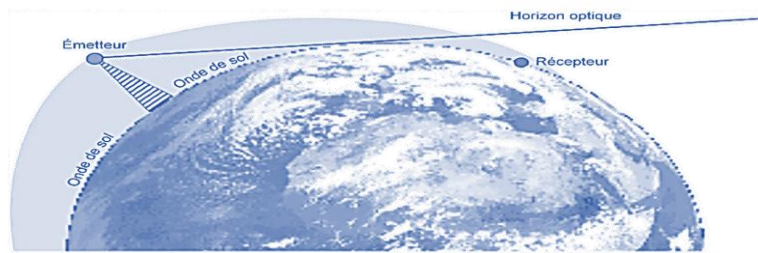


Figure I.14 : faisceaux hertziens transhorizon.

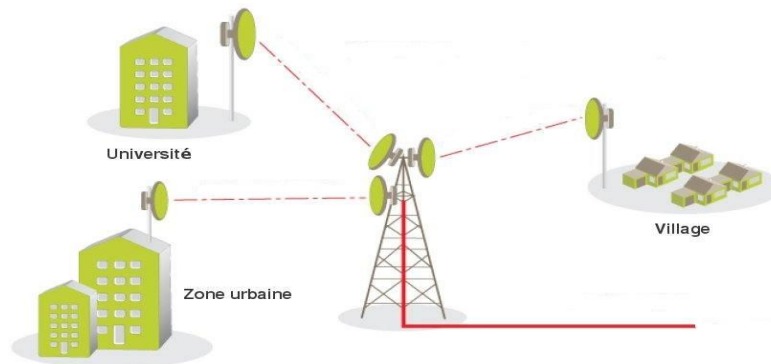


Figure I.15 : faisceaux hertziens en visibilité.

Une liaison hertzienne peut comporter un ou plusieurs bonds. Si la distance entre les deux points à relier est suffisamment faible pour que le bilan de puissance soit convenable et si l'on peut trouver des emplacements tels que les antennes soient en visibilité l'une de l'autre, on établit la liaison en un seul bond.

Si au contraire la distance entre les deux points à relier est trop grande ou si des obstacles empêchent les antennes d'être en visibilité l'une de l'autre, il faut établir une liaison en plusieurs bonds en utilisant des stations relais (figure1.15). [7]

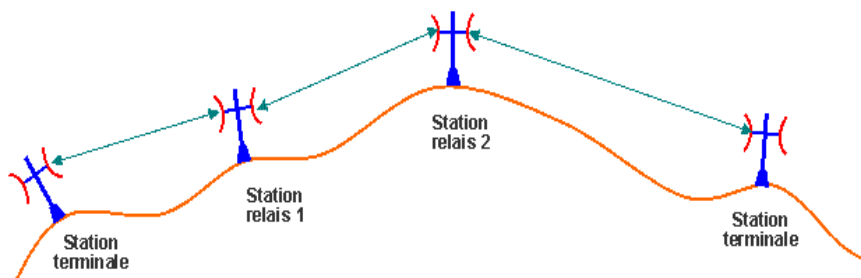


Figure I.16 : liaison en plusieurs bonds.

3.1.1 Classification des ondes hertziennes

Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence (tableau 1.2).

Tableau I.2 : Classification des ondes hertziennes.

Fréquence	Longueur d'onde	Classe métrique	Bande radio
3 à 30 kHz	30 à 10 km	Myriamétrique	Très basses fréquences : VLF
30 à 300 kHz	10 à 1 km	Kilométriques	Basses fréquences : LF
300 à 3 MHz	1 km à 100 m	Hectométriques	Moyennes fréquences : MF
3 à 30 MHz	100 à 10 m	Décamétriques	Hautes fréquences : HF
30 à 300 MHz	10 à 1 m	Métriques	Très hautes fréquences : VHF
300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	Décimétriques	Ultra hautes fréquences : UHF
3 à 30 GHz	10 à 1 cm	Centimétriques	Hyperfréquences (super hautes fréquences) : SHF
30 à 300 GHz	1 à 0,1 cm	Millimétriques	Extrêmement hautes fréquences : EHF

3.1.2 Antenne

Une antenne est un dispositif qui permet de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique en émission et vice versa en réception afin d'assurer la transmission de l'information. On peut les qualifier comme des adaptateurs d'impédances entre l'espace et l'émetteur ou le récepteur. [8]

Il existe des dizaines de types d'antennes, différentes par leur fonctionnement, leur géométrie, leur technologie...

- antenne en parapluie ou en nappe pour ondes kilométriques
- antenne boucle (loop) de différentes formes (carré, triangle, losange...), verticale ou horizontale.
- antenne doublet filaire pour ondes décimétriques.
- antenne yagi-uda à éléments parasites, très directive et à gain important.
- antenne quart d'onde verticale omnidirectionnelle pour très hautes fréquences (THF ou VHF).
- antenne rideau ou colinéaire à la directivité très marquée.
- antenne cadre magnétique, de dimensions réduites.
- antenne diélectrique ou à ondes de surface.
- antenne hélice pour ondes décimétriques, à polarisation circulaire
- antenne parabolique pour ondes centimétriques (hyperfréquences).
- antenne à fente sur ondes millimétriques [9]

3.2 Antennes à réflecteur (parabolique)

Une antenne à réflecteur ou antenne parabolique est constituée d'une source rayonnante qui est en général une antenne dipôle ou cornet, placée au foyer d'un réflecteur parabolique qui assure la concentration des ondes reçues ou émises (figure II.13). Le but de la source est d'éclairer entièrement la surface du réflecteur avec le signal à émettre.

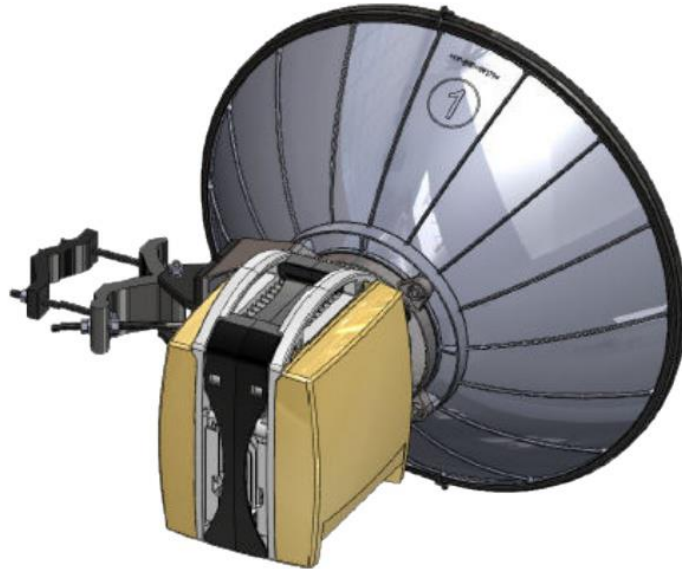


Figure I.17 : antenne parabolique équipée d'une radio.

3.2.1 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne montre les variations du champ ou de la densité de puissance dans l'espace de rayonnement de l'antenne à une distance fixe.

$$P(\theta, \phi) = \frac{Pa}{4\pi}$$

$$r(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_{max}}$$

$P(\theta, \phi)$: Puissance de l'antenne ;

Pa : Puissance d'alimentation ;

$r(\theta, \phi)$: rayonnement de l'antenne

L'antenne isotrope qui rayonne d'une façon équivalente (omnidirectionnelle) dans toutes les directions de l'espace est une antenne hypothétique qui sert comme antenne de référence pour l'étude d'autres types d'antennes. Son diagramme de rayonnement se présente sous forme d'une sphère (Figure II.13). [10]

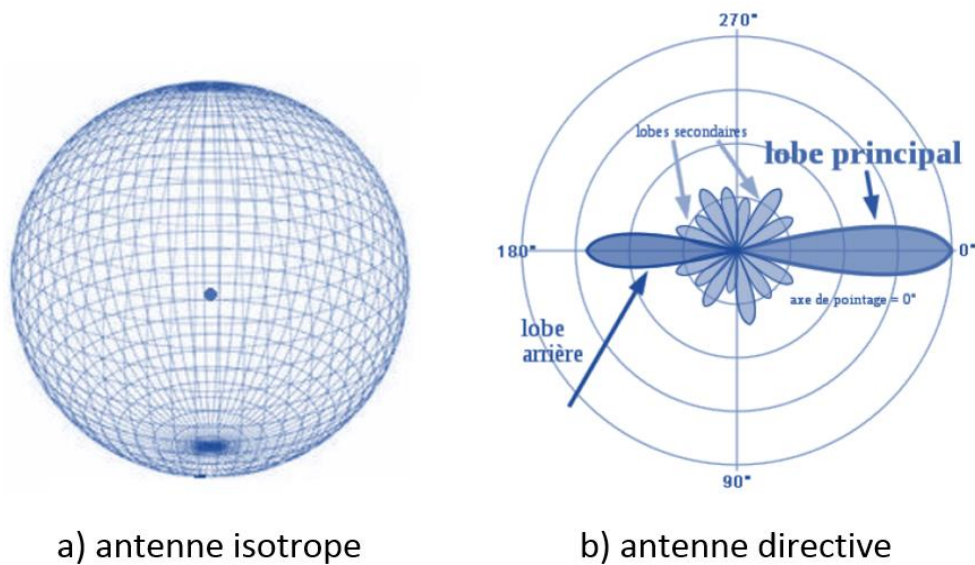


Figure II.18: Diagramme de rayonnement d'une antenne.

L'antenne isotrope n'existe pas et n'est pas réalisable. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions sont privilégiées : ce sont les lobes de rayonnement. Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser ces lobes dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important. [11]

L'énergie émise dans un de ces lobes est très supérieure à celle dans les autres directions. Il s'agit du lobe principal. Les autres sont appelés les lobes secondaires ou lobes mineurs.

3.2.2 Directivité

La directivité est la capacité d'une antenne à focaliser l'énergie dans une direction particulière au moment de transmettre ou de recueillir l'énergie, provenant d'une direction particulière. Si un lien sans fil est fixe aux deux extrémités, il est possible d'utiliser la directivité d'antenne pour concentrer le faisceau de rayonnement dans la direction voulue. [12]

$$D(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{\eta P_a}$$

$$\eta = \frac{P}{P_a}$$

D : directivité d'antenne ;

η : Rendement d'une antenne.

3.2.3 Le gain d'antenne parabolique

Le gain est le rapport entre l'énergie irradiée dans une direction particulière et l'énergie totale émise par l'antenne dans toutes les directions. Il s'agit donc du taux de concentration de l'énergie dans une direction donnée par rapport à celui d'une antenne isotrope. Plus l'antenne est directionnelle, plus le gain est grand. [13]

Le gain isotrope de l'antenne parabolique dépend principalement de son diamètre et de la fréquence d'utilisation mais aussi, dans une moindre mesure, de l'efficacité du système d'illumination de la parabole par la source (coefficient k) et de la précision de réalisation du réflecteur. [14]

On peut utiliser la formule

$$G : \text{gain de l'antenne ;} \quad G = 10 \log \left(K \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right)$$

D : diamètre de l'antenne ;

λ : longueur d'onde.

L'antenne parabolique est une antenne très directive son gain typique varie de 10 à 60dB.

3.3 Ellipsoïde de Fresnel

L'ellipsoïde de Fresnel est un volume dans l'espace permettant d'évaluer l'atténuation apportée par un obstacle (immeuble, colline...) à la propagation d'une onde radio. Il est calculé à partir de la diffraction de l'onde par un émetteur hypothétique ayant une ouverture circulaire pour les longueurs d'onde VHF, UHF ou hyperfréquences. La méthode de l'ellipsoïde de Fresnel permet d'évaluer le rayon à l'intérieur duquel se produit l'atténuation le long du trajet de l'onde et de calculer les pertes.

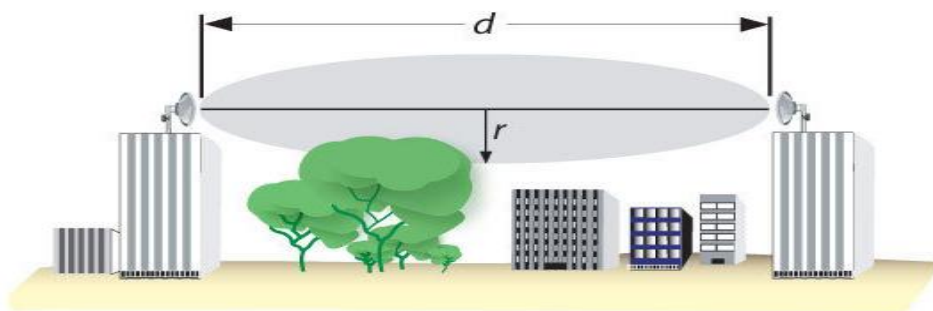


Figure I.19 : Ellipsoïde de Fresnel.

Tout obstacle se trouvant à l'intérieur de l'ellipsoïde reflétera une partie de l'onde de manière diffuse et la partie qui arrivera au récepteur pourra être déphasé par rapport au signal direct. Cela causera des interférences qui affaibliront généralement le signal reçu. Par contre, dans certaines circonstances le signal direct et celui réfléchi sont en phase, donnant un rehaussement du signal.

Pour calculer le rayon de l'ellipsoïde au centre du trajet, là où il est le plus grand, on utilise la formule suivante : [15]

$$r = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

r : rayon de l'ellipsoïde ;

d : distance entre les antennes ;

λ : longueur d'onde.

3.3.1 Intérêts et inconvénients

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

C'est le moyen de communication idéal pour les liaisons avec les objets mobiles : piétons, automobiles, bateaux, trains, avions, fusées, satellites, etc...

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

Les inconvénients principaux des liaisons hertziennes (par rapport aux autres supports) sont aussi liés à l'absence de support physique :

- Comment faire pour que tout le monde puisse communiquer en même temps ?

Ce problème n'existe pas par rapport à une liaison filaire : chacun son câble ! Dans le cas des liaisons hertziennes, ceci impose une gestion stricte des fréquences : Chaque système de transmission radio dispose d'une certaine bande de fréquence qui lui est allouée.

- Comment garantir la confidentialité de transmission entre l'émetteur et le récepteur ?

N'importe quel « espion » peut intercepter une communication puisque l'information est transmise en « espace libre ». Cet inconvénient est corrigé par l'utilisation de cryptage de l'information entre l'émetteur et le récepteur. [16]

3.4 Les transmissions par satellite

Un satellite de télécommunication peut être considéré comme une sorte de relais hertzien. En effet, il ne s'occupe pas de la compréhension des données : ce n'est qu'un simple miroir. Son rôle est de régénérer le signal qu'il a reçu et de le retransmettre amplifié en fréquence à la station réceptrice. Le satellite offre également une capacité de diffusion, c'est-à-dire qu'il peut retransmettre les signaux captés depuis la terre vers plusieurs stations. La démarche inverse peut également être effectuée ; il peut récolter des informations venant de plusieurs stations différentes et les retransmettre vers une station particulière. De plus, il est également possible d'établir des liaisons directes entre satellites.

Le but d'une transmission par satellite est d'assurer une liaison radiofréquence intercontinentale pour permettre la transmission de l'information. Le concept de télécommunication par satellite a été décrit pour la première fois par Arthur C. Clarke en 1945 dans la revue *Wireless World*. Le premier satellite fut lancé en 1957, il s'agit d'un satellite Russe (ex URSS) nommé SPOUTNIKI.

Il existe de nombreux systèmes de télécommunication par satellite dont le plus grand Intelsat regroupe une centaine d'Etats avec une constellation de 24 satellites à travers 6 séries différents (Intelsat 1, Intelsat 2, ..., Intelsat 6). L'expansion de la technologie satellitaire a favorisé de nombreux progrès dans des domaines divers et variés tels que la météorologie, la téléphonie mobile, la télévision par satellite, le transfert de données, le guidage par satellite (GPS), l'Internet et bien d'autres encore.

Une station terrestre émet vers le satellite un flux d'information (voie montante), le satellite n'est qu'un simple répéteur, il régénère les signaux reçus et les réémet en direction de la terre (voie descendante), la figure I.17 illustre le principe d'une liaison satellitaire.

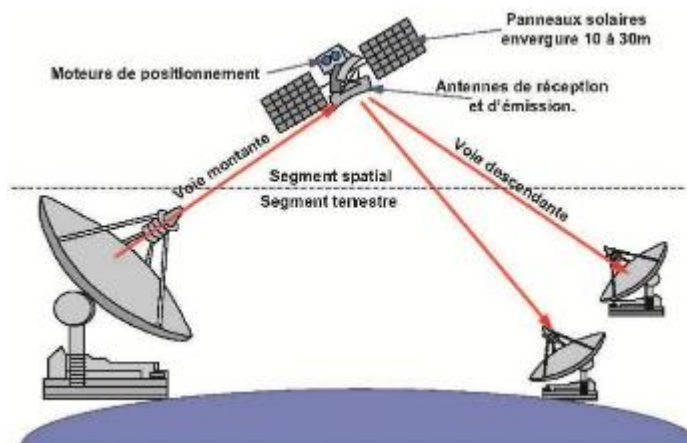


Figure I.20 : Principe d'une liaison satellitaire.

3.4.1 Caractéristiques principales des systèmes satellitaires

Un satellite de télécommunications est un relais hertzien en orbite. Le fait d'être en orbite par rapport à un relais terrestre conduit aux conséquences suivantes : - un système satellitaire demande peu d'infrastructures terrestres ; - un système satellitaire peut fonctionner indépendamment des autres systèmes terrestres ; - un système satellitaire possède une large couverture. En conséquence un système satellitaire peut être déployé rapidement tout en couvrant une population importante.

3.4.2 Architecture d'un système de transmission par satellite

Un système de transmission par satellite est composé :

- D'un segment spatial
- D'un segment terrien

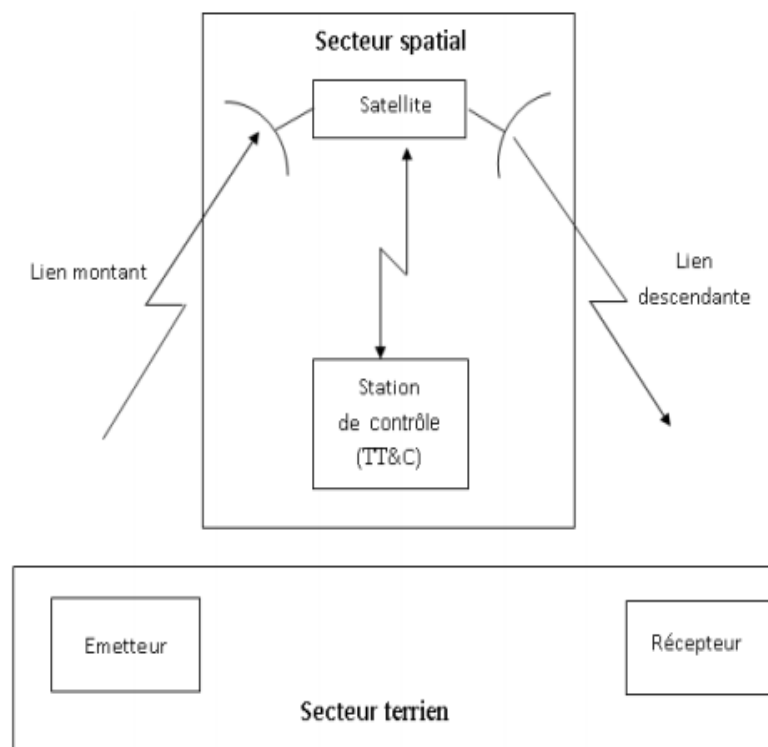


Figure I.21 : Architecture d'un système de transmission par satellite

3.4.2.1 Le segment terrestre :

Le segment terrestre comporte l'ensemble des stations terriennes au sol ainsi qu'une partie contrôle qui assure la collecte et le traitement des données, puis la diffusion des services aux usagers. Les stations se distinguent par leur taille qui varie en fonction du volume de trafic à acheminer sur la liaison spatiale ainsi que du type de trafic offert (voix, données, téléphonie, etc...). Le positionnement des antennes au sol est déterminé par deux paramètres essentiels :

- L'angle du site
- L'azimut

3.4.2.2 Le segment spatial :

Le segment spatial est constitué du satellite et de l'ensemble des moyens de contrôles situés au sol, notamment l'ensemble des stations de poursuite, de télémétrie et de télécommande (TT&C) ainsi que le centre de contrôle du satellite, où sont décidées toutes les opérations liées au maintien à poste et vérifiées les fonctions vitales du satellite.

Les moyens de contrôle au sol sont en charge de la mise et du maintien en orbite du satellite, de la programmation de la mission ainsi que de la fourniture des données et des services aux responsables de ces systèmes de communications satellitaires.

Tout satellite comporte une charge utile, constituée par les instruments liés aux objectifs de la mission et une plateforme de service comportant tout ce qui est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des instruments pendant la durée de la mission.

Parmi les contraintes particulières au milieu spatial, on peut citer :

- Les contraintes d'autonomie énergétique
- Les contraintes thermiques
- Les contraintes mécaniques
- Les contraintes de masse

La charge utile comprend d'une part les instruments spécifiques, et d'autre part une case à équipements qui contient les enregistreurs de données et l'informatique à bord. La plateforme comporte un module de service et un module de propulsion. Ces deux modules regroupent ce qui est nécessaire à l'autonomie énergétique du satellite, à sa bonne orientation dans l'espace, aux corrections éventuelles de trajectoires, à sa communication avec les stations au sol.

La plateforme héberge en outre les sous-systèmes permettant le fonctionnement de la charge utile, notamment :

- **L'alimentation électrique** : tous les satellites ont besoin d'énergie pour fonctionner. Le soleil fournit l'énergie nécessaire pour la plupart des satellites en orbite. Ce système d'alimentation en énergie utilise des panneaux solaires pour convertir la lumière en énergie électrique, ainsi que des batteries pour la stocker, et un système de distribution qui transmet l'énergie électrique à chaque instrument.
- **Le contrôle thermique** : le système protège tous les équipements du satellite des dommages dus à l'environnement spatial. En orbite, un satellite est exposé à de brutaux changements de températures (de -120° lorsque le satellite est dans l'obscurité, jusqu'à 180° lorsque le satellite se trouve exposé au soleil). Le contrôle de la température utilise une unité de distribution de chaleur ainsi qu'un système de couverture thermique pour protéger les équipements électroniques du satellite de ces brusques changements de température.
- **Les équipements de propulsion** : ce système permet au satellite de rester stable et de toujours être orienté dans la bonne direction. Le satellite possède des capteurs qui lui permettent de connaître son orientation. De plus, le satellite a aussi besoin de pouvoir se déplacer pour corriger sa position, c'est pourquoi il possède un mécanisme de propulsion. La performance du système de contrôle d'altitude dépend de l'utilisation du satellite. Un satellite utilisé pour faire des observations scientifiques a besoin d'un système de contrôle d'une plus grande précision que pour un satellite de télécommunications.
- **Les équipements de poursuite, de télémessure et de télécommande (TT&C)** : ces équipements se composent d'un système émetteur, d'un système récepteur, ainsi que de diverses antennes permettant de relayer les informations entre la Terre et le satellite. La base de contrôle au sol utilise ces équipements pour transmettre de nouvelles instructions à l'ordinateur du satellite. Ce système permet aussi de transmettre des images ou autres formes de données enregistrées, aux ingénieurs se trouvant sur Terre.
- **La structure** : représente tous les équipements permettant au satellite de réaliser la fonction pour laquelle il est destiné. Pour un satellite de communications, la charge utile peut représenter les antennes réfléchissant le signal TV ou le signal téléphonique. Pour un satellite d'observation, la charge utile est composée de caméras digitales et de

capteurs d'image pour prendre des clichés de la surface de la Terre. Cette charge utile comporte un ensemble de canaux, chaque canal étant équipé d'un amplificateur d'émission opérant dans une sous bande particulière de la bande totale allouée au satellite. Cette disposition permet d'offrir, dans chaque canal, une puissance en rapport avec l'état de développement technologique des amplificateurs micro-ondes embarqués, alors que la mise en œuvre d'un seul amplificateur pour l'ensemble de la bande conduirait à une dissémination de la puissance de cet amplificateur. [17]

4 Discussion

Dans un premier temps nous avons commencé par nous familiariser avec les principaux supports de transmission utilisée dans la transmission, donné leur avantages et inconvénients et leurs meilleurs utilisations possible.

Dans le chapitre suivant nous allons évoquer les techniques de modulations et de multiplexages utilisés dans notre travail.

Chapitre II : Les techniques de transmission

1 Préambule :

Les faisceaux Hertiens sont des supports de transmission point à point. Les fréquences porteuses utilisent les ondes radio électriques, hyperfréquence de 2 à 40GHz (la nouvelle technologie de la radio d'Ericsson est disponible dans le commerce en 7, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 38 GHz.). L'énergie des ondes est concentrée dans une direction donnée à l'aide d'une antenne assez directive.

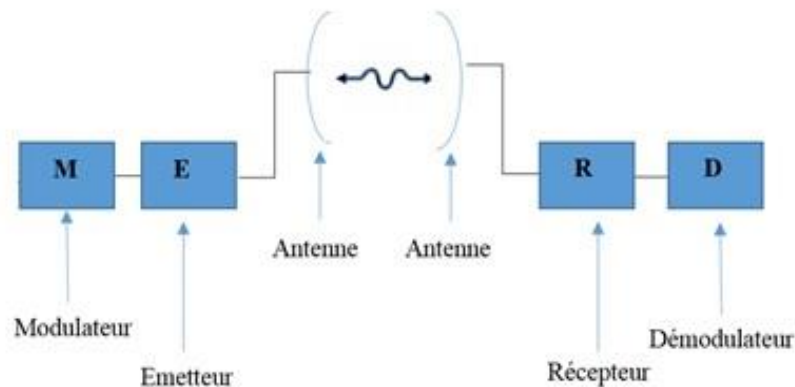


Figure II.1 : Système de transmission FH.

2 Mode de propagation

En espace libre, les ondes radioélectriques qui se propagent entre les antennes, doivent être dégagées de tous obstacles, c'est une liaison à visibilité directe :

- les antennes sont installées sur des points hauts, tours ou pylônes.
- Les liaisons sont effectuées en un ou plusieurs bonds.

D'autres modes de transmissions sont possibles (transhorizon, par exemple), mais ne sont appliqués que par l'armée.

2.1 Signaux à transmettre, et Multiplexage

2.1.1 Signaux numériques

La plupart des signaux à transmettre sont des signaux analogiques : sons, voix humaine images ...

Ces signaux sont donc numérisés avant d'être transmis. Ordres de grandeurs des débits nécessaires :

- voix humaine (300 – 3400 Hz) codée à 64kbit/s
- données codées de 300 bits/s à 2 Mbit/s (data)

- image animée, cinéma ou TV : de 216 Mbit/s à 128 kbit/s (dépendant de la qualité voulue)

Pour numériser un signal, il est tout d'abord échantillonné, ce qui lui permet d'être converti en nombre binaire ; et il est ensuite quantifié, pour lui attribuer un niveau de tension par rapport à son échantillonnage ; et pour terminer, il est codé pour être ainsi transmis. [18]

3 Multiplexage des signaux numériques

Le multiplexage est une technique qui consiste à faire passer plusieurs informations à travers un seul support de transmission. Elle permet de partager une même ressource entre plusieurs utilisateurs. [19]

3.1 Multiplexage temporel (TDMA : Time Division Multiple Acces)

Avec cette technique c'est la variable temps qui sera partagée entre plusieurs sources d'informations à faible débit. Un commutateur permet de délivrer sur la même ligne de transport de l'information, mais à des instants différents et successifs.

Ce type de multiplexage permet d'utiliser la même fréquence pour plusieurs émetteurs, par exemple en GSM on loge 8 sources à un canal de même fréquence. [20] Les éléments des messages de chaque voie sont mémorisés sous forme de bits ou de caractères (multiplexage par bit ou par caractères) dans des mémoires tampon, puis transmis séquentiellement sur la voie composite. Les éléments sont ainsi assemblés pour former des trames multiplexées. [21]

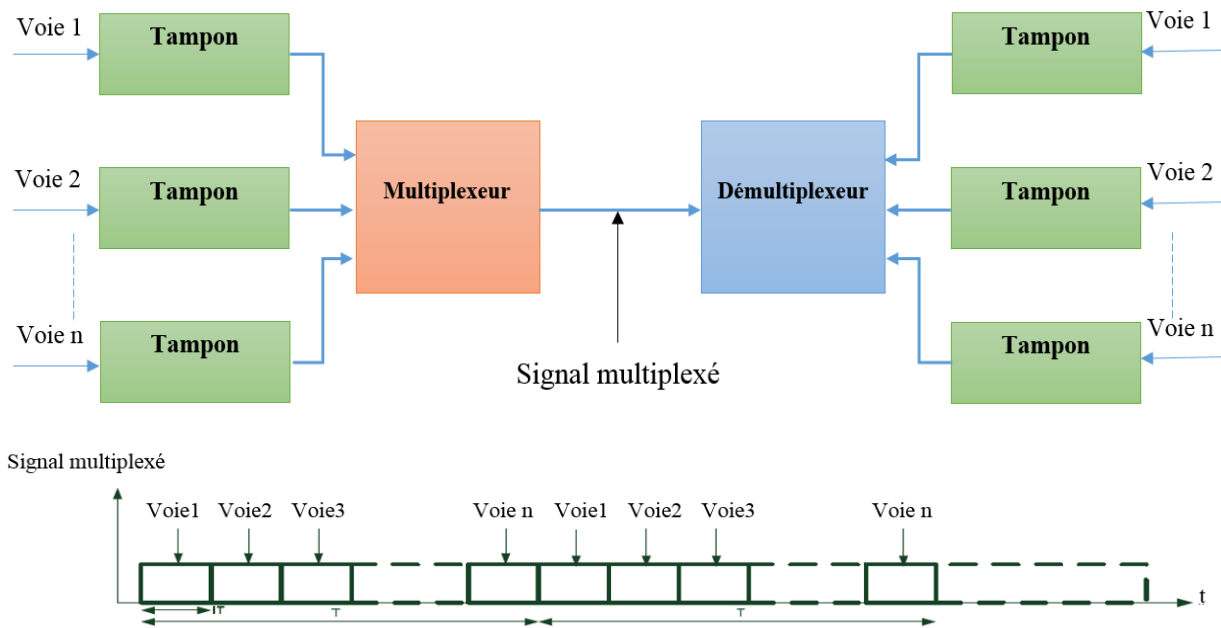


Figure II.2 : principe de multiplexage temporel.

La trame apres le multiplexage a un débit de 2 Mbits/s.

$$D = \frac{N \times 8}{T}$$

D : Débit binaire.

N : Nombre d’octets à transmettre.

T : Le temps nécessaire pour émettre ces octets.

La période de 125µs comprise entre échantillons consécutifs d’une même voie est divisée en 32 intervalles de temps notés IT 0 à IT 31 (IT : Intervalles de Temps). Par convention, l’IT 0 et l’IT 16 sont réservés a la synchronisation et la signalisation . Il reste donc 30 IT pour transporter l’information, soit 30 voies. Cette structure périodique est dite trame MIC. (figure II.3).

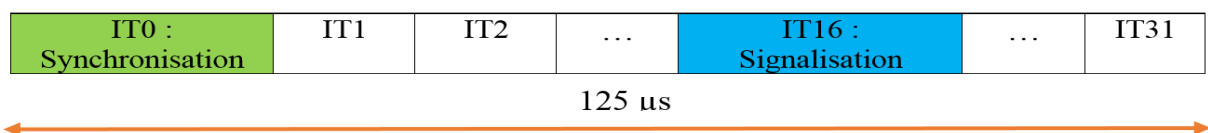


Figure II.3 : structure de la trame mic.

32 intervalles de temps (IT) de 8 bits, soit 256 bit par trame.

Durée de la trame : 125 μ s (fréquence de trame : 8kHz)

Débit nominal = (32 8) bits / 125 μ s = 2048 Kbits/s

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

Durée d'un bit : 488 ns. [18]

3.2 Le système de transmission PDH

3.2.1 Principe de fonctionnement

Le système PDH est le système de transmission numérique fondé sur le débit d'une voie téléphonique du RNIS à 64 kbit/s (un octet de voix transféré toutes les 125 μ s). Le multiplexage de voies téléphoniques consiste par conséquent en un multiplexage temporel synchrone par caractères de 8 bits chacun, avec un octet par canal transporté.

PDH repose sur deux hiérarchies différentes définies dans des recommandations de l'UIT-T :

- en Amérique du Nord et au Japon, la hiérarchie utilise un multiplex de 24 canaux (soit 24 octets auxquels est ajouté un bit de synchronisation), soit un débit de 1,544 Mbit/s;
- en Europe, elle utilise un multiplex de 32 canaux (soit 32 octets), soit un débit de 2,048 Mbit/s.[2]

3.2.2 La hiérarchie du PDH :

La hiérarchie du système plésiochrone comprend cinq niveaux appelés ordres (figure II.4)

E1 correspondant à 2 048 kbit/s ;

E2 correspondant à 8 Mbit/s ;

E3 correspondant à 34 Mbit/s ;

E4 correspondant à 140 Mbit/s ;(le plus haut débit normalisé)

E5 n'a jamais été normalisé ;

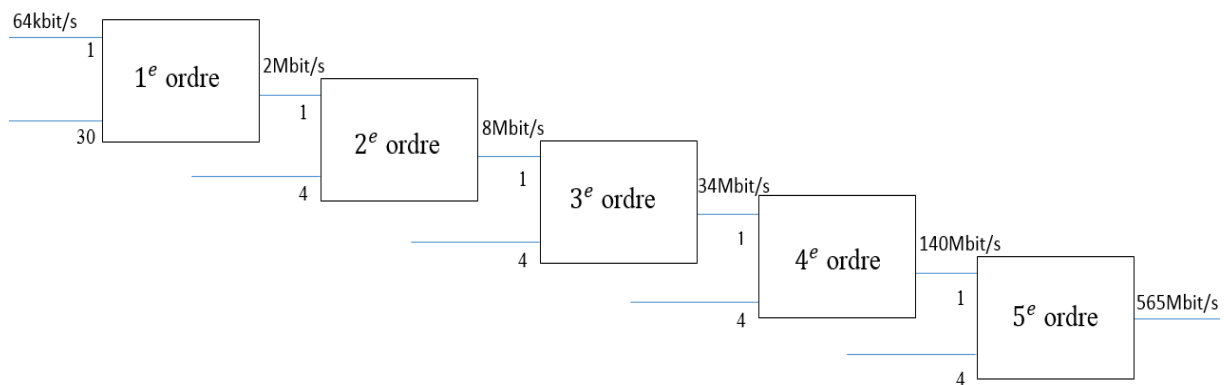


Figure II.4: Les cinq niveaux de la hiérarchie plésiochrone.

Le faisceau hertzien peut transporter plusieurs trames PDH de 2 Mbit/s (4x, 8x, 16x2Mbits/s). Lorsqu'un équipement de transmission transporte un signal PDH, il est ajouté à ce signal des éléments propres à la supervision de la transmission (voies de service, alarmes, télécommandes, télésignalisations...) et à l'amélioration de la qualité (code correcteur d'erreurs...). [18]

3.2.3 Limitation du PDH

Les réseaux PDH ont été développés à une époque où les transmissions point par point représentaient l'essentiel des besoins, mais sont désormais une norme ancienne qui ne répond plus aux exigences actuelles :

- Absence de normalisation internationale
- Une technique qui impose des multiplexages/démultiplexages en cascade : -Lourdeur de la mise en œuvre -Dégradation de la qualité
- La trame PDH ne contient pas d'octets réservés à l'exploitation. Sauf le CRC.
- Pas de ressources de gestion intégrées Vers la fin de 1980, les difficultés rencontrées au niveau du PDH, seront résolues grâce à l'arrivée d'une nouvelle hiérarchie de transmission qui est la SDH (Synchronous Digital Hierarchy).[22]

3.3 Le système de transmission SDH

3.3.1 Principe de fonctionnement

La hiérarchie (Synchronous **D**igital **H**ierarchy) normalisée par l'UIT-T et son équivalent américain SONET (Synchronous **O**ptical **N**etwork) sont utilisés par les opérateurs de télécommunication dans les réseaux haut débit comme ATM pour fournir une structure de trame et transporter des cellules ATM ou des paquets IP sur des transmissions séries point à point généralement en fibre optique.

La technologie SDH conçue au départ pour des communications en mode circuit, telles les communications téléphoniques, est aujourd'hui fortement concurrencée par Ethernet, architecture conçue à l'origine pour le transport de paquets IP, majoritaires aujourd'hui sur l'ensemble des services.

Suivant le type de trame utilisée, SDH permet des débits hiérarchisés de quelques centaines de mégabits par seconde à plusieurs gigabits par seconde (tableau II.1).

Tableau II.1 : Débits hiérarchisés du protocole SDH.

Trame SDH	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64	STM-128	STM-256
Debit	155,52 Mbit/s	622,08 Mbit/s	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	20 Gbit/s	40 Gbit/s
Support	Fo,radio,cable coaxial	Fibre optique	Fibre optique	Fibre optique	Fibre optique	Fibre optique

Les données sont transportées dans des trames synchrones (Synchronous Transport Module) et « empaquétées » dans des conteneurs virtuels (Virtual Container) qui englobent les données d'un même paquet réparties sur plusieurs trames. Les trames sont émises toutes les 125µs.

La trame de base STM-1 comporte 9 x 270 octets (9 rangées de 270 octets). Chaque rangée contient une partie en-tête et une partie données (figure II.5) :

- **TOH (Transport OverHead)** : en-tête de transport sur 9 octets (par rangée), contient des fanions, des informations d'erreur de trames, et la valeur du décalage du paquet de données ;
- **POH (Path OverHead)** : en-tête de routage sur 1 octet, contient un identificateur de chemin (adressage au format E.164) contrôlé par une information d'erreur ;
- **Champ des données** : plage de 9 x 261 octets dans laquelle sont placés les paquets de données (**Synchronous Payload Envelope**). Pour pouvoir adapter en temps et en longueur le format des paquets de données aux réseaux et aux protocoles de

niveaux supérieurs, un décalage dont la valeur se trouve dans l'en-tête de transport TOH est introduit.

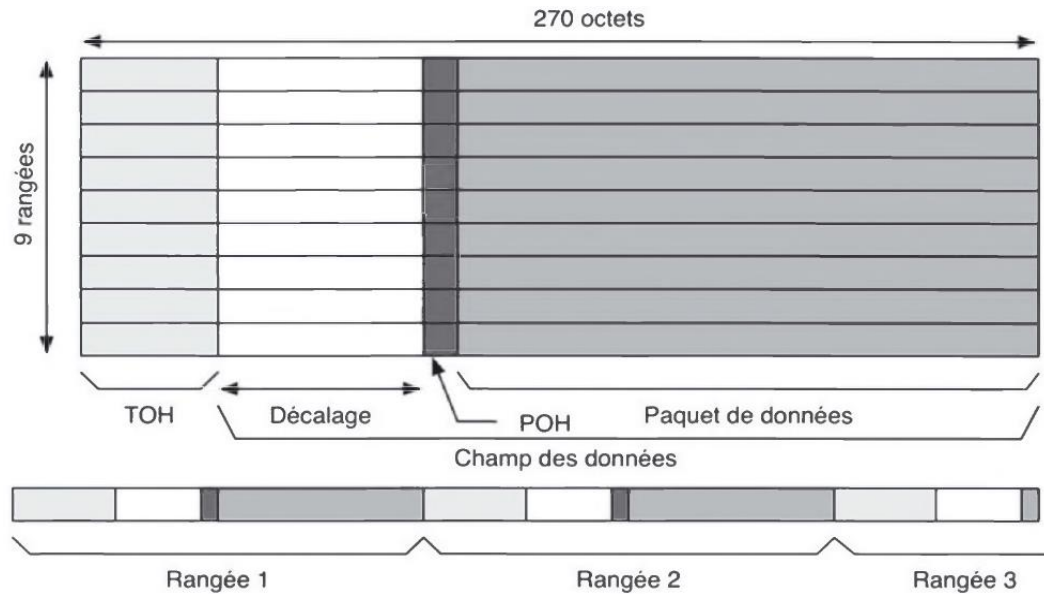


Figure II.5 : structure d'une trame STM-1 et ordre de transmission.

La figure II.6 montre comment des cellules ATM de 53 octets et des paquets IP de 500 octets peuvent être transportés. Le décalage du champ TOH donne la position de la première cellule ou paquet dans le champ de données. Suivant le flux et le débit souhaité, plusieurs cellules ou paquets peuvent ainsi se succéder.

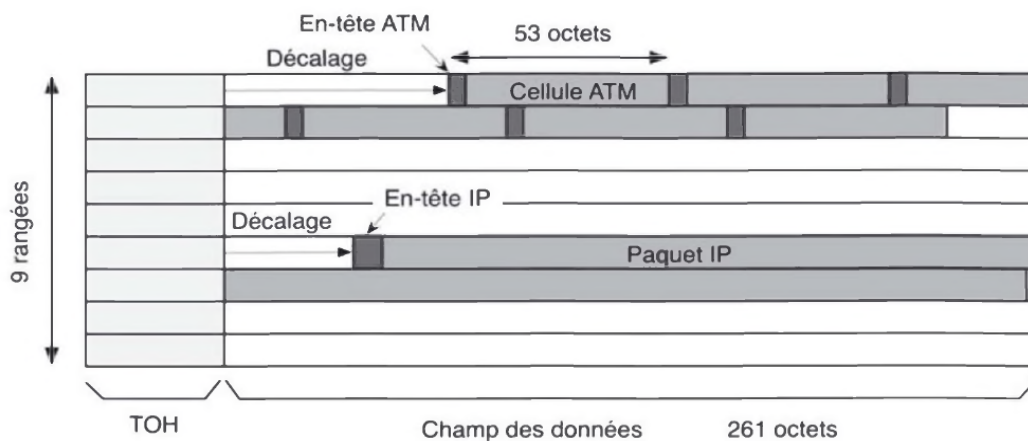


Figure II.6 : Exemple de transport de cellules et de paquets dans une trame STM-1.

L'organisation hiérarchique de SDH permet de multiplier les débits en construisant par exemple une trame STM-4 par concaténation de quatre trames STM-1 (figure II.7). Cette méthode permet :

- de réduire le nombre de liaisons physiques en fibre optique sur un réseau en utilisant des liens d'interconnexion haut débit ;
- de transporter plusieurs types de données suivant différents protocoles dans une même trame. [23]

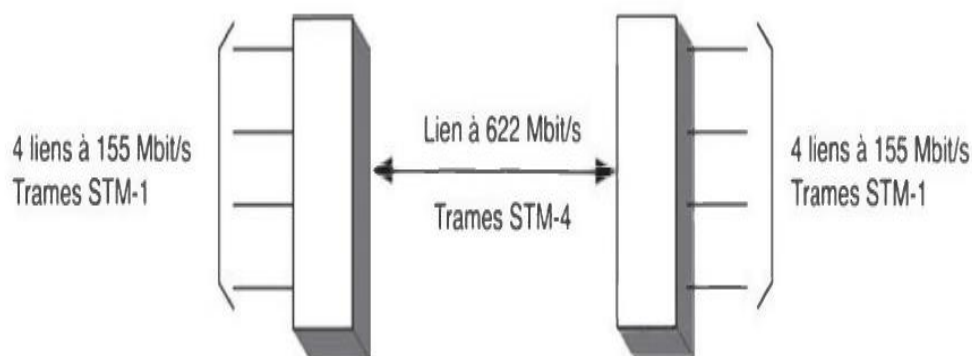


Figure II.7 : Hiérarchisation des débits sur les liens d'interconnexion.

3.3.2 Structure de multiplexage SDH

Le conteneur C_n est une entité sous forme de blocs d'octets dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des différents débits affluents à la SDH.

Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plésiochrones de départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants. Le " n " de C_n dépend du débit entrant, par exemple : [24]

Tableau II.2 : Débit entrant dans chaque conteneur.

Dénomination	Débit entrant (Mbits/s)
C11	1.544
C12	2.048
C3	34.368 ou 44.736
C4	139.264

Le C-12 est issu d'un affluent PDH E1 (2.048Mb/s). Nous savons que ce multiplex est constitué de trames de 32 octets d'une durée de 125 µs. Comme SDH aussi procède à des découpages de 125 µs, on se retrouve avec des blocs de données de 32 octets. En ajoutant deux octets de surdébit, on obtient le conteneur C-12 de capacité 34 octets. Les deux octets supplémentaires servent à adapter le débit de l'affluent au rythme de l'horloge SDH en utilisant la technique de justification. [25]

Après la constitution d'un conteneur C-12, on ajoute un identificateur de chemin POH et on obtient un conteneur virtuel VC-12 de capacité 35 octets.

La Tributary Unit TU-12 est obtenue en ajoutant un pointeur au VC-12, qui de localiser le début du VC par rapport au début de la TU.

La TUG-2 est formée de Trois TU-12 multiplexées octet par octet. Elle est donc constituée de 108 octets, et on a aussi à la suite le VC-3 qui est constitué de 7 TUG-2 multiplexées octet par octet auxquelles on ajoute 9 octets de POH ce qui fait 765 octets. Le VC-3 sera transporté vers l'unité administrative AU-3 dans un espace de 9 lignes et 87 colonnes. Comme le VC-3 ne comporte que 85 colonnes, les colonnes 30 et 59 de AU-3 sont remplies par des octets de bourrage.

Le groupe AUG reçoit trois AU-3 multiplexées octet par octet qu'il peut encore former une trame STM-1 en lui ajoutant surdébit RSOH qui contient les informations utiles aux modules régénérateurs ainsi que le surdébit MSOH qui contient les informations utiles aux modules de multiplexage.

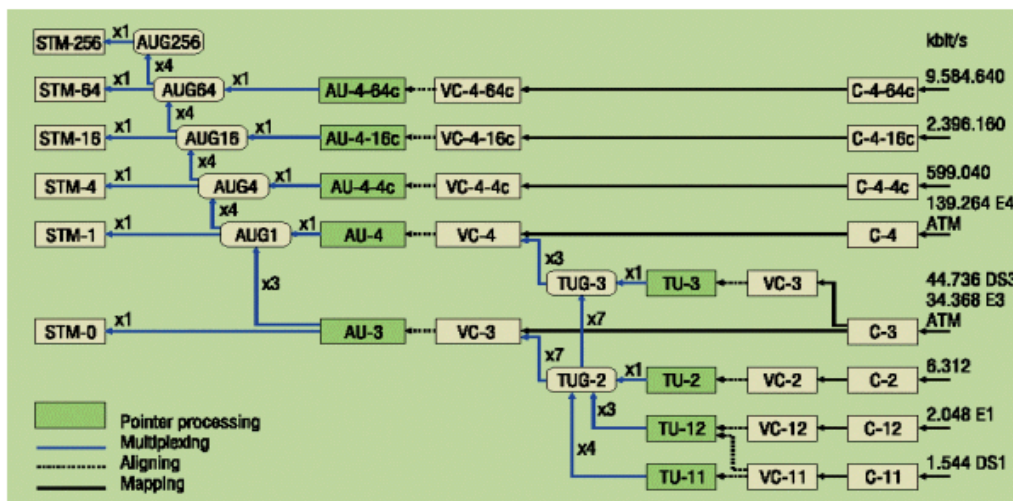


Figure II.8 : L'arbre de multiplexage SDH.

3.3.3 Les équipements SDH

La hiérarchie synchrone met en œuvre trois types d'équipements (figure II.8) :

- Les multiplexeurs d'accès permettent le multiplexage et le démultiplexage de plusieurs affluents plésiochrones et/ou synchrones.
- Les multiplexeurs à insertion/extraction (ADM, Add Drop Mux) assurent le transfert des données d'Est en Ouest ($E \leftrightarrow W$) tout en autorisant l'extraction et/ou l'insertion de sous-débit.
- Les brasseurs numériques (DXC, Digital Cross Connect) modifient l'affectation des flux d'information entre un affluent d'entrée et un affluent de sortie. Le croisement de flux est défini par l'opérateur, il est permanent. [1]

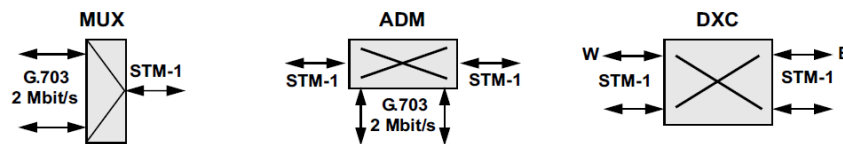


Figure II.8 : Les équipements SDH.

3.3.4 Les avantages de SDH :

La technologie SDH introduit de nouvelles possibilités dans les réseaux de transmission:

- Souplesse accrue par la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplexeur de ligne ;
- Facilités d'exploitation-maintenance: des débits importants sont réservés à ces fonctions ;
- Interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes ;
- Architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipement.

3.3.5 Limitation des SDH :

- Rigidité (Granularité limitée) ;
- Non adaptée au trafic de données ;
- Approvisionnement (allocation automatique des ressources) lent ;
- Protection au niveau conduit ou section mais pas au niveau trame ;
- Gaspillage de la bande passante. [22]

3.4 Système de transmission WDM :

3.4.1 Le principe de WDM :

Avec la fibre optique, il est possible d'utiliser plusieurs longueurs d'onde simultanément. C'est justement sur ce principe qu'une technique de modulation a été mise en place avec de nombreux avantages mais tout de même quelques limites.

3.4.2 Le fonctionnement :

Le principe du multiplexage en longueur d'onde est donc d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes. La fibre optique se prête d'autant plus à cela que sa bande passante est très élevée (de l'ordre de 25000GHz). La norme ITU-T G692 définit la plage de longueurs d'ondes dans la fenêtre de transmission de 1530 à 1565 nm et un espacement normalisé entre deux longueurs d'ondes de 1,6 ou 0,8 nm. Le multiplexage de longueur d'onde se fait exclusivement sur fibre monomode. Lorsque l'espacement utilisé entre deux longueurs d'ondes est égal ou inférieur à 0,8 nm ou lorsque plus de 16 canaux sont utilisés, on parle alors de DWDM.

Aujourd'hui, il est possible d'atteindre des débits pouvant aller de 10 à 200 Gbits/s. En effet, il existe des systèmes proposant de 4 à 80 canaux optiques à 2,5 Gbit/s par canal. Un système à 16 canaux de 2,5 Gbit/s (soit 40 Gbit/s) permet l'acheminement de 500 000 conversations téléphoniques simultanément sur une seule paire de fibre optique.

3.4.3 Principe d'une liaison WDM :

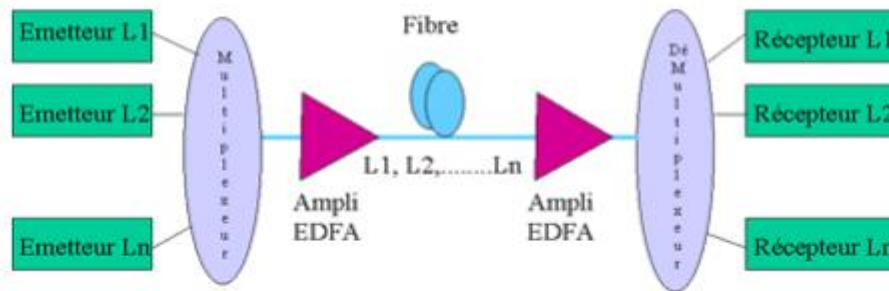


Figure II.9 : principe d'une liaison WDM.

À chaque multiplexage ou démultiplexage de longueur d'onde, il y a des pertes appelées pertes d'insertion. Pour compenser ces pertes et également réduire le bruit, on utilise un amplificateur à fibre dopée erbium, EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Mais il y a d'autres perturbations qui déforment le signal. En effet, des phénomènes non linéaires se produisent lors de la propagation du signal dans la fibre. Il apparaît des risques de diaphonie et de mélange des canaux. C'est pourquoi la technologie WDM nécessite des amplificateurs tous les 50 à 100 km. Chaque train de signaux numériques, après multiplexage, est véhiculé sur sa propre longueur d'onde comme sur une seule fibre. Ces trains peuvent donc être de débits et de formats différents.

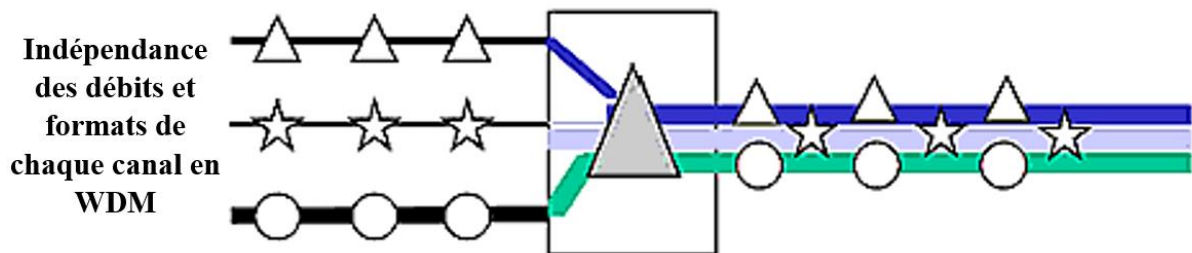


Figure II.10 : Principe de multiplexage WDM.

Ainsi, on peut trouver sur une même fibre de la voix dans des trames SDH, de la vidéo dans des cellules ATM, des données dans des trames IP, etc. Le multiplexage de longueur d'onde est donc une technologie de transport indépendante des protocoles utilisés. [26]

3.5 Système de transmission D-WDM :

3.5.1 Principe de fonctionnement :

La capacité de transport de la fibre optique continue d'augmenter régulièrement grâce au multiplexage en longueur d'onde. Dans le même temps, le débit de chaque longueur d'onde ne

cesse de progresser. On estime qu'il a été multiplié par deux tous les six mois de 2000 à 2004, date à laquelle on a atteint près de 1 000 longueurs d'onde. Comme, sur une même longueur d'onde, la capacité est passée pour la même période de 2,5 à 40 Gbit/s et bientôt 160 Gbit/s, des capacités de plusieurs dizaines de térabits par seconde (Tbit/s, ou 10¹² bit/s) sont aujourd'hui atteintes sur la fibre optique. Le multiplexage en longueur d'onde, ou WDM (Wavelength Division Multiplexing), consiste à émettre simultanément plusieurs longueurs d'onde, c'est-à-dire plusieurs lumières, sur un même cœur de verre. Cette technique est fortement utilisée dans les cœurs de réseau. On l'appelle DWDM (Dense WDM) lorsque le nombre de longueur d'onde devient très grand.

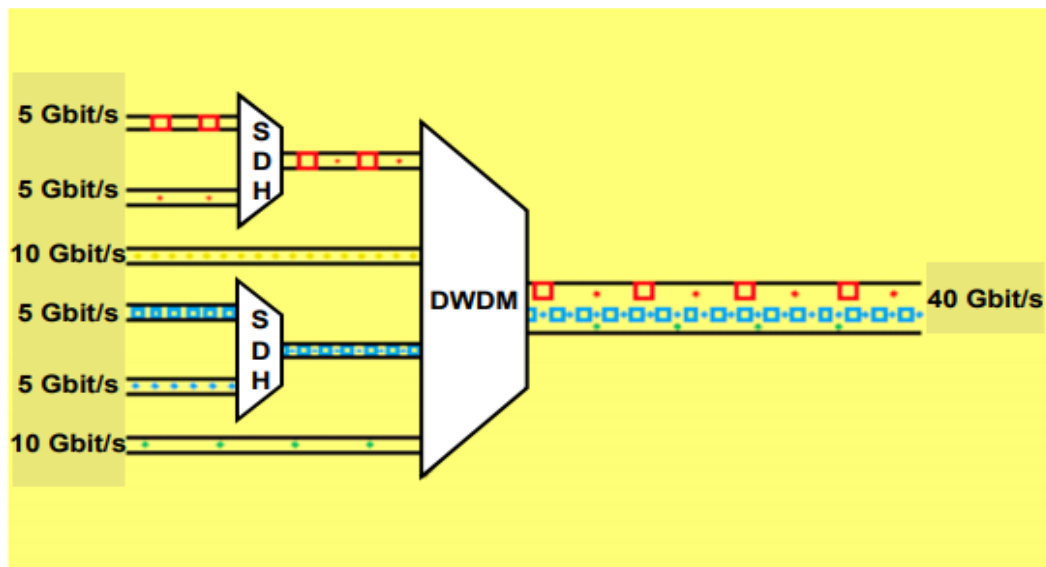


Figure II.11 : multiplexage D-WDM.

3.5.2 Les avantages du D-WDM

- très large bande passante, de l'ordre de 1 GHz pour 1 km ;
- faible encombrement ;
- grande légèreté ;
- très faible atténuation ;
- très bonne qualité de transmission ;
- bonne résistance à la chaleur et au froid ;
- matière première bon marché (silice) ;
- absence de rayonnement. [27]

4 Modulation QAM

C'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. C'est une méthode de modulation d'amplitude de deux porteuses en quadrature. A la base, une astuce, d'utiliser non pas une, mais deux porteuses rigoureusement de même fréquence. Elles sont déphasées de 90° et lorsque l'on additionne deux porteuses de fréquence f_0 en quadrature, on obtient une seule porteuse, toujours de fréquence, ou l'on reconstitue les deux porteuses initiales à partir de la résultante. [28]

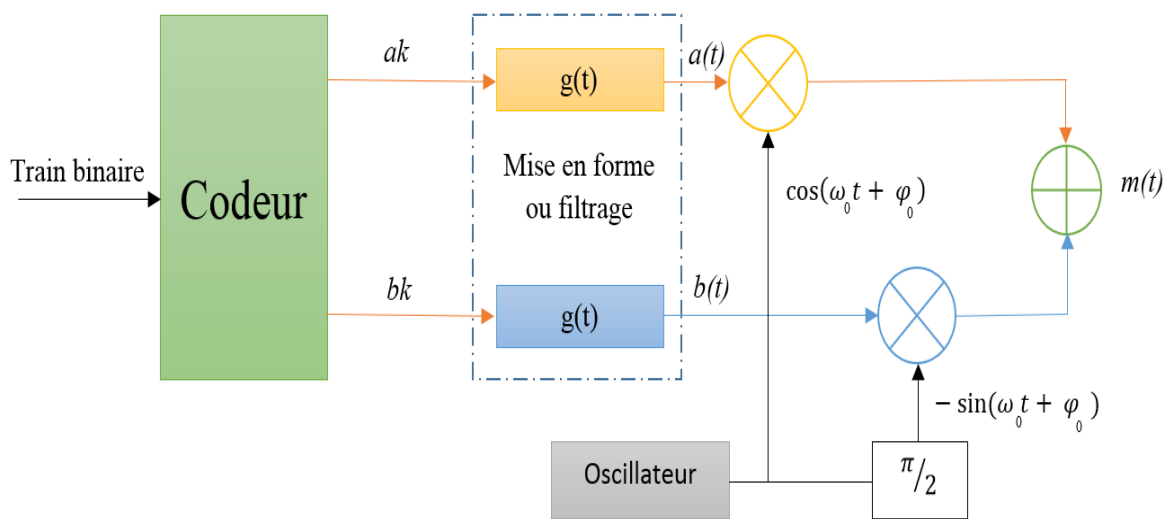


Figure II.12 : Forme générale du modulateur.

Le signal modulant, obtenu après codage, est un signal en bande de base, éventuellement complexe, qui s'écrit sous la forme :

$$c(t) = \sum ck g(t - KT) \text{ avec } ck = ak + jbk$$

ak, bk : trains modulants ;

$g(t)$: impulsion.

Dans la modulation QAM le signal $c(t)$ transforme en signal modulé $m(t)$ tel que :

$$m(t) = \sum ak(t) \cos(\omega + \varphi) - \sum bk(t) \sin(\omega + \varphi)$$

En posant :

$$a(t) = \sum_k ak(t) \text{ et } b(t) = \sum_k bk(t)$$

Le signal $a(t)$ module en amplitude la porteuse en phase $\cos(\omega_0 + \varphi_0)$ et le signal $b(t)$ module en amplitude la porteuse en quadrature $\sin(\omega_0 + \varphi_0)$. Dans la plupart des cas les signaux élémentaires $ak(t)$ et $bk(t)$ sont identiques à un coefficient près et ils utilisent la même forme d'impulsion $g(t)$.

Les deux signaux $a(t)$ et $b(t)$ sont aussi appelés "trains modulants" et s'écrivent :

$$a(t) = \sum_k ak g(t - kT) \quad \text{et} \quad b(t) = \sum_k bk g(t - kT)$$

Le signal modulé $m(t)$ est donc la somme de deux porteuses en quadrature, modulées en amplitude par les deux signaux $a(t)$ et $b(t)$. [29]

$$m(t) = ak(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

4.1 Modulation X-QAM

La modulation X-QAM est largement utilisée dans de nombreuses applications de communication et de radiocommunication des données numériques. Une variété de formes de QAM est disponible et certaines des formes les plus courantes incluent 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM et 256 QAM., les chiffres se réfèrent au nombre de points sur la constellation, c'est-à-dire au nombre d'états distincts pouvant exister.[30]

$I(t)$ et $Q(t)$ prennent des valeurs discrètes respectivement ak et bk pour la modulation QAM. Le signal modulé $m(t)$ peut s'écrire :

$$m(t) = a(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$m(t) = ak \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - bk \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$m(t) = R(ak - jbk)e^{j\omega_0 t} e^{j\varphi_0} ;$$

$$\text{Avec : } ck = \sqrt{ak^2 + bk^2} \text{ ou } \varphi = \arctan\left(\frac{bk}{ak}\right)$$

Cette écriture montre que la modulation MAQ peut être considérée comme une modulation simultanée de la phase et de l'amplitude. Les ak représentent un mot de n bits et les bk représentent aussi un mot de n bits.

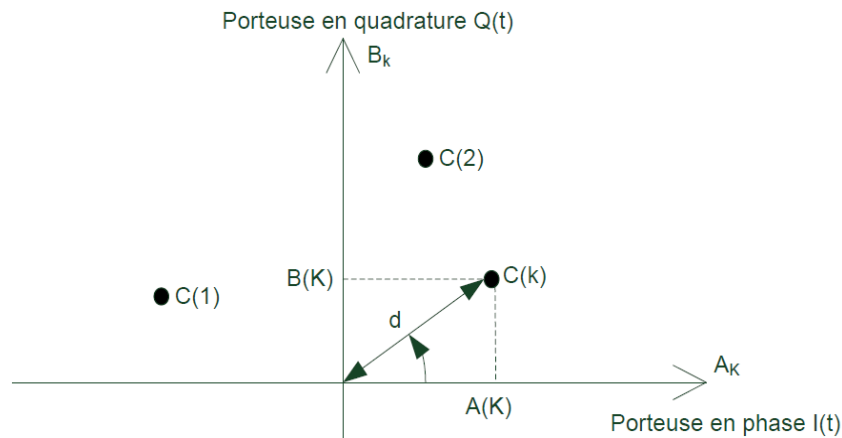


Figure II.13 : Principe de constellation.

Généralement lorsque les symboles a_k et b_k prennent leurs valeurs dans l'alphabet $\{+ \text{ ou } -d, + \text{ ou } -3d, + \text{ ou } -5d, \dots, + \text{ ou } -(M-1)d\}$ où d est une constante donnée avec $M = 2^n$, on obtient une modulation à $M = 2^{2n}$ états et une constellation avec un contour carré dont font partie la MAQ-4, la MAQ-16, la MAQ-64 et la MAQ-256. Par exemple, la MAQ-16 est construite à partir de symboles a_k et b_k qui prennent leurs valeurs dans l'alphabet $\{+ \text{ ou } -d, + \text{ ou } -3d\}$ [31]

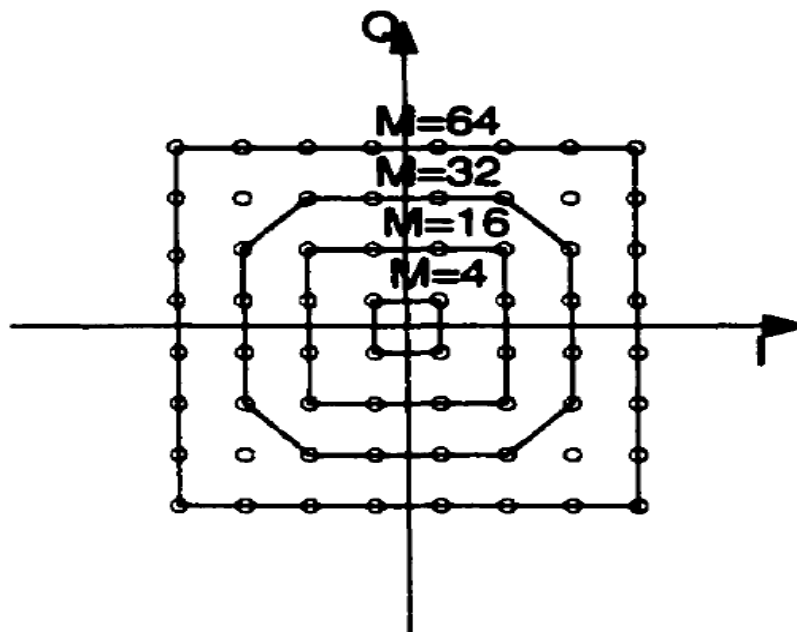


Figure II.14 : Exemples des constellations M-QAM.

5 Discussion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de multiplexages connus, nous avons commencé par le PDH et le SDH qui sont utilisés actuellement chez MOBILIS, ensuite nous avons expliqué le mode de fonctionnement des multiplexages par longueur d'onde utilisés dans la fibre optique le WDM et le D-WDM. Puis nous avons enchainé en exposant la modulation QAM qui est utilisé dans les équipements de transmission.

Chapitre III : Les équipements de transmission

1 Préambule

MINI-LINK est le système de transmission par micro-ondes le plus déployé au monde. La famille de produits MINI-LINK TN est la dernière nouveauté, offrant une transmission micro-ondes compacte, évolutive et économique. MINI-LINK TN a été développé pour devenir un successeur de MINI-LINK E avec une gamme complète de fonctionnalités de compatibilité et d'intégration facile dans les réseaux existants.

2 Mini Link

La gamme MINI-LINK comprend des systèmes pour le point à point ainsi que la transmission point-à-multipoint. Il offre des capacités et des interfaces E1 / T1 à STM-1. Il comprend des bornes d'accès ainsi que des nœuds de trafic mettant en vedette le routage et le multiplexage du trafic de pointe.

Les Mini Link d'Ericsson peuvent être classés en deux catégories principales :

- Compact node (CN) ;
- Traffic node (TN).

2.1 Compact Node (CN)

Mini Link CN est conçu pour les transmissions hyperfréquence compact et économique, optimisé pour les sites finaux. Il fournit un paquet complet et une solution TDM avec PDH et Ethernet sur le même nœud avec la qualité de service nécessaire. Cela simplifie à la fois la gestion et l'évolution du réseau. Mini Link CN est complémentaire et compatible avec Mini Link TN.



Figure III.1 : Mini Link Compact Node 510.

2.2 Traffic Node (TN)

Le système MINI-LINK TN combine des fonctionnalités radio micro-ondes avancées avec un routage de trafic intégré, un multiplexage PDH / SDH ainsi que des mécanismes de protection au niveau de la liaison et du réseau. Le routage du trafic configurable par logiciel minimise l'utilisation des câbles, améliore la qualité du réseau et facilite le contrôle à distance.

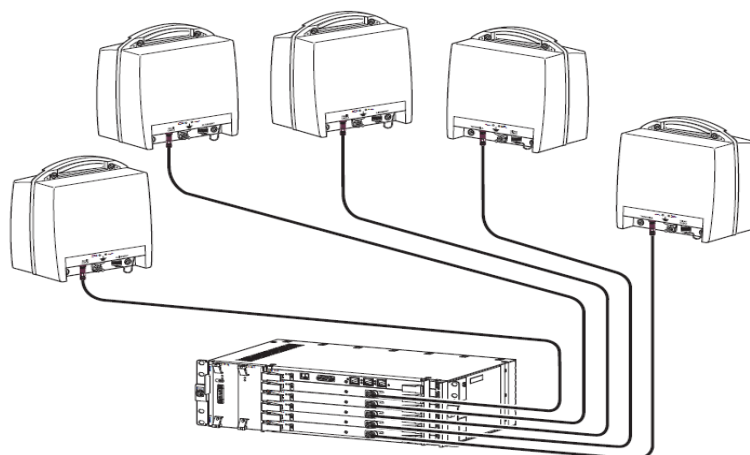


Figure III.2 : une configuration avec Mini-Link TN

MINI-LINK TN peut être classé en fonction de son magazine de modules d'accès (AMM) sur 20p et 6p, où 2p désigne le nombre d'unités pouvant être installées dans l'AMM.

2.2.1 AMM 2p (Access Module Magazine)

AMM 2p convient aux applications de site final et de site de répéteur ou un terminal micro-ondes protégé. Il a deux positions disponibles pour les unités modem MMU (Modem Unit), dispose de deux emplacements demi hauteur, l'un équipé de NPU (Node Processor Unit) l'autre emplacement demi hauteur pouvant être équipé de LTU (Line Termination Unit).

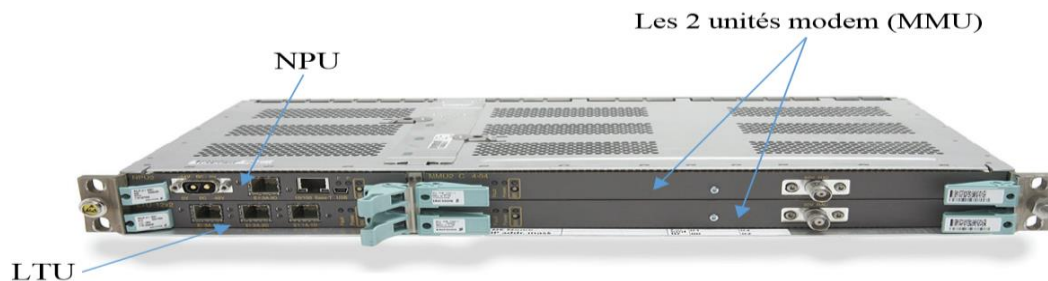


Figure III.3: module d'accès AMM 2p.

2.2.2 AMM 6p

AMM 6p convient aux sites de taille moyenne. Il dispose de six fentes pleines hauteur et de deux fentes à mi-hauteur. Il abrite une NPU 8x2, une PFU2 et une FAU2. Les autres emplacements sont équipés de MMU ou de LTU (deux positions de mi-hauteur pour l'unité d'alimentation PFU2 et de ventilation FAU). Les paires protégées, par exemple deux MMU dans un terminal radio protégé (1 + 1), sont placées dans des emplacements adjacents en commençant par un numéro de tranche pair.

L'AMM 6p offre des possibilités complètes de routage du trafic non bloquant jusqu'à 5 unités enfichables (terminaux micro-ondes, multiplexeurs STM-1, connexion E1, etc.)

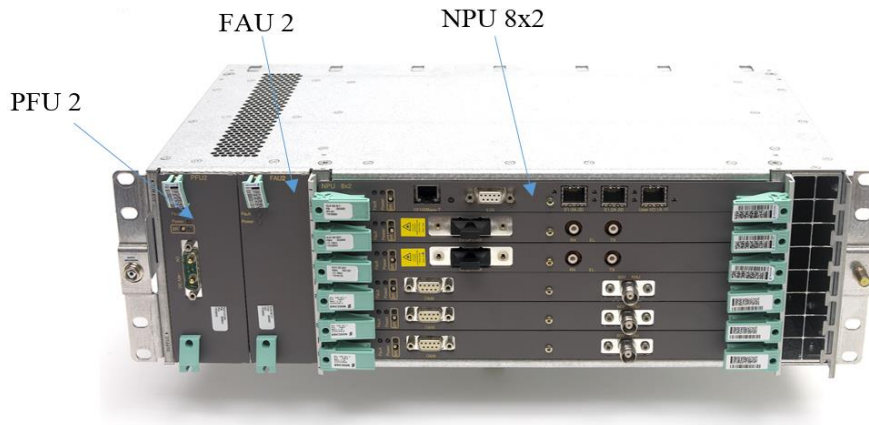


Figure III.4 : module d'accès AMM 6p.

L'AMM 6p a une alimentation dotée d'un courant continu -48 V connecté au PFU2 (*Power Filter Unit*). L'alimentation est distribuée du PFU2 vers les autres unités, via le bus d'alimentation situé sur le fond de panier de l'AMM.

PFU2 fournit une protection contre les surtensions, une protection contre les transitoires, un démarrage progressif et un fusible électronique pour limiter les courants d'appel au démarrage ou sur les court-circuits.

Le refroidissement par air forcé est toujours requis et fourni par FAU2 (**F**an **U**nit), qui contient deux ventilateurs internes. L'air pénètre à l'avant du côté droit de l'AMM et sort à l'arrière du côté gauche de l'AMM.



Figure III.5 : Unité de filtre d'alimentation *PFU2* et unité de ventilation *FAU2*.

2.2.3 AMM 20p

Il convient aux sites de hub de grande taille, par exemple à l'intersection entre le réseau optique et le réseau hyperfréquence. Il dispose de 20 fentes pleine hauteur et de deux fentes à mi-hauteur et il abrite une NPU 8x2 et une ou deux PFU1. Les autres emplacements sont équipés de MMU ou de LTU. Les paires protégées, par exemple deux MMU dans un terminal

radio protégé (1 + 1), sont placées dans des emplacements adjacents en commençant par un numéro de tranche pair.



Figure III.6 : module d'accès AMM 20p.

Le refroidissement par air forcé est assuré par FAU1, installé directement au-dessus de l'AMM. FAU1 a un contrôle automatique de la vitesse du ventilateur et contient trois ventilateurs internes. FAU1 dispose de deux connecteurs DC -48 V pour une alimentation redondante. Deux connecteurs sont également disponibles pour exporter les alarmes vers PFU1.



Figure III.7 : Unité de filtre d'alimentation PFU1

Ventilateur 1 (FAU1) :

- Utilisé pour le refroidissement dans l'AMM 20p ;
- Trois ventilateurs pour la redondance ;
- Deux interfaces de puissance pour la redondance ;
- Interface d'alarme vers PFU1.

Unité de filtre d'alimentation (PFU1) L'AMM 20p est alimenté par -48 V DC, connecté au PFU1 ou via un champ de connexion d'interface (ICF1). L'alimentation est distribuée depuis le PFU1 vers les unités enfichables, via le bus d'alimentation situé sur le fond de panier de l'AMM.



Figure III.8 : Unité de filtre d'alimentation PFU1.

Unité de filtre d'alimentation 1 (PFU1) :

- Demi-taille pour accueillir deux unités dans une position pleine hauteur
- Deux PFU1 configurés pour la redondance
- Interface d'alarme vers FAU1
- Entrée DC -48V sur PFU1

2.2.4 Les principaux composants de l'AMM

L'AMM peut être composé de trois composants essentiels :

- MMU (**M**odem **U**nit) ;
- NPU (**N**ode **P**rocessor **U**nit) ;
- LTU (**L**ine **T**ermination **U**nit).

2.2.4.1 MMU (Modem Unit)

Le MMU est la partie intérieure du terminal radio et détermine le trafic système de capacité et de modulation. Le MMU est totalement indépendant de la fréquence. Il est disponible dans les types suivants:

MMU2 B : Un module d'extension de capacité de trafic agile pour la modulation C-QPSK, utilisé pour les capacités de trafic suivantes en Mbit / s:

- 2x2, 4x2, 8x2, 17x2

MMU2 C : Un plug-in agile de capacité de trafic et de modulation, utilisé pour les schémas de modulation et capacités de trafic suivants en Mbit / s:

- C-QPSK: 4x2, 8x2, 17x2 ;
- 16 QAM: 8x2, 17x2, 32x2.

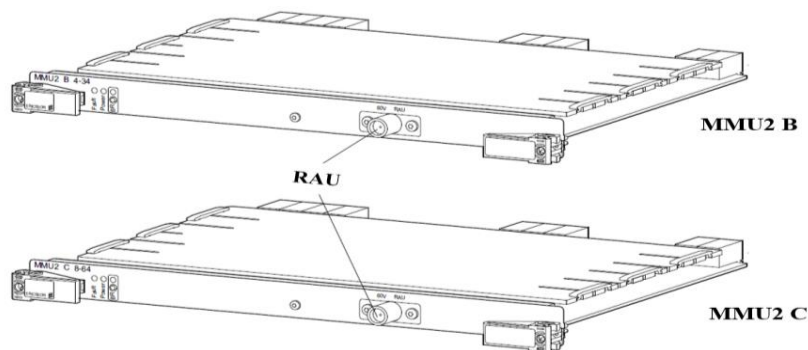


Figure III.9 : Unité modem MMU2 B & C.

MMU2 H : Un plug-in agile de capacité de trafic et de modulation, MMU2 H supporte jusqu'à 512 modulations QAM. 256 QAM avec espacement des canaux 56 Mhz support 80 E1.



Figure III.10 : Unité modem MMU2 H.

2.2.4.2 NPU (Node Processor Unit)

Les fonctions principales du système de contrôle dans MINI-LINK TN sont logées dans l'unité de traitement de nœud (NPU). Une NPU est toujours requise. Ses fonctions sont les suivantes : gestion du trafic, contrôle et supervision du système, gestion DCN, agent maître SNMP, interface Ethernet 10BASE-T pour la connexion à un réseau local, stockage et administration des données d'inventaire et de configuration. Il existe également des fonctions spécifiques associées à chaque type de NPU :

NPU3 B (4xE1) : Unité de traitement de nœud centralisé pour AMM 2p. Utilisé pour les connexions de trafic, filtre l'alimentation externe et distribue l'alimentation interne, interface USB pour la connexion LCT, l'interface Ethernet peut être utilisée pour l'application pont Ethernet fournissant 10 / 100BASE-T.

NPU1 B & C (8XE1) : Unité de traitement de nœud centralisé pour AMM 6p ou 20p. Utilisé pour les connexions de trafic, l'interface Ethernet est utilisée pour la connexion LCT.

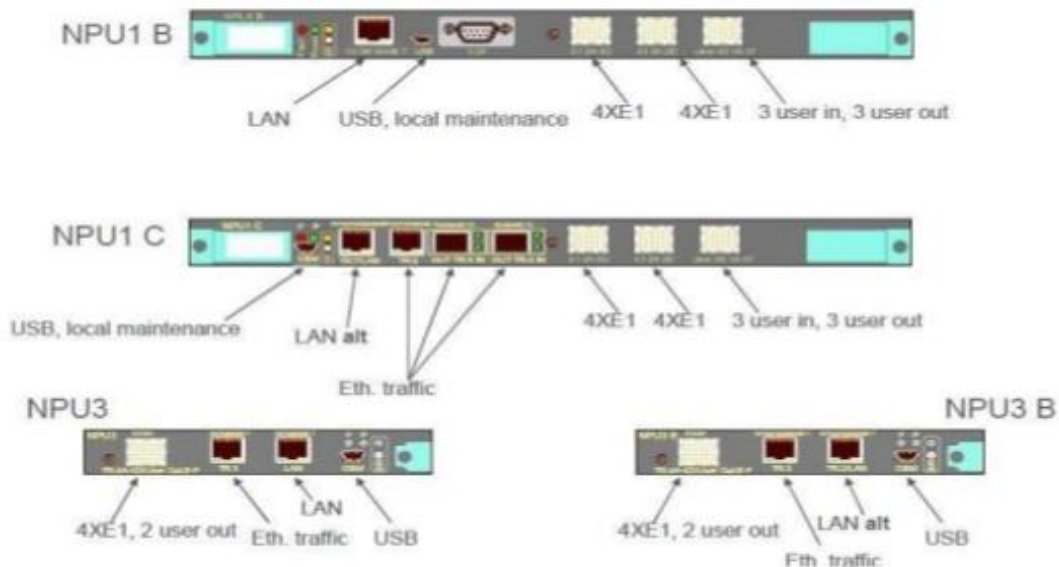


Figure III.11 : différents types du NPU.

2.2.4.3 LTU (Line Termination Unit)

Les LTU sont utilisées pour connecter le trafic provenant d'un équipement externe. Un module d'extension fournissant des interfaces de trafic PDH ou SDH.

- **La LTU 12x2:** dispose d'interfaces 12xE1 pour la connexion à des BTS co-implantés ou à d'autres équipements. Un connecteur Sofix avec 4 E1s est utilisé. Notez qu'il y aura toujours quatre ports E1 (4xE1) supplémentaires disponibles sur le processeur de nœud NPU (utilisé dans l'AMM 2p).

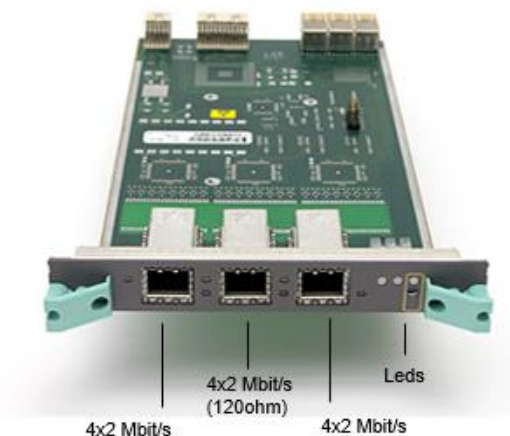


Figure III.12 : LTU 12xE1.

- **Le LTU 16x2 :** dispose d'interfaces 16xE1 pour la connexion à des BTS co-localisés ou à d'autres équipements. Les connecteurs Sofix avec 4 E1 par connecteur sont utilisés

pour fournir un nœud haut densité. Notez qu'il y aura toujours 8 ports E1 supplémentaires disponibles sur le processeur de nœud (NPU1 C).



Figure III.13 : LTU 16xE1.

- **La LTU 155 :** La LTU 155 termine une connexion STM-1 avec 63xE1 vers le fond de panier pour acheminer le trafic vers les autres unités plug-in. Le LTU 155 s'intègre dans un AMM 6p et AMM 20p. La terminaison peut être soit une autre LTU 155, soit un ADM.



Figure III.14 : LTU 155.

Il existe deux applications typiques :

- aux sites d'agrégation où le réseau SDH optique à haute capacité se connecte au réseau hyperfréquence. La LTU 155 fournit une interface efficace utilisant une interconnexion STM-1 au lieu de nxE1.
- Construire des réseaux hyperfréquences de haute capacité.

3 Radio Terminal

Les terminaux radio intégrés MINI-LINK TN permettent une transmission hyperfréquence de 2x2 à 32x2 Mbit/s, fonctionnant dans les bandes de fréquences de 7 à 38 GHz, en utilisant les schémas de modulation C-QPSK et X-QAM. Il peut être configuré en tant que configuration non protégée (1 + 0) ou protégée (1+1).

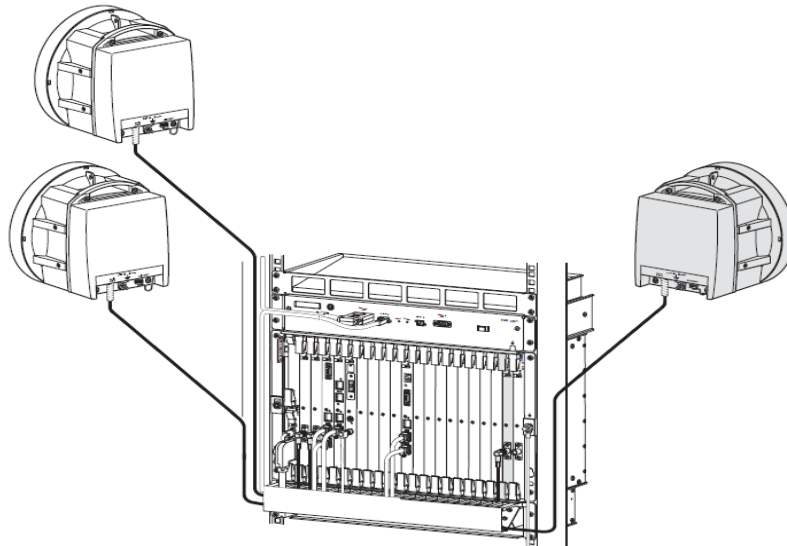


Figure III.15 : Un terminal radio non protégé (1 + 0) et protégé (1+1).

Un terminal radio non protégé (1 + 0) comprend

- RAU (Radio Unit)
- une antenne
- une MMU
- Un câble radio pour l'interconnexion

Un terminal radio protégé (1 + 1) comprend

- Deux RAU
- Deux antennes ou une antenne avec un répartiteur de puissance
- Deux MMU
- Deux câbles radio pour l'interconnexion

3.1 Unité de radio (RAU)

La fonction de base de l'unité radio (RAU) est de générer et de recevoir les RF et le convertir au format du signal électrique dans le câble radio, connectant le RAU et le MMU. Elle peut être combinée avec une large gamme d'antennes soit intégrée ou séparée. Le RAU se connecte à l'antenne avec interface de guide d'ondes.

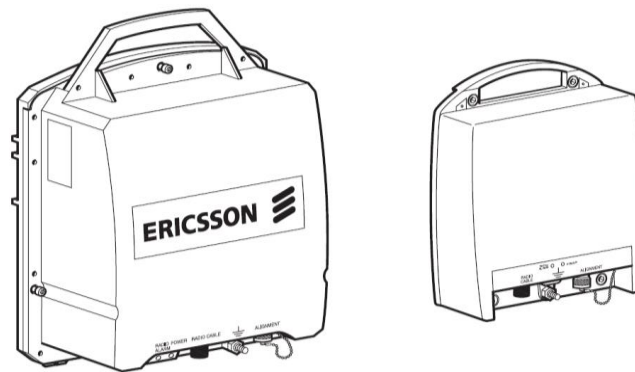


Figure III.16 : l'Unité Radio RAU1 et RAU2.

La dernière technologie radio a une capacité agile de 4 à 200 Mbit/s et avec une modulation de 16 à 512 QAM. L'Unité Radio d'Ericsson est disponible en 7, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 38 GHz

3.2 Antenne

Les antennes s'étendent de 0,2 m à 3,7 m de diamètre, en polarisation simple et double. L'unité RAU et toutes les antennes peuvent être installées séparément si nécessaire. Toutes les antennes ont une interface standard de guide d'onde pour ajuster polarisation verticale ou horizontale.

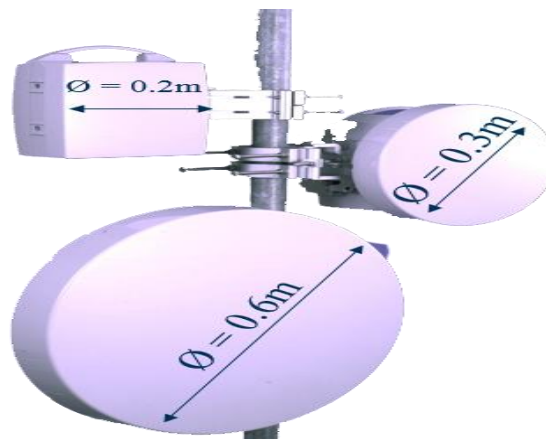


Figure III.17 : les dimensions des antennes.

3.3 Protection (1+1)

Les configurations de protection 1+1 permettent d'augmenter la disponibilité de la liaison par rapport à la configuration 1+0, en ajoutant des fonctions redondantes à la Radio terminal afin d'améliorer les performances de propagation des équipements et de sécuriser la liaison micro-ondes. Elles peuvent être en Hot standby ou Working standby.

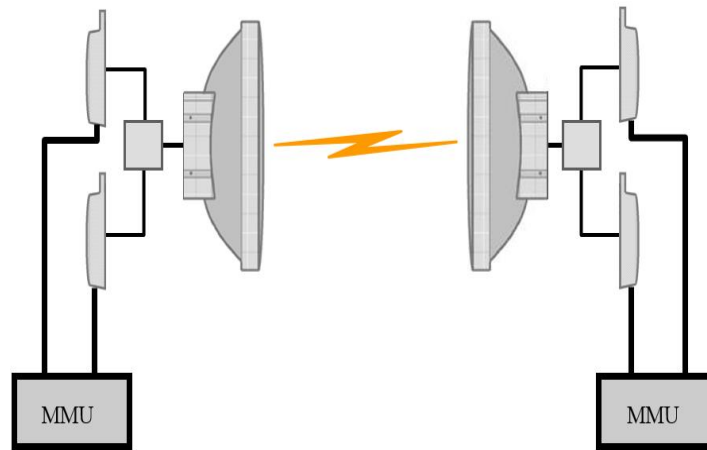


Figure III.18 : type de protection (1+1).

Dans le mode Hot standby, un émetteur fonctionne tandis que l'autre, accordé à la même la fréquence est en veille, mais prêt à transmettre s'il y a un dysfonctionnement de l'émetteur actif.

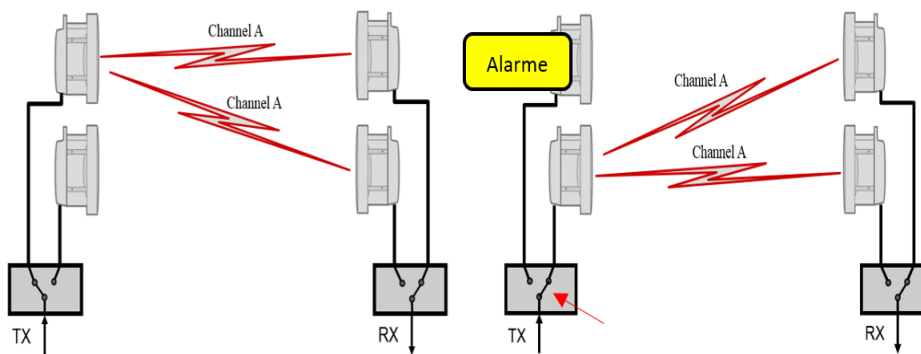


Figure III.19 : mode de protection Hot standby.

En mode Working standby, les deux trajets radio sont actifs en parallèle en utilisant des fréquences différentes avec le même signal à transmettre. Cependant si un phénomène d'évanouissement affecte une de ces fréquences on suppose que l'autre continuera à remplir son rôle et va assurer la continuité de la transmission.

Donc la diversité des fréquences nous permet de protéger la transmission et améliore sa disponibilité, c'est ainsi qu'à la réception on sélectionne le meilleur signal reçu.

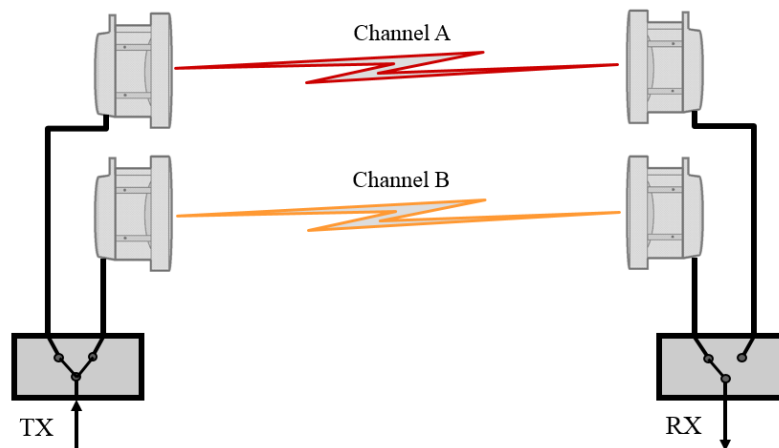


Figure III.20 : mode de protection Working standby.

3.4 Double polarisation et XPIC (2+0)

La double polarisation est une configuration de protection (2+0), équipée de deux RAU intégrée à une antenne où leur polarisation est réglé sur l'interface guide onde.

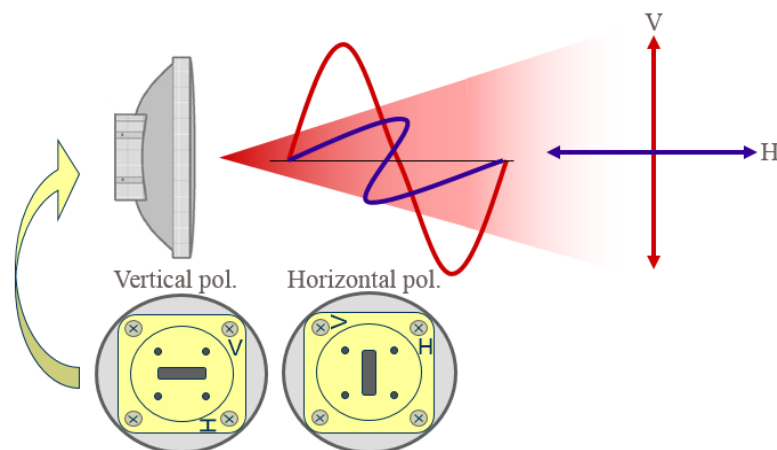


Figure III.21 : Configuration double polarisation.

Dans la transmission du trafic nxE1 cette technique sert à la protection de la Radio Terminal, l'émission se fait dans une seule polarisation pendant que l'autre est en veille celle-ci est en attente et se met en service en cas de dysfonctionnement. Dans le cas du trafic Ethernet on utilise les deux polarisations au même temps afin de doubler la capacité de canal des fréquences.

Dans le cas de la double polarisation on se sert du XPIC qui est une fonctionnalité utilisée sur les installations de liaisons hyperfréquences pour augmenter la capacité et l'efficacité spectrale d'un lien. Elle sert aussi à annuler l'interférence.

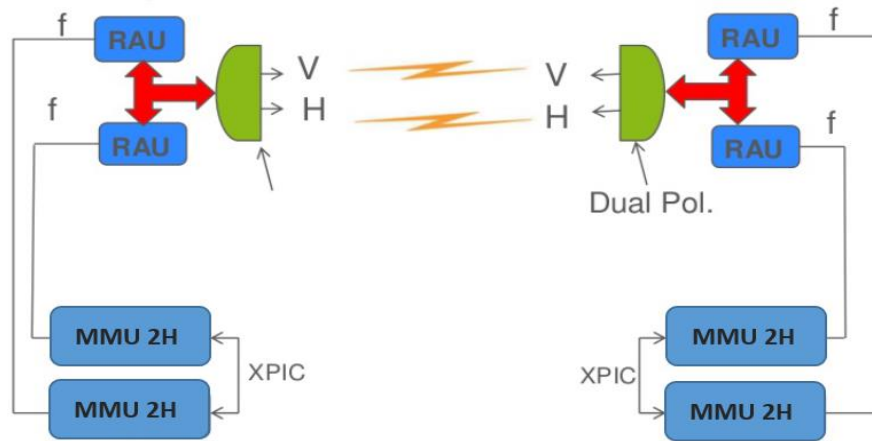


Figure III.22 : double polarisation (2+0 XPIC).

4 Configuration Radio

Pour une configuration radio Mini Link, il nous faut une liaison en visibilité direct entre deux Radio Terminal (Near end Terminal et far End terminal) comme le montre la figure suivante :

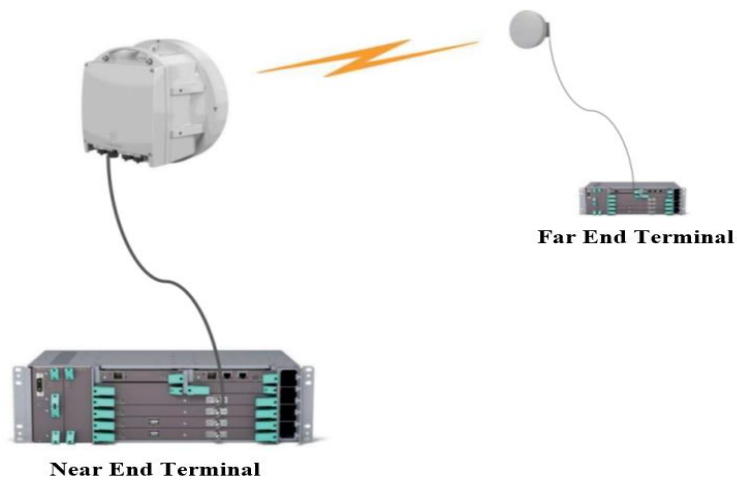


Figure III.23 : liaison Radio Terminal (1+0).

La configuration Radio se fait d'une manière software, et pour accéder et se connecter à l'AMM nous avons utilisé un logiciel conçu par Ericsson, Mini Link Craft, qui nous a permis de faire cette tâche.



Figure III.24 : Les éléments d’une configuration radio.

Après avoir connecté l’ordinateur à l’unité NPU via un câble USB, il faut introduire l’adresse IP du site , le nom d’utilisateur et le mot de passe pour exécuter Mini Link craft, et passer à l’autre étape comme le montre la figure III.25 . Pour la configuration Radio Link va être sélectionnée pour créer une liaison radio.

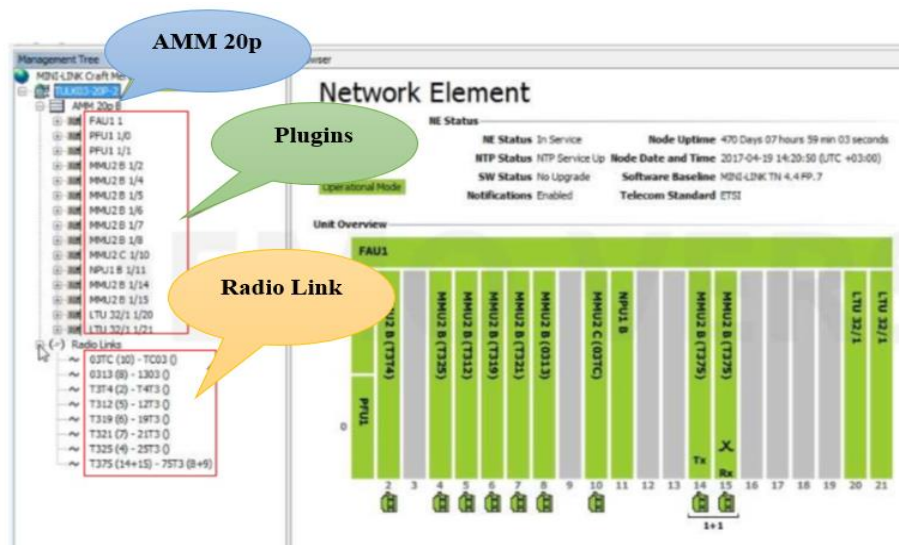


Figure 25 : interface Mini Link Craft pour choisir le type de configuration.

Avant de commencer l’alignement des antennes paraboliques et le test d’interférence, il faut d’abord insérer les paramètres qui vont définir le principe de fonctionnement d’une Radio Terminale. Les deux captures d’écran suivantes montrent la configuration d’une liaison radio protégée (2+0) entre un site hub (Beloua Tizi-Ouzou) et un site terminal (Ancienne Gare Ville Tizi-Ouzou).

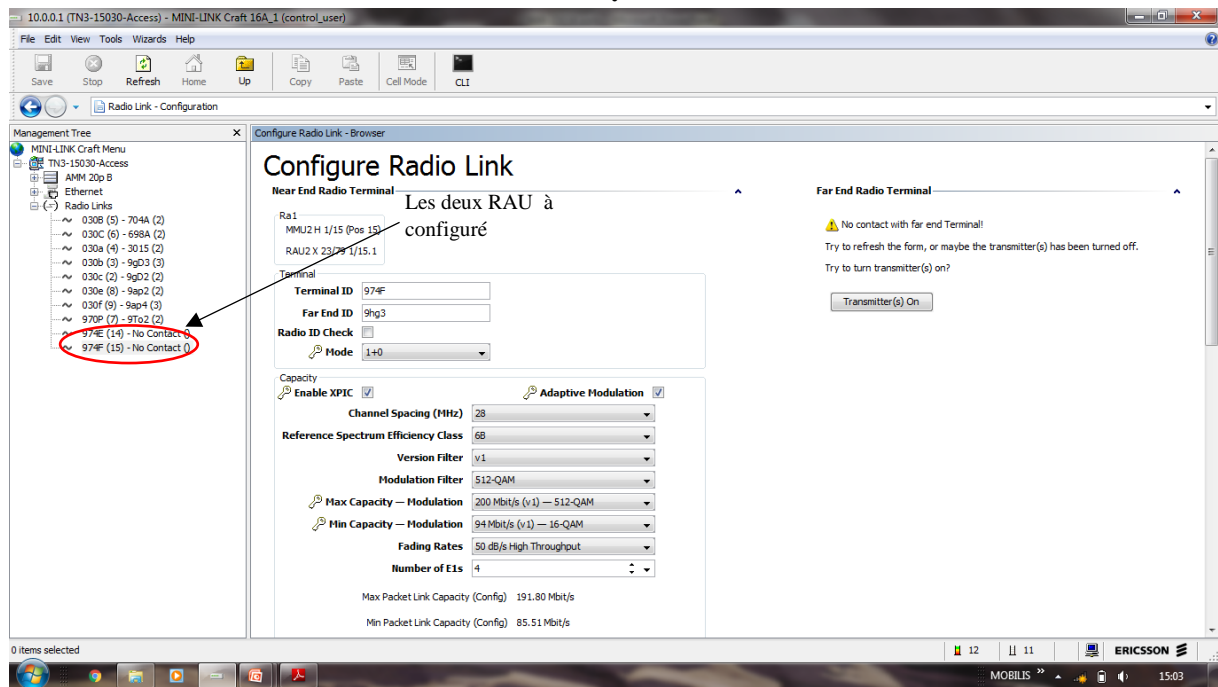
On a deux RAU à configurer, l’une d’elles est réglée verticale (1+0) l’autre est horizontale (1+0), chacune est branchée à un MMU2 H.

D’abord, on a donné un identifiant qui va représenter les deux sites de liaison, et choisir le type de protection à utiliser.

Ensuite, on active le XPIC après avoir relié les deux MMU2 H avec un câble XPIC (double polarisation), après nous avons réglé la bande passante à 28MHz pour atteindre une modulation 512 QAM et un débit de 200 Mbit/s.

Dans cet exemple on a utilisé 4xE1 (8 Mbit/s) pour les communications mobiles (2G) et le reste sera utilisé pour le trafic Ethernet (191.80 Mbit/s).

On règle les fréquences d'émission et de réception pour chaque RAU (RX-TX) et le seuil d'alarme à -77dBm pour le niveau de signal à recevoir et le taux d'erreur qu'il ne faut pas dépasser.



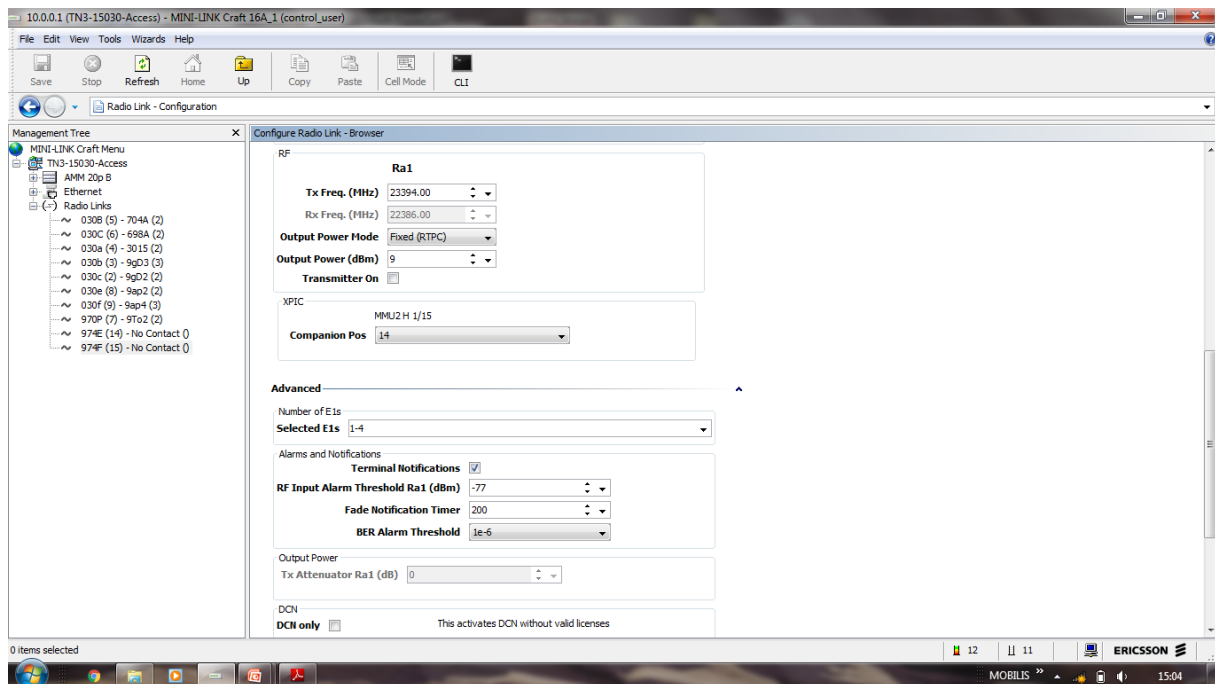


Figure III.26 : Configuration radio avec Mini Link Craft.

Après avoir fini la configuration, on a entamé l’alignement des antennes paraboliques, et pour un bon résultat de liaison entre les sites de transmission micro-ondes on doit respecter deux paramètres, le niveau de signal reçu RSL et le contrôle automatique de gain AGC.

Pour le RSL on utilise Mini Link Craft pour obtenir la valeur de niveau de signal reçu en dBm et on teste l’AGC à l’aide d’un multimètre pour avoir une valeur en volt.

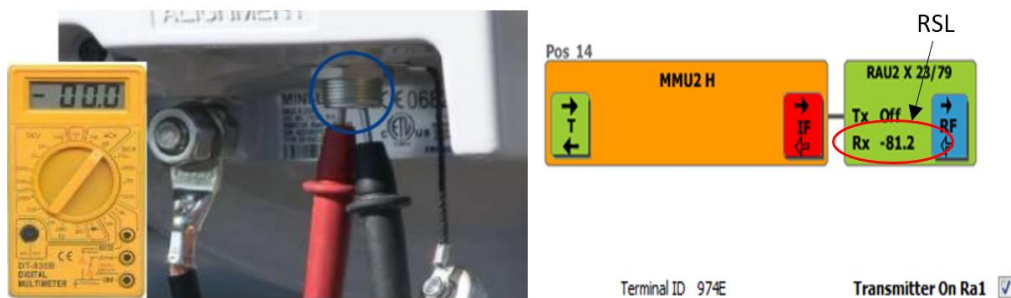


Figure III.27 : test de RSL et AGC.

La figure ci-dessous nous montre le principe d’alignement et comment doit être orienté la directivité d’une antenne .

Si $RSL < -96$ dbm on aura un $AGC < 0.6$ v , d’où on constate que les deux antennes ne sont pas dans le bon alignement.

Si le $RSL \approx -70$ dBm on obtient un $AGC \approx 1.2$ v , veut dire qu’une seule antenne est sur le bon alignement ,l’autre doit être réglée.

Si $RSL = -40$ dBm l’ $AGC = 2$ v on peut dire que l’alignement est correct, on aura donc une bonne liaison hyperfréquence, et les deux sites fonctionneront.

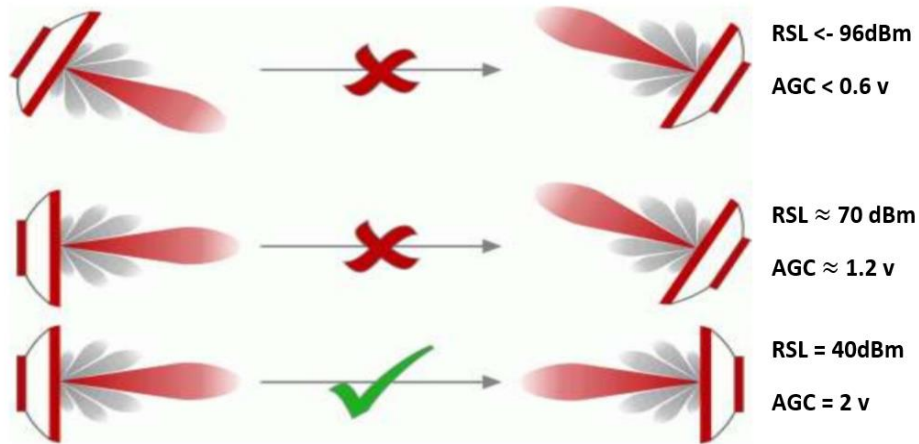


Figure III.28 : principe d’alignement d’antenne.

La relation entre le RSL et l’AGC d’une radio est proportionnelle. A chaque fois que le RSL augmente l’AGC fait de même (figure).

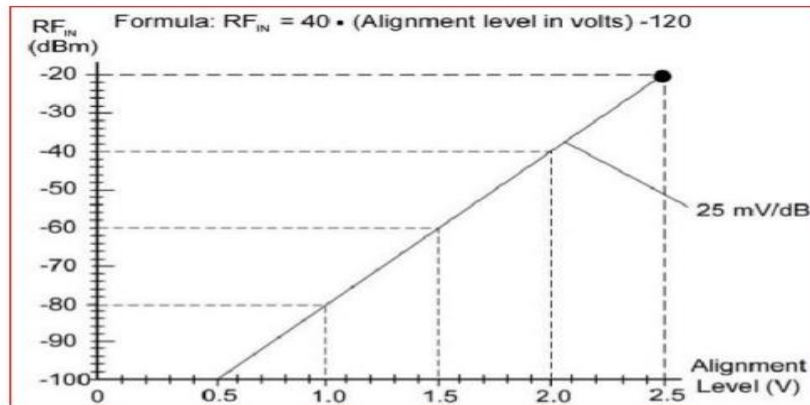


Figure III.29 : Diagramme de RSL par rapport à l’AGC.

Les figures ci-dessous montrent quelques liaisons entre chaque deux site dans la région de Tizi-Ouzou.

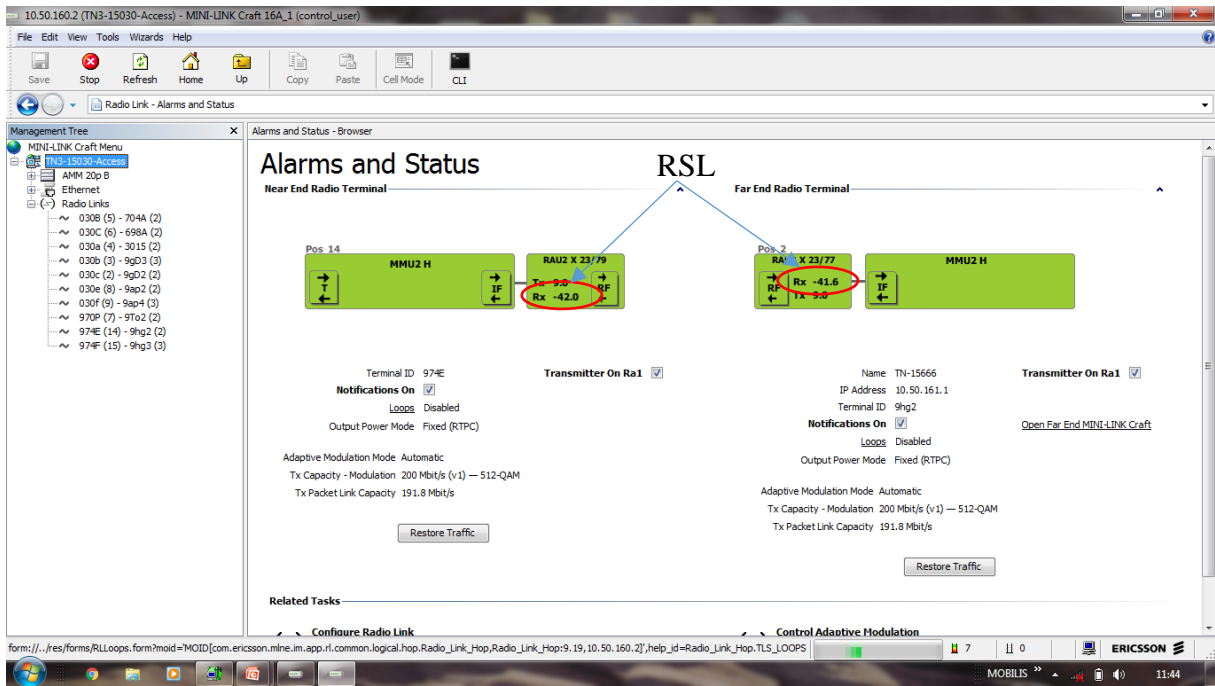


Figure III.30 : liaison entre Beloua et l'ancienne gare.

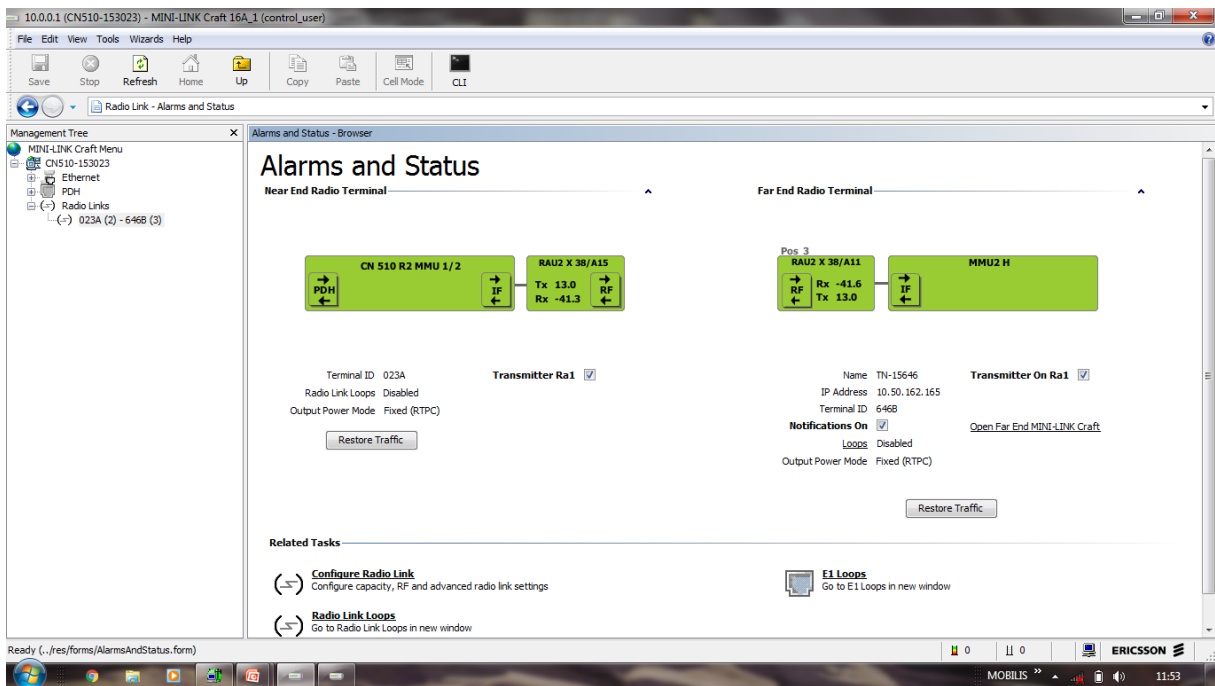


Figure III.31 : liaison entre souk el had et Mira (route de Friha).

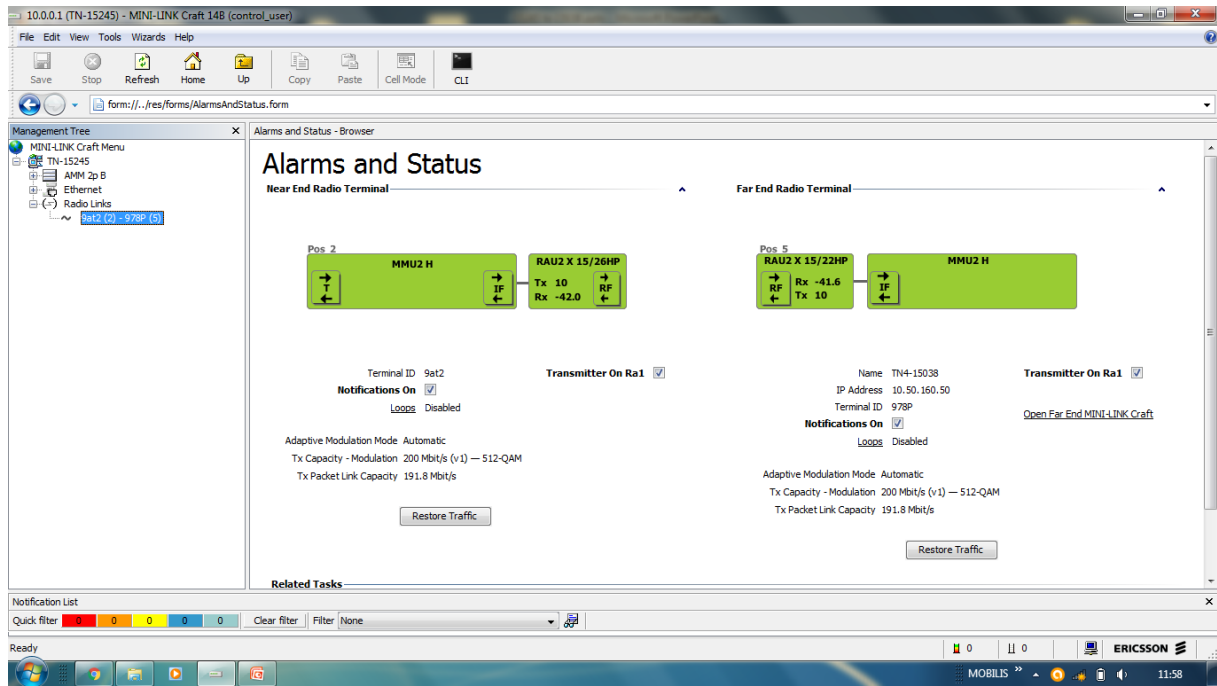


Figure III.32: liaison entre Beni douala et Larbaâ Nath Irathen.

5 Systeme de transmission

MINI-LINK TN est conçu pour transporter de grandes quantités de trafic, en utilisant des différentes techniques de transmissions qui sont :

- PDH
- SDH

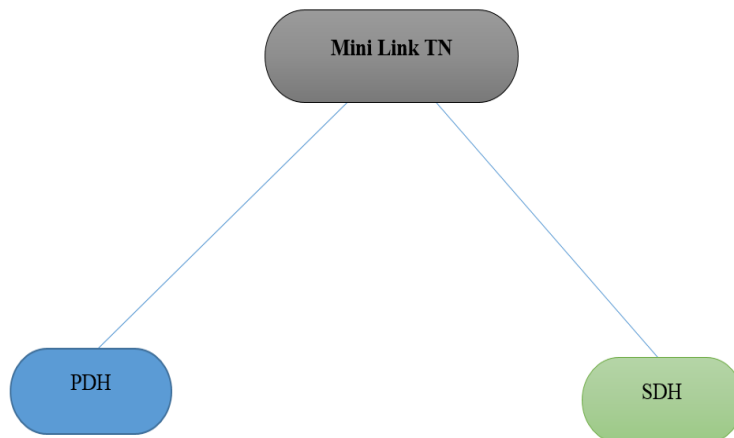


Figure III.33 : technique de transmission utilisée par Mini Link TN.

Le réseau PDH gère les circuits E1 non structurés avec une synchronisation indépendante. Cela signifie simplicité et moins de problèmes de dérapage dans les réseaux. Le réseau SDH est fourni pour transporter des grandes quantités d'informations soit en utilisant des multiplexeurs d'accès dans le cas d'une liaison entre un site Hub et plusieurs sites terminaux et répéteurs, ou bien en utilisant l'équipement ADM pour les liaisons entre les grands

sites comme les liaisons entre un site BSC/RNC et des sites Hub même avec des sites terminaux dans le réseau PDH.

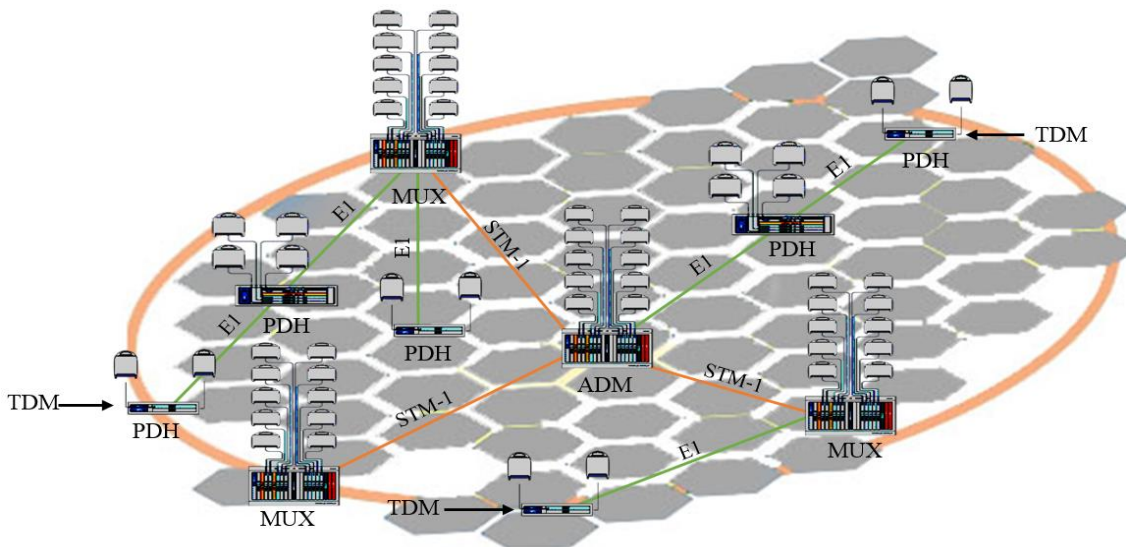


Figure III.34 : Equipement de transmission Mini Link TN.

Le système de transmission SDH fournit une trame de base STM-1 qui offre un débit de 155 Mbits/s, elle peut transporter jusqu'à 63xE1 mappé dans 63xVC-12.

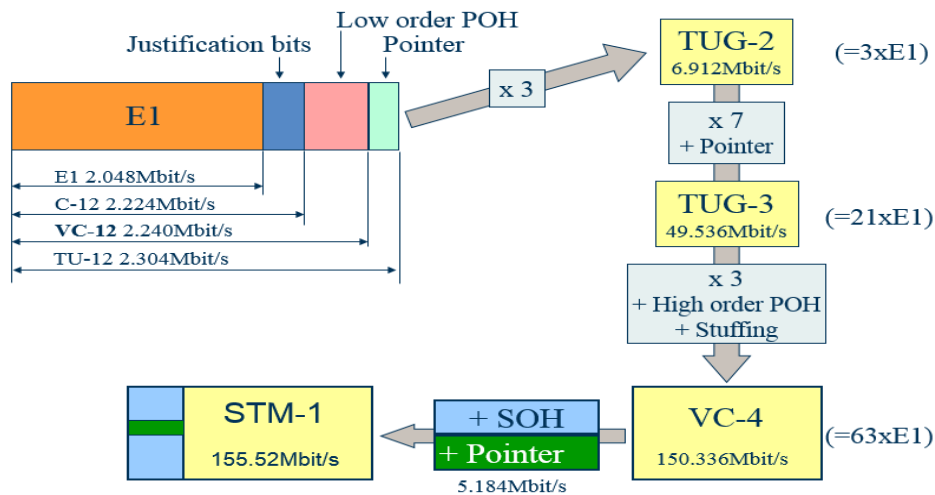


Figure III.35 : Structure d'une trame STM-1.

5.1 Sites de réseau de transmission Mini Link

L'architecture des sites de transmission micro-ondes diffère d'un point à un autre. Elle commence par des petits sites d'extrémité avec un seul terminal radio à de grands sites concentrateurs vers un site principal BSC/RNC.

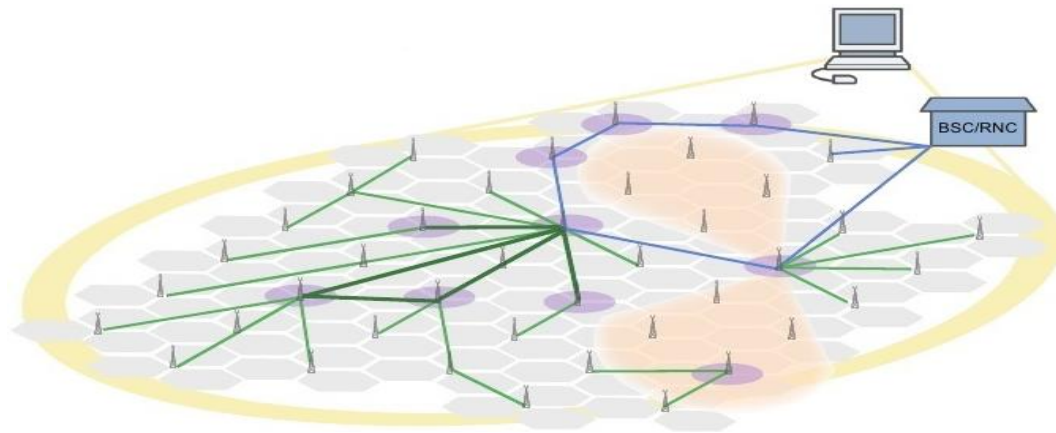


Figure III.36 : architecture des sites de transmission.

5.1.1 Site terminal

Un site terminal est conçu pour émettre ou recevoir le trafic nxE1 dans une direction précise. Généralement, dans la partie intérieure (indoor unit) de transmission, ce site peut être équipé d'un Compact Node ou bien d'un AMM 2p (protection (1+1)), et une BTS, Node B et e-Node B de côté radio (2G, 3G et 4G).

Dans la partie extérieure (outdoor unit) on trouve une Radio terminale sur un pylône, mais dans la plupart de temps on utilise un mât pour des raisons économiques.

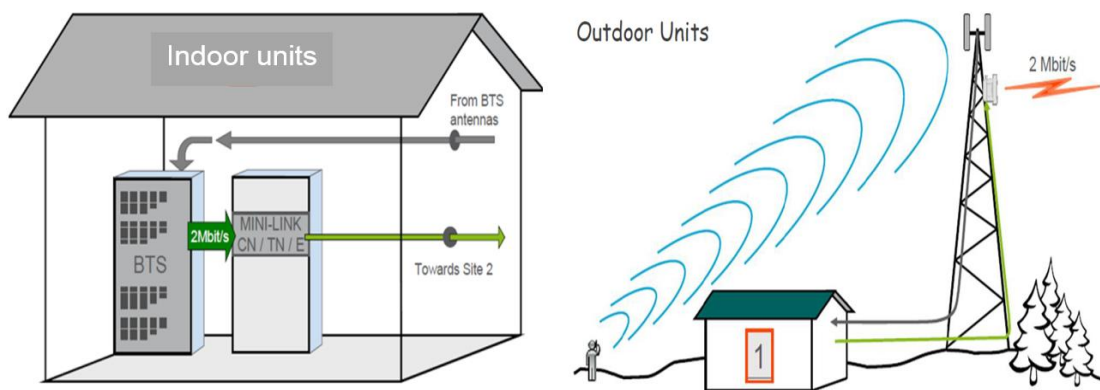


Figure III.37 : architecture d'un site terminal.

5.1.2 Site répéteur

C'est un site important pour les liaisons micro-ondes, a une possibilité d'émettre et de recevoir le trafic nxE1 ou Ethernet, il sert en tant que relais, s'il y a un problème de visibilité entre les sites de transmission. Il est équipé de deux Radio Terminales, et peut contenir un AMM 2p ou plus.

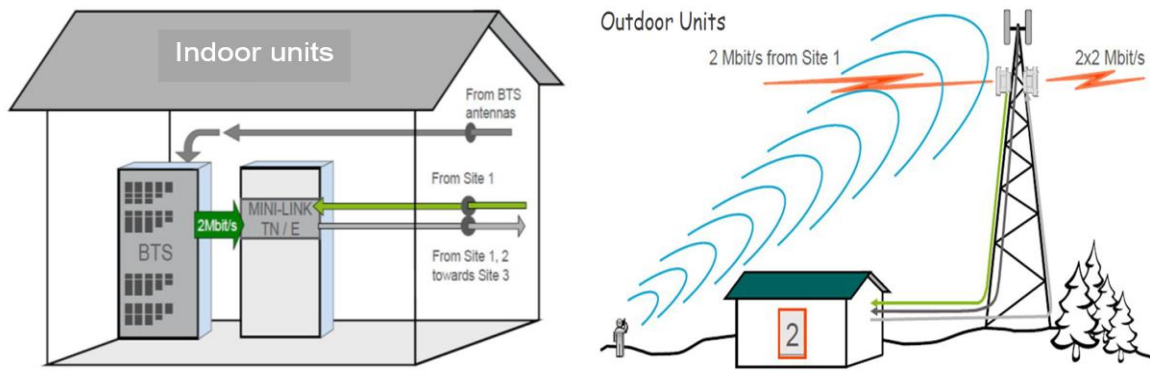


Figure III.38 : architecture d'un site répéteur.

5.1.3 Site hub

Ce site est conçu pour transporter de grandes quantités de trafic. Sa fonction principale est de collecter le trafic des liaisons radio à partir de nombreux sites et les agréger dans une transmission de capacité plus élevée STM-1 vers le réseau central avec une liaison à micro-ondes ou optique.

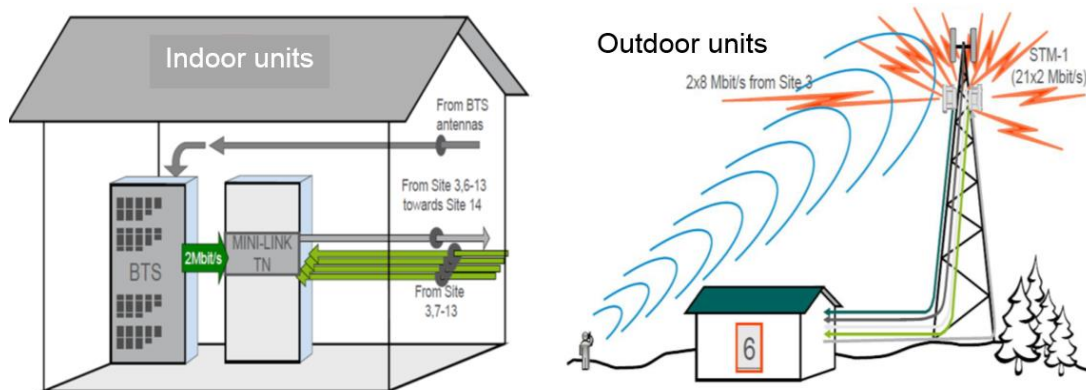


Figure III.39 : architecture d'un site hub.

5.1.4 Site BSC/RNC

C'est le site principal dans les transmissions hyperfréquence. Il a la capacité de contrôler toutes les liaisons des micro-ondes, et de gérer la répartition des sites de transmission. Il s'interface avec le cœur de réseau après avoir reçu un trafic très élevé à travers le Mini Link TN.

Lorsqu'il s'agit de trafic nxE1 les données de communication seront envoyées vers le BSC et le trafic Ethernet vers RNC.

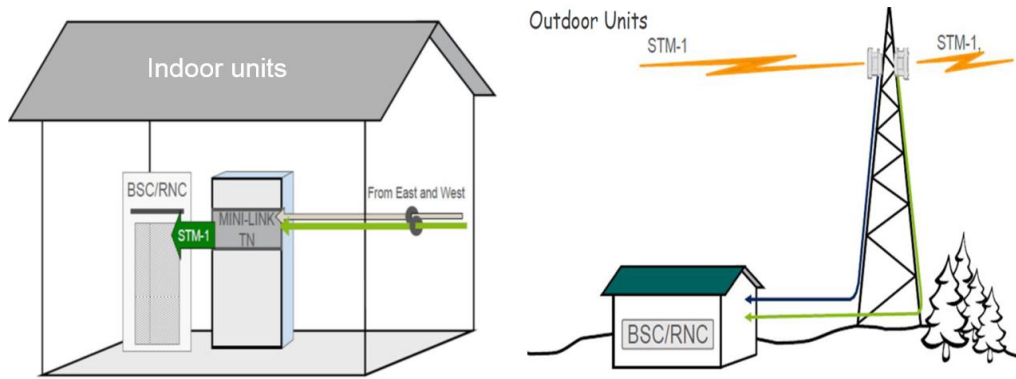


Figure III.40 : architecture d'un site BSC/RNC.

Nous avons fait un schéma synoptique qui montre l'architecture de transmission de quelques sites à Tizi-Ouzou.

Comme on peut l'apercevoir sur la figure ci-dessous, la plupart des supports de transmission sont des sites Mini Link qui utilise la FH (BSC/RNC Nouvelle ville → Le Fort → Haute-ville→M'douha).

Quant aux sites importants (Beloua → BSC/RNC Nouvelle-Ville → BSC/RNC LNI → AEH) on remarque que ce qui a été utilisé comme support de transmission sont des sites Mini Link qui utilisent la fibre optique.

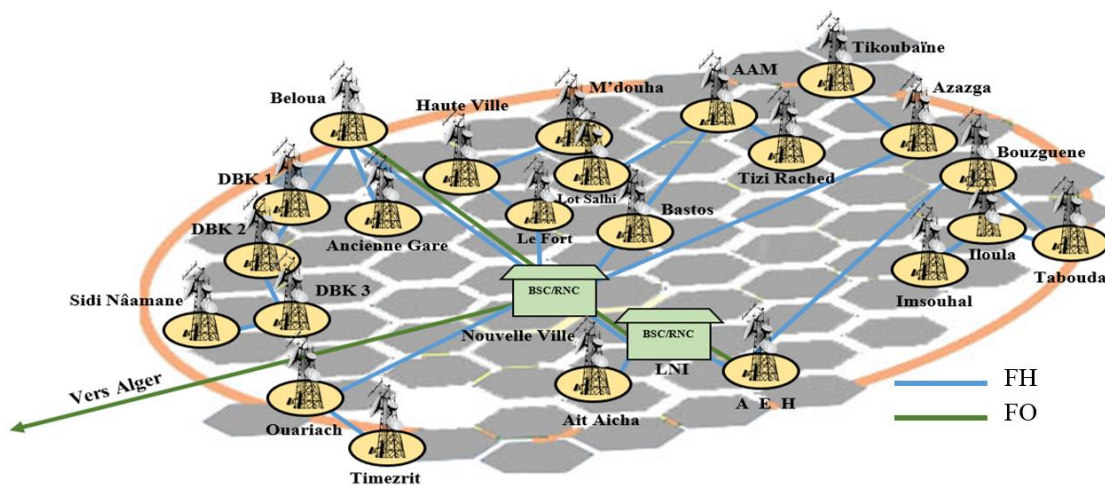


Figure III.41 : Schéma synoptique d'architecture de transmission de quelques sites à Tizi-Ouzou.

6 Discussion

La transmission micro-onde est basée sur un équipement Mini Link qui permet à des liaisons point à point et multi point avec un multiplexage PDH/SDH.

Dans ce chapitre nous avons appris comment faire une configuration radio, et le principe d'alignement, ainsi que les types de protection fournis pour les sites et les équipements. A la fin on a fait un schéma synoptique d'architecture de transmission de quelques sites à Tizi-Ouzou.

Chapitre IV : Simulation

1 Préambule

Etant donné qu'il existe de multiples définitions pour les interférences, notre travail se limite aux problèmes typiques du champ radio. Les interférences les plus fréquentes sont provoquées par des influences mutuelles entre des fréquences GSM utiles, d'où des interférences co-canal ou canaux adjacents créant des problèmes de réception considérables.

Dans ce chapitre nous présentons les interférences, ses différentes causes puis nous allons vous faire part du test accompli durant notre stage qui consiste à détecter les interférences d'une part puis proposer et appliquer des solutions afin de les éradiquer définitivement du lien d'autre part.

Par définition, une interférence est la superposition de deux ou plusieurs ondes. Il est fréquent, pour les fréquences supérieures à quelques centaines de kilohertz, qu'une antenne de réception reçoive simultanément l'onde directe en provenance de l'émetteur et une (ou plusieurs) onde réfléchi par un obstacle. Les deux signaux vont se superposer et, en fonction de la différence de phase entre eux, voir leurs amplitudes s'additionner ou se soustraire. Ce genre d'interférence est responsable du fading, terme anglo-saxon désignant une variation plus ou moins rapide de l'amplitude du signal reçu. Mais le phénomène ne se limite pas aux seules ondes radio

2 Test d'interférence

Les interférences sont l'un des défis auxquels sont confrontés les systèmes radio MW. Ils peuvent dégrader les performances ou même arrêter la transmission. Dans notre étude on a eu affaire à deux types d'interférences :

1. **Interne** : soit une mal configuration, soit un mauvais alignement des radios de l'opérateur, ou bien l'utilisation des mêmes fréquences des deux liens adjacents.
2. **Externe** : d'autres sources de perturbations peuvent être des fréquences mal réglées ou des porteuses d'autres réseaux, en provenance de la même région ou de région voisine.

Au cours de l'alignement lorsque nous avons eu des difficultés à atteindre le RSL désiré, les interférences est l'un des problèmes que nous suspectons. On a opté pour un test d'interférence en utilisant l'application Mini-Link Craft. On va accéder à la borne far End à travers l'embarcation Mini Link Craft et éteindre le far end. Après extinction du far end, on doit

vérifier le niveau RSL au near end si le niveau dépasse approximativement les -90 dbm, il s'agit d'une suspicion d'interférences. On a deux choix, si le site se trouve dans :

- Une zone urbaine si la valeur du RSL est < -88 dbm : on peut considérer qu'il y a des interférences dû au nombre important de stations, cellules...etc dans les parages.
- Quant aux Zones rurales si la valeur du RSL est < -90 dbm : il y a lieu de considérer qu'il y a des interférences.

Remarque : dans un système 1+1, les deux émetteurs doivent être éteints.

On va avoir trois cas :

2.1 Cas d'un test sans interférence

Ce test a été fait entre le quartier sud-ouest (15677) et Boukhalfa (15696).

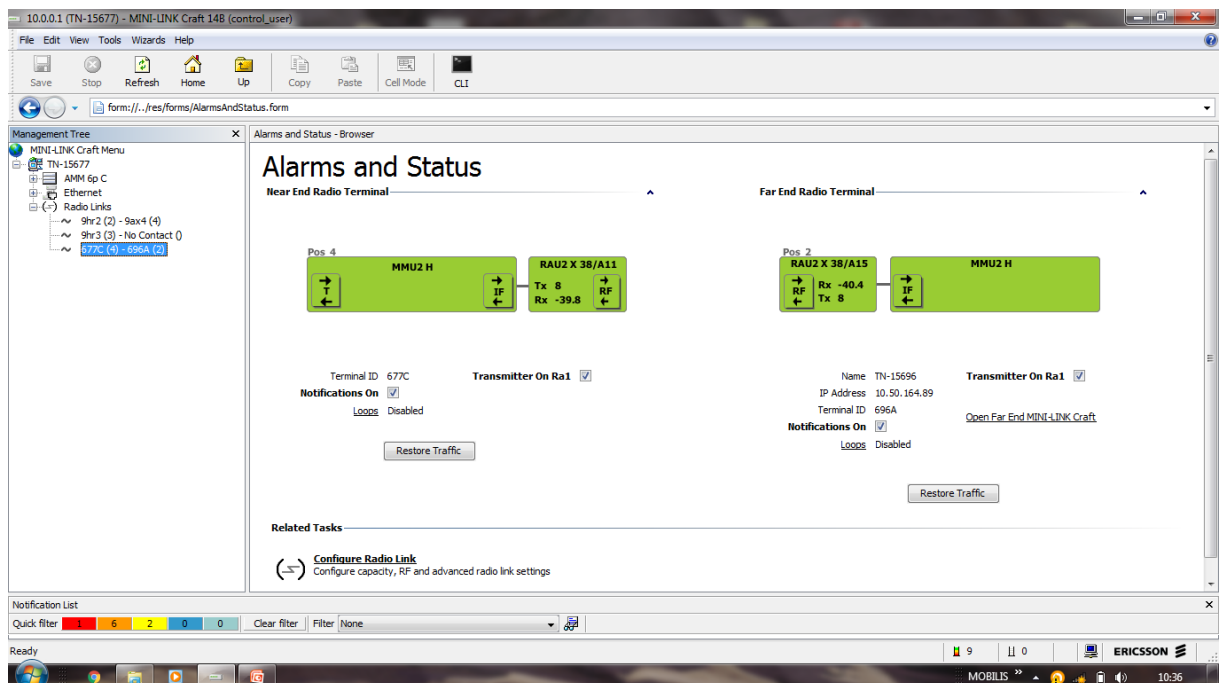


Figure IV.1: liaison entre sud-ouest et BOUKHALFA.

Pour commencer le test on désactive le far end

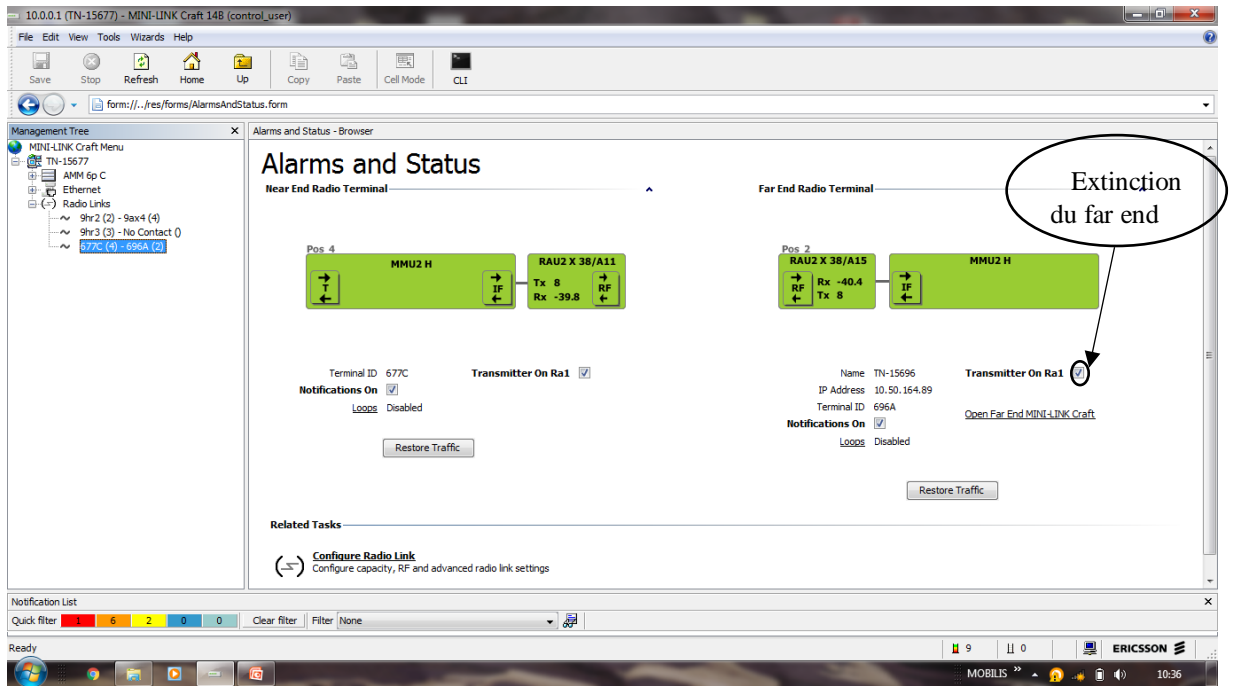


Figure IV.2 : extraction du far end (Boukhalfa).

Après avoir éteint le far end :

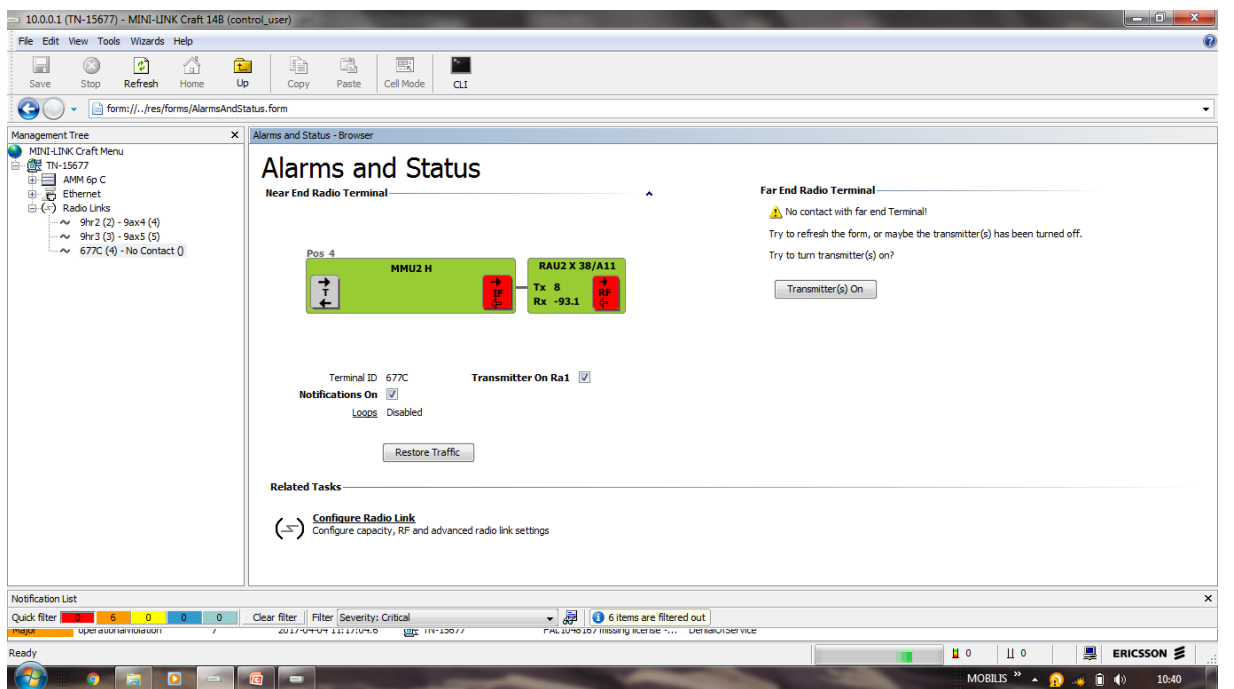


Figure IV.3 : Borne near end avec un RSL de -93.1Dbm.

On remarque que le niveau du RSL de sud-ouest est de -93.1Dbm, cette valeur est correcte.

Donc il n'y a aucun soupçon d'interférence.

2.2 Cas d'un test sans interférences mais avec un niveau du RSL à la limite inferieure

Dans ce cas on a testé la liaison entre Freha (15201) et Azrou (15692).

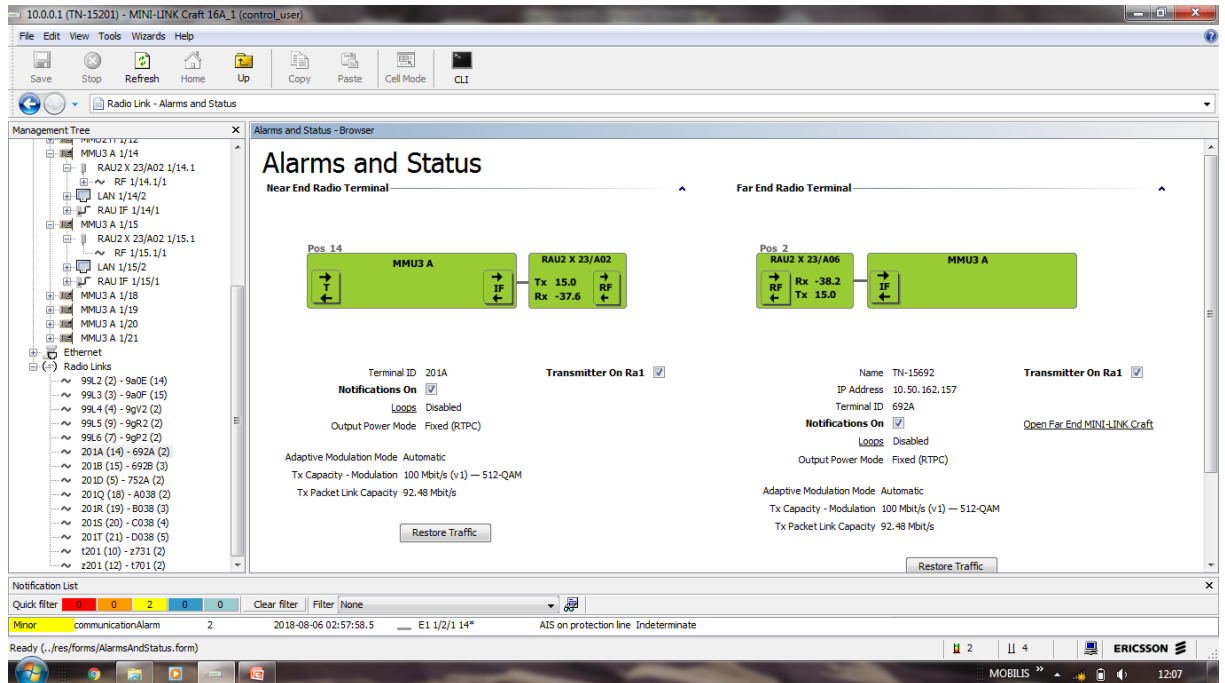


Figure IV.4 : liaison entre Freha et Azrou.

On procède à l'extinction du far end

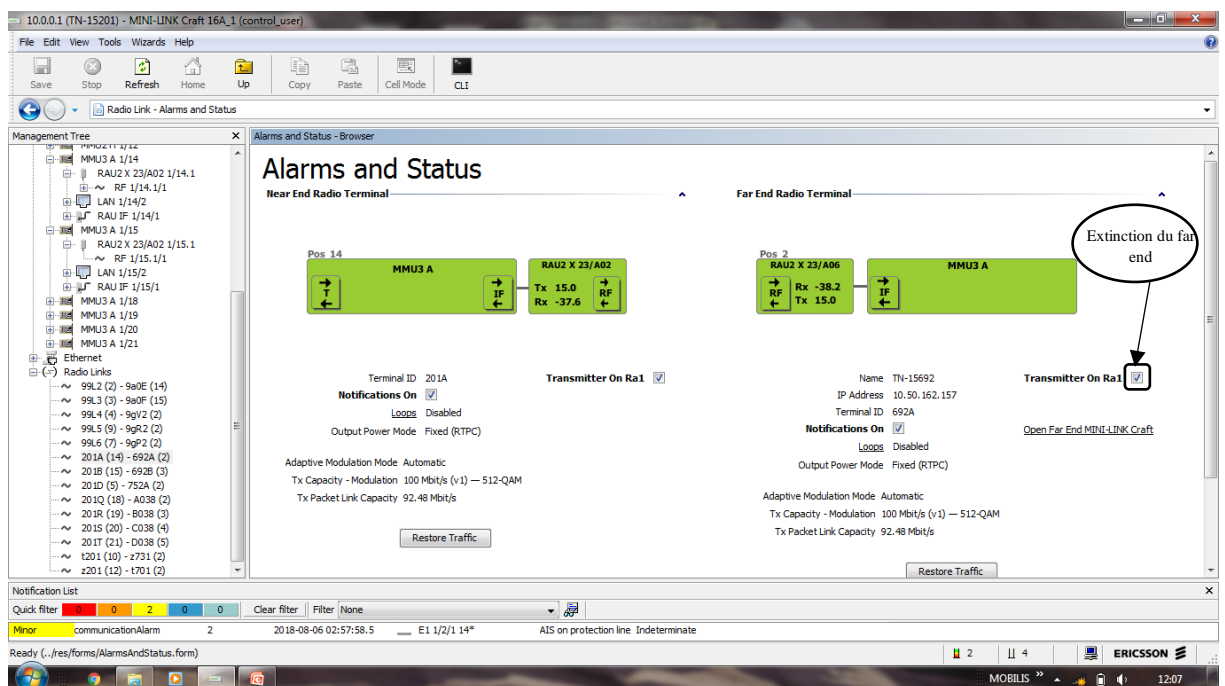


Figure IV.5 : Extinction du far end (Azrou).

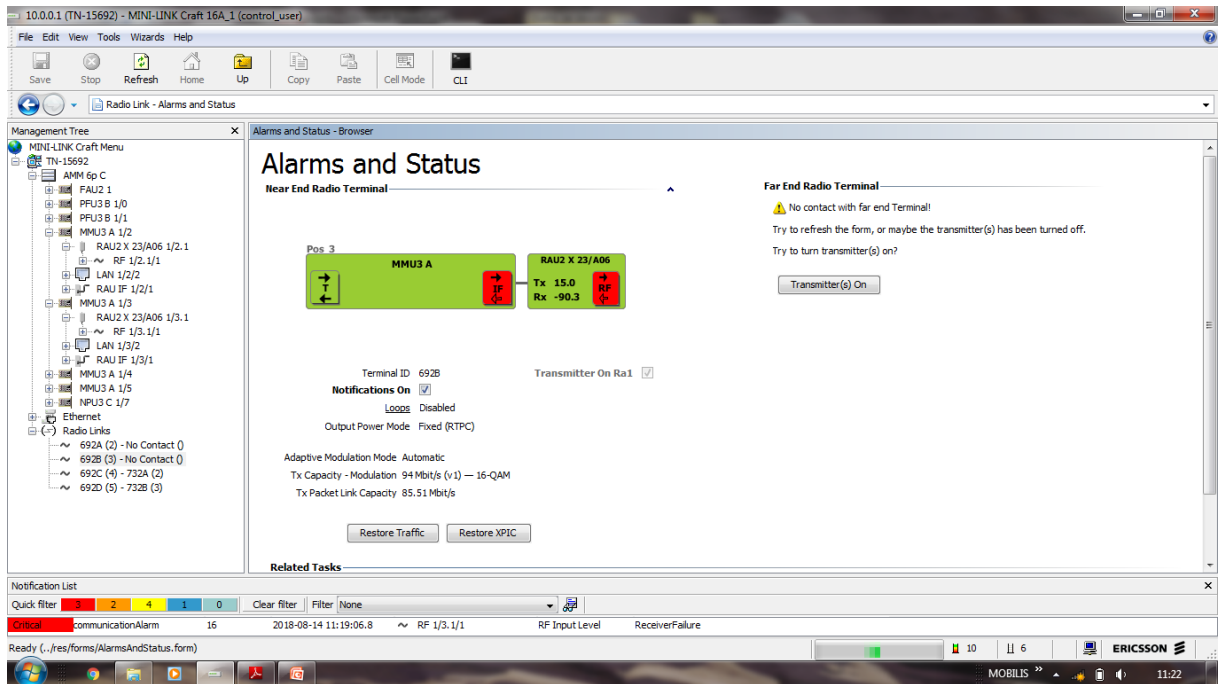


Figure IV.6 : borne du near end avec un RSL de -90.3 Dbm.

Après extinction du far end, on remarque que le niveau du RSL est de : -90.3 Dbm. Dans ce cas on est dans les normes mais on peut néanmoins le perfectionner. On procède à une vérification et ajustement de l’alignement car une mauvaise manipulation durant l’alignement peut engendrer des interférences. Après ajustement on refait le test.

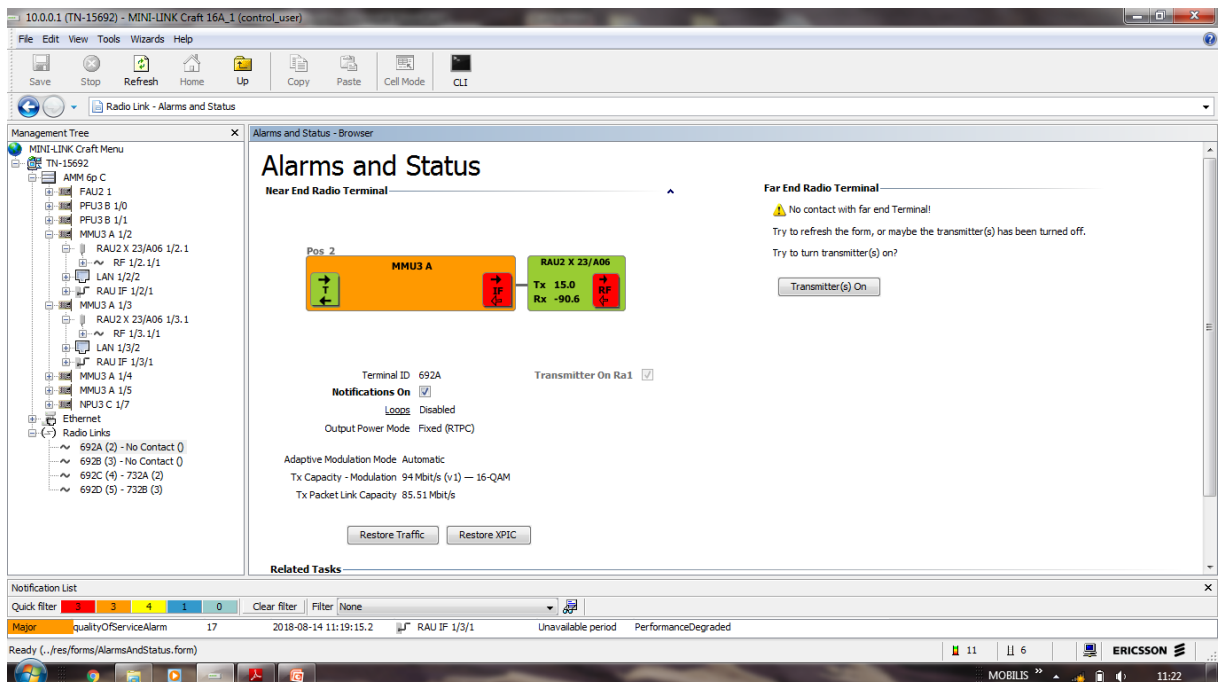


Figure IV.7 : Borne near end avec un RSL de -90.6Dbm.

On constate que la valeur du RSL a augmenté, elle est de -90.6 Dbm, donc améliorée. Après cela on active le far end et notre liaison est apte.

2.3 Cas d'interférence

Dans ce test, l'équipe maintenance de MOBILIS a constaté qu'il y a d'importantes perturbations entre le site du fort (el bordj) (15034) et celui de l'ancienne gare de Tizi-Ouzou (15666).

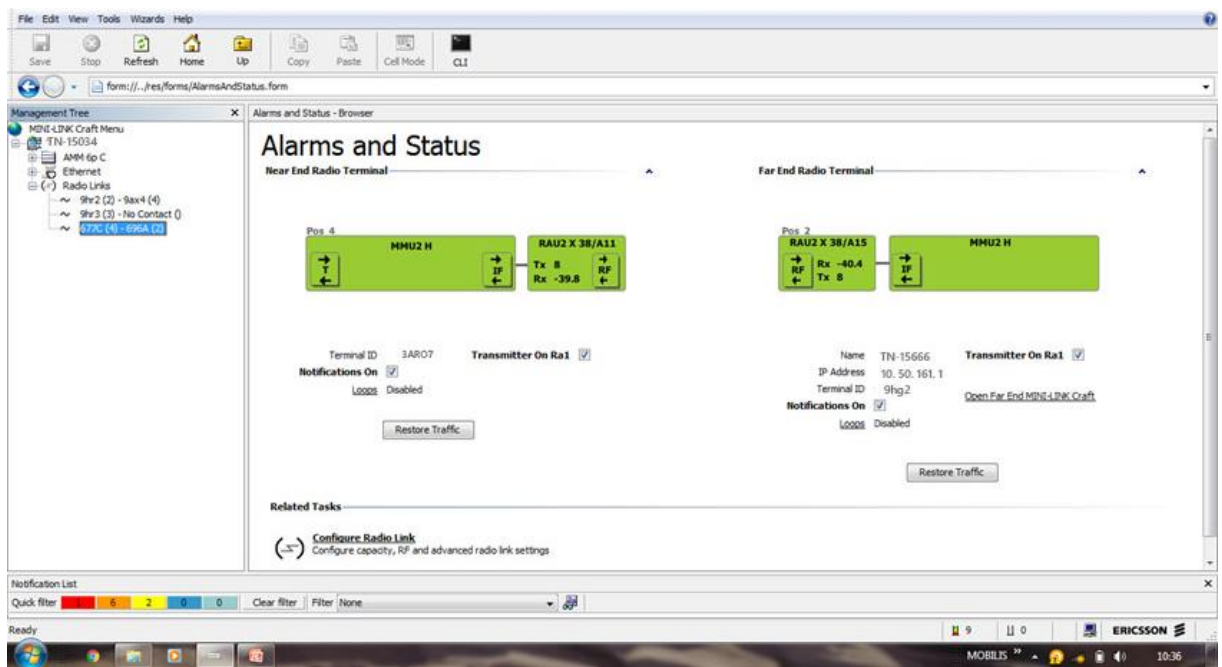


Figure IV.8 : liaison entre le fort (15034) et l'ancienne gare (15666).

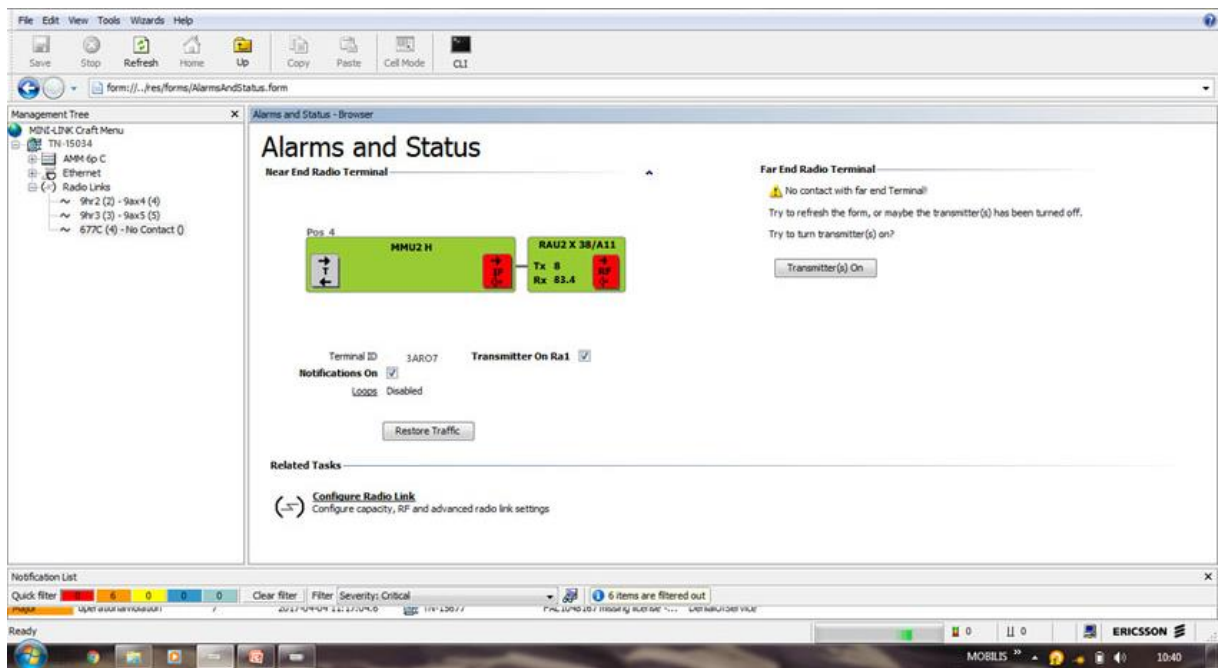


Figure IV.9 : Cas d'interférence.

Après analyse du site, on a constaté de fortes perturbations dans la liaison avec un RSL de -83.4 Dbm. Une étude de topographie effectuée par une équipe de génie civil a relevé qu'un nouveau bâtiment se trouvant dans le champ d'émission est la cause de la perturbation. (Figure IV.10)

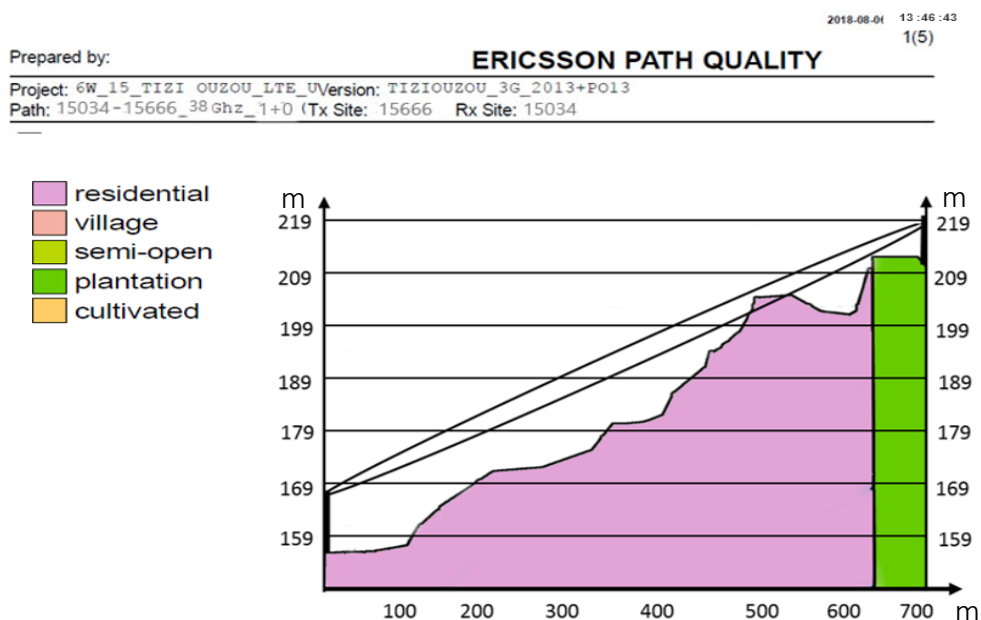


Figure IV.10 : Schéma représentant les reliefs entre les deux sites.

La solution proposée, après concertation des différentes équipes, est de déplacer le site du fort vers Beloua.

Une nouvelle liaison a été établie entre le site de Beloua (15030) et celui de l'ancienne gare de Tizi-Ouzou (15666). On a procédé à un test d'interférence avant la mise en service. Pour cela on éteint le far end. (Figure IV.11)

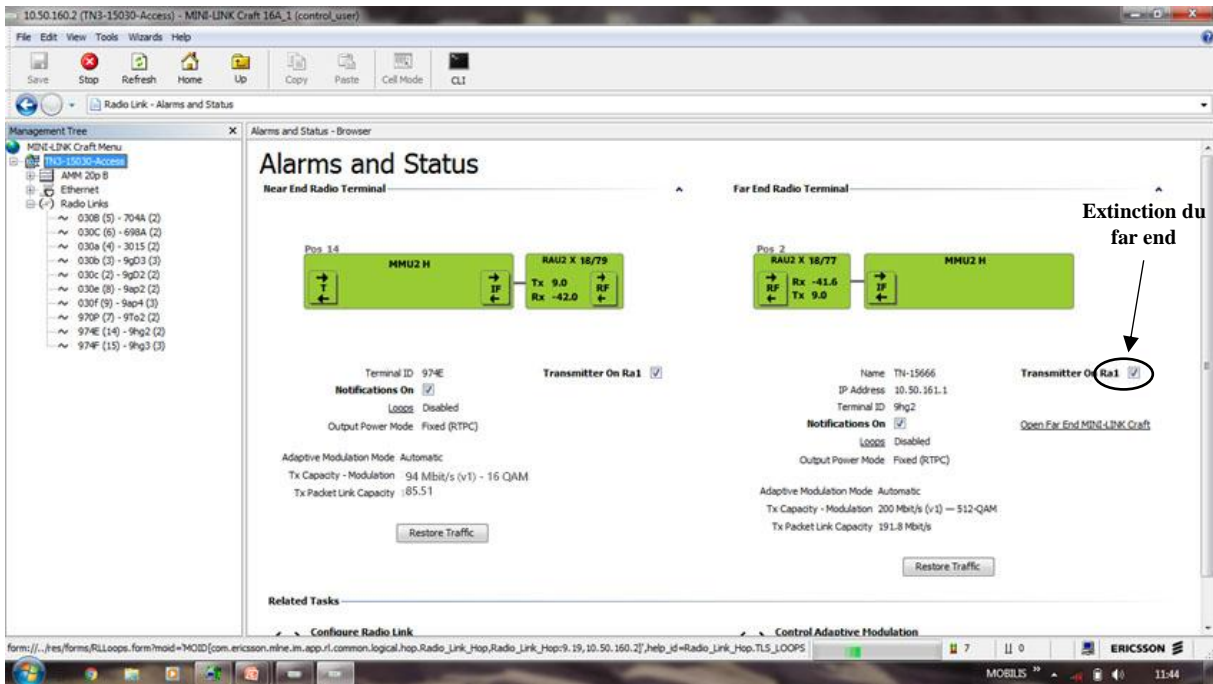


Figure IV.11 : extinction du far end

Après extinction du far end on verra s'il y a cas d'interferences ou pas, comme le demontre la figure IV.12.

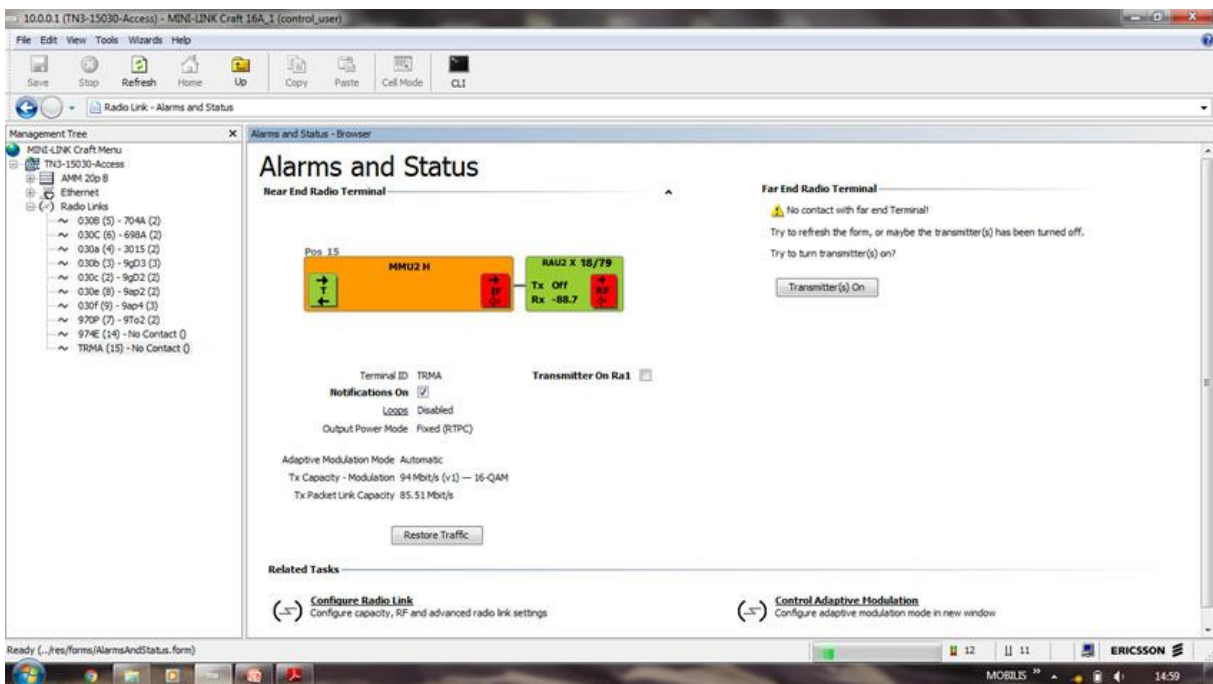


Figure IV.12 : cas d'interférence.

On remarque que la valeur du RSL est de : -81.2 dbm.

Puisque le site de Beloua a de nombreux sites dans les parages, on s'est penché sur le phénomène des fréquences avoisinantes.

Chaque operateur reçoit/loue une bande de fréquences propre à lui, distribué par l'ANF (l'office nationale des fréquences). Cependant l'installation d'une nouvelle station de transmission ou une mauvaise configuration d'un site à proximité peut générer des interférences.



Figure IV.13 : Image représentant le site de Beloua.

Pour fixer ce problème on change complètement de bande de fréquences, bien évidemment avec une nouvelle configuration, on fait appel à un PQ (figure IV.14 et tableau IV.1) fournit par l'équipe 'design transmission'. Ce dernier nous donne toutes les informations utiles (puissance, canal de fréquences, hauteur, degré d'inclinaison, type de modulation...)

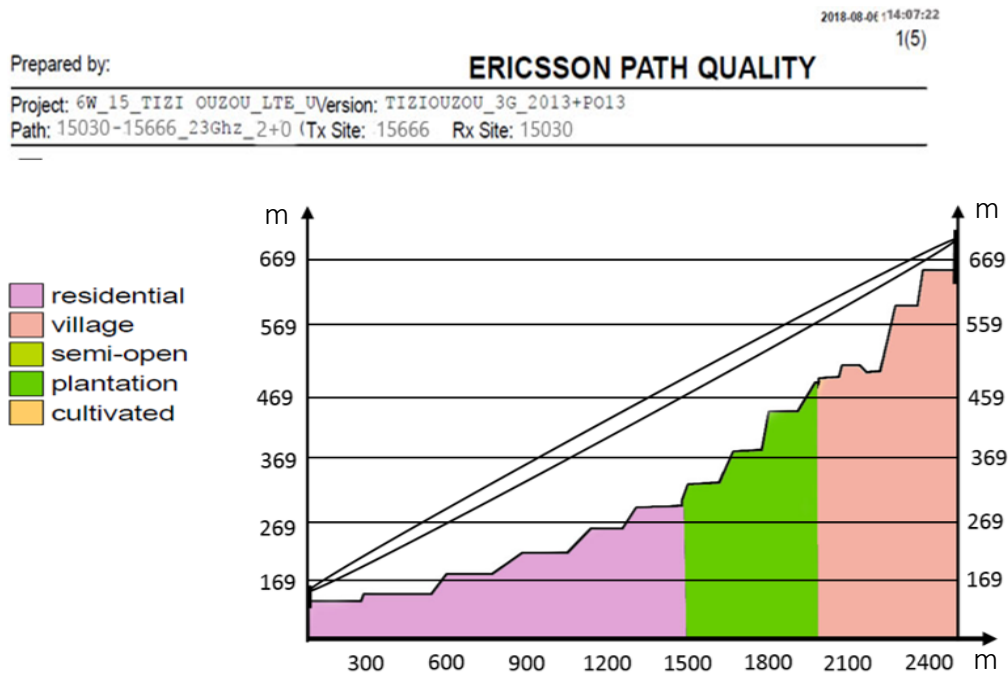


Figure IV.14 : liaison entre Beloua et l’ancienne gare.

Tableau IV.1 : Les données de la liaison entre Beloua et l’ancienne gare.

	Site Beloua	Site de l’ancienne gare
Identifiant	974 E	9hg2
Code	TN-15030	TN-15666
Latitude	36,4359	36,4249
Longitude	4,0301	4,0224
Altitude	644 m	161 m
Hauteur de l’antenne	13 m	10 m
Distance	2,44 Km	
Azimut	241,34°	61,33°
Type de modulation	512 Qam	
Obstacle	0,0 db	0,0 db
Capacité	200 Mbit/s	
Fréquence	23 GHz	
Bande passante Rx	42,0 MHz	41,6 MHz
Bande passante Tx	9 MHz	9MHz

Une fois la nouvelle configuration appliquée, on refait un test d’interférence (figure IV.15)

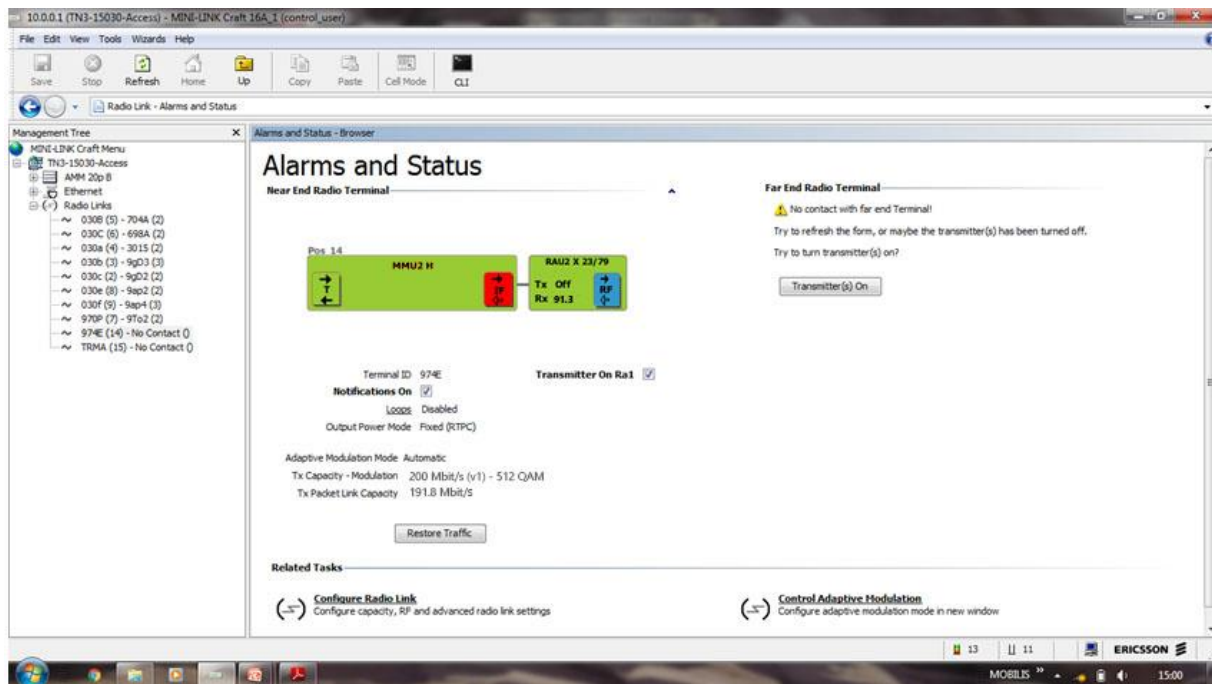


Figure IV.15 : test d'interférence pour le site de Beloua.

Dans ce cas-là on remarque qu'il n'y a plus d'interférence vu que la valeur est du RSL est -91.3Dbm.

Après avoir fini le test on active le far end pour rétablir le trafic.

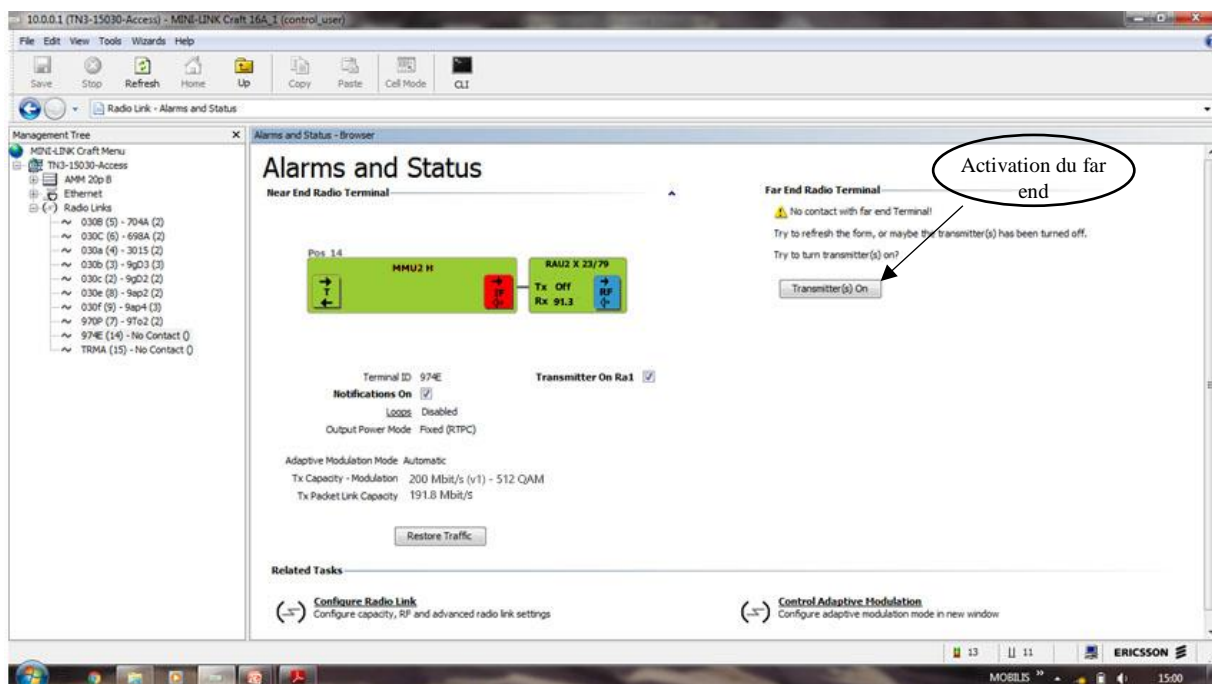


Figure IV.16 : Activation du far end pour le rétablissement du trafic.

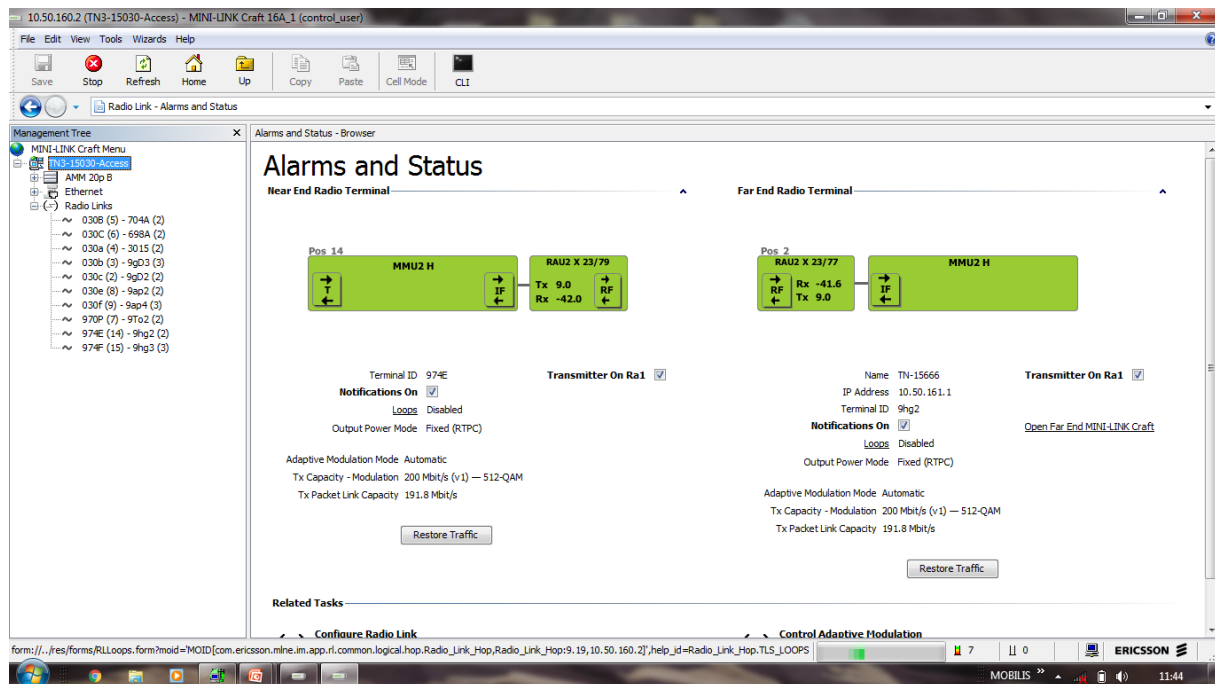


Figure IV.17 : Liaison rétablie.

3 Discussion

En premier lieu nous avons procédé à la description des interférences et de ses causes les plus récurrentes, ensuite nous avons réalisé des tests d'interférences entre deux stations.

Afin de vérifier s'il y a des interférences sur notre site, on coupe la liaison (désactivation du far end) pour voir si la radio (near end) reçoit des ondes hormis celles envisagées, puis on procède au test, si la valeur du RSL est < -90 Dbm donc il y a des interférences dans ce cas on a exposé des solutions.

On a eu affaire à trois cas :

Premier cas :

Le site entre le quartier de Sud-Ouest et de Boukhalfa a un RSL de -93.1 Dbm ce qui est parfait donc aucune interférence.

Deuxième cas

Le site entre Freha et Azrou a un RSL de -90.3 Dbm ce qui est juste raisonnable, pour l'améliorer on a ajusté l'alignement. Le RSL est passé à -90.6 Dbm.

Troisième cas

La liaison entre le fort et l'ancienne gare a été fortement perturbée suite à la construction d'une nouvelle bâtisse, on a donc opté pour le déplacement du site du fort vers Beloua pour une

nouvelle liaison entre ce dernier et l'ancienne gare de Tizi-Ouzou. On a procédé à des tests sur la nouvelle liaison et on a trouvé le niveau du RSL à -81.2 Dbm ce qui est critique. Pour l'améliorer, nous avons changé le canal de fréquence avec une nouvelle configuration (PQ), ce qui nous a permis d'obtenir un RSL de -91.3 Dbm.

Conclusion

Lors de notre stage, nous avons réalisé une étude du réseau de transmission chez l'opérateur MOBILIS dans le but de l'améliorer et de l'optimiser, afin d'augmenter la qualité de service et ainsi éviter les pannes à répétition du trafic, mais aussi le dysfonctionnement d'un site ce qui crée une rupture du réseau.

Pour cela nous avons débuté notre étude en exposant les supports de transmission de manière générale, ceux-ci exploitent les propriétés de conductibilité des métaux (paires torsadées, câble coaxial), celles des ondes électromagnétiques (faisceaux hertziens, guides d'onde, satellites) ou encore celles du spectre visible de la lumière (fibre optique). Ils sont classés en deux grandes catégories :

– les supports guidés : on y retrouve les supports en cuivre comme les câbles coaxiaux utilisés dans notre stage comme support de transmission entre les radios et les MMU, on y retrouve aussi les paires torsadées, à leur tour utilisées pour la connexion au réseau pour la supervision. On a fini par exposer la fibre optique, qui est l'un des supports les plus importants pour sa capacité et sa vitesse de transmission, on l'a utilisé comme support de transmission entre les sites avec une très grande capacité.

– les supports libres : il y a les liaisons satellites et les faisceaux hertziens, ce dernier est énormément utilisé entre les sites à cause de leur très grande portée et de son prix, cependant on y a retrouvé le problème des interférences ce qui nous a conduit vers notre problématique.

Nous avons poursuivi en présentant les différents types de multiplexages connus, nous avons commencé par le PDH et le SDH qui sont actuellement utilisés chez MOBILIS, ensuite nous avons expliqué le mode de fonctionnement des multiplexages par longueur d'onde utilisés dans la fibre optique le WDM et le D-WDM, ces derniers sont en étude pour être implémentés. Puis nous avons enchaîné en exposant la modulation QAM qui est utilisée dans les équipements de transmission.

C'est pour cela que nous avons défini tous les équipements de transmission que nous avons été amenés à découvrir durant notre stage : le compact node, le trafic node qui a plusieurs modules : 2,6 ou 20 modules. Le TN a plusieurs composants : le NPU, le MMU et le LTU. Ensuite nous sommes passés à la définition de la partie radio et sa configuration. Nous avons conclu ce chapitre en citant les différents sites de transmission MINI-LINK qui sont les sites répéteurs ou bien relais, sites hub sont conçus pour collecter les sites répéteurs et les envoyer

vers le réseau central, et les sites BSC/RNC ont pour rôle de contrôler et de superviser toutes les liaisons et s'interfacer au cœur du réseau.

Pour finir nous avons réalisé des tests d'interférences où nous avons eu affaire à trois cas : le premier est entre Sud-Ouest et Boukhalfa, le test n'a montré aucune interférence dont le niveau de RSL est de -93. Le deuxième était situé entre Freha et Azrou, dans ce cas nous avons trouvé un niveau de RSL de -90.3 Dbm ce qui est juste en dessous de la borne inférieure cependant nous avons pu l'améliorer grâce à un ajustement de l'alignement. Le dernier cas quant à lui a été effectué entre le fort et l'ancienne gare de Tizi-Ouzou. Cependant un problème de visibilité, dû à une nouvelle construction nous a conduits au déplacement du site du fort vers Beloua. Suite à ceci nous avons procédé à des tests entre Beloua et l'ancienne gare de Tizi-Ouzou avant la mise en service. Lors de ces test, nous nous sommes confrontés à un problème de RSL trop élevé, correspondant à -81.2 Dbm. Celui-ci étant causé par des fréquences avoisinantes, nous avons refait toute l'installation avec une nouvelle configuration (un nouveau PQ). Une fois cette nouvelle configuration mise en place, le test d'interférence a été refait pour un résultat dans les normes, soit un RSL de -90.9 Dbm

Enfin, ce que l'on peut dire est que notre étude nous a amené à remarquer certains points qui pourraient être amélioré à travers les points suivants :

- Mettre les moyens en place afin d'aménager plus de supports de transmission à base de fibre optique.
- Etablir une meilleure étude concernant les nouveaux sites de transmission.

Comme nous pouvons le constater cette étude a été faite grâce à l'étroite collaboration de l'opérateur MOBILIS.

Bibliographie

- [1] Claude.SERVIN, « réseaux et télécoms » Edition DUNOD 2006.
- [2] Kim-Loan Thai -Véronique Vèque -Simon Znaty « Architecture des réseaux haut débit » Edition HERMES Paris 1995.
- [3] CCM «Transmission de données - Le câblage »
<https://www.commentcamarche.com/contents/1128-transmission-de-donnees-le-cablage>
- [4] A.BENAMMAR « Etude d'un système de transmission sur fibre optique plastique à saut d'indice », université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen, 2017 . <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/10947/1/Ms.Tel.Benammar%2BMiloudi.pdf>
- [5] Mathilde. G, « Etude théorique et expérimentale de l'impact de la régénération 2R dans un système de transmission optique haut débit ». Thèse de doctorat à l'Institut National des Sciences appliquées de Rennes, 2006.
- [6] Enrique Fernandez & Marc Mathieu «Les faisceaux hertziens analogiques et numériques » » Edition DUNOD Paris 1991.
- [7] MARC MATHIEU « Télécommunication par faisceau hertzien » Edition DUNOD Paris 1979
- [8] HAMID CHORFI « CONCEPTION D'UN NOUVEAU SYSTÈME D'ANTENNE RÉSEAU CONFORME EN ONDE MILLIMÉTRIQUE » UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE 2012. <http://depositum.uqat.ca/491/1/hamidchorfi.pdf>
- [9] Innocent Gerard Kouadi MANDIOUBA « Conception et simulation d'une antenne Wifi » <https://www.supinfo.com/articles/single/1742-conception-simulation-une-antenne-wifi-avec-mmana>
- [10] Dr. BOUKERROUM Fayçal « propagation d'ondes et antennes » Université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel 2016/2017
http://elearning.univ-jijel.dz/elearning/pluginfile.php/8315/mod_resource/content/1/Support_Cours_BOUKERROUM.pdf
- [11] Wikipédia
https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne_radioélectrique#Diagramme_de_rayonnement
- [12] « Antennes et lignes de transmission » <http://wndw.net/pdf/wndw-fr/chapter4-fr.pdf>
- [13] Christian Wolff « Caractéristiques de l'antenne »
<http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Caractéristiques%20de%20l'antenne.fr.html>
- [14] « Antenne parabolique » <http://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM09/RM09i03D.html>
- [15] Christian Wolff, « Ellipsoïde de Fresnel »
<http://www.radartutorial.eu/07.waves/wa18.fr.html>
- [16] L.Reynier « Liaisons hertziennes »
<http://www.louisreynier.com/fichiers/Liaison%20hertzienne%201.pdf>
- [17] Systèmes de télécommunications par satellite Auteur(s) : Gérard MARAL Date de publication : 10 déc. 1996
- [18] ZIMMER Baptiste « Installation et mise en service Faisceau hertzien ALCATEL 9400UX » IUT Nancy Brabois. http://www.theotech.sitew.com/fs/Root/cf18g-FAISCEAU_HERTZIEN.pdf
- [19] Wikipédia. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Multiplexage>
- [20] Adel BOURAS « Transmission analogiques et numériques des signaux » Edition ellipses Paris 2013.

- [21] « Le partage statique mise en œuvre des équipements »
<https://www.coursehero.com/file/p2j7id1/Le-partage-statique-met-en-oeuvre-des-equipements-de-type-multiplexeur-Le/>
- [22] Ahmed CHAARI « Technologies optiques (PDH, SDH) et ASON ».
<https://www.supinfo.com/articles/single/4475-technologies-optiques-pdh-sdh-ason>
- [23] Stéphane Lohier & Dominique Présent « Réseaux et transmission » Edition DUNOD 2016.
- [24] Frédéric LAUNAY « Transport des données : PDH, SDH, WDM »
https://www.liasab.fr/perso/fredericlaunay/Cours/TR3/Cours%20PDH_SDH.pdf
- [25] « la hierarchie sdh et sonet – ABCelectronique »
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi16NzJ7cvdAhVZGsAKHa8OCi4QFjABegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.abcelectronique.com%2Fannuaire%2Fcours%2Fcache%2F1561%2Fhierarchie-digitale-synchrone-sdh.pdf&usq=AOvVaw1geU7reod5nl5HNHH3irhI>
- [26] Olivier ADAMUS & Johann COPIN & Eric PANETTA « Nouvelles technologies réseauxSONET / WDM » IR3 – 2003 <http://igm.univ-mlv.fr/~duris/NTREZO/20032004/Adamus-Copin-Panetta-Sonet-WDM.pdf>
- [27] Sami Baraketi « Ingénierie des réseaux optiques SDH et WDM et étude multicouche IP/MPLS sur OTN sur DWDM » Thèse UNIVERSITE DE TOULOUSE 2015.
- [28] Jean-Marie Landa « Les bases et les modulations de la radio juin 2006 ».
<http://obligement.free.fr/articles/basesmodulationsradio.php>
- [29] Patrice KADIONIK « Bases de transmission numérique » ENSEIRB
<ftp://87.98.130.52/kadionik/reseau/modulations-numeriques.pdf>
- [30] Ian Poole « Comparison of 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM 128-QAM, 256-QAM, Types » <https://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/quadrature-amplitude-modulation-qam/8qam-16qam-32qam-64qam-128qam-256qam.php>
- [31] PETITPA « Les technique de modulation » <http://philpetitpa.890m.com/modul2.pdf>
- [32] Ericsson « MINI-LINK TN ETSI TECHNICAL » <https://vdocuments.mx/mini-link-tn-etsi-technical.html>
- [33] Ericsson « MINI-LINK™ CN» <http://www.dadehnama.ir/uploads/Mini-Link%20CN.PDF>
- [34] Ericsson « Mini Link » http://www.ini-tel.ru/datadocs/doc_451ni.pdf

Résumé

Lors de notre stage, nous avons réalisé une étude du réseau de transmission chez l'opérateur MOBILIS dans le but de l'améliorer et de l'optimiser, afin d'augmenter la qualité de service et ainsi éviter les pannes à répétition du trafic, mais aussi le dysfonctionnement d'un site ce qui crée une rupture du réseau.

Pour cela nous avons débuté notre étude en exposant les supports de transmission de manière générale, ceux-ci exploitent les propriétés de conductibilité des métaux (paires torsadées, câble coaxial), celles des ondes électromagnétiques (faisceaux hertziens, guides d'onde, satellites) ou encore celles du spectre visible de la lumière (fibre optique). Ils sont classés en deux grandes catégories :

– les supports guidés : on y retrouve les supports en cuivre comme les câbles coaxiaux utilisés dans notre stage comme support de transmission entre les radios et les MMU, on y retrouve aussi les paires torsadées, à leur tour utilisées pour la connexion au réseau pour la supervision. On a fini par exposer la fibre optique, qui est l'un des supports les plus importants pour sa capacité et sa vitesse de transmission, on l'a utilisé comme support de transmission entre les sites avec une très grande capacité.

– les supports libres : il y a les liaisons satellites et les faisceaux hertziens, ce dernier est énormément utilisé entre les sites à cause de leur très grande portée et de son prix, cependant on y a retrouvé le problème des interférences ce qui nous a conduit vers notre problématique.

Nous avons poursuivi en présentant les différents types de multiplexages connus, nous avons commencé par le PDH et le SDH qui sont actuellement utilisés chez MOBILIS, ensuite nous avons expliqué le mode de fonctionnement des multiplexages par longueur d'onde utilisés dans la fibre optique le WDM et le D-WDM, ces derniers sont en étude pour être implémentés. Puis nous avons enchaîné en exposant la modulation QAM qui est utilisée dans les équipements de transmission.

C'est pour cela que nous avons défini tous les équipements de transmission que nous avons été amenés à découvrir durant notre stage : le compact node, le trafic node qui a plusieurs modules : 2,6 ou 20 modules. Le TN a plusieurs composants : le NPU, le MMU et le LTU. Ensuite nous sommes passés à la définition de la partie radio et sa configuration. Nous avons conclu ce chapitre en citant les différents sites de transmission MINI-LINK qui sont les sites répéteurs ou bien relais, sites hub sont conçus pour collecter les sites répéteurs et les envoyer

vers le réseau central, et les sites BSC/RNC ont pour rôle de contrôler et de superviser toutes les liaisons et s'interfacer au cœur du réseau.

Pour finir nous avons réalisé des tests d'interférences où nous avons eu affaire à trois cas : le premier est entre Sud-Ouest et Boukhalfa, le test n'a montré aucune interférence dont le niveau de RSL est de -93. Le deuxième était situé entre Freha et Azrou, dans ce cas nous avons trouvé un niveau de RSL de -90.3 Dbm ce qui est juste en dessous de la borne inférieure cependant nous avons pu l'améliorer grâce à un ajustement de l'alignement. Le dernier cas quant à lui a été effectué entre le fort et l'ancienne gare de Tizi-Ouzou. Cependant un problème de visibilité, dû à une nouvelle construction nous a conduits au déplacement du site du fort vers Beloua. Suite à ceci nous avons procédé à des tests entre Beloua et l'ancienne gare de Tizi-Ouzou avant la mise en service. Lors de ces test, nous nous sommes confrontés à un problème de RSL trop élevé, correspondant à -81.2 Dbm. Celui-ci étant causé par des fréquences avoisinantes, nous avons refait toute l'installation avec une nouvelle configuration (un nouveau PQ). Une fois cette nouvelle configuration mise en place, le test d'interférence a été refait pour un résultat dans les normes, soit un RSL de -90.9 Dbm

Enfin, ce que l'on peut dire est que notre étude nous a amené à remarquer certains points qui pourraient être amélioré à travers les points suivants :

- Mettre les moyens en place afin d'aménager plus de supports de transmission à base de fibre optique.
- Etablir une meilleure étude concernant les nouveaux sites de transmission.

Comme nous pouvons le constater cette étude a été faite grâce à l'étroite collaboration de l'opérateur MOBILIS.

Mots-clés : TRANSMISSION, OPERATEUR MOBILIS, QUALITE DE SERVICE, RESEAU, MULTIPLEXAGE, PDH, SDH, WDM, D-WDM, QAM, NPU, MMU, LTU, RADIO , CONFIGURATION., MINI-LINK , BSC/RNC, RSL.