

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électronique

Option : Communication

Thème

**Etude d'une liaison FHN point à point utilisant
Le multiplexage SDH du réseau Algérie télécom**

Fait par :

Mlle: OUELMOKHTAR FARIDA

Mlle : OUGACHE LILA

Promoteur:

Mr.: M. TAHANOUT

Proposé par :

Mr : K.IZRI

PROMOTION 2011



Remerciements

D'abord nous tenons à remercier le bon Dieu de nous avoir accordé la force et le courage de muni à terme ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour les gens de CA2 d'Algérie Télécom de Tizi-Ouzou qui nous ont aidés tout au long de notre travail.

Nos remerciements vont également :
A notre promoteur Mr : M.TAHANOUT
Au Co promoter Mr K .IZRI
A Mr. M. BERCHICHE
A Mr. H.K ANANE
A Mr. k. MOKRI

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







Je tiens à dédier ce travail à :

Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé, je vous dis merci du fond du cœur, je vous adore et que Dieu vous garde ;

 *Ma très chère Yemma khessoudja, que Dieu la protège ;*


 *Mes chères sœurs Kahina et Katia qui tiennent une grande place dans mon cœur ;*


 *Mes chers frères Rachid et Djamel que j'aime beaucoup ;*

 *Mes cousins et cousines et toute la famille Ougache ;*

 *Ma chère binôme Farida et sa famille ;*

 *Tous mes amis sans exception ;*

 *Toute la section 5^{ème} année ingénieur en particulier option communication ;*

 *Tous ceux qui m'ont aidé pour réussir ce travail ;*



dicaces



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

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chères mère et père pour toutes ses tendresses et pour ses nombreux sacrifices. Que Dieu les garde.

A toute la Famille Spécialement mes frères (Saïd et Hidouche), mes sœurs (Fatiha, Sadia et Thanina), mes oncles surtout Rabah, mes cousins surtout Siham, ma tante Fatiha et mes grandes mères Zazou et Fatma et ma belle mère Ouardia.

A mes très chères amies : Karima, Nouna et sa sœur Karima, Saida , Siham et ma binôme LILA.

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

Enfin je dédie ce modeste travaille à mon fiancé HAKIM.

Farida

Introduction Générale

*“ Il faut avoir déjà beaucoup
appris des choses pour savoir
demander ce qu 'on ne sait pas ”
Jean-Jacques Rousseau*

Le monde devient de plus en plus mobile. Autant par la multiplicité des supports qui accompagnent l'activité nomade des entités professionnelles à l'échelle planétaire, que par la diversité des applications qui permettent aux utilisateurs de rester connectés en tout lieu et tout le temps, de communiquer, de s'informer, d'échanger de la voix et des données, grâce à la capacité de plus en plus hallucinante de débits.

Les technologies de télécommunications, qualifiées il y a une quinzaine d'années, ne servent plus que de passerelles vers l'édification de réseaux de télécommunications encore plus puissants, multicanaux et multifonctions. Nous sommes aujourd'hui dans l'ère du multimédia.

Pendant de nombreuses décennies, ni les systèmes à fil de cuivre et à câbles coaxiaux, ni les systèmes à paire torsadée, ne permettaient de transmettre un débit supérieur à 100 Mbits/s en moyenne. Le système coaxial le plus évolué était capable de transmettre un débit de 274Mbits/s, mais à condition de prévoir l'installation des répéteurs tous les dizaines de kilomètres.

Une amélioration substantielle des performances a été réalisée avec l'utilisation des technologies optiques. En effet, grâce à la fibre optique la bande passante est nettement améliorée pour transmettre plus d'informations sur une porteuse optique. Toutefois, dans les régions à topologie difficile et les lieux accidentés, la fibre optique ne peut être utilisée sans un coût plus élevé, surtout lorsque le nombre d'utilisateurs n'est pas suffisant pour amortir les installations. C'est pourquoi on préfère utiliser les faisceaux hertziens large bande afin de couvrir ces zones.

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux directement entre deux points fixes. Il utilise des antennes très directives (antennes parabolique ou a antennes yagi) et travaille dans les bandes de fréquence de 250 MHz à 40 GHz. Les débits vont de 2 à 155 Mbits/s.

Dans le présent travail nous nous sommes consacrés à l'étude d'une liaison FH point à point avec le multiplexage SDH dans la région de Tizi-Ouzou. Pour mieux montrer notre travail, dans un premier temps, nous avons consacré le premier chapitre à présenter quelques

généralités sur différents réseaux de télécommunications et les supports de transmissions. Ensuite, le deuxième chapitre est dédié à l'étude des ondes électromagnétiques, les faisceaux hertziens et les antennes indispensables pour la transmission radioélectrique. Le troisième chapitre est basé sur l'étude de la hiérarchie SDH et son fondement théorique. Enfin, le dernier consiste à l'étude d'une liaison FHN point à point de la région de Tizi-Ouzou.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux de télécommunication

I.1.Introduction

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

I.2.Les réseaux de télécommunication

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

I.2.1.Le réseau de télécommunications fixe [1]

Les réseaux de télécommunications fixes sont historiquement basés sur des évolutions du réseau téléphonique commuté (RTC), réseau de téléphonie dans lequel un poste d'abonné est relié à un central téléphonique par une paire de fils de cuivre, généralement continue entre l'abonné et l'équipement desservant son quartier, également nommée « boucle locale ». Le RTC permet principalement des services de type voix. Il est constitué de deux principaux réseaux :

I.2.1.1.Le réseau local

Le réseau local ou réseau périphérique est constitué essentiellement des lignes d'abonnés

qui sont constituées de paire de cuivre de 0.4 à 0.6 mm de diamètre qui relie le poste téléphonique de l'abonné au Commutateur. Ce commutateur est appelé commutateur de rattachement ou commutateur d'abonné. il se situe dans un bâtiment appelé central ou centre téléphonique.

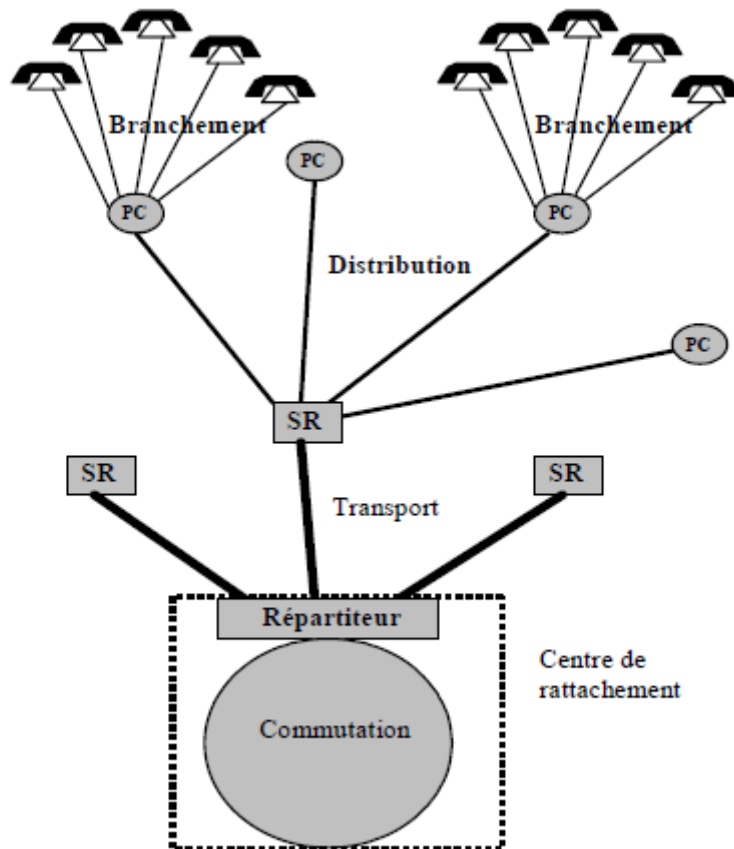


Figure I.1. Structure du réseau locale

Il est constitué de :

- Postes téléphoniques.
- Câbles de branchement : Ce sont des lignes bifilaires individuelles.
- Points de concentration PC : Le PC est un mini répartiteur de petite capacité placées sur des poteaux ou dans des endroits réservés. Les paires téléphoniques arrivent au PC sur des réglettes, des connexions amovibles les relie à d'autres réglettes sur lesquelles sont branchés les câbles de distribution.
- Câbles de distribution : Ces câbles peuvent être soit aériens, soit posé en plein terre, Ils relient les points de concentration aux sous-répartiteurs. Chaque câble contient un certain

nombre de paires de calibres normalisés. On trouve des câbles de 14, 28, 56, 112, 244, 448 paires de calibres 0.4 ou 0.6 mm.

- Les sous répartiteurs SR : Ce sont des "casiers" placés sur les trottoirs. Ils permettent de la même façon qu'un PC de regrouper les câbles de distribution vers les câbles de transport qui sont plus volumineux. Un SR peut connecter jusqu'à 1500 paires.
- Les câbles de transport : Ils sont similaires aux câbles de distribution avec des capacités plus élevées de 112 à 2688 paires. Ces câbles sont posés dans des conduites souterraines.
- Le répartiteur général : Il constitue le point d'accès des lignes à l'autocommutateur. Les lignes sont amenées sur des barrettes verticales dites têtes de câbles verticaux ou "les verticales". Les points d'arrivées des lignes sur l'autocommutateur sont raccordés sur des réglottes horizontales.

I.2.1.2.Le réseau dorsal

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

I.2.1.2.1.Commutation

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

- Les centres d'abonnés : ils permettent le rattachement des abonnés. Ils sont différenciés en deux types:
 - Les centres à autonomie d'acheminement CAA : qui sont capables d'analyser les numéros qu'ils reçoivent et les traduire en un itinéraire parmi ceux possibles pour acheminer la communication vers l'abonné demandé.
 - Les centres locaux CL : Ils sont seulement capables d'analyser les numéros des abonnés qu'ils desservent. Ils n'ont aucune intelligence et leur rôle se limite à la concentration. On les appelle aussi centres auxiliaires.

- Les centres de transit : Ils permettent de connecter les commutateurs qui n'ont pas de liaisons entre eux, ils sont aussi différenciés en deux types, les centres de transit secondaires et les centres de transit principaux.

Les centres de transit permettant de connecter les réseaux de deux pays sont appelés centres de transit internationaux.

I.2.1.2.2.Transmission

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

➤ **Hiérarchie du RTC**

Le réseau téléphonique est organisé en trois zones :

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

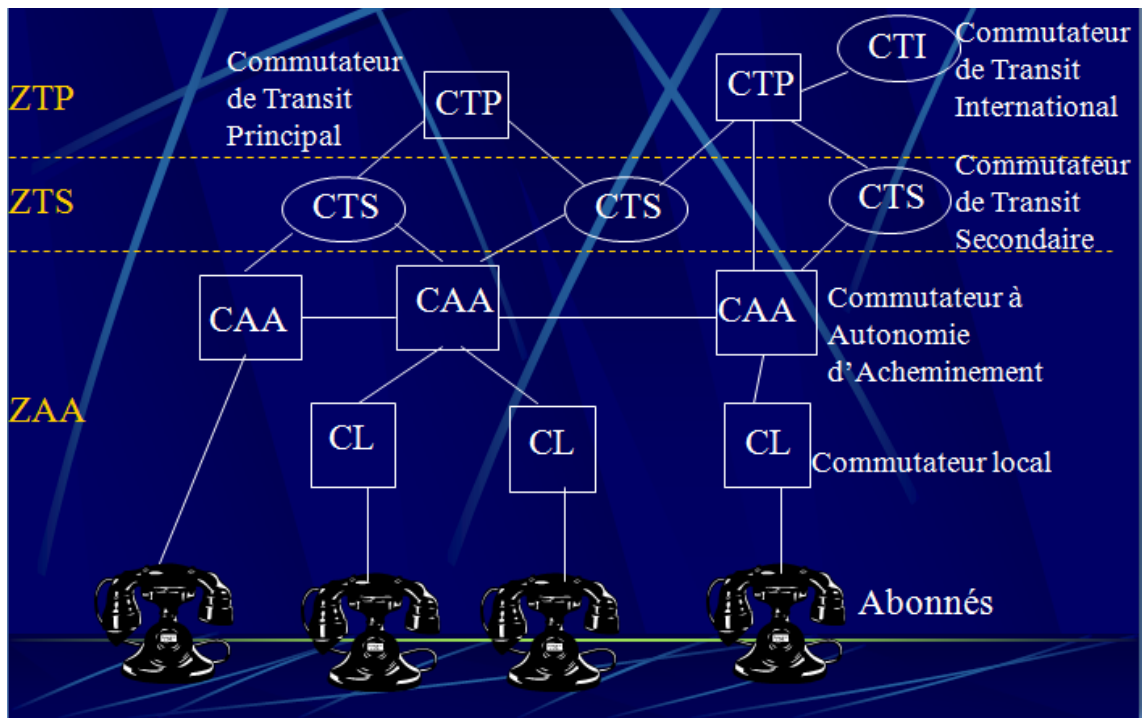


Figure I.2. Structure simplifiée d'un tronçon du RTCP [3]

I.2.2. le réseau GSM

I.2.2.1 Définition

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

I.2.2.2. Architecture d'un réseau GSM [2]

L'architecture d'un réseau GSM est spécifiée dans la norme de l'ETSI (Européen Télécommunication Standards Institute). Plusieurs entités sont définies dans la norme. Ce qu'on entend par entité, est l'équipement physique doté d'une certaine intelligence et d'une capacité à traiter l'information. On peut diviser le réseau en trois parties principales :

- 1) Le sous-système radio (BSS) Base Station Sub-System.
- 2) Le sous-système réseau (NSS) Network Sub-System.
- 3) Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS) Operation Support Sub-system.

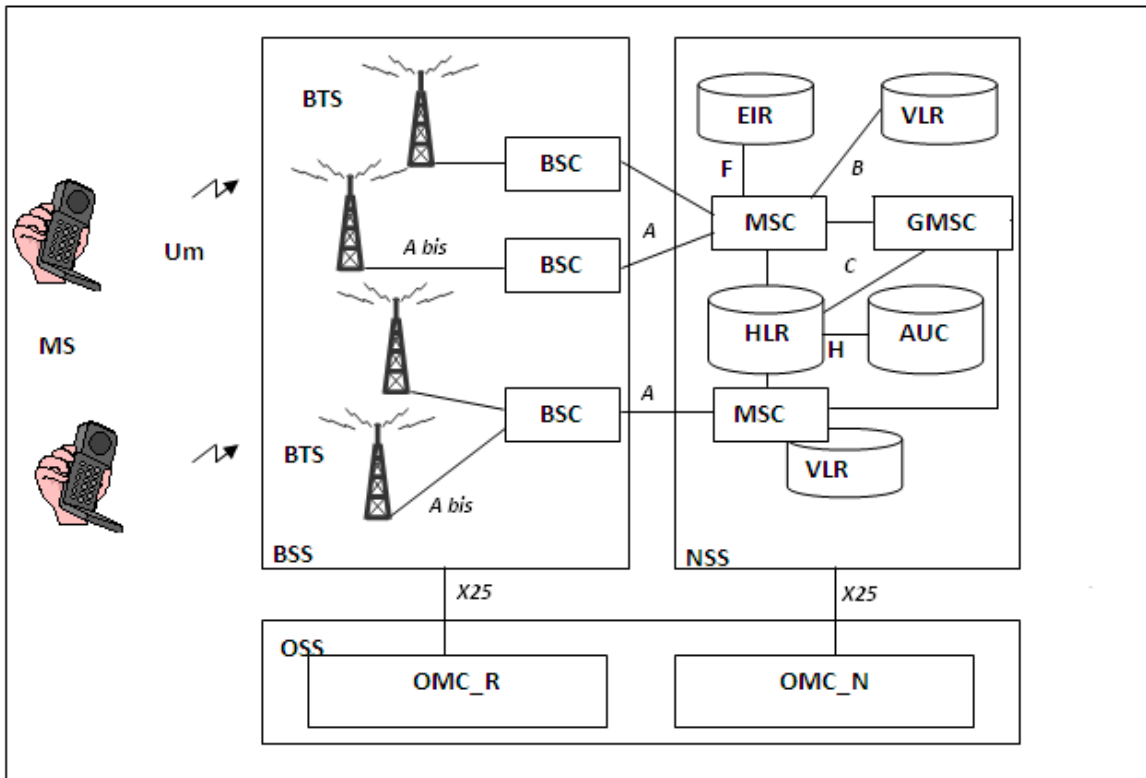


Figure I.3 Architecture d'un réseau GSM [4]

I.2.2.2.1. Le sous-système radio BSS (Base Station Sub-system)

C'est l'ensemble des constituants du réseau qui gère l'échange et la transmission des données par voie hertzienne. Le sous-système radio est principalement constitué de trois éléments :

➤ **La station de base BTS (Base Transceiver Station)**

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

➤ **Le contrôleur de stations de base BSC (Base Station Controller)**

Il contrôle un ensemble de BTS et permet une concentration des circuits de parole et de données vers le sous-système réseau(NSS).C'est véritablement l'organe intelligent du BSS. Il prend les décisions résultantes des mesures effectuées par la BTS. Concrètement, il commande l'allocation des canaux, gère le Handover, contrôle les puissances des mobiles et des BTS. Les BTS communiquent entre elles par l'intermédiaire de l'interface A bis.

➤ **Le transcodeur TRC (TransCoder)**

Le TRC a pour but principal le transcodage (codage et décodage) de la parole et l'adaptation du débit pour les transmissions de données utilisées dans le réseau fixe spécifié par la norme GSM. Le transcodage de la parole est réalisé entre 64 Kbit/s arrivant du MSC et 16 Kbit/s transmis vers le BSC 13 Kbit/s de téléphonie et 3 Kbit/s de signalisation de la bande. L'unité responsable du transcodage est le TRAU dans le BSC/TRC ou seulement le TRC.

I. 2.2.2.2.Le sous-système réseau NSS (Network Sub- System)

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires pour gérer la mobilité des abonnés en utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : (chiffrement, authentification ou roaming). Le NSS est constitué de six blocs suivants :

➤ **Commutateur de service mobile MSC (mobile switching center)**

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

➤ **Commutateur d'entrée de service mobile GMSC (Gateway MSC)**

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

➤ **Registre des abonnés locaux HLR (Home Location Register)**

Il gère toutes les informations concernant les abonnés au réseau (numéro de l'utilisateur, numéro réseau d'un abonné, profil de l'abonnement,...) cette base de données gère également

la position courante de l'abonné puisqu'elle enregistre le numéro de la zone de localisation où il se trouve. Il y a une HLR par opérateur.

➤ **Registre des abonnés visiteurs VLR (visitor location register)**

Le VLR est une base de données associée à un commutateur MSC. Sa mission est d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le ruisseau. Cette gestion est importante car on doit connaître dans quelle cellule se trouve un abonné pour l'acheminement de l'appel. La spécificité des abonnés GSM étant la mobilité, il faut en permanence localiser tous les abonnés présents dans le réseau et suivre leurs déplacements.

➤ **centre d'authentification AUC (AU thentication Center)**

Lorsqu'un abonné reconnecte au réseau, AUC permet une grande sécurité pour les abonnés et l'opérateur. Pour chaque abonné, il mémorise une clé Ki secrète qui authentifie les demandes de services et qui sert pour le chiffrement des communications .En général, l'AU est associe à chaque HLR.

➤ **Registre d'identification d'équipement EIR (Equipment Identity Register)**

Chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI. Le registre EIR contient la liste de tous les terminaux valides. Une consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui a été déclaré perdu ou volé.

I.2.2.2.3. Sous-système opération OSS (Operation and Support System)

Les éléments constituant les deux sous réseaux précédents sont reliés à distance, via X25, au centre d'exploitation et de maintenance.

Dans un réseau GSM l'OSS comporte un OMC-R (centre d'exploitation et de maintenance radio) et un OMC-N (centre d'exploitation et de maintenance réseau).

I.2.2.2.4. La station mobile MS (mobile station)

La station mobile est un équipement portable ou installé à bord d'un véhicule. Dans le système GSM, une petite unité appelée « module d'identification d'abonné » (SIM : Subscriber Identity Module), sous forme d'une carte à puce. L'ensemble SIM et l'équipement constituent la station mobile qui permet à l'utilisateur d'accéder au réseau à travers une interface dite interface Um. La carte SIM est indépendante de type de l'équipement utilisé.

- Interfaces UM : appelée aussi Air ou radio, entre BTS et MS s'appuie sur le protocole LAPDm (link acces protocol on the D mobile channel).Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Le téléphone portable et le sous système radio communiquent par l'intermédiaire de l'interface UM, qui est une liaison radio. Sur cette interface la voix est codée sur 13Kbit/s.
- Interface A bis : Cette interface relie la station de base BTS à son contrôleur, s'appuie sur le protocole LAPD. Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Sur l'interfaces A-bis la transmission est numérique sur des voies à 64Kbit /s et la couche physique est définie par une liaison MIC à 2 Mbit/s.
- **Interface A : Elle relie entre BSC et MSC, s'appuie sur le protocole sémaphore N-7du CCITT (SS7, système de signalisation). Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Le sous système radio et le sous système réseau, communiquent par l'intermédiaire de l'interfaces A.**
- **Les interfaces B : Elle relie entre MSC et VLR, C entre GMSC et HLR, D entre VLR et HLR, E entre MSC et MSC, F entre MSC et EIR, G entre VLR et VLR, et H entre HLR et AUC. Ces interfaces sont utilisées en particulier pour le transport des données relatives à l'application des mobiles.**
- **Les interfaces REM : entre OMC-R et BSS ou entre OMC-S et NSS, Elles utilisent un réseau de transmission de données de type X25.**
- **Les interfaces passerelles : entre le MSC et les réseaux publics s'appuient sur le protocole sémaphore N° 7 du CCITT (UIT-T). Elles sont utilisées pour le transport du trafic et des données de signalisation.**

I.3.Les supports de transmissions

I.3.1. Liaisons filaires

I.3.1. 1. Câble coaxiale

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques sur un même axe (le cœur, fil de cuivre), séparés par un isolant de qualité (Téflon, polythène, polypropylène, air), le tout étant protégé par une gaine plastique en cuivre, l'impédance sera faible et aux fréquences élevées il se comporte comme un guide d'onde.

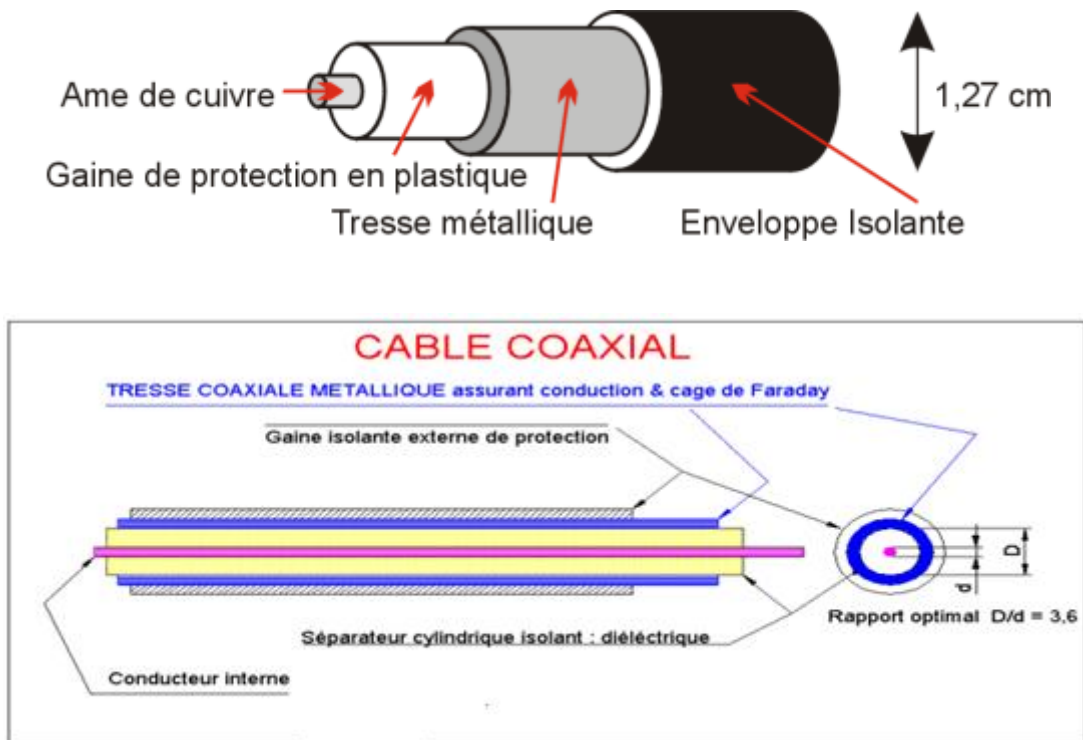


Figure I.4. Le câble coaxial [5]

- Les avantages et les inconvénients

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

I.3.1. 2. Paire torsadée

La paire torsadée est composée de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe longitudinal.

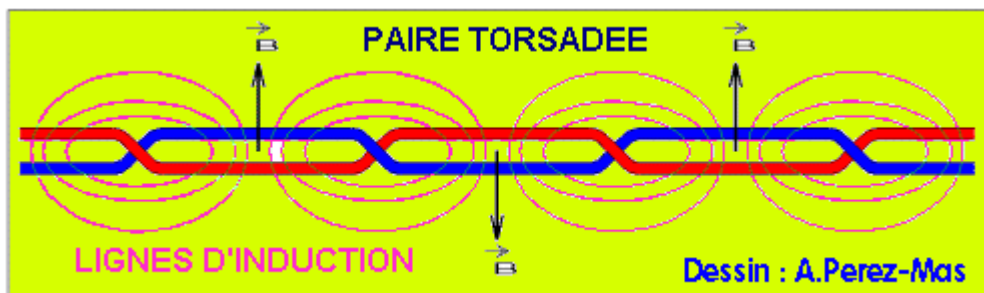


Figure. I.5.paire torsadée

- Les avantages et les inconvénients

-Un circuit de type pair téléphonique largement implantée dans les bâtiments.

-Elle est sensible aux perturbations.

-Une forte atténuation.

-Une vitesse de transmission relativement faible.

-Limitation de la distance maximum entre deux stations ou entre deux appareils d'interconnexion.

I.3.2. liaisons optiques

La fibre optique est un guide diélectrique permettant de conduire la lumière sur une grande distance. Elle est constituée des éléments suivants :

- Le cœur : est un conducteur central (âme) de fibre qui permet la propagation de l'onde optique.
- La gaine : Représente une couche entourant le cœur de la fibre avec un indice de réfraction légèrement inférieur à celui de cœur; ce qui permet par conséquent, la réflexion totale des modes à l'interface cœur gaine.

- Le revêtement : C'est une couche directe appliquée sur le verre de gaine, Il est important que cette couche soit détachable afin de permettre d'effectuer des injections ou des découpages de la lumière, son indice de réfraction est supérieur à celui de la gaine.

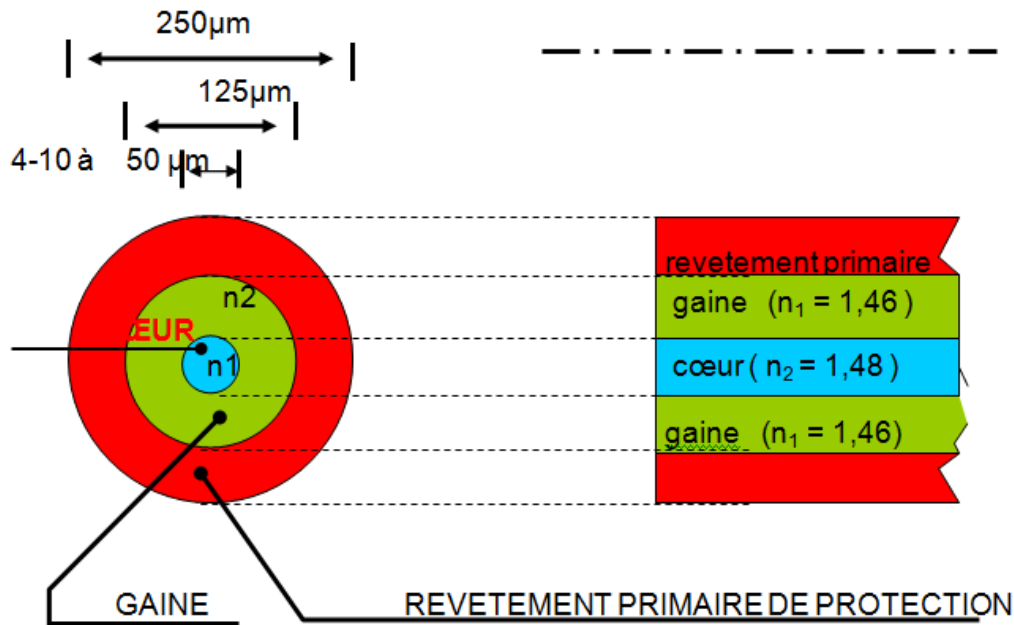


Figure I.5. La fibre optique [5]

- Les avantages et les inconvénients :
 - Il est complètement insensible aux perturbations de type électromagnétique et à la diaphonie.
 - Il réalise l'isolation électrique totale entre les deux extrémités.
 - Il crée peu d'affaiblissement.
 - Il est un support léger et peu encombrant.
 - Le coût de la fibre est moyen, mais le coût des interfaces optoélectroniques reste encore élevé.
 - La mise en œuvre est encore délicate pour les dérivations.

I.3.3. Faisceaux hertziens

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux (aujourd'hui principalement numériques) entre deux points fixes. Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1 GHz à 40 GHz (domaine des micro-ondes), très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

- Les avantages et les inconvénients
- Il propose des débits élevés : 140 Mbit/s.
- Il permet d'atteindre des lieux difficiles d'accès.
- Il réalise une émission d'une station à une autre très directive.
- Les stations doivent être en visibilité directe.
- La portée entre deux stations limitée à 50 km environ.

I.3.4. liaisons satellite

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

Un satellite de télécommunication comporte deux parties :

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

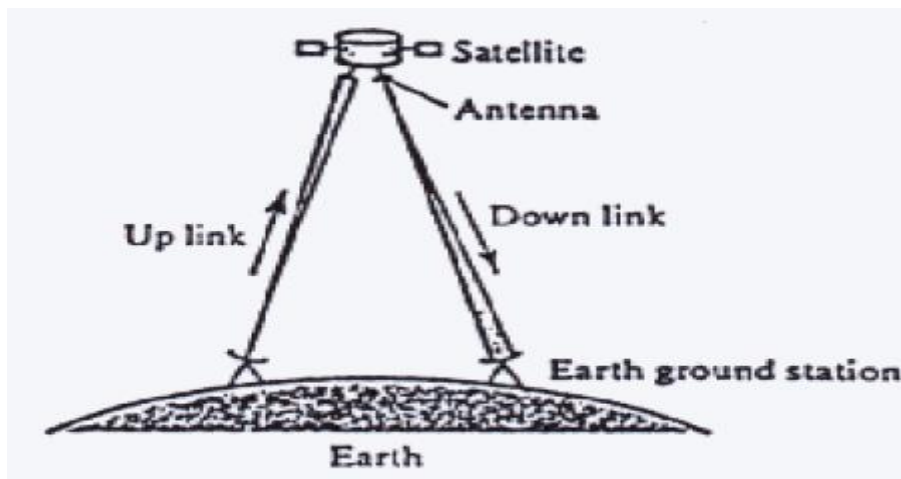


Figure I.6. Transmission par satellite [5]

- Les avantages et les inconvénients
- Débits jusqu'à 2 Mbit/s.
- Diffusion des résultats vers plusieurs points en même temps.
- Offre multiservices : voix, données, image, audio et visioconférence, TV.

-Coût de réalisation élevé.

-Temps de transmission plus long.

- Comparaison des différents supports de transmission :

Support	Paires torsadées	Câble coaxial	Ondes radio	Fibres optiques
<i>Propagation</i>	Guidée	Guide	Libre/dirigée	Guidée
Propriété du matériau	Cuivre	Cuivre		Silice, polymères
Bande passante	KHZ-MHZ	MHZ	GHZ	THZ
Atténuation	Forte	Forte (fonction de la fréquence)	variable	Très faible
Sensibilité aux perturbations électromagnétique	Forte	Faible	Forte	Nulle
Confidentialité	Limitée	Correcte	Nulle	Elevée
Coût du support	Très faible	Faible	Nul	Elevé
Applications	- téléphone - Réseaux bas et moyens débits -réseaux haut débit courtes distances	- Réseaux téléphoniques hauts débits, - Réseaux locaux haut débits - vidéo	- hertzien - satellite - mobile	- haut débit longues distances

Tableau I.1. comparaison des supports de transmission.[5]

I.4.Caractéristiques des supports de transmission

I.4.1. La bande passante

La bande passante B d'une voie est la plage de fréquences sur laquelle la voie est capable de transmettre des signaux sans que leur affaiblissement soit trop important. Elle s'exprime en Hertz.

-La courbe d'affaiblissement donne la valeur du rapport d'affaiblissement des signaux en fonction de la fréquence.

-Le rapport d'affaiblissement : est le rapport entre l'amplitude du signal reçu et la puissance du signal émis. C'est nul pour les fréquences hors de la bande passante, et constante pour les fréquences dans la bande passante.

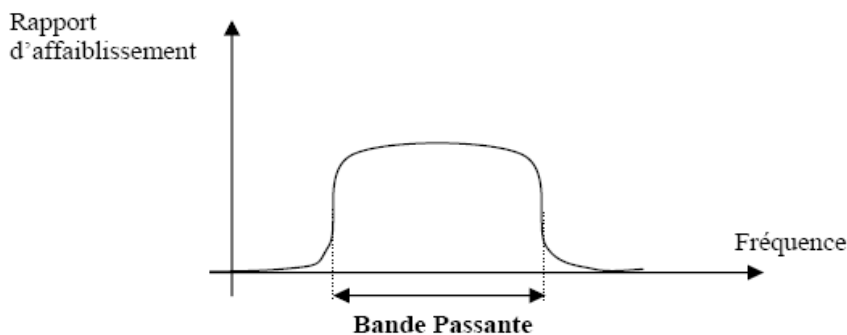


Figure. I.7. La bande passante

I.4.2. Capacité

La capacité d'une voie est la quantité maximale d'information qu'elle peut transporter par seconde.

- **L'unité d'information étant le bit,**
- **la capacité s'exprime en bit/s.**

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \quad (I.1)$$

C : C'est la capacité d'une ligne de transmission.

S/N : C'est le rapport signal/bruit en puissance du signal.

B : C'est la largeur de bande(Hz).

I.4.3. Temps de propagation et temps de transmission

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

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

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

I.4.4. Les bruits

La communication peut être perturbée par des signaux parasites suivants :

- Bruit blanc : il est dû à l'agitation thermique dans les composants du système.
- Bruit impulsif : il est dû principalement aux organes électromécaniques de commutation.
- Bruit diaphonique : engendré par d'autres voies, ou échos.

I.4.5. Modélisation d'une ligne de transmission [6]

Un tronçon de longueur « dx » peut être représenté par le circuit électrique suivant :

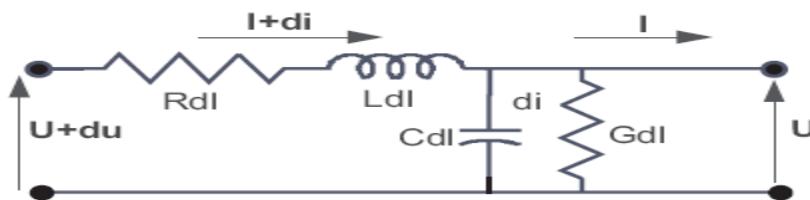


Figure. I.8. Modélisation d'une ligne de transmission

Les éléments R , C , L et G sont appelés paramètres de la ligne :

En série, une résistance R et une inductance, L pour représenter successivement les pertes d'énergie active et réactive dans les conducteurs de la ligne.

En parallèle, une conductance G et une capacité C pour représenter les pertes d'énergie active et réactive dans le diélectrique de la ligne.

- L'impédance caractéristique

$$Z_c = \sqrt{\frac{R+jL\omega}{R+jC\omega}} \quad (I.2)$$

Avec : $\omega = 2\pi f$

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

f : la fréquence du signal en Hz,

Lorsqu'on est dans la condition de non distorsion($L\omega R$), l'impédance caractéristique est réelle et constante :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

(I.3)

- L'atténuation

L'atténuation d'un signal est calculée en décibel par :

$$N_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{Power_{out}}{power_{in}} \right)$$

Chapitre II

Les faisceaux hertziens numériques

II.1. Généralités

Les systèmes radio sont des supports de transmission qui utilisent la propagation des ondes radio électriques pour véhiculer les informations d'un point à un autre, on les appelle généralement faisceaux hertziens. Donc un faisceau hertzien est un système de transmission numérique ou analogique, entre deux points fixes de l'espace par ondes électromagnétiques, avec des fréquences porteuses de 250 MHz à 40 GHz (domaine des micro-ondes), très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

Pour la communication terrestre on utilise une gamme de fréquence allant de 1,5 à 30 GHz, ou bien à des fréquences 400 MHz à 1000 GHz dont l'affaiblissement croît comme le carré de la distance (moins rapidement que sur un câble où l'affaiblissement est exponentielle). Leur propagation est limitée à l'horizon des distances (liaison point à point) entre station en visibilité.

Du fait de l'absence de tout support physique entre les stations, les faisceaux hertziens peuvent surmonter plus facilement des difficultés des parcours et franchir des obstacles naturels tels que : étendues d'eau, terrains montagneux, terrains fortement brisés etc. Par rapport aux systèmes par câbles coaxiaux qui transmettent directement la bande de fréquence résultant du multiplexage, les FH nécessitent une modulation supplémentaire pour faire porter cette bande de base par les ondes radioélectriques hyperfréquences.

Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est souvent découpé en plusieurs tronçons, appelés bonds, reliés par des stations relais qui reçoivent, amplifient et réémettent le signal modulé vers les stations suivantes.

Dans le cas d'un réseau composé de plusieurs bonds ou liaisons proches géographiquement, des problèmes d'interférences peuvent apparaître, affectant la qualité des transmissions. Les bandes de fréquences sont réglementées par des organismes officiels nationaux et internationaux et le signal à transmettre est transposé en fréquence par modulation.

L'opération de modulation transforme le signal à l'origine en bande de base, en signal modulé dit à « bande étroite » dont le spectre se situe à l'intérieur de la bande passante du canal. Les modulations analogique (AM et FM) sont désormais remplacées par des normes numériques utilisées comme suit à :

4 ou 16 états (QPSK, 4 QAM, 16 QAM...) pour les signaux PDH ;

64 ou 128 états (64 QAM, 128 QAM ...) pour les signaux SDH ;

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

II.2. Les équations de Maxwell dans le vide

Les équations de bases de l'électromagnétisme dans le vide sont les quatre équations de Maxwell auxquelles s'ajoute la force de Lorentz qui s'exerce sur une charge électrique.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

(II.1)

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

(II.2)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} =$$

ρ

(II.3)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

(II.4)

Ces équations doivent être complétées par les relations dites du milieu :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

(II.5)

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

(II.6)

\vec{E} : Champ électrique (V/m)

\vec{H} : Champ magnétique (A/m)

\vec{B} : Induction magnétique(Tesla)

\vec{D} : Induction électrique(C/m²)

\vec{j} : Densité de courant de conduction (A/m²)

ρ : Densité volumique de charge(C/m³)

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$: Densité du courant du déplacement (Henry/m)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$: Perméabilité magnétique du vide

$\epsilon_0 = 8,854187817 \dots \dots 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$: Perméabilité électrique du vide

En l'absence de charge électrique, de courant électrique et en régime harmonique, ces équations prennent la forme suivante ($\rho = 0$ et $J=0$).

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -j\omega\mu_0\vec{H} \quad (II.7)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = j\omega\epsilon_0\vec{E} \quad (II.8)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 0 \quad (II.9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (II.10)$$

II.2.1 Les équations de propagation de champ électrique et magnétique (équation d'Helmholtz)

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}) \\ &= -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \\ &= -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ &= -\mu_0 \epsilon_0 \omega^2 \vec{E} \end{aligned}$$

Comme de l'analyse vectorielle on a ;

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla})\vec{E} \quad \text{on a donc} \quad -\nabla^2 \vec{E} = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 \vec{E} \quad \text{car} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\Delta \vec{E} + \omega^2 \epsilon \mu \vec{E} = 0 \quad \text{on prend } k_0^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0$$

$$\Delta \vec{E} + k_0^2 \vec{E} = 0 \quad (\text{II.11})$$

$$\Delta \vec{H} + k_0^2 \vec{H} = 0 \quad (\text{II.12})$$

Le Laplacien s'écrit en coordonnées cartésiennes : $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

$$\nabla^2 E = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2} = \omega^2 \epsilon \mu E_i \quad \text{et} \quad i=x,y,z \quad (\text{II.13})$$

II.2.2. L'onde plane

Une onde est dite plane lorsque les champs dépendent que d'une seule variable d'espace (z) et de temps. Dans la direction transverse, ils ont la même valeur en tout point du Plan xoy, appelé plan d'onde.

II.2.3 La structure de l'onde plane

Les champs électriques et magnétiques sont perpendiculaires entre eux et à la direction de propagation. Ils sont en phase et constants dans tout plan perpendiculaire à la direction de propagation.

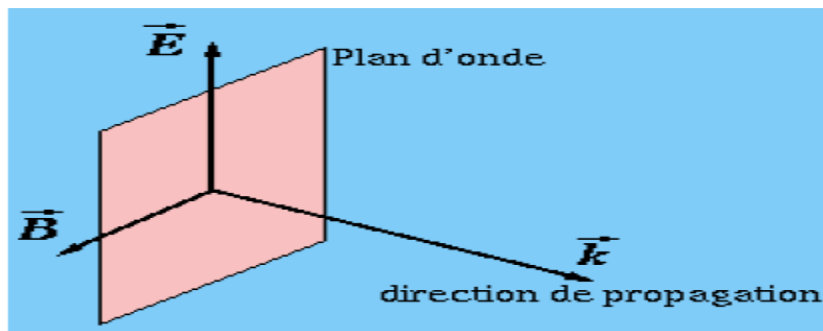


Figure II.1. La structure de l'onde plane

II.2.3.1 Expression des champs

Alors : $\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} = 0$

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_x \quad \leftrightarrow \quad \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_x = 0$$

(II.14)

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_y \quad \leftrightarrow \quad \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_y = 0$$

(II.15)

II.2.3.2 vitesse de propagation

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

C : est une vitesse de propagation de l'onde électromagnétique dans le vide (célérité de la lumière dans le vide), elle vaut environ $c = 3.10^8$ m/s.

- **La fréquence f :** $f = \frac{\omega}{2\pi}$
- **La longueur d'onde λ :** $\lambda = \frac{c}{f}$
- **Le Vecteur d'onde k :** $k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$
- **L'impédance caractéristique du vide :** $Z_0 = \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377 \Omega$
- **Indice de réfraction :** $n = \frac{c}{v} \leftrightarrow n^2 = \frac{\epsilon \mu}{\mu_0 \epsilon_0}$

Dans le vide $n=1$

Dans un diélectrique : $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ et $\mu = \mu_0 \mu_r$, on obtient $n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$ $n = \sqrt{\epsilon_r}$ pour les matériaux non magnétique $\mu_r = 1$

II.2.3.3 Le vecteur de Poynting

La puissance qui traverse l'unité de surface du plan d'onde est donnée par le flux de la valeur Moyenne du vecteur de Poynting :

$$\langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*]$$

(II.16)

\vec{H}^* : est un conjugué de \vec{H}

Le vecteur de Poynting le long \vec{z} :
$$\langle P_z \rangle = -\frac{1}{2} \text{Re} [E_y \times H_x^*] = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\mu_0}} E_0^2 = \frac{E_0^2}{2z}$$

(II.17)

II.2.4 Polarisation des ondes planes

II.2.4.1 Polarisation rectiligne

La polarisation fait référence à l'orientation du vecteur \vec{E} . Par convention, Lorsque le champ électrique reste le long d'une droite, l'onde est à polarisation rectiligne.

Dans les systèmes de transmission utilisant une antenne, on parle de « polarisation horizontale » ou de « polarisation verticale », selon que le champ électrique est parallèle ou perpendiculaire à la surface de la terre. Une polarisation rectiligne quelconque résulte de deux ondes qui se propagent en phase.

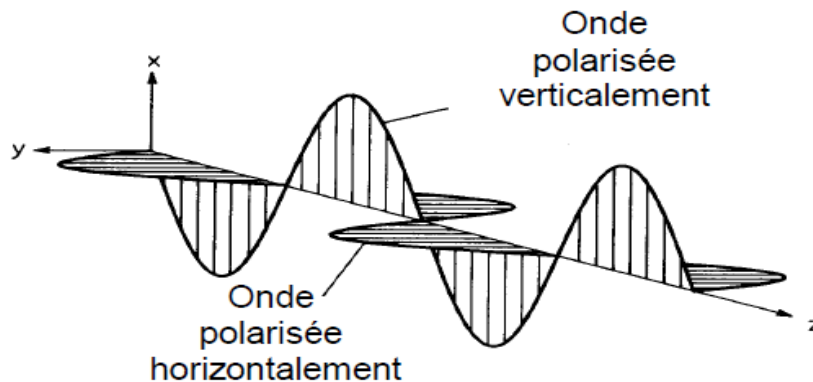


Figure II.2 : Polarisation rectiligne

II.2.4.2 Polarisation circulaire

La polarisation est circulaire lorsque l'extrémité du vecteur résultant \vec{E} décrit un cercle au cours du temps dans le plan transverse xOy. On obtient une polarisation circulaire lorsque les deux composantes d'égale amplitude, sont déphasées d'un quart de période. Le champ \vec{E} peut s'écrire en fonction des composantes E_x et E_y , déphasées d'un angle θ :

$$\vec{E} = E_1 \sin(\omega t - \beta z) \vec{x} + E_2 \sin(\omega t - \beta z + \theta) \vec{y}$$

Pour $\theta = \mp \frac{\pi}{2}$ et $E_1 = E_2$

$$E_x \vec{x} + E_y \vec{y} = E_1 [\sin(\omega t - \beta z) \vec{x} \mp \cos(\omega t - \beta z) \vec{y}]$$

Prenons la somme des carrés des composantes :

$$E_x^2 + E_y^2 = E_1^2 [\sin^2(\omega t - \beta z) + \cos^2(\omega t - \beta z)] = E_1^2 \quad (\text{II.18})$$

C'est l'équation d'un cercle de rayon E_1 dans le plan xOy .

Polarisation droite : pour $\theta = +\frac{\pi}{2}$, E_y est en avance sur E_x

Polarisation gauche : pour $\theta = -\frac{\pi}{2}$, l'observateur verra \vec{E} tourner dans le sens trigonométrique.

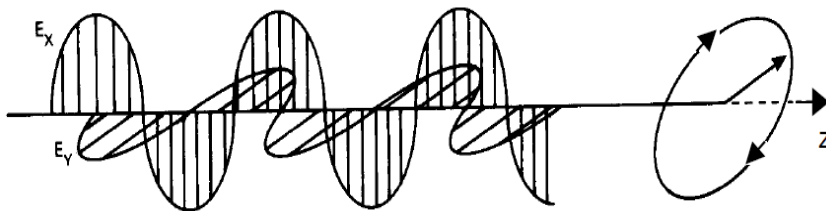


Figure II.3. Polarisation circulaire

II.2.4.3. Polarisation elliptique :

Lorsque $E_1 \neq E_2$ et la différence de phase θ est quelconque, on a la polarisation elliptique.

II.3 .La gestion du spectre électromagnétique

Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde. Le spectre électromagnétique s'étend des très basses fréquences jusqu'aux rayons γ .

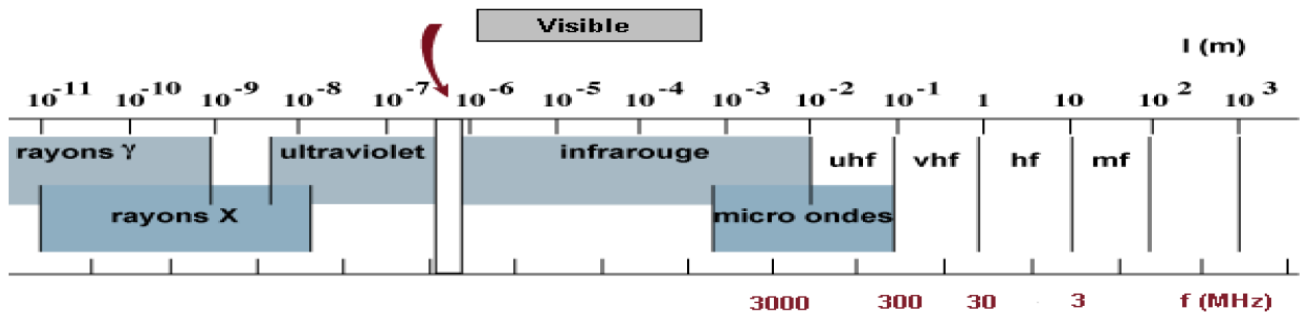


Figure II.4 : Spectre électromagnétique

Le tableau ci-dessous représente l'utilisation du spectre électromagnétique

Fréquence	Longueur d'onde	Applications
10 KHz	30 Km	Très basse fréquences (communications sous marins)
100 KHz	3 Km	Radio diffusion longue
1 Mhz	300 m	Radio AM
10 Mhz	30 m	Ondes radios courtes(ionosphère)
100 Mhz	3 m	Radio fm
150 Mhz	2 m	Radio mobile
300 Mhz	1m	UHF(radio diffusion tv, liaisons points a points)
3-60 Ghz	10 Cm- 0 ,5 mm	Ondes radios
230 Thz	1300 Nm	Fibres optiques

Tableau II.5.L'utilisation de spectre électromagnétique.

II.3.1 .Propagation des ondes électromagnétiques planes dans l'environnement terrestre

Lorsqu'on effectue sur la terre une transmission entre un émetteur et un récepteur, le récepteur reçoit une onde directe émise par l'émetteur mais aussi une onde réfléchi. La réflexion peut se faire sur la terre, sur la mer, mais parfois aussi sur les hautes couches de l'atmosphère.

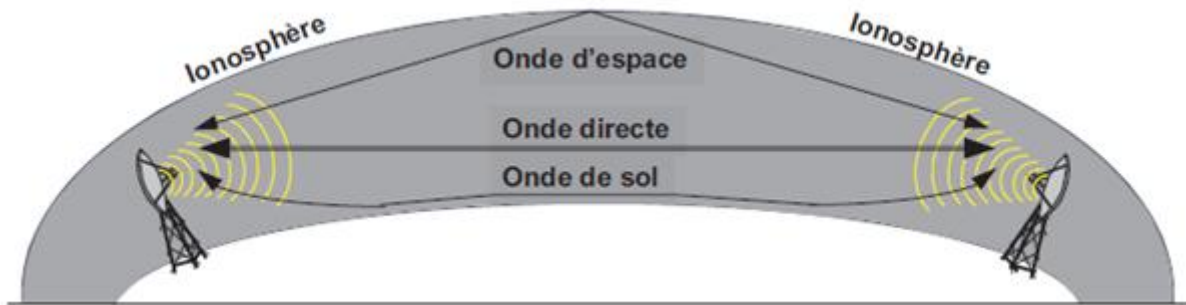


Figure II.5 : Propagation des ondes électromagnétiques

II.3.2. l'atmosphère terrestre

La Propagation longue distance des ondes radio dépend d'une couche invisible de particules chargées, qui enveloppe la Terre. Cette couche de particules chargées connu sous le nom de l'ionosphère.

L'atmosphère terrestre est essentiellement constituée d'un mélange gazeux, l'air. Ce mélange comprend surtout de l'azote et de l'oxygène. Pour le reste, soit 1 %, on y trouve de l'argon, du dioxyde de carbone et des traces infimes de néon, krypton, hélium, ozone, hydrogène, xénon ainsi que les différents rejets de la biosphère.

Cette composition est quasiment constante jusqu'à 85 km d'altitude, sauf pour l'ozone qui est surtout présent entre 30 et 40 km d'altitude et qui est responsable de la remontée en température dans la stratosphère où il absorbe le rayonnement solaire. Elle est divisée en quatre zones :

➤ La troposphère

Est la couche la plus proche de la surface de la Terre. Sa température diminue de 6,5 °C par km d'altitude. Son épaisseur moyenne est de 13 km. C'est dans la troposphère que les phénomènes météorologiques tels que les précipitations, les tornades et les éclairs se déroulent. C'est également là que s'accumulent les gaz polluants issus des activités humaines.

➤ **La stratosphère**

La stratosphère est une couche qui monte jusqu'à une altitude de 50 km, où la température est proche de celle de la surface terrestre. La température augmente progressivement dans la stratosphère car la couche d'ozone absorbe le rayonnement solaire. Le célèbre trou de la couche d'ozone se situe également dans cette couche.

➤ **L'exosphère**

Est la couche ultime de l'atmosphère. La première barrière s'étend de 500 à 3500 km alors que la deuxième barrière s'étend de 12000 à 50000km, elles sont constituées principalement d'électrons et de protons venant du soleil et piégés par le champ magnétique terrestre. On connaît mal les propriétés de cette couche. Elle joue peu de rôle dans la propagation des ondes.

➤ **L'ionosphère**

C'est la partie de l'atmosphère ionisée par les radiations solaires, s'étire de 50 à 1 000 km et chevauche à la fois la thermosphère et l'exosphère. Elle joue un rôle important dans l'électricité atmosphérique et forme le bord intérieur de la magnétosphère. Ces particules chargées négativement (électrons) et positivement (ions) ont tendance à se regrouper en couches ionisées qui vont jouer un rôle très important dans la propagation des ondes, principalement des ondes HF.

On distingue généralement trois couches aux propriétés propres vis-à-vis de la propagation des ondes.

- la couche D : c'est la plus proche de la surface de la terre ; elle est située dans une partie relativement dense de l'atmosphère entre 50 et 90 Km. Elle est moins ionisée que les autres couches pendant la journée et elle disparaît pendant la nuit. Les ondes de basse fréquence (30 à 300 kHz) sont donc réfléchies par la couche.
- La couche E : elle est de 25km d'épaisseur, située à environ 100km, Elle permet des propagations à grande distance avec plusieurs réflexions successives.

Elle existe le jour et disparaît en partie la nuit ce qui réduit la gamme de fréquence réfléchies mais les ondes longues et moyennes passent toujours tandis que les ondes courtes trop courtes (fréquences élevées) vont tout droit et se perdent.

- **la couche F:** Cette couche est située au dessus de la couche E ; Pendant le jour, il y a deux couches F1 et F2 :

- Sous-couche F1 hauteur 200 km

- Sous-couche F2 hauteur 300 km

- Ces couches étant directement exposées au rayonnement du soleil ; sont les plus ionisées et ce sont celles qui permettent la réflexion des fréquences les plus élevées.

- Elle est bien ionisée pendant le jour et moins la nuit.

Les couches F1 et F2 fusionnent en une couche F la nuit.

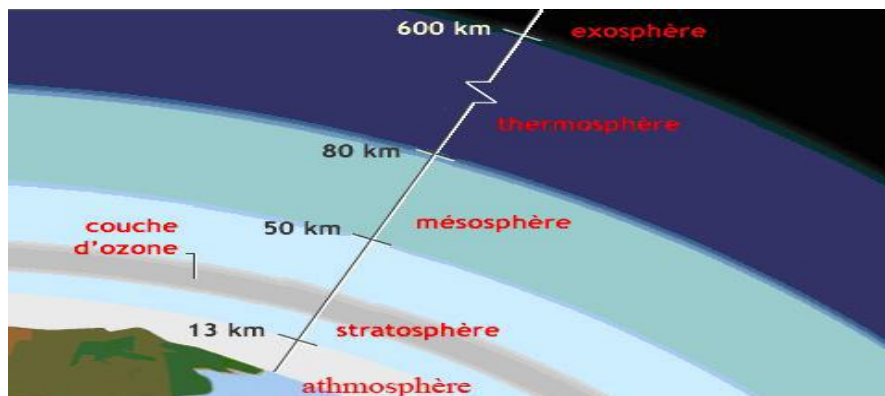


Figure II. 6 : Couches atmosphériques

II.3.3 Les types de propagation

Entre une antenne d'émission et une antenne de réception, situées au voisinage de la terre, une onde électromagnétique peut suivre quatre chemins différents.

II.3.3.1 Propagation Troposphérique

Les ondes radio se propagent en ligne droite dans le vide ; ceci est également vrai dans l'air si la densité de l'air est homogène. Cependant comme la densité de l'air diminue avec l'altitude, le trajet des ondes sera légèrement incurvé vers la terre.

- **Les contraintes de la propagation troposphérique**

En propagation troposphérique, les ondes accomplissent la totalité de leur trajet dans la couche la plus basse de l'atmosphère, très près du sol. L'onde sera donc influencée par les phénomènes atmosphériques (pluie, brouillard, etc..) par les obstacles naturels (montagnes, forêts,..) et artificiels (bâtiments élevés). L'oxygène et la vapeur d'eau absorbent peu d'énergie aux fréquences radio.

L'horizon radio, c'est à dire la distance maximale D à laquelle une antenne située au niveau du sol pourra recevoir le signal émis par une antenne située à une hauteur H_e , est donné par la formule approchée :

$$D = \sqrt{2R H_e} \quad (\text{II.19})$$

R est le rayon de la terre = 6366 Km

Si l'antenne de réception est à la hauteur H_r , la distance maximale pour une communication devient

$$D = \sqrt{2R H_e} + \sqrt{2R H_r} \quad (\text{II.20})$$

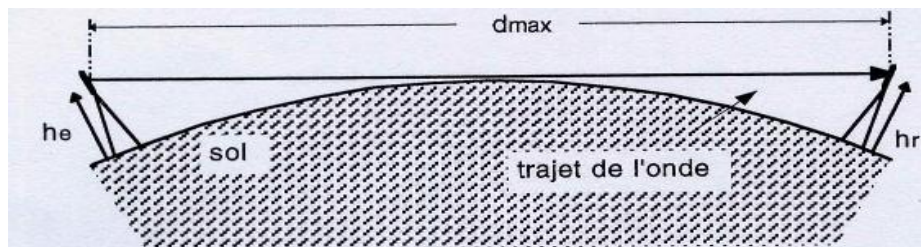


Figure II.7. Portée d'une transmission troposphérique

➤ L'effet fantôme : une première cause d'interférence

Les obstacles peuvent se comporter soit comme des écrans, créant une zone d'ombre, soit comme des réflecteurs s'ils comportent des éléments métalliques (béton armé, châssis métallique,..). On constate alors parfois des effets fantômes, créés par une interférence entre une onde captée directement et une onde captée après réflexion avec un obstacle. Le résultat sur l'écran de télévision est une image atténuée et légèrement décalée par rapport à l'image principale, d'où le qualificatif « fantôme ».

➤ L'effet du sol : une cause majeure d'interférences

Cet effet peut être très gênant, il est dû à la présence d'une onde réfléchi par la surface terrestre : en effet, les deux ondes auront parcourues un chemin presque égal, mais la composante horizontale du champ électrique aura été déphasée de 180 degrés lors de la réflexion sur le sol. La composante horizontale du champ électrique au niveau de l'antenne sera donc fortement réduite.

➤ **Les facteurs qui réduisent les interférences**

Ces facteurs diminuent en fait l'intensité de l'onde réfléchi et donc les interférences : Sol peu conducteur dans la zone où s'opère la réflexion; Présence d'obstacles sur le trajet du chemin réfléchi ; emploi d'antennes très directives qui envoient peu d'énergie en direction du sol, ceci n'est réalisable qu'aux très hautes fréquences ;

II.3.3.2. Propagation par onde de surface ou de sol

L'onde du sol est une onde de surface. Elle se propage en suivant la surface de la Terre comme une onde guidée. Lorsque l'antenne d'émission est verticale et proche du sol, l'onde électromagnétique quittant l'antenne est polarisée verticalement. Comme la direction de propagation de l'onde est toujours perpendiculaire au champ électrique E, l'onde quitte l'antenne parallèlement au sol. Cependant, l'angle entre E et la surface du sol peut se modifier en raison du relief ou de la composition de l'atmosphère.

A une certaine distance de l'antenne, le champ électrique E comportera donc, outre la composante perpendiculaire au sol, une composante horizontale qui provoque des pertes qui l'atténue fortement. Il reste donc seulement la composante verticale de E, la direction de propagation de l'onde se modifie par conséquent pour rester parallèle à la surface du sol. C'est essentiellement ainsi que sont diffusées les grandes ondes.

II.3.3.3 Propagation ionosphérique

Les couches ionisées vont se comporter comme un véritable miroir sur les ondes de radio pour produire un mécanisme de réflexion. L'indice de réfraction est d'autant plus petit que la couche est ionisée et que la fréquence est faible. Comme la vitesse de l'onde dans un milieu diélectrique vaut c/n , cela signifie que la vitesse de l'onde est plus grande dans la couche ionisée que dans la couche non ionisée. Donc, au moment où l'onde se rapproche de la couche ionisée, sa partie supérieure se déplace dans la zone où la vitesse est plus grande, le front d'onde va donc s'incliner progressivement et la

direction de propagation de l'onde, qui est toujours perpendiculaire au front d'onde, va aussi se modifier. Plutôt que de réflexion, on devrait parler de réfraction atmosphérique.

➤ **Caractéristiques des couches ionisées**

Les couches ionisées sont caractérisées par un certain nombre de paramètres:

- **hauteur virtuelle : qui est la hauteur à laquelle on devrait placer un réflecteur parfait pour que le trajet des ondes en dehors de l'atmosphère corresponde au trajet réellement observé;**
- **Fréquence critique : qui est la fréquence maximale réfléchiée par la couche en incidence verticale, elle dépend de la concentration en électrons libres N ($\text{é}/\text{m}^3$) et est donc maximale pour la couche F2, les ondes qui ne sont pas réfractées par F2 s'échappant de l'atmosphère.**

➤ **Les avantages de la propagation ionosphérique**

Il est possible de communiquer avec n'importe quel autre point de la surface terrestre en choisissant convenablement la puissance, la fréquence et le type d'antenne. En effet l'onde peut être réfléchiée plusieurs fois et même faire le tour de la terre.

➤ **Les inconvénients de la propagation ionosphérique**

Ce mode de propagation est moins fiable que les autres. De nombreux phénomènes peuvent faire varier l'intensité du signal reçu. C'est ce qu'on appelle l'évanouissement des ondes. Cet évanouissement est dû à des interférences entre ondes arrivant par différents chemins après réflexions sur les couches dont la hauteur et la composition varient au cours du temps (variations lentes irrégulières). Pour combattre l'évanouissement, on a parfois recours aux techniques de diversité :

- **Diversité spatiale : on place deux antennes sur chaque site; on émet simultanément avec les deux antennes d'émission et on choisit à chaque instant l'antenne de réception qui reçoit le plus grand signal. L'évanouissement n'affectera pas alors simultanément les quatre canaux possibles de transmission.**

- **Diversité fréquentielle : on n'utilise qu'une antenne par site, mais on travaille à deux fréquences**

II.3.3.4 Diffraction troposphérique

La diffraction troposphérique est, comme la propagation ionosphérique, un moyen de communiquer avec un correspondant au-delà de l'axe optique : si l'on pointe deux antennes très directives de façon à ce que leurs faisceaux se coupent à mi-chemin entre elles, et que l'une émet un signal puissant, l'autre antenne recevra une très petite partie de l'énergie émise, qui aura été diffractée par des particules dans la troposphère.

Les fréquences les plus appropriées pour ce mode de transmission se situent vers 900, 2000 et 5000 Mhz, mais même dans ces gammes de fréquences, l'énergie captée est extrêmement faible, ce qui suppose donc des émetteurs très puissants, des antennes d'émission et de réception très directives et des récepteurs très sensibles.

Les applications se concentrent surtout dans le domaine des communications à portée moyenne (300 à 500 km) à la place de faisceaux hertziens ou de câbles coaxiaux. Pour combattre l'évanouissement, on utilise souvent la diversité spatiale.

II.3.4. Les types de propagation pour les diverses gammes d'ondes

II.3.4.1. Les ondes moyennes

Les antennes sont verticales et près du sol, donc la propagation se fera essentiellement par onde de sol. La propagation est stable et peu sujette à l'évanouissement. La portée dépend de la puissance de l'émetteur et peut dépasser 1000 km.

II.3.4.2. Les ondes courtes

L'onde de sol s'atténue vite vue la fréquence élevée. La propagation se fera donc essentiellement par réflexion ionosphérique. La portée est très grande et peu sujette à l'évanouissement, elle est meilleure la nuit. A faible distance de l'émetteur, on peut capter l'onde au sol, à distance moyenne inférieure au saut, on ne peut plus capter l'émetteur

II.3.4.3. Les ondes ultracourtes et micro-ondes

C'est la propagation troposphérique qui est utilisée, la portée est limitée à l'horizon radio, la propagation est fiable. Pour des portées plus grandes, on peut utiliser la diffraction troposphérique.

II .4 .Transmission par faisceaux hertziens numériques

II .4.1 . Définition

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux, numériques ou analogiques, entre deux points fixes. La directivité du faisceau est d'autant plus grande que la longueur d'onde utilisée est petite et que la surface de l'antenne émettrice est grande. Le faisceau est un support de type pseudo-4 fils. Les deux sens de transmission sont portés par des fréquences différentes.

II .4.2 Principe de faisceaux hertziens

Les télécommunications hertziennes permettent des liaisons point fixe à point fixe (relais téléphoniques, relais de télévision, etc.) ou entre mobiles. La souplesse de l'infrastructure nécessaire permet de desservir des zones géographiques impropres aux communications filaires. Les fréquences des systèmes de télécommunication sont donc attribuées par des organismes de normalisation tels que l'UIT-R et l'IFRB (International Frequency Registration Board). Selon la forme (numérique ou analogique) sous laquelle se présente ces informations, différents types de modulation sont utilisés, d'une part, pour former le multiplex et, d'autre part, pour transposer le spectre des signaux dans la gamme de fréquences appropriées pour l'émission.

II .4.2.1 Faisceaux hertziens numériques

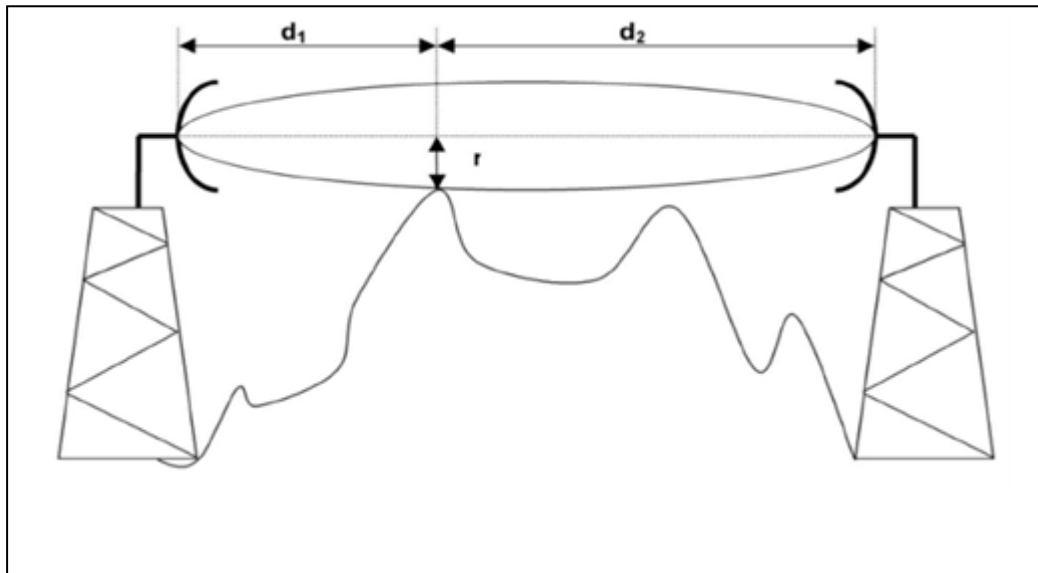
C'est le multiplexage temporel de voies téléphoniques numérisées par une modulation MIC ou de données numériques, puis transposition en hyperfréquences par modulation (analogique discrète) d'une porteuse sinusoïdale en PSK, MSK, QAM,...

II .4.3. Propagation en espace libre (L'ellipsoïde de Fresnel)

On dit qu'une liaison en visibilité directe est dégagée s'il n'existe aucun obstacle à l'intérieur d'un certain volume appelé premier ellipsoïde de Fresnel. Les antennes d'émission E et de réception R constituent les foyers de cet ellipsoïde. Ce dégagement signifie que les

phénomènes de diffractions par les obstacles situés au voisinage du trajet directe ont un effet négligeable sur le niveau reçu.

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



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

(II.21)

r : rayon de l'ellipse

d_1 : distance entre l'émetteur et le point M.

d_2 : la distance entre le récepteur et le point M.

λ : longueur d'onde de fonctionnement .

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

$$r_{eq} = \sqrt{\frac{\lambda \frac{d}{2} \times \frac{d}{2}}{\frac{d}{2} + \frac{d}{2}}} = \sqrt{\frac{\lambda d}{4}} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

(II.22)

Normalisation :

$$\begin{aligned} \frac{r}{r_{eq}} &= \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \times \frac{2}{\sqrt{\lambda d}} = 2 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d(d_1 + d_2)}} = \\ &= 2 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)^2}} = 2 \frac{\sqrt{d_1 d_2}}{(d_1 + d_2)} \quad \text{car } d = (d_1 + d_2) \end{aligned}$$

$$\frac{r}{r_{eq}} = 2 \frac{\sqrt{d_1 d_2}}{d}$$

(II. 23)

II.4.4. Les facteurs pouvant affecter la propagation

II.4.4.1 Réfraction atmosphérique

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

II.4.4.2 .Dégagement / diffraction

L'ellipsoïde de Fresnel est parfois partiellement obstrué par un obstacle. On distingue habituellement trois types d'obstacle : lame, pour des obstacles « minces », rugueux, pour une paire d'obstacles de type « lame » sphérique, pour des obstacles obstruant le faisceau sur une distance importante. Pour chacun, des méthodes de calcul permettent de prévoir l'atténuation supplémentaire à prendre en compte dans les bilans.

II .4.4.3. Réflexion et trajet multiple

Le signal reçu est la somme du signal principal, et de tous les signaux réfléchis (sur le sol, la végétation, et surtout les étendues d'eau). Les interférences générées entre tous ces signaux entraînent des sur-champs et des sous-champs parfois extrêmement importants mais également des distorsions (évanouissements sélectifs). La réflexion principale est le phénomène de multi-trajet dominant.

II.4.4.4. Phénomènes de guidage

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

d'antenne. La probabilité d'occurrence, sur le mois quelconque, de ces «évanouissements non sélectifs» est donnée dans l'UIT-R P.530-8 par un paramètre statistique appelé facteur PL .Ce phénomène de guidage est dimensionnant dans l'ingénierie des liaisons dont la bande fréquence est inférieure à 15GHz. Il réduira la longueur possible du bond pour des exigences de disponibilité données.

II .4.4.5 Atténuations dues aux hydrométéores

Pour les FH de fréquence supérieure à 8 GHz, les précipitations entraînent des pertes également considérables, d'autant plus que le taux de précipitation (en mm/h) et la fréquence sont élevés. De plus, la phase de ces précipitations influence également l'atténuation du signal. Ainsi la neige, qui a une très petite constante diélectrique, a beaucoup moins d'influence que des gouttes de pluie de même masse. La neige fondante, d'autre part, allie le large diamètre des flocons et le coefficient de la pluie pour créer un obstacle plus important que les deux séparément que l'on nomme la bande brillante. Ainsi le passage d'une onde de 10 cm dans cette bande rencontre de trois à 30 fois plus d'atténuation que dans la pluie sous la bande¹.

II .4.5. Schéma principale d'une liaison hertziennes

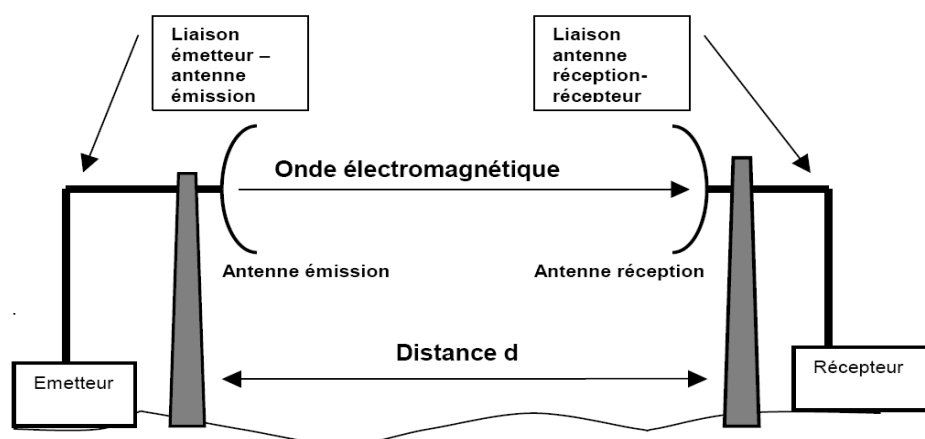


Figure. II.9. Schéma principale d'une liaison hertziennes

- **Emetteur : Il est caractérisé par sa puissance émise PE.**

- **Liaison émetteur- antenne émission** : elle est généralement réalisée en câble coaxial.
- **A plus haute fréquence (quelques GHz), elle peut être réalisée en guide d'onde.** Elle est caractérisée par son atténuation L_E .
- **Antenne émission** : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne G_E , exprimé en dBi.
- **Distance d** : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. La distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation A_{EL} (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$A_{EL} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (\text{II.24})$$

Cette grandeur est exprimée en dB.

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

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

On obtient ainsi :

$$P_R = P_E - L_E + G_E - A_{EL} + G_R - L_R \quad (\text{II.25})$$

P_R : La puissance reçue en dB.

P_E : La puissance émise en dB.

L_E : Atténuation au niveau d'émission.

G_E : Gain d'antenne coté d'émission.

A_{EL} : Affaiblissement d'espace libre.

G_R : Gain d'antenne coté de réception.

L_R : Atténuation au niveau de réception.

II.4.6. Condition de bon fonctionnement d'une liaison hertzienne

Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit supérieure à la sensibilité du récepteur.

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

II .5 .Les antennes paraboliques

Une antenne parabolique, communément appelée parabole par le grand public, est une antenne disposant d'une surface réfléchissante en forme de paraboloïde de révolution autour d'un axe de symétrie Oz , basé sur les propriétés géométriques de la courbe nommée parabole et d'une source primaire située au foyer du paraboloïde de révolution .

➤ Le réflecteur

Le réflecteur parabolique, en réception, est indiqué pour faire converger toute la puissance d'une onde plane incidente vers un point Focal d_f .Il faut que cette onde arrive d'une direction particulière sinon la convergence vers un seul point ne sera pas possible. Par réciprocité, une source électromagnétique située au point Focal verra la partie de sa puissance capturée par le réflecteur, redirigée vers la direction privilégiée .La figure (II.10) illustre les divers paramètres géographiques de ce type de réflecteur dans sa version axisymétrique (symétrie par rapport à l'axe z contenant le foyer).

Le réflecteur parabolique étant une antenne à ouverture, son étude passe par l'expression des champs électromagnétiques dans le plan de l'ouverture. Il faut alors considérer les trois points suivants :

- L'amplitude des champs dans l'ouverture dépend de la fonction caractéristique de la source primaire située au foyer .Mais cette distribution n'est pas identique car elle implique une conversion des angles d'émission de la source primaire vers les coordonnées du plan d'ouverture.
- La phase des champs dans l'ouverture est constante car la distance pour se rendre du foyer au réflecteur parabolique et de là, horizontalement à un point du plan de l'ouverture ne change pas ; c'est d'ailleurs la caractéristique principale d'une parabole. Le terme de phase peut donc être supprimé.
- L'orientation des champs dans l'ouverture dépend de la polarisation de la source primaire mais la parabole cause une dépolarisation qu'il faudra considérer.

Si on visualise par la théorie de l'optique sur la figure (II.10).Les rayons émis puis réfléchis par la parabole émergeront parallèlement .La géométrie est telle que dans le plan de l'ouverture sur la figure (II.10) ; Les signaux émis du point focal vers le réflecteur ,revient tous en phase .

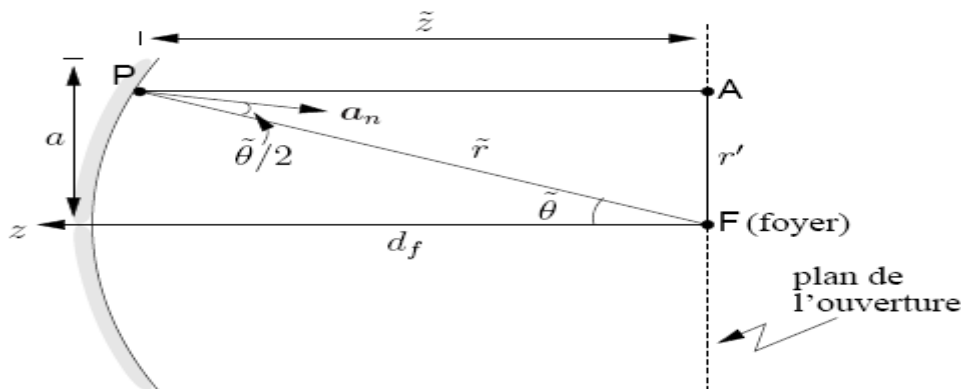


Figure II.10 : Géométrie d'une antenne parabolique

$$\overline{FP} = \tilde{r} \quad \text{et} \quad \overline{PA} = \tilde{r} \cos \theta$$

$$\overline{FP} + \overline{PA} = \tilde{r} + \tilde{r} \cos \theta = \tilde{r} (1 + \cos \theta)$$

(II.26)

Dans le cas particulière ou $\theta = 0$ on aura : $\overline{PA} = \tilde{r} = d_f$

Alors :

$$\overline{FP} + \overline{PA} = 2 \tilde{r} = 2 d_f$$

(II.27)

Plus le réflecteur sera grand (pour une même géométrie), plus la puissance capturée sera grande donc la surface effective et la directivité plus grande.

➤ La source

Le câble d'alimentation de l'antenne est relié à une antenne-source, communément appelée simplement « source » qui est placée au foyer du réflecteur parabolique. Le but de la source est d'« éclairer » entièrement la surface du réflecteur.

II .5.1 Gain d'une antenne parabolique

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.

Le gain d'une antenne parabolique est donné par la relation suivante :

$$G_{dBt} = 10 \cdot \log K \cdot \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \quad (II.28)$$

k : rendement du système d'illumination (source), généralement compris entre 0,5 et 0,8.

D : diamètre du réflecteur parabolique.

λ : Longueur d'onde d'utilisation.

D et λ doivent être exprimés dans la même unité. Plus l'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important.

II .5.2 Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture d'une antenne parabolique est lié à la dimension de l'antenne. Plus

L'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important et plus l'antenne est directive. Elle est donnée par la relation suivante :

θ

=

 $\frac{70\lambda}{D}$

(II.29)

II .5.3. Polarisation

La polarisation de la source détermine la polarisation de l'antenne parabolique.

II .5.4. Principe de Fonctionnement

La source primaire de l'antenne éclaire le réflecteur métallique. Si on décompose le champ (dit primaire) de cette source en rayons et qu'on applique les lois de l'optique, on constate qu'après réflexion sur le paraboloïde :

- **Tous les rayons sont parallèles à l'axe Oz du système. (Propriété de la parabole)**
- **Tous les rayons se retrouvent en phase dans un plan perpendiculaire à Oz .**

II.6 .Types de modulation numériques

II. 6.1 .Modulation de fréquence ou FSK (Frequency Shift Keying)

Dans la modulation de fréquence chaque élément binaire à transmettre sera associée à une certaine fréquence de l'onde porteuse, Cette modulation est utilisée pour des transmissions à faible débit sur le réseau téléphonique commuté.

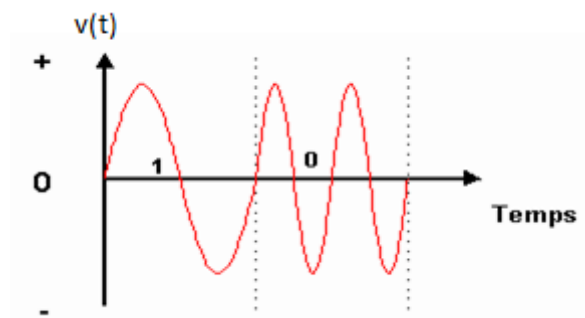


Figure II.12. Modulation de fréquence ou FS

II.6.2 .Modulation de phase ou PSK (Phase Shift Keying)

La modulation de phase associe à un code binaire une valeur de la phase de la porteuse. La vitesse peut être facilement augmentée en utilisant un code binaire sur 2, 3 bits ou plus sans augmentation de la fréquence de la porteuse

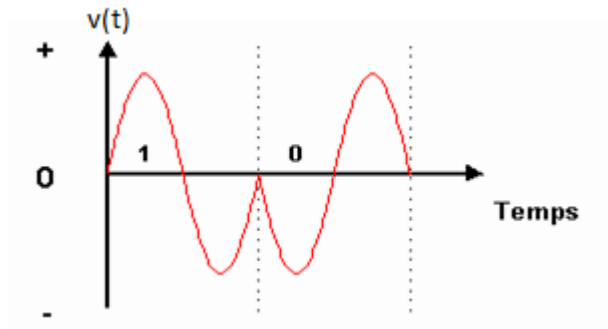


Figure II.13. Modulation de phase ou PSK

II.6.3 Modulation d'amplitude ou ASK (Amplitude Shift Keying)

La modulation d'amplitude s'applique en faisant varier l'amplitude du signal en fonction des bits à coder. Par exemple :

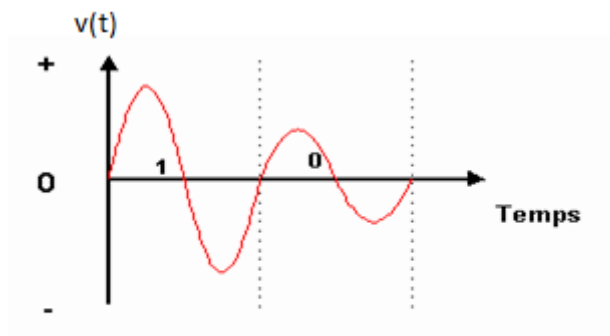


Figure II.14. Modulation d'amplitude ou ASK

II.6.4. Modulation QAM

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

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

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

Tableau II.6. Les combinaisons d'amplitudes et de phases

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

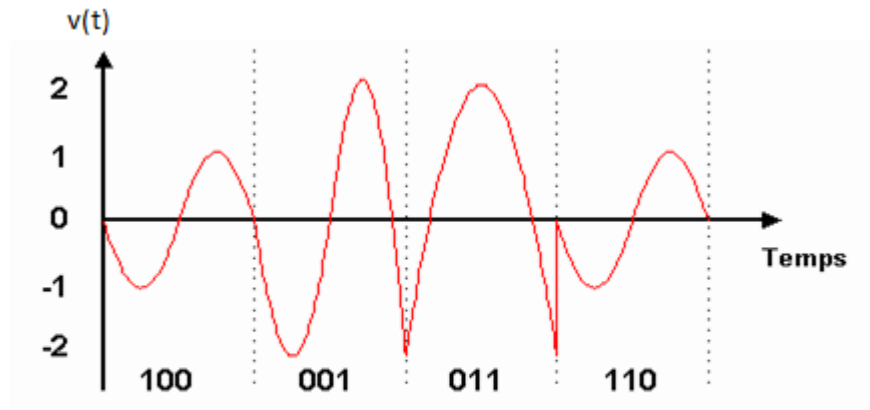


Figure II.15. Modulation QAM

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

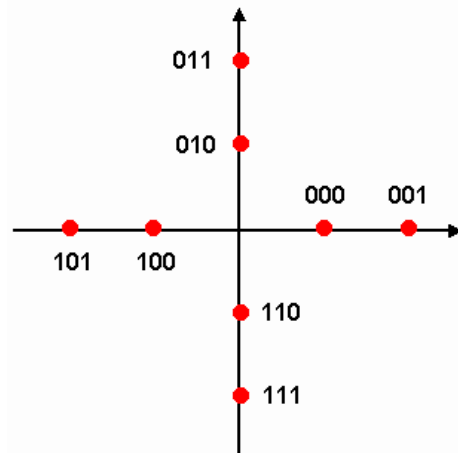


Figure II.16. Exemple de constellation QAM8 (3 bits par baud)

II.6.5. La modulation d'impulsions codées (MIC)

La modulation par impulsion d'amplitude (Pulse amplitude modulation PAM) consiste à échantillonner l'information analogique (voies, données, vidéo, etc.....) provenant de la source, puis convertir l'amplitude de chaque échantillon en code binaire et l'appliquer directement sur un support de transmission, comme indique la figure suivante :

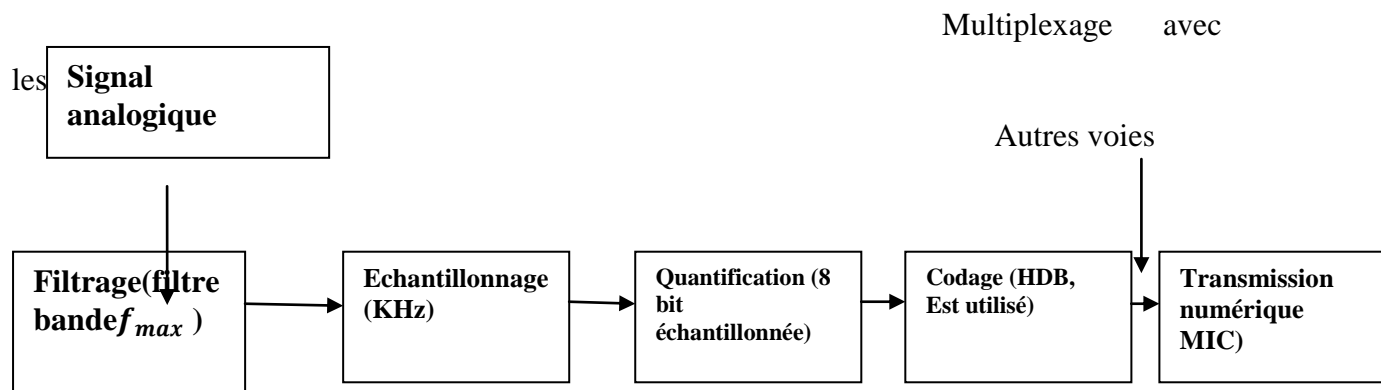


Figure II.17. Les étapes de la numérisation MIC.

II.6.5.1 .Echantillonnage

L'échantillonnage est une opération qui a pour but de remplacer un signal continu réel (une infinité de valeurs) par un signal constitué de quelques valeurs prélevées du signal origine, séparés entre eux par une durée constante.

Théorème d'échantillonnage

Un signal possède une fréquence maximale F_{max} dans son spectre. Pour l'échantillonner à la fréquence, F_e n'implique aucune perte d'information, il faut et il suffit que :

$$F_e \geq 2F_{max}$$

Pour une communication téléphonique : $f_{max} = 4 \text{ KHz} \rightarrow F_e = 8 \text{ KHz}$

II.6.5.2 Quantification

La transmission des impulsions modulées sont très sensible aux bruits ce qui rend la reconstitution du signal à la réception incomplète. Pour cette raison nous quantifions le signal en faisant correspondre à chaque échantillon l'amplitude la plus voisine d'une suite discrète et finie d'amplitudes « étalons » appelées niveaux. C'est la valeur de ces niveaux qui à l'émission après le codage seront transmises en ligne.

En système téléphonie (MIC) :

Les échantillons sont codés par des mots de n bites : $n=8$

Les valeurs discrètes: $N = (2)^n = (2)^8 = 256$

II.6.5.3 Compression

D'après la répartition statique de la parole, le rapport signal sur bruit est faible pour les petits signaux que les forts signaux. Pour garder une bonne qualité de transmission ; le rapport

S/B doit être constant sur toutes les plages de fréquences. Pour corriger ce problème on utilise deux lois de compression :

➤ **La loi européenne A**

C'est une loi de compression adoptée en Europe ; définit une quantification logarithmique approchée selon le compromis suivant :

- segment logarithmique pour les amplitudes relatives se trouvant entre $1/A$ et A
- segment linéaire à l'origine pour $x \leq \frac{1}{A}$ tangent au segment logarithmique

Son expression, exprimée relativement à l'amplitude maximale tolérable du signal

$$Y = \frac{A}{1 + \ln(A)} x \quad \text{pour } x \leq \frac{1}{A} \quad (\text{II.30})$$

$$Y = \frac{1 + \ln(Ax)}{1 + \ln(A)} \quad \text{pour } x \geq \frac{1}{A}$$

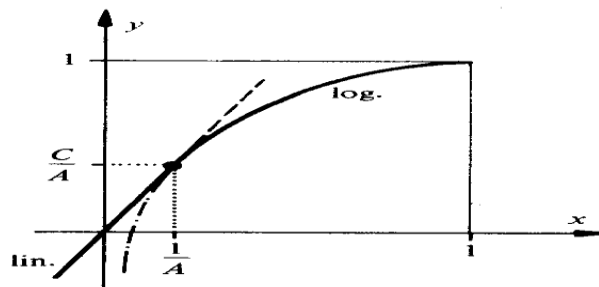


Figure II.18. La loi européenne A

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

$$C = \frac{1}{1 + \ln A} = 16 \quad (\text{II.31})$$

Ce qui définit $A = 87,6$.

➤ **La loi américaine μ**

La loi μ est une loi de compression adoptée en Amérique qui a l'expression mathématique suivante :

$$Y = \frac{\text{Ln}(1 + \mu x)}{\text{Ln}(1 + \mu)} \quad \text{avec } \mu = 255 \quad (\text{II.32})$$

$$C = \frac{c}{\ln(1 + \mu)} = 46 \quad (\text{II.33})$$

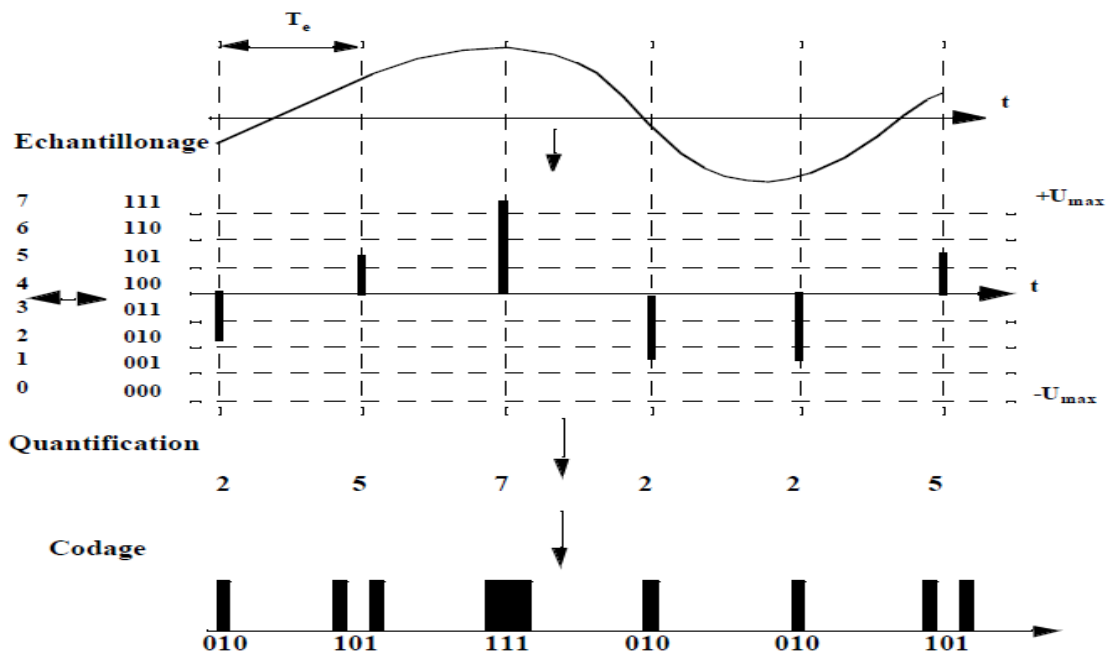


Figure II.19. Les étapes de la modulation MIC

II.6.5.4 Le codage

Chaque niveau de quantification est représenté par un nombre binaire de « n » bits, qui est le même pour tous les niveaux, ce qui permet une transmission synchrone de mot identique.

➤ Le code AMI (Alternate Mark Interchange)

C'est la conversion de signal binaire en signal bipolaire alternant telle que les valeurs "1" du code binaire sont représentées alternativement par des impulsions de tension positive et négative et les valeurs binaires "0" par la tension nul.

1 bit → AMI/NRZ et $\frac{1}{2}$ bit → AMI/RZ

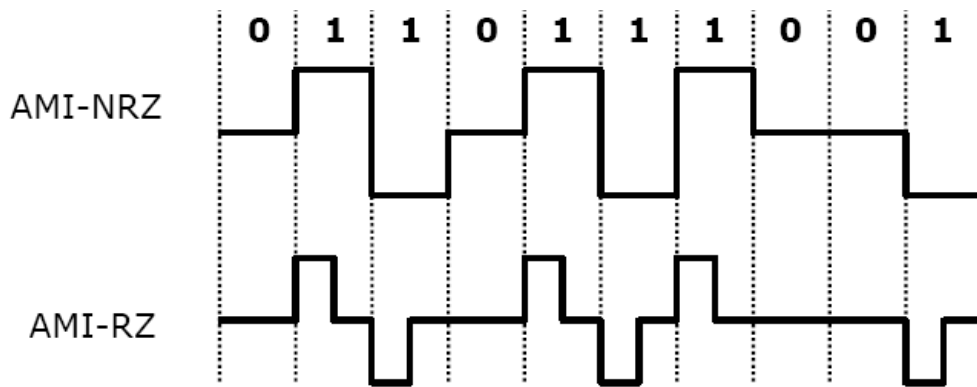


Figure II.20. Le Codage AMI

➤ **Le code HDB3 (third order high density bipolar code)**

Le code HDB3 est l'amélioration de code AMI, il est très utilisé dans les réseaux téléphoniques numériques. Il suit deux règles :

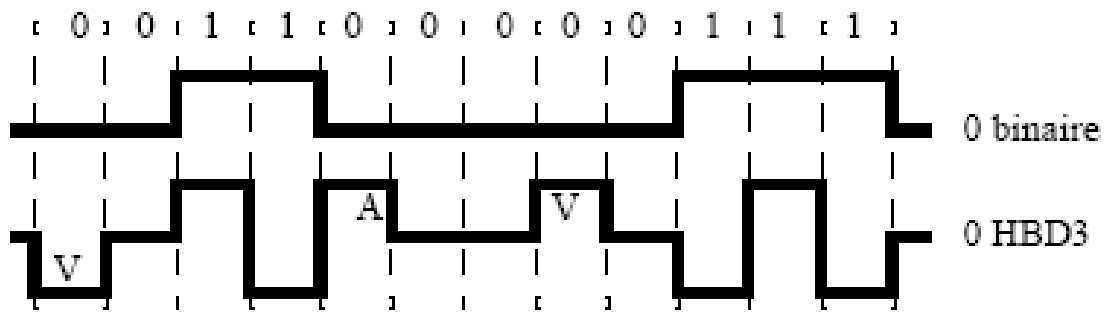
-Règle 1 :

Lorsque 4 éléments de signaux "0" sont adjacents, le quatrième "0" de la séquence est remplacé par un élément de signal V pour obtenir la forme 000V. L'élément de signal V prend la même polarité que l'élément de signal "1" qui le précédait. Un élément de signal V provoque une violation de la règle AMI.

-Règle 2 :

Lorsqu'un nombre pair d'éléments de signaux "1" est présent entre l'élément de signal V précédent et le nouvel élément de signal V généré selon les dispositions de la règle 1, le premier des quatre éléments de signaux "0" doit être remplacé par un élément de signal A (= élément de signal "1").

La polarité de l'élément de signal A correspond à la règle AMI. Le dernier des quatre éléments sera à nouveau remplacé par un élément de signal V (A00V). Dans ce cas, les éléments de signal A et V sont de même polarité. Cette deuxième règle est nécessaire pour éviter une composante continue.



II.21. le codage HDB3

II.6.5.5 Constitution de la Trame MIC

II.6.5.5.1 trame primaire et l'intervalle temporel (IT)

MIC est le premier niveau de la hiérarchie de multiplexage. Il contient 30 voies qui sont multiplexées temporellement dans une trame de 125 μ s. Cette dernière est découpée en 32 morceaux appelés "Intervalle de temps" ou "IT"(IT0 à IT31).

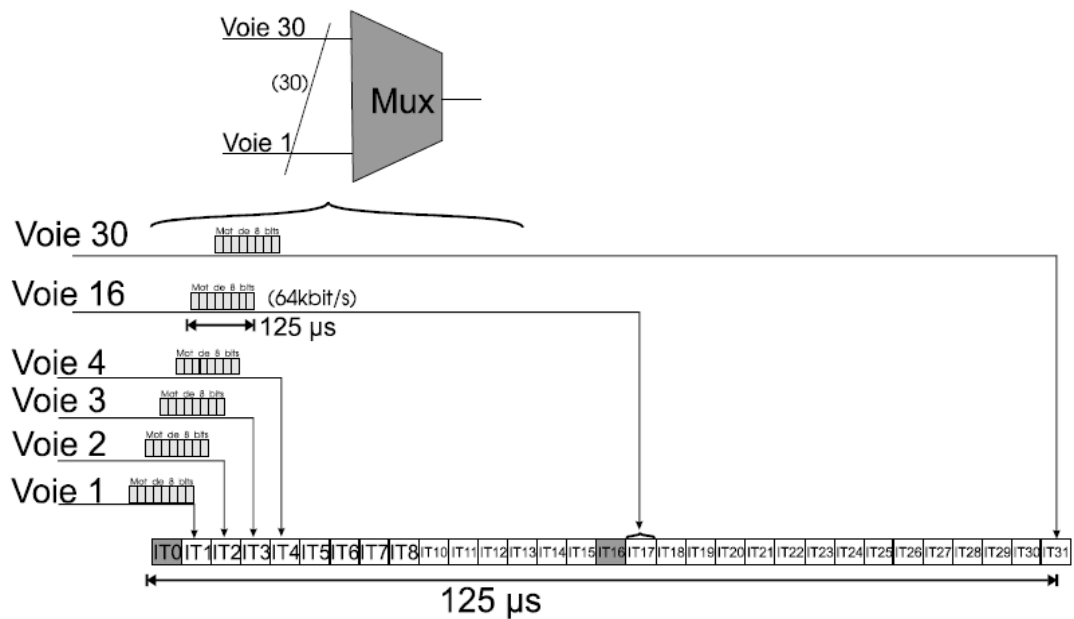


Figure II.22. Structure d'une trame MIC

Les 32 intervalles de temps sont occupés de la manière suivante :

30 IT sont utilisés pour transmettre les voies de communications telle que :

-Les voies 1 à 15 : sont placées respectivement dans les IT1 à IT15.

-Les voies 16 à 30 : sont placées respectivement dans les IT17 à IT31.

Deux IT sont utilisés pour la signalisation telle que :

-IT0 : est réservé à la synchronisation (verrouillage de trame).

-IT16 : est réservé pour la signalisation des voies.

Lorsqu'une trame est émise par un émetteur vers un récepteur deux principes importants doivent être respectés:

➤ **Synchronisation**

L'émetteur(E) et récepteur (R) doivent être Synchronisées, c'est à dire que leurs horloges HE et HR doivent être identiques afin que les bits soient lus à des instants "corrects"

Pour s'affranchir des erreurs de bits répétées ou ratées.

Une méthode consiste à envoyer au récepteur l'horloge de l'émetteur par un fil indépendant de la ligne de transmission, ou bien à fournir à tous les éléments de la ligne de transmission les mêmes impulsions d'horloges provenant d'une tierce machine. On peut aussi multiplexer temporellement le signal d'horloge et le signal contenant les informations (codage HDB3).

➤ **Verrouillage**

Le récepteur R doit savoir où commence la trame au bit près. Sans cela il n'y a aucun moyen de distinguer où commence un IT et où s'arrête un autre. A cela deux conséquences :

1- Il faut indiquer le début de la trame.

2- Si R n'est pas synchronisé sur E, il est important que E et R puissent se transmettre un signal de perte de verrouillage les avertissant de l'état de leur synchronisation. Les IT0 et IT16 jouent cet office, et permettent à l'émetteur E et au récepteur R de "s'entendre".

II.6.5.5.2 Mot de verrouillage de Trame (MVT)

Pour pouvoir être reconnue, et pour que son origine soit repérée, la trame a donc la particularité suivante :

-Dans les trames paires, l'IT0 est remplie avec VER un mot de verrouillage de trame (MVT) (VER1=X0011011, 1B ou 9B en hexadécimal). Dès que le récepteur R détecte ce mot il peut se verrouiller.

-Pour les trames impaires, le mot de verrouillage de trame de l'IT0 est remplie par VER2=xB2Axxxxx. Dès que le verrouillage est constaté R renvoie à E dans une trame impaire le mot VER2 avec B2=1 et A=0.

En revanche si A=1, c'est une alarme de perte de verrouillage de trame. Par sécurité le verrouillage n'est considéré comme perdu qu'après 3 alarmes successives.

Chapitre III

La hiérarchie numérique synchrone SDH

*Si les faits sont correctement observés,
il doit y avoir des moyens de les expliquer
et de les coordonner entre eux.*

Bullard, 1965

III.1. Introduction

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

Avant les années 90, le réseau de transmission numérique était basé sur l'utilisation de la hiérarchie numérique dite "plésiochrone". Cette technique s'est montrée, au fil des années, quelque peu limitée. En effet, l'évolution des débits des différents services, les besoins en flexibilité du réseau de transmission, la nécessité d'améliorer les fonctions d'exploitation-maintenance, l'augmentation continue de la capacité de transmission sur fibre optique et le besoin d'interconnexion entre opérateurs à des débits élevés et normalisés, tous ces éléments ont montré les limitations de la hiérarchie actuelle et ont conduit à la normalisation de la hiérarchie numérique synchrone (SDH : synchro nous digital hiérarchie).

III.2. La hiérarchie plésiochrone PDH

La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) a été réalisée et stabilisée durant les années 1960 à 1970. Elle trouve son origine dans le transport de signaux téléphoniques vocaux, convertis en canaux numériques à 64 K bits/s (système primaire).

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

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

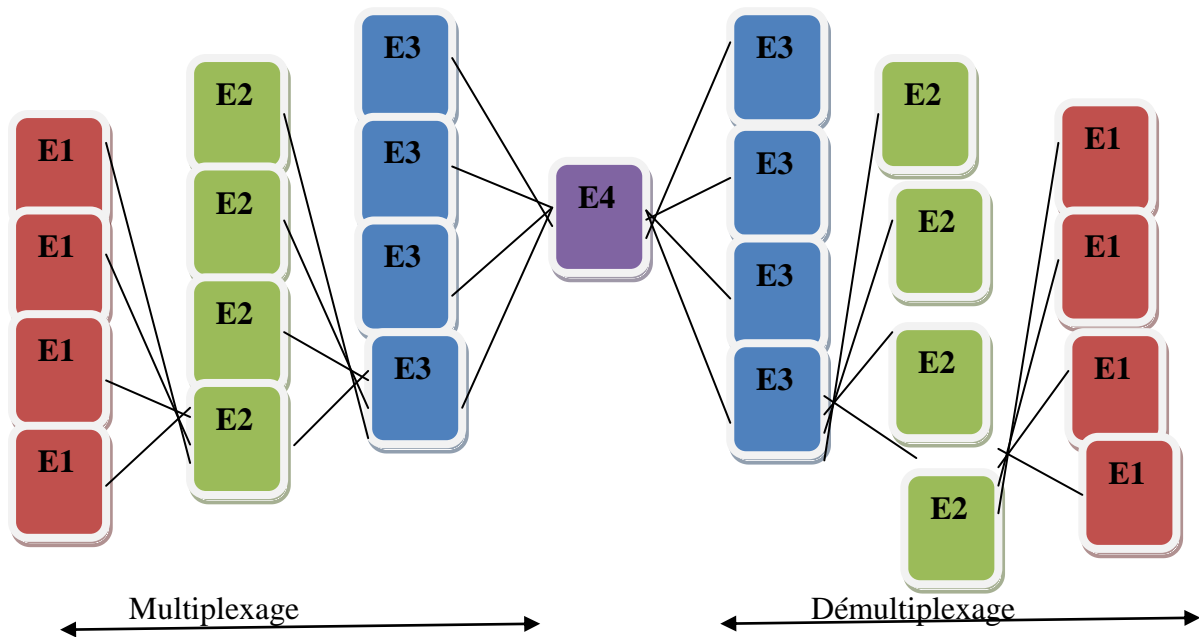


Figure.III.1. Multiplexage et démultiplexage en PDH

M. III.2.1. Limitations de la PDH

-L'inconvénient de ce mode de transmission est le multiplexage bit par bit de la trame numérique plésiochrone, ce qui ne permet pas l'accès au niveau inférieur sans démultiplexage.

-L'absence de la normalisation au niveau de L'UIT-T(C.C.I.T.T), ce qui veut dire qu'on ne peut pas interconnecter deux hiérarchies différentes (U.S.A, EUROPE).

-La technique de multiplexage est complexe en raison du plésiochronisme des sources.

-La trame PDH ne contient pas d'octets réservés à l'exploitation.

-Pas d'interopérabilité à hauts débits entre les continents puisque les débits sont différents.

-La technique PDH est une technique de point à point et non une technique de réseau organisée en anneau permettant d'obtenir une disponibilité importante de services.

III.3.Multiplexage Synchrone SDH(Synchronous Digital Hierarchie)

III.3.1. Définition de la SDH

La SDH est une nouvelle technologie de transmission synchrone qui utilise principalement la fibre optique vu ses nombreux avantages en termes de débit, de fiabilité, de sécurisation et de supervision à distance du réseau. La SDH est issue des concepts SONET proposé par BELLCORE (BELL Communication Research). Les premières normes SDH ont été approuvées par le CCITT (Comité Consultatif International de Téléphone et Télégraphe) à MELBOURNE en Novembre 1988. Elle définit les débits, la trame et les procédés de multiplexage.

La SDH se situe sur les deux premières couches du modèle OSI. Cette technologie offre la possibilité de transmettre dans une même trame des services de types et de débits différents.

III.3.2. La trame de SDH

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

Longueur totale = $9 \times 270 = 2\,430$ octets

Fréquence de répétition = 8 kHz.

durée = $1/8\text{KHz} = 125 \mu\text{s}$.

Débit = $(2430 \times 8\text{bits}) / 125 \mu\text{s} = 155,520 \text{ Mbit/s}$.

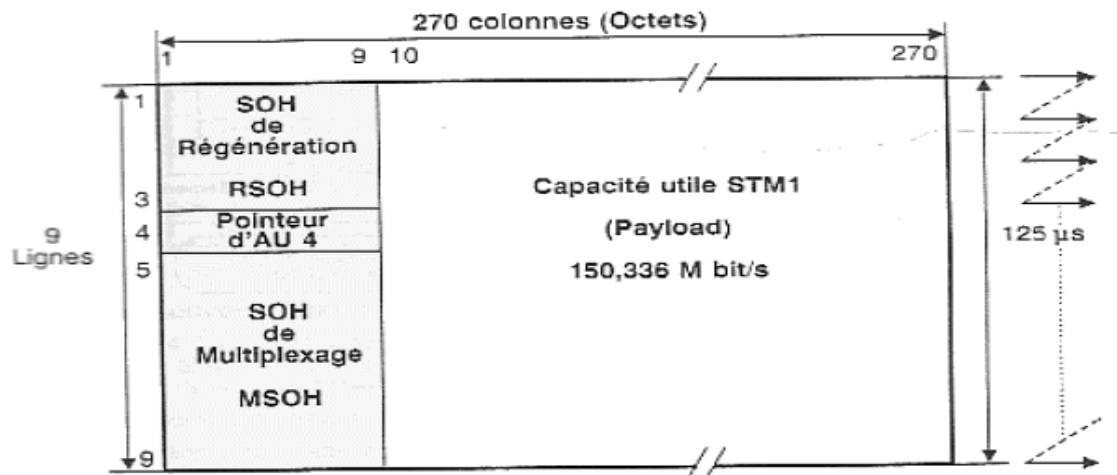


Figure III.2. Structure de la trame STM-1[11]

Cette trame représentée ci-dessus comporte trois zones principales :

III.3.2.1. Charge utile

Elle est une information utile ie celle de l'utilisation (liaison entre deux commutateurs), sa taille vaux 2349octets.

III.3.2.2. Sur débit de la section(SOH)

Il est utilisé pour la gestion des sections des lignes de transmissions, il utilise les 9 premières colonnes de la trame. Il se décompose en deux parties :

- RSOH (Regenerator Section Over head)

Il utilise les 3 premières lignes de SOH .Il est dédié à la gestion des sections de régénération (il est traité au niveau des répéteur-régénérateurs).

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	nu	nu
B1	X	X	E1	X	X	F1	nu	nu
D1	X	X	D2	X	X	D3	X	X

Tableau.III.1.Les réseaux de sections de multiplexage RSOH

La signification des octets est la suivante:

A1, A2 : Les deux octets sont alloués aux mots de verrouillage de la trame. Ils sont caractérisés par une configuration particulière comme suit :

A1=11110110

A2=00101000

J0 : Identification de la trace de section de régénération, elle permet de vérifier si la connexion est maintenue avec l'extrémité d'émission.

B1 : Bip de surveillance des erreurs.

E1 : est une voie de service pour des communications vocales entre régénérateurs

F1 : est une voie de donnée entre régénérateurs réservés aux besoins particuliers de l'utilisateur.

D 1, D2 et D3 : la communication de données de la section de régénération

X : Octet réservé pour la normalisation international.

Nu : Octet réservé pour l'utilisation national.

➤ MSOH (Multiplex Section Overhead)

Il est constitué de 5 à9 lignes de SOH. Il est dédié à la gestion des sections de Multiplexage (il est traité au niveau des terminaux de ligne).

B2	B2	B2	K1	X	X	K2	X	X
D4	X	X	D8	X	X	D6	X	X
D7	X	X	D8	X	X	D9	X	X
D10	X	X	D11	X	X	D12	X	X
S1	Z1	Z2	Z2	Z2	M1	E2	Nu	Nu

Tableau. III.2. Les réseaux de sections de multiplexage MSOH

La signification des octets:

B2 : trois octets réservés pour la détection des erreurs sur les bits de la section.

K1 et K2 : deux octets affectés à la commande de commutation de protection automatique.

D4 à D12 : 9 octets qui représentent un canal de communication de données pour transporter les flux de gestion au niveau de section de multiplexage.

S1 : marqueur de qualité de la synchronisation.

Z1, Z2 : réservés.

M1 : Véhicule le nombre de bits qui ont été détectés erronés sur B2.

3.2.3. Pointeur

Il identifie la position ou l'adresse de la charge utile par rapport à celle de la trame STM-n, ce qui permet la localisation des affluents tout en autorisant leur accès direct sans passer par le démultiplexage. Dans le cas de fluctuation ou glissement de l'information à transporter (charge utile) dans la trame qui provoque des différences de phases par rapport à cette dernière. Le pointeur fait la signalisation et la composition de ces différences par une technique de justification.

H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Figure. III.3. Les octets du pointeur

- Processus de justification [12]

Le débit du signal entrant varie positivement ou négativement par rapport au débit fixe de la trame de transport, c'est pour ce la qu'on utilise une opération qui permet de transporter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe. Cette opération s'appelle « justification ».

- ✓ Justification négative

Le pointeur est un compteur dynamique dont la valeur s'incrémente ou décrémente au rythme des mouvements du VC au sein de la trame et accompagne donc le processus de justification. A côté de l'octet H2, une ressource de 3 octets nommés H3 a été prévue pour absorber un éventuel surplus d'information dans les situations où le débit de VC est supérieur à celui de la trame. On est donc dans un cas de justification négative où H3 est transformé en octet d'information.

✓ Justification positive

Si la trame est en avance de phase par rapport à la charge utile, une justification positive est donc nécessaire, les octets action de pointeur composent ce retard, afin d'aligner les débits.

✓ Justification nulle

Dans le cas où la trame et la charge utile sont en phase, aucune justification n'est indiquée au niveau du pointeur.

➤ POH(Path Over Head)

Les octets du POH sont utilisés pour déterminer les différentes informations sur les Conteneurs. Il existe deux types de POH:

-POH d'ordre supérieur

J1	
B3	
C2	
G1	
F2	
H4	
F3	

K3	
N1	

J1 : identificateur de conduit.

B3 : contrôle de qualité.

C2 : étiquette de conduit.

G1 : indications de défauts distants.

F2 : besoins d'utilisateurs.

H4 : indicateur de position (multi trame pour Vc-n).

F3 : besoins utilisateurs.

K3 : canal utilisé pour la protection automatique de
Conduit.

Figure .III.4.Les octets du POH d'ordre supérieur

- POH d'ordre inférieur

J2	J2 : contrôle de connections.
V5	K4 : mise en œuvre de protection.
K4	N2 : contrôle de qualité.
N2	V5 : transport d'alarme.

Figure.III.5.Les octets du POH d'ordre inférieur

III.3.3. Niveaux du multiplexage SDH

Le multiplexage SDH se fait en deux étapes. Un premier niveau dit niveau inférieur, LO (Low Order) suivi d'un deuxième niveau dit niveau supérieur HO (High Order).

Dans le premier niveau les VC-LO sont multiplexés pour former les VC-HO, en suite, dans le 2^{ème} niveau, les VC-HO sont multiplexés pour former la trame STM.

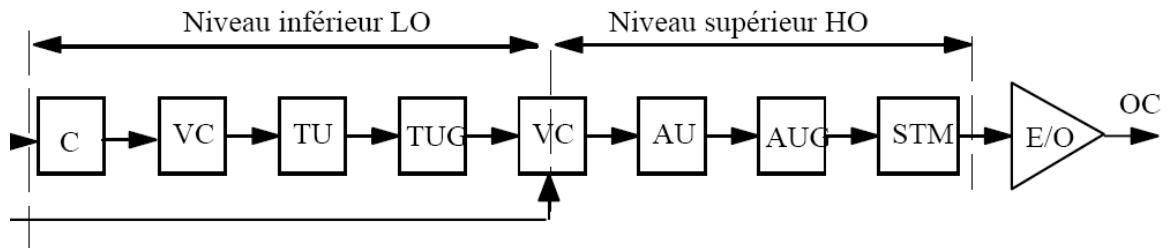


Figure.III.6.Les niveaux de multiplexage SDH [12]

III.3.4. Entités de la hiérarchie synchrone

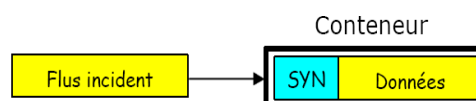
III.3.4.1. Les conteneurs Cn (Contener)

Ce sont des blocs d'octets mis sous une certaine forme dont la capacité est dimensionnées pour assurer le transport d'un affluent (l'information utile) telle que n dépends du débit entrant.

Le conteneur est dimensionné pour assurer un débit définis par le CCIT, et qui sont regroupés dans le tableau suivant.

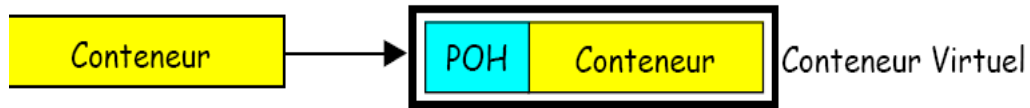
Affluents(Mbits/s)	Conteneur
1,5	C11
2,048	C12
6,312	C2
34,368	C3
139,264	C4

Tableau.III.3.La correspondance affluent -conteneur



III.3. 4. 2. Le conteneur virtuel VCn (Virtual Conteneur)

Le conteneur virtuel VCn (n=11, 12, 2, 3,4) est obtenu à partir du conteneur en lui ajoutant un Sur débit de Conduit POH (*Path OverHead*) utilisé pour la gestion du conteneur.



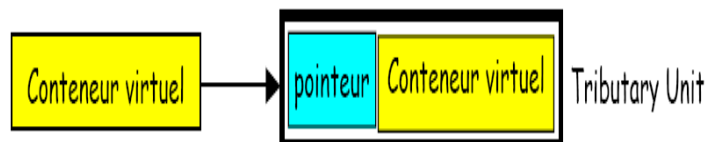
(VCn= Cn+ POH).

Il existe deux types de VCn :

- Les VCn d'ordre inférieur (LOP, Low Order Path) sont : VC11, VC12 et VC2.
- Les VCn d'ordre supérieur (HOP, High Order Path) sont : VC4 et VC3.

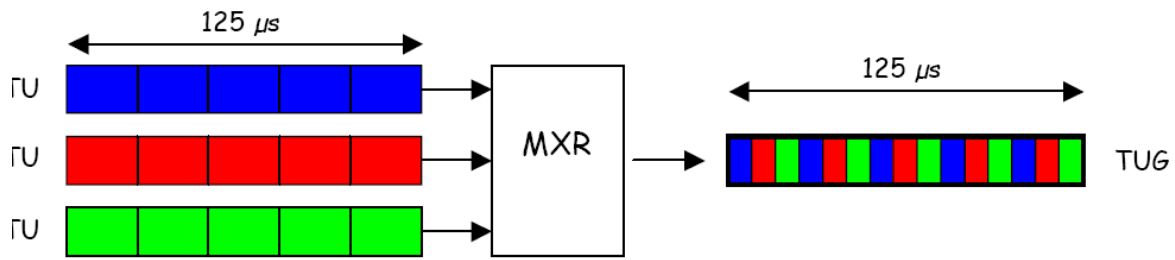
III.3.4.3. L'unité d'affluent TUn (Tributary Unit)

L'unité d'affluent (n=1 à 3) regroupe le conteneur virtuel et son pointeur. (TUn=VCn+PTR). La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VCn dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport.



III .3.4.4. Le groupe d'unités d'affluents TUGn (Tributary Unit Group)

Le groupe d'unités d'affluents (n=2 à 3) est une structure virtuelle de la trame qui permet de regrouper ou multiplexer les TUn et les assembler en unité (bloc) d'ordre supérieur. Le multiplexage se fait toujours octet par octet.



III.3.4.5. Unité Administrative AUn

L'unité administrative (n=3 à 4) assure l'adaptation entre la couche du conduit de niveau supérieur et la couche de la section de multiplexage, elle se compose d'un conteneur virtuel d'ordre Supérieur associé au pointeur .

III.3.4.6. Groupe d'Unités Administratives AUG

Le Groupe d'unités administratives AUG n'est pas une nouvelle entité physique, mais seulement une structure virtuelle de la trame .L' AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport utilisée.

III.4.L'arbre de multiplexage SDH

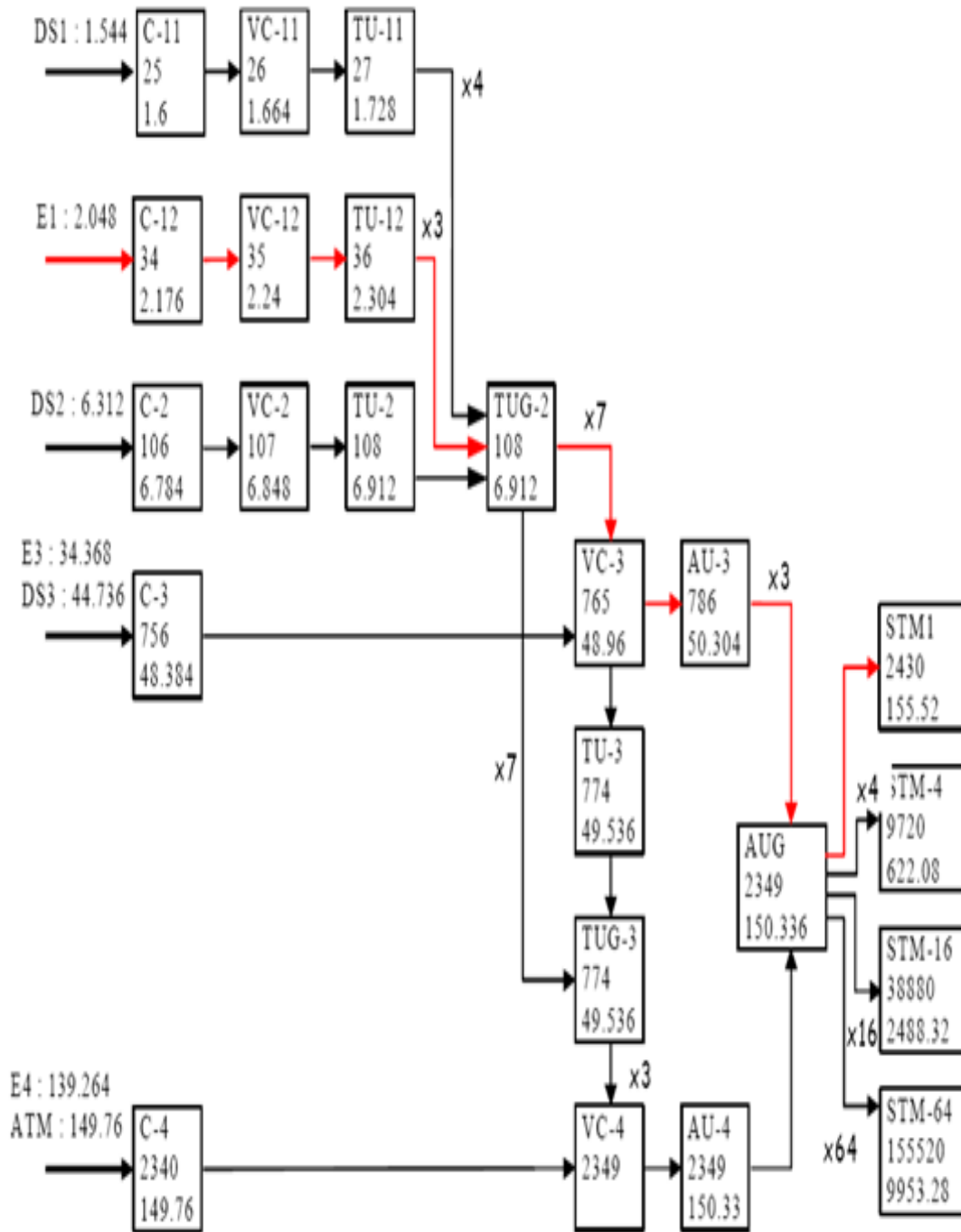


Figure. III.7.structure du multiplexage synchrone [12]

III.4.1.Insertion d'affluent 2Mbit/s dans un STM-1 [12]

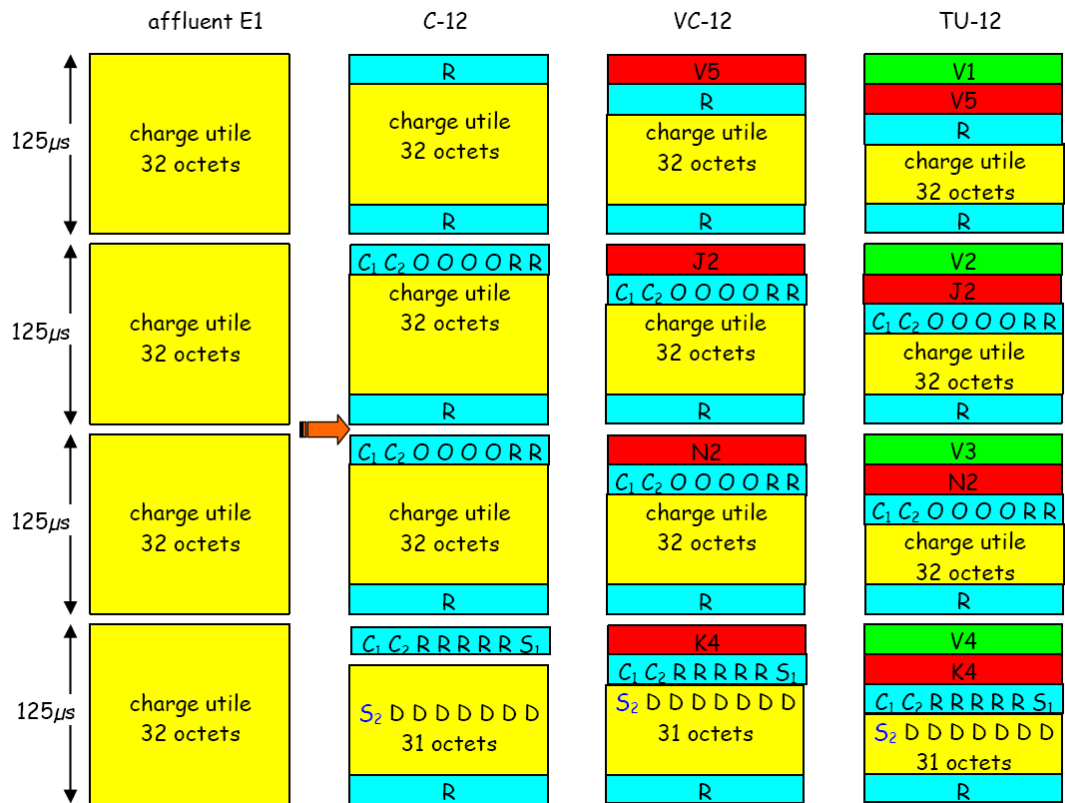


Figure III.8. Constitution de la tributary unit TU-12

III.4.1.1. Constitution du conteneur C-12

Le C-12 est une multi trame de 136 octets en 500µs (4fois 125 µs), chaque trame est constituée d'un affluent E1(32 octets,125µs) à qui on ajoute deux octets de sur débit, on obtient un conteneur C-12 de capacité de 34 octets.

La signification des octets :

- R : bit de Remplissage.
- D : bit de donnée (charge utile).
- C1 et C2 : bits de contrôle de justification.
- S1 et S2 : bits de justification.
- O : bit de service.

Le contrôle de justification se fait comme suit :

Il y a 3 bits C1 dans une multi-trame de Conteneurs

- Si C1 C1 C1 = 000 alors S1 est un bit de donnée
- Si C1 C1 C1 = 111 alors S1 est un bit de bourrage

Il y a 3 bits C2 dans une multi-trame

- Si C2 C2 C2 = 000 alors S2 est un bit de donnée
- Si C2 C2 C2 = 111 alors S2 est un bit de bourrage

Les bits C1 et C2 sont transmis trois fois pour augmenter la sécurité

III.4.1.2. Constitution du conteneur Virtuel VC-12

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

V5 : Surveillance des erreurs.

J2 : Identification du point d'accès.

N2 : Surveillance des connexions en cascade.

K4 : Octet réservé pour un complément d'étude.

III.4.1.3. Constitution de la tributary Unit TU-12

La Tributaire Unit TU-12 est obtenue en ajoutant un pointeur au VC-12. L'obligation de disposer de 4 pointeurs a mené à regrouper les TU-12 en multi trames de 4.

Les pointeurs sont notés V1, V2, V3 et V4.

V1 et V2 : constituent le pointeur de VC12.

V3 est l'opportunité de justification négative.

V4 : n'est pas utilisé (application future).

V4 : n'est pas utilisé (application future).

V4 : n'est pas utilisé (application future).

➤ Organisation matricielle des Tributary Units

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36

Figure .III.9.Organisation matricielle d'une TU-12

III.4.1.4. La Tributary Unit Group TUG-2

la TUG-2 est constituée de trois TU-12 multiplexées octet par octet. Elle est constituée de 108 octets organisés en une matrice de 12 colonnes.

1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
5	5	5	6	6	6						
									36	36	36

Figure. III.10.TUG-2 construite par multiplexage de 3 TU-12

III.4.1.5. Le conteneur virtuel VC-3 (7 x TUG-2)

Le groupe AUG reçoit trois AU-3 multiplexées octet par octets.

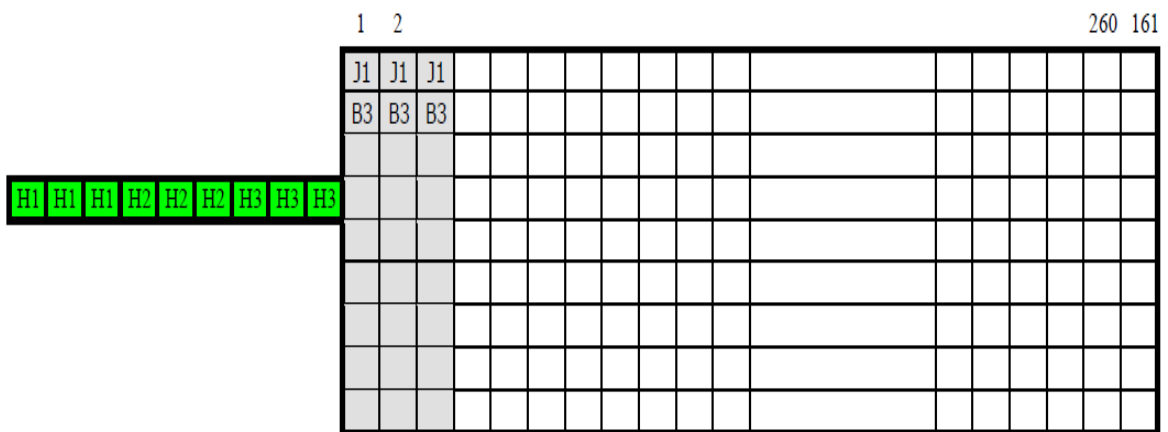


Figure. III.13.AUG construit à partir de 3 AU-3

III.4.1.8. La trame STM-1

La trame STM-1 est constituée d'une AUG à laquelle on a ajouté le sur débit RSOH et le sur débit MSOH.

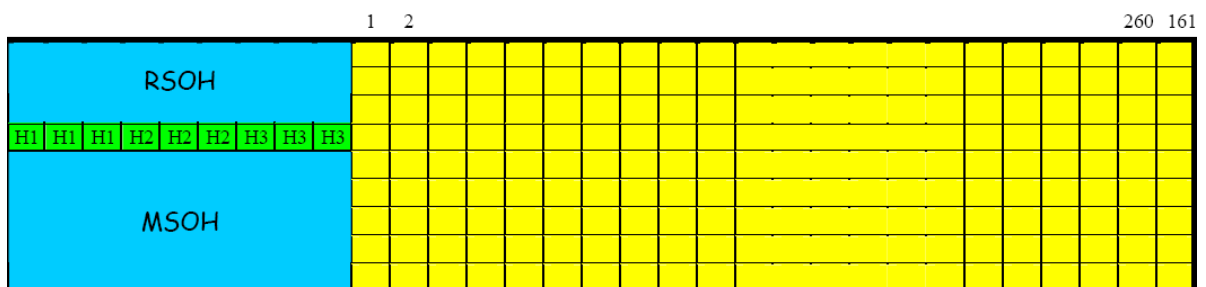


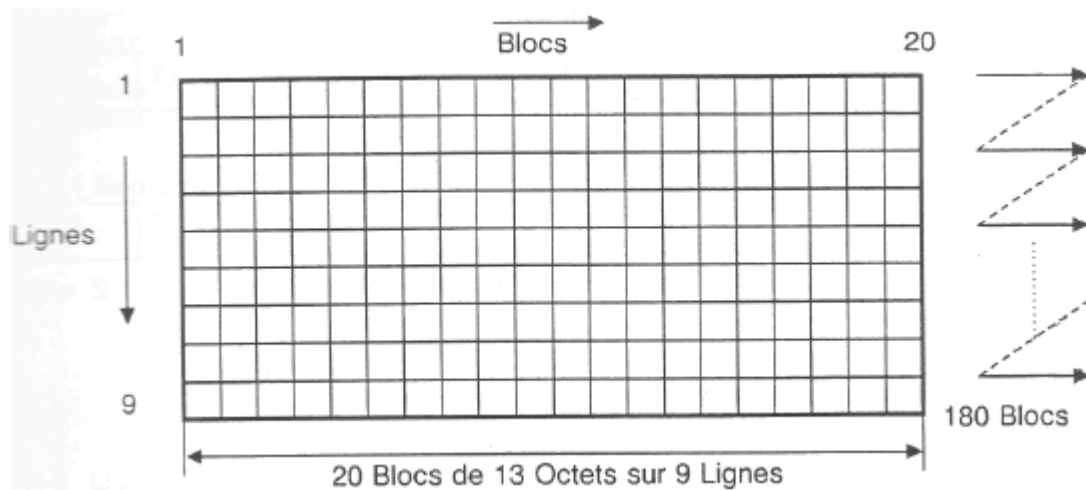
Figure. III.14.Groupe d'unité administrative AU-G

III.4.2.Insertion d'affluent 140Mbit/s dans un STM1 [11]

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 140 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C4. Ce conteneur de périodicité 125ms est formé de 180 blocs chacun constitué de 13 octets.

La capacité : $20 \times 9 \times 13 \times 8 = 18720$ bits.

Le débit : $18720 / 125 = 149,760$ Mbit/s



III.15. bloc de conteneur C4

Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de 139,264 Mbit/s, tous les bits ne seront donc pas utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc il y a 13 octets répartis comme suit :

- 1 octet pour les bits d'indications tels que le bit de remplissage, de justification ou de sur débit.
- 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Ceci permet de voir qu'il y a en faite 17406 bits d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mbit/s.

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

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

- L'unité Administrative AU4 est constituée de l'ensemble VC4 et d'un pointeur associé.
- La trame STM-1 est constituée de l'ensemble AU4 et d'un sur débit de section SOH qui se décompose en deux sous ensembles : le RSOH et le MSOH.

III.4.3. Insertion d'affluent 34Mbit/s dans un STM-1

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 34 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C3. Ce conteneur de périodicité 125ms est formé de 9 lignes comptant chacune 84 octets.

La capacité : $9 \times 84 \times 8 = 6048$ bits.

Le débit : $6048/125 = 48,384$ Mbit/s

Le débit de C3 est supérieur au débit de l'affluent donc tous les octets ne sont pas utilisés pour transporter des bits d'information. Le Conteneur C3 est partagé en trois parties T1, T2, T3, de trois lignes chacune. Comme il n'y a pas assez d'octets de données on ajoute des bits de remplissage, donc le débit nominal de l'information dans du C3 passe à 34,344 Mbit/s.

- Le conteneur virtuel VC3 est obtenu en rajoutant à C3 un sur débit de Conduit POH identique au POH du VC4.
- Le TU3 est constitué de l'ensemble du VC3 et d'un pointeur associé placé dans la capacité utile de la trame STM1. Le pointeur TU3 est identique au pointeur d'AU4 et joue le même rôle.
- Le TUG3 définit les emplacements des TU3 (VC3 et pointeurs associés) dans le VC4.
- Le VC4 formé de 3 TUG3 est obtenu en effectuant un multiplexage par entrelacement de colonnes des TUG3 A/B/C après avoir placé en tête du VC4 la colonne contenant le POH de VC4 et deux colonnes de remplissage.

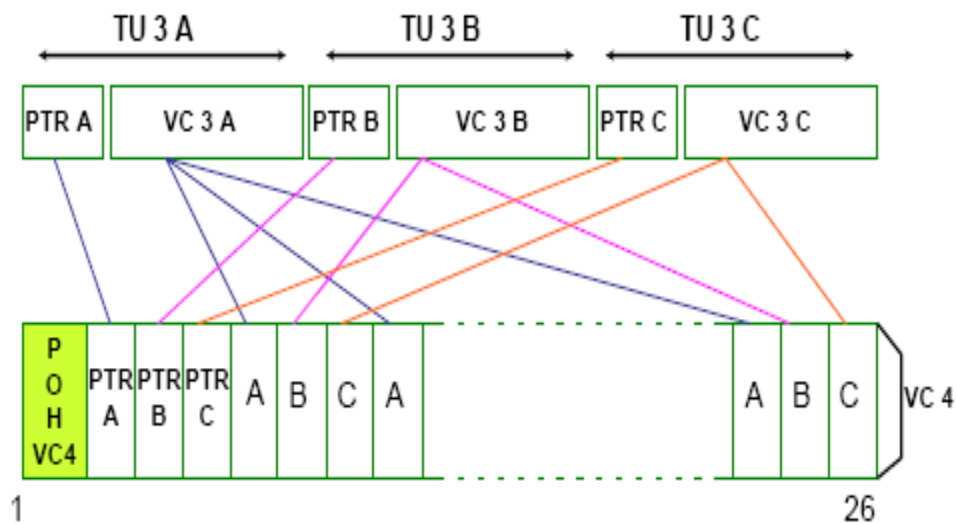


Figure III.16. VC-4 construit à partir de 3 TUG-3

III.5. La trame STM-n

La trame STM-n est composée d'une capacité utile obtenue par multiplexage de n

AUG et d'un SOH.

La capacité utile d'un STM-n est obtenue par multiplexage de n VC4 (n x261 colonnes) qui est composé de n AUG. Le multiplexage est réalisé en effectuant un entrelacement des octets de n VC4.

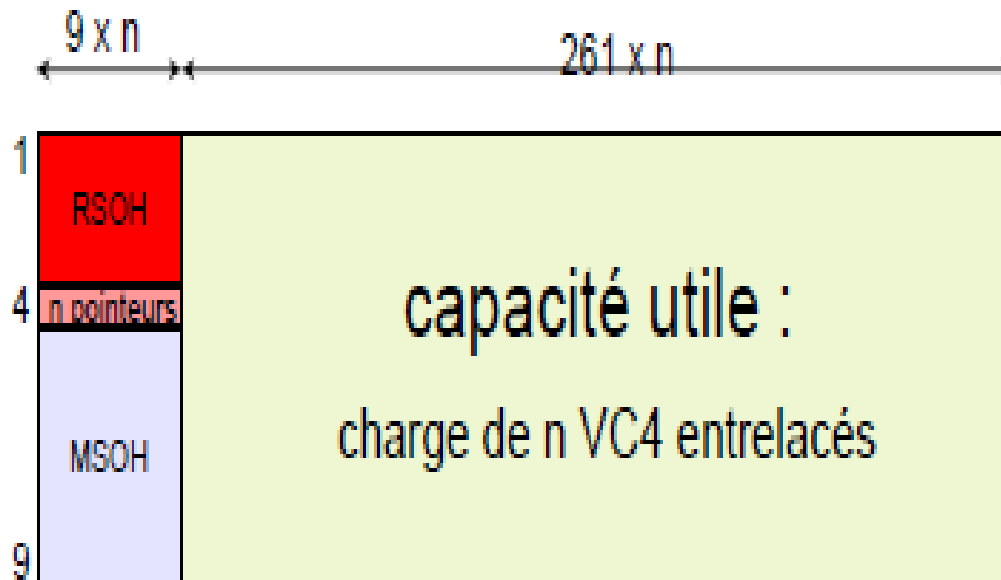


Figure III.17.La trame STM-n

III.6. Synchronisation du réseau SDH

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

Le dispositif général de synchronisation est du type maître esclave. Chaque équipement du réseau possède une horloge propre qui se synchronise sur l'horloge du niveau supérieur. L'horloge unique du plus fort niveau est appelée horloge primaire de référence PRC (Primary Reference Clock). C'est une horloge au césium de très haute précision (10^{-11} sur le log terme), elle est doublée par une horloge secondaire SRC (Secondary Reference Clock) qui est souvent une horloge GPS fournie par satellite.

L'architecture du réseau est telle que chaque élément du réseau reçoit au moins deux circuits d'horloge. Dans un réseau en anneau, la référence primaire est injectée sur un nœud (Fig. III-18 : N1) qui se charge de la diffuser sur les trames STM vers les autres nœuds. L'horloge secondaire est injectée sur un autre nœud (Fig. III-18 : N3) qui la diffuse vers les autres soit sur la 2ème fibre dans le cas d'un anneau bidirectionnel soit sur la fibre de secours. L'horloge secondaire est utilisée en cas de rupture du circuit normal ou en cas d'annonce du nœud N1 d'une perte du rythme de référence. Les trames STM comportent un octet STS (StatuS message Byte) dans le surdébit SOH qui permet d'identifier la nature de l'horloge transportée,

PRC : 0010

SEC: 10111 DNU: 1111(Do Not Use)

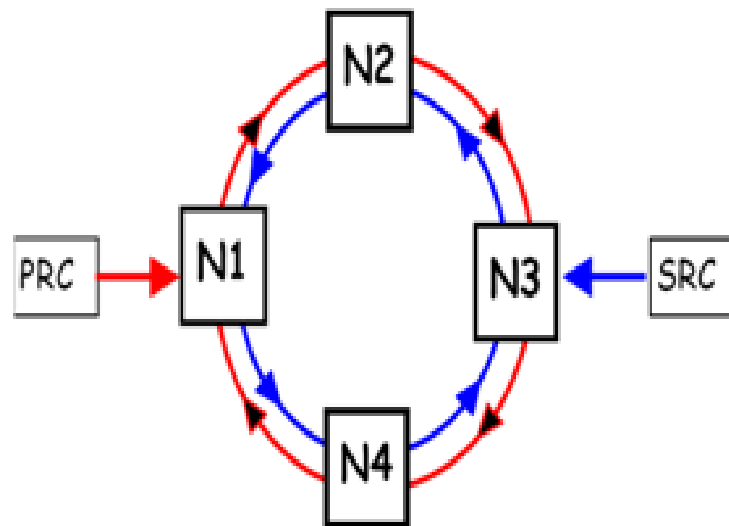


Figure III.19.Distribution de l'horloge [13]

III.7. Infrastructure du réseau SDH

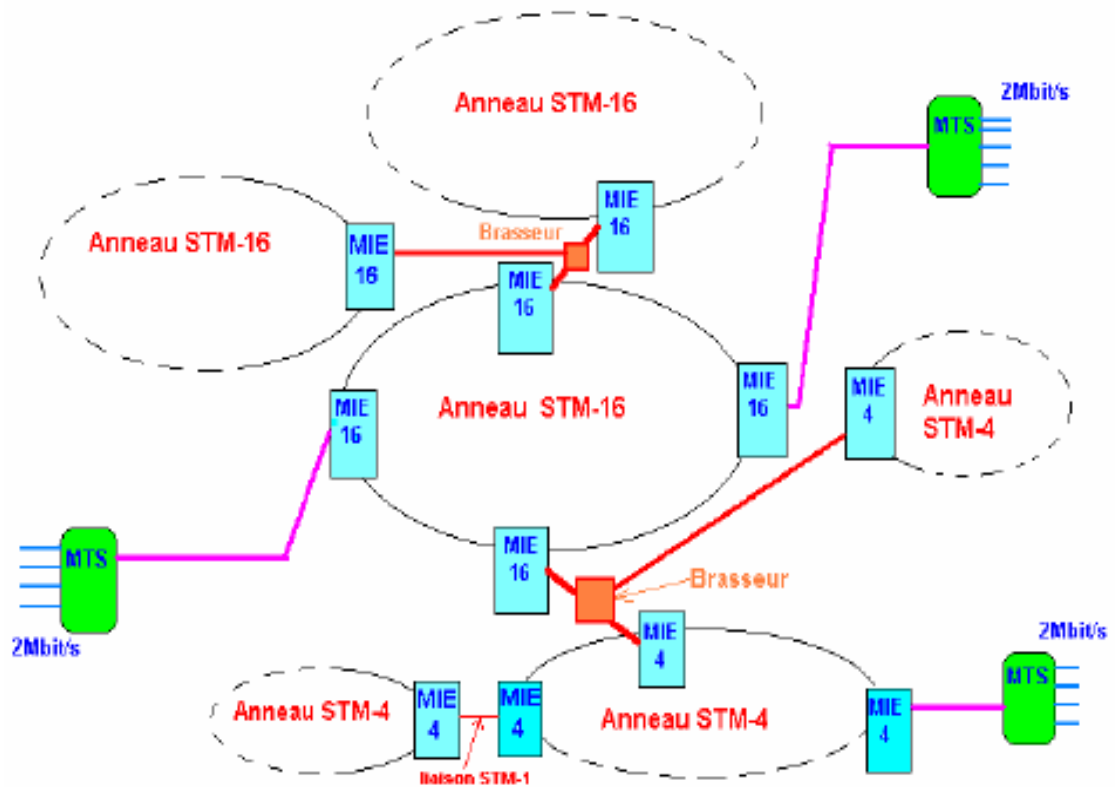


Figure III.19. Infrastructure du réseau S.D.H. [13]

III.7.1. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Les multiplexeurs insertion-extraction (add-drop) sont utilisés pour réaliser les fonctions de transmission suivantes :

- Transfert du signal numérique synchrone de ligne entre ses accès " Ouest " et " Est ".
- Dérivation : insertion/extraction de signaux numériques plésiochrones et/ou synchrones dans le signal numérique synchrone présent à ses accès " Ouest " et/ou " Est ".
- Des fonctions de brassage de VC12 ont été introduites dans le MIE.

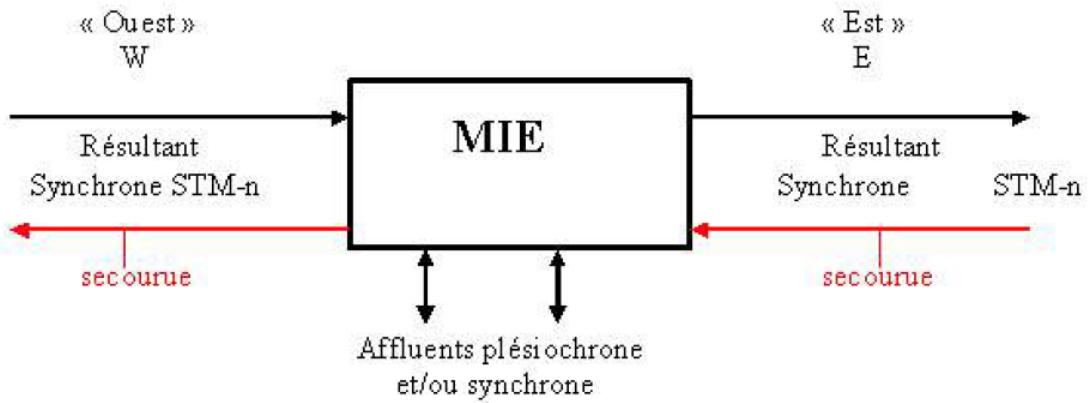


Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Le MIE contient la fonction de régénération qui permet la remise en forme uniquement par régénération du signal électrique et une surveillance de la section de la régénération. Pour de longue distance on n'installe un MIE sans cartes affluentes pour régénérer le signal.

L'un des inconvénients majeurs du MIE est le nombre insuffisant d'accès à 2Mbit/s au niveau du châssis MIE alors que ce débit est le plus demandé, c'est pour cela que l'on utilise des MTS.

III.7.2. Multiplexeur Terminal Simplifié

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant.

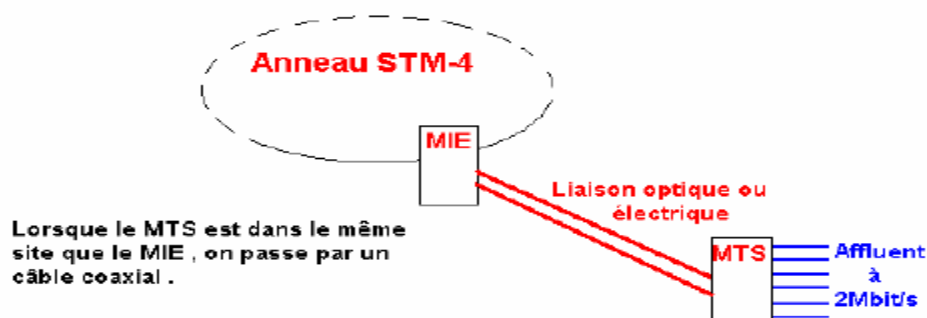


Figure III.21. Multiplexeur Terminal Simplifié

III.7.3. Brasseur

Les brasseurs sont destinés à assurer la connectivité et la flexibilité de la bande passante entre différentes portions de réseau, les transferts de VC entre boucles ou sous réseaux. Ces brasseurs sont des équipements de forte capacité, ils sont situés aux nœuds importants du réseau.

III.8.Topologies

Les architectures peuvent être réalisées en bus, en anneau, en étoile et peuvent être combinées entre elles permettant aux opérateurs de résoudre un grand nombre de cas pratiques.

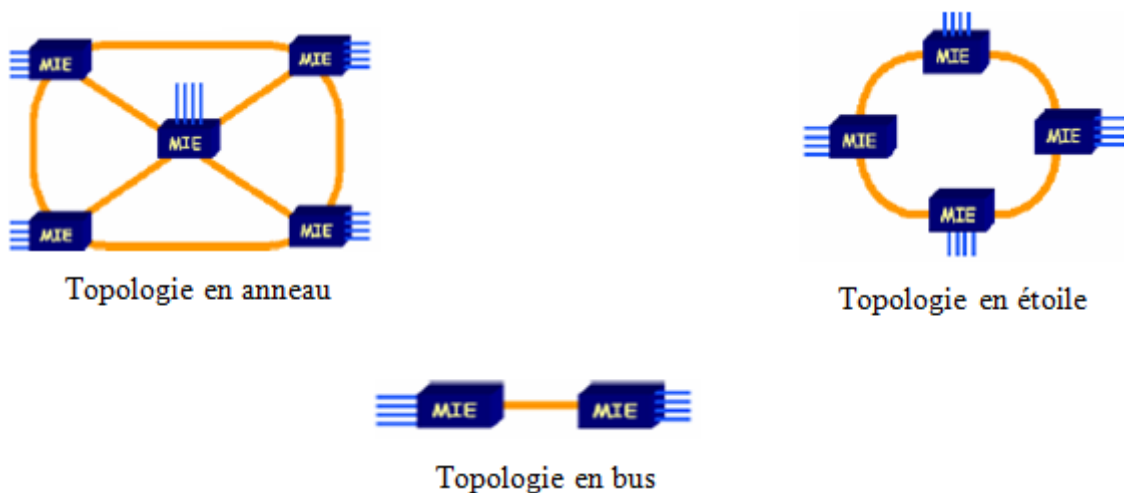


Figure III.22.Les topologies de la hiérarchie SDH

Un réseau en anneau est une chaîne, repliée sur elle-même et refermée, constituée uniquement des nœuds MIE (ou ADM pour Add-Drop Multiplexer) et ne possédant pas de nœud terminal. Ce type de réseau joue un rôle clé en SDH/SONET grâce aux mécanismes performants d'auto cicatrisation (délai de rétablissement < 50 ms) du réseau en cas de défaillance (par exemple: câble coupé, panne d'électricité ou incendie dans un nœud du réseau).

Les applications des réseaux en anneau sont nombreuses : réseaux d'accès aux réseaux nationaux, en passant par les réseaux locaux et régionaux. Les réseaux auto cicatrisants sont divisés en deux catégories :

- Les anneaux unidirectionnels.
- Les anneaux bidirectionnels.

III.8.1.Les anneaux unidirectionnels (2 fibre)

Les trafics émissions et réception circulent dans le même sens sur l'anneau, sur la fibre dite active. L'autre fibre de protection peut être utilisée, soit pour la duplication du trafic, soit pour transporter un STM-n vide ou un trafic non prioritaire.

III.8.2.Les anneaux bidirectionnels (2 fibres)

Les trafics émissions et réception circulent en sens opposés sur l'anneau et utilisent donc les deux fibres de la fibre. Par conséquent, la moitié de la bande passante doit être réservée pour la protection, afin de permettre une réorientation de trafic en cas de défaillance.

III.8.3.Les anneaux bidirectionnels (4 fibres)

Dans ce cas, une paire de fibres est réservée pour la protection. Cette paire de fibres peut être éventuellement utilisée pour un trafic non prioritaire et pour de la protection entre nœuds voisins.

III.9. La protection dans les réseaux SDH [14]

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission comme la rupture d'une fibre ou la défaillance d'un équipement de réseau.

III.9.1.La protection du sous-réseau SNCP (Sub-Network Connection Protection)(1+1)

Ce type de protection consiste à protéger le trafic conduit par conduit d'un anneau à deux fibres, chacun étant terminé par un basculeur. Lorsqu'une fibre est coupée, autant de basculements de conduits se produiront qu'il y aura des conduits empruntant cette fibre. Le trafic est diffusé en permanence sur deux chemins dans le réseau. Puis, à l'autre extrémité de la portion protégée du conduit, on choisit la branche sur laquelle le trafic est de meilleure qualité au niveau de chaque affluent TU-12, TU-3 et AU-4.L'objectif recherché dans ce type

de protection étant de limiter l'activation des mécanismes de protection à des segments de conduits.

III.9.2. La protection de la section de multiplexage MSP (Multiplex Section Protection)

- La protection MSP linéaire (point à point) : On protège de cette façon un lien direct entre deux ADM adjacents par un autre lien direct entre ces deux ADM. Il existe plusieurs possibilités de mise en œuvre :
- La protection 1 + 1 : Cette protection prévoit un deuxième support de secours qui prend le relais en cas de défaillance du circuit normal. Le circuit de secours dépend de l'architecture, il peut être constitué d'une fibre en cas d'un réseau unidirectionnel, ou d'une paire de fibre en cas d'un réseau bidirectionnel.

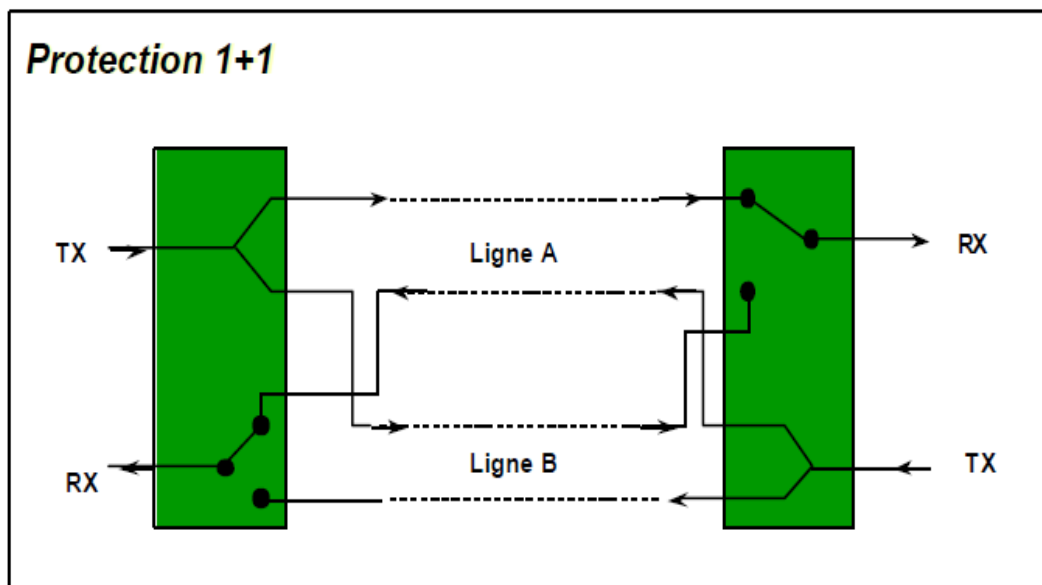


Figure III.23.1. Le principe de la protection MSP : 1+1

- La protection 1 : N : Consiste à protéger plusieurs liaisons entre les multiplexeurs adjacents par une seule liaison de secours, qui prendra en charge l'une des liaisons en panne seulement (si plusieurs tombent en même temps). Le signal est sélectionné à l'émission comme à la réception. Le trajet de la ligne normale et celui de celle de secours devraient pour bien faire être différents.

- La protection M : N : La protection M : N est dérivée de la protection 1 : N, elle consiste à réserver M dispositifs de protection pour protéger N dispositifs actifs, ainsi dans une liaison SDH, N conduits actifs seront protégés par M conduits de secours. Ce système de protection est utilisé pour les lignes de longues distances.

III.9.3. La protection MSP des anneaux

- La protection dédiée de la section de multiplexage MS-DPR (MS-Dedicated Protection Ring) Pour chaque trafic traversant l'anneau, une capacité équivalente est réservée sur tout l'anneau, grâce à une deuxième fibre. Par conséquent, le nombre maximum de conduits traversant l'anneau correspond au nombre maximum de conduits sur une liaison entre deux ADM adjacents.

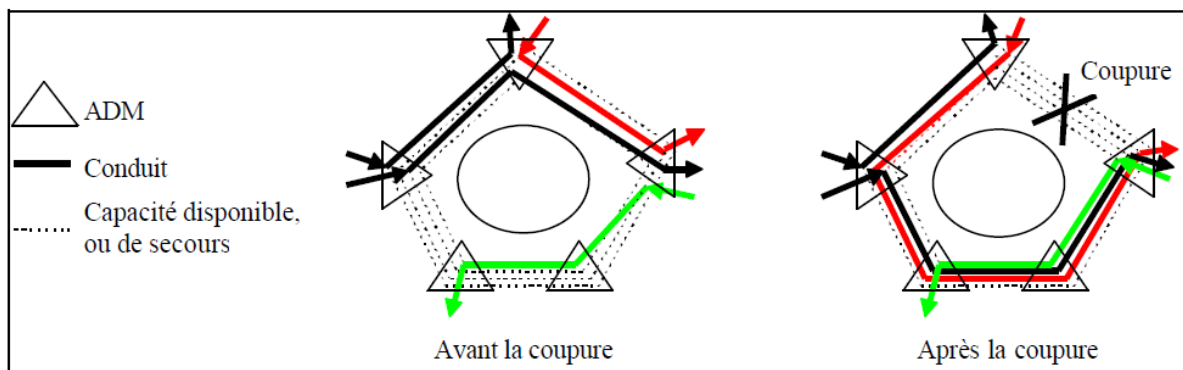


Figure III. 24. Le principe de la protection MS- DPR.

Les anneaux unidirectionnels sont des anneaux à deux fibres et peuvent être à protection de section ou protection de conduit. Les anneaux bidirectionnels sont uniquement à protection de section et peuvent être à 2 ou 4 fibres.

Le choix du type d'anneau et de son mécanisme de protection associé dépend de plusieurs paramètres, tels que la taille du réseau et le type de trafic sur le réseau.

Néanmoins, les anneaux bidirectionnels conviennent mieux pour des trafics équilibrés entre chaque nœud (réseau national par exemple) et que les anneaux unidirectionnels à protection de conduits sont plus adaptés à des trafics dirigés vers un nœud particulier (hub par exemple).

La sécurité de la technologie SDH prévoit qu'en cas de coupure de la ligne, le signal est automatiquement réacheminé sur un réseau « secours ». Plusieurs configurations de ce réseau sont possibles.

III.10. Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

Pour la norme SONET, les niveaux sont classés en OC : Optical Conteneur.

Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM - n (Synchronous Transport Module, niveau n).

La hiérarchie de la norme SDH correspond à celle de SONET pour les interfaces ATM.

Le niveau 1 de SDH (155,52 Mb/s) est le niveau 3 de SONET et le niveau 2 de SDH (622,08 Mb/s) est le niveau 12 de SONET.

SDH	SONET	Débit
STM-1	OC-3	155 Mb/s
STM-14	OC-12	622 Mb/s
STM-16	OC-48	25 Mb/s
STM-64	OC-192	10 Mb/s
STM-48	OC-384	20 Mb/s
STM-256	OC-768	40 Mb/s

Tableau .III.4.Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

III.11. Avantages de SDH /SONET

La SDH offre des avantages significatifs sur la PDH.

La SHD repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte, en plus du haut débit (plus élevé qu'on PDH).

-Grande fiabilité de transmission, la fibre de verre est insensible aux interférences électriques et électromagnétiques.

-Absence d'interférences entre fibres optiques voisines.

-Grande bande passante. Une fibre unique peut transporter plus de 1000000 fois le volume

-transporté par un fil de cuivre. Même sur fibre optique, avec son débit max de 565 Mb/s, la hiérarchie PDH a du mal à satisfaire les besoins en bande passante des nouveaux services.

-Très faible atténuation, ce qui augmente considérablement la portée en deux régénérateurs. Une seule fibre optique peut transporter un débit de 10 Gbps sur 400 Km sans amplificateurs.

-Les deux standards SDH et SONET sont compatibles. Ils sont interfaçages entre eux et avec les réseaux non optiques (PDH (USA), PDH(Europe), ATM.)

-Possibilité d'insérer et d'extraire un affluent de faible débit d'un circuit à haut débit sans être obligé de le démultiplexer. Cette opération est impossible avec la hiérarchie PDH.

-Une souplesse accrue quant à la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex.

-Une facilité d'exploitation-maintenance : des débits importants sont réservés à ces fonctions.

-Une possibilité d'évolution vers des hauts débits : les trames synchrones hauts débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base.

-Cette entité de base définit implicitement toutes les trames hauts débits, la limitation n'est plus que technologique.

- Une interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes.

-Des architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipements.

-La modularité des équipements SDH est plus adaptée aux progrès de la technologie que les équipements plésiochrones.

Chapitre IV

Etude d'une liaison FHN au profil de Boudjima

IV.1.Introduction

ALGERIE TELECOM a le statut d'une entreprise publique, sa naissance remonte au 5 aout 2000, après une restructuration visant le secteur des postes et des télécommunications Algériens, séparant ainsi les domaines d'activités postales de ceux des télécommunications.

ALGRIE TELECOM effectue ses transmissions en utilisant plusieurs réseaux dont :

- Réseau public de transmission de données par paquets X25(DZPZC) 7600 accès ;
- Backbone national de transmission à 10Gbits/s(WDM)
- Backbone régional de transmission à 2.5Gbits/s ;
- Réseau national rural : 103 réseaux intégrant plus de 1500 localités ;
- Plus de 1000 communes rattachées en fibre optique ;
- Une centaine de commune rattachée en faisceaux hertziens ;
- Backbone FHN pour relier communes et village isolé ;

Dans ce qui suit, nous allons montrer les différentes étapes de mise en service pour la réalisation d'une liaison de transmission par faisceaux hertziens d'ALGRIE TELECOM de la wilaya de Tizi-Ouzou.

IV.2. Caractéristique de la liaison

La commune de Boudjima est situé au nord ouest de tizi-ouzou elle est délimité au nord par la commune de tizirt, à l'est, par la commune de timizat, au sud, par la commune de ouaguenoun, et à l'ouest par la commune de makouda, elle est composé de 13 villages. En 2008 elle avait 15628 habitants et une densité de population de 447 habitants/km²; les besoins en télécommunications sont en effet nombreux et divers (téléphonie mobile, fixe, ADSL, WLL...).

Vue son relief montagneux et pour répondre à ces différents besoins la société d'ALGERIE TELECOM s'est avérée que la réponse la plus approprié consistait à déployer une liaison (16 × 2Mbits/s) par faisceaux hertziens numériques entre les sites de Boudjima et Belloua.



Figure IV.1. Carte géographique présente la situation (position) de la commune de Boudjima et Belloua

IV.3. Les étapes de l'étude

IV.3.1. Déplacement sur les deux sites

On se déplace sur les deux sites aux même temps avec les outillages nécessaires pour le travail (jumelle, miroir, talkie walkie ...etc).

- **Site de boudjima :** le choix d'un terrain est indispensable suite à l'inexistence d'une localité qui revient à Algérie Télécom afin d'établir un plan pour la construction d'un local qui abriteras l'équipement.

✓ **Coordonnées géographiques**

Longitude : 4° 17'57'' E

Latitude : 36° 48'34''

Altitude : 416 m.

- **Site de belloua :** Il occupe le sommet de la montagne de belloua qui domine par le nord la wilaya de tizi ouzo, le terrain revient à Algérie télécom et les équipements existent déjà.

✓ **Coordonnées géographiques**

Longitude : 4° 30'47''

Latitude : 36° 44'0''

Altitude : 680 m

IV.3.2.Vérification de la visibilité entres les deux sites

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

IV.3.2.Distance du bon

La localité de Boudjima doit être raccordée aux réseaux de Tizi-Ouzou à travers le relais de Belloua, pour cela on utilise une carte géographique au 1 : 50 000 . Une fois la distance est calculée on peut utiliser le GPS (postion global système) pour la vérification.

On a trouvé une distance de 12,5 Km

IV.3.2. Paramètres d'installation

IV.3.2.1. Le choix de la liaison

La capacité de l'équipement a été choisie selon les besoins d'utilisation (station GSM, ADSL, équipement spécialisées, WLL....etc.). Le débit de la liaison est de 16×2 Mbits/s et la fréquence est de 18Ghertz.

IV.3.2.2. Les antennes

Les installations de radiocommunication par faisceaux hertziens se composent de deux antennes paraboliques, l'une à l'emplacement d'émission, l'autre à l'emplacement

de réception. Leur rôle principale est d'assurer l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

Pour cette liaison les antennes sont de 0,6 m de diamètre et 18 m de hauteur avec des supports de 25 m de hauteur pour avoir une meilleure directivité.

IV.3.2.3. Le câble coaxial

Le câble coaxial est utilisé comme un support de guide d'onde entre les équipements et les antennes. Il a une impédance caractéristique de 75Ω .

IV.3.2.4. Polarisation des antennes

Pour les liaisons longue distance on choisit la polarisation verticale parce que le signal est nettement mieux et l'information est reçue sans distorsion. Tandis que la polarisation horizontale est employée pour les distances courtes. La polarisation verticale peut diminuer le temps d'interruption de 30% par rapport à la polarisation horizontale. Pour qu'une liaison fonctionne correctement, il faut que l'antenne de réception soit polarisée de la même façon que l'antenne d'émission.

IV.3.2.5. Source d'alimentation

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

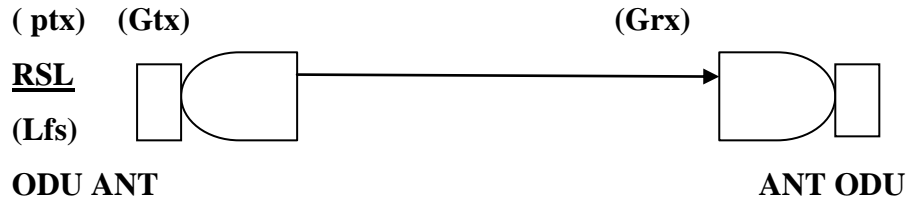
IV.3. 2.5. Protection nécessaire

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

IV.4. Calcul du bilan de la liaison

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

IV.4. Calcul de la puissance du niveau de réception en aire clair (RSL en dB)



$$RSL = Ptx + Gtx - Lfs + Grx$$

RSL : Niveau de réception

Ptx : puissance sortie d'émission

Gtx : Gain d'antenne coté émission

Grx : Gain d'antenne coté réception

Lfs : Affaiblissement d'espace libre

IV.4.1. Puissance sortie d'émission Ptx d'ODU

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

Tableau .IV.1. Tableau de puissances Ptx [14]

IV.4.2 Gain d'antenne Gtx et Grx

Diam D'antenne	Gain d'antenne (dB)		
	15GHz	18GHz	23GHz
0,3 m	31,9Db	34,0dB	34,9Db
0,6 m	36,6dB	38,7dB	40,1dB
1,2 m	42,6dB	44,7dB	46,0Db

Tableau .IV.2.Gain d'antenne Gtx et Grx [14]

IV.4.3 Calcul l'affaiblissement en espace libre (Lfs)

$$Lfs = 92,45 + 20 \log [f(\text{GHz}) \times d(\text{Km})]$$

$d = 12,5 \text{ km}$ est la distance qui sépare les deux sites

$f = 18 \text{ GHz}$ fréquence de signal

$$Lfs = 92,45 + 20 \log (18 \times 12,5)$$

$$Lfs = 139,49 \text{ dB}$$

$P_{tx} = +23 \text{ dbm}$ (d'après le tableau .IV.1)

La puissance sortie d'émission pour ODU de bande 18GH doit être de +23 db

$G_{tx} = 40,1 \text{ db}$ (d'après le tableau .IV.2)

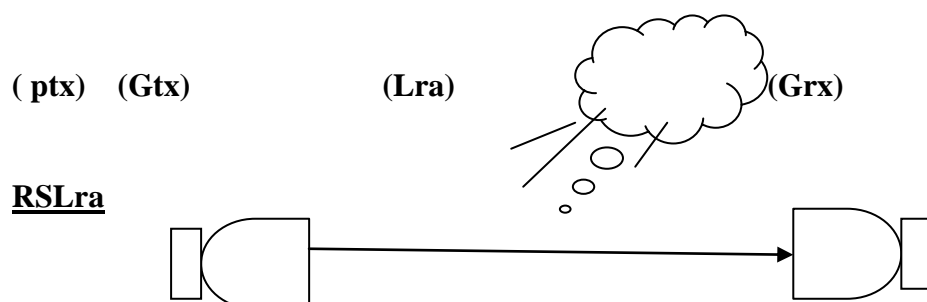
$G_{rx} = 40,1 \text{ db}$ (d'après le tableau .IV.2)

Alors :

$$RSL = 23 + 40,1 - 139,49 + 40,1 \text{ RSL}$$

$$= -36,29 \text{ dBm}$$

IV.5. Niveau de réception y compris l'affaiblissement dû à la pluie (RSLra)



ODU ANT

(Lfs)

ANT ODU

$$\mathbf{RSLra = Ptx + Gtx - Lfs - lra + Grx}$$

Lra= Affaiblissement dû à la pluie

IV.5.1. Affaiblissement dû à la pluie

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

La figure .IV.4 qui suit montre les zones (K, E, C, A) de précipitation sur un point de région.

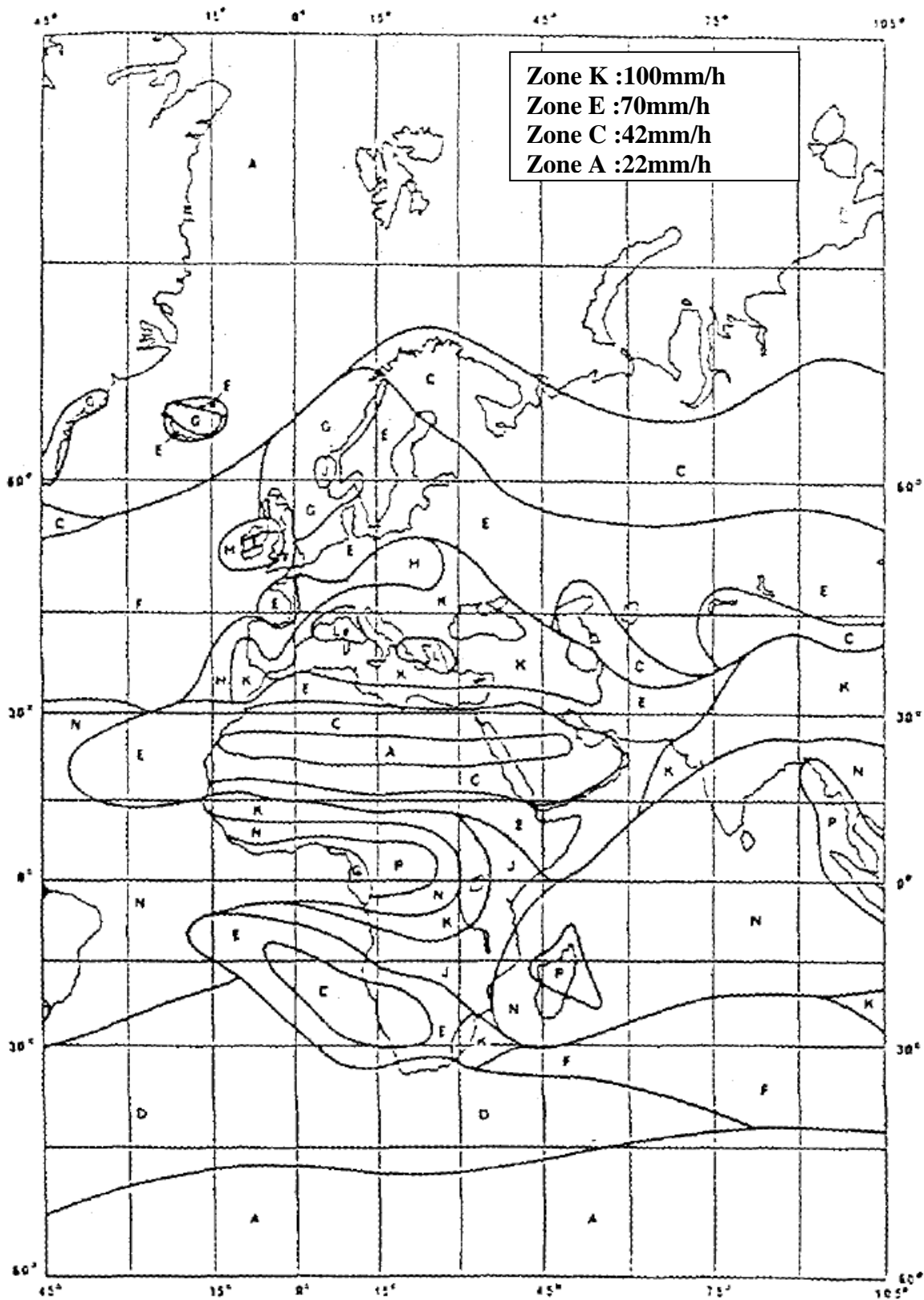


Figure .IV.2.La précipitation de 4 zones différentes

IV.5.2.Calcul de L'affaiblissement dû à la pluie (Lra)

On est dans la zone c : 42 mm /h

On a trace sur la figure IV.5 une ligne entre un point de 42 mm/h sur l'échelle gauche (précipitation à la zone c) et un point de 18 GHz sur l'échelle droite (bande de fréquence) on a trouvé un point d'affaiblissement de 3,1 GHz/km sur l'échelle au milieu donc l'affaiblissement du à la pluie sur 12,5 Km est 38,75 dB.

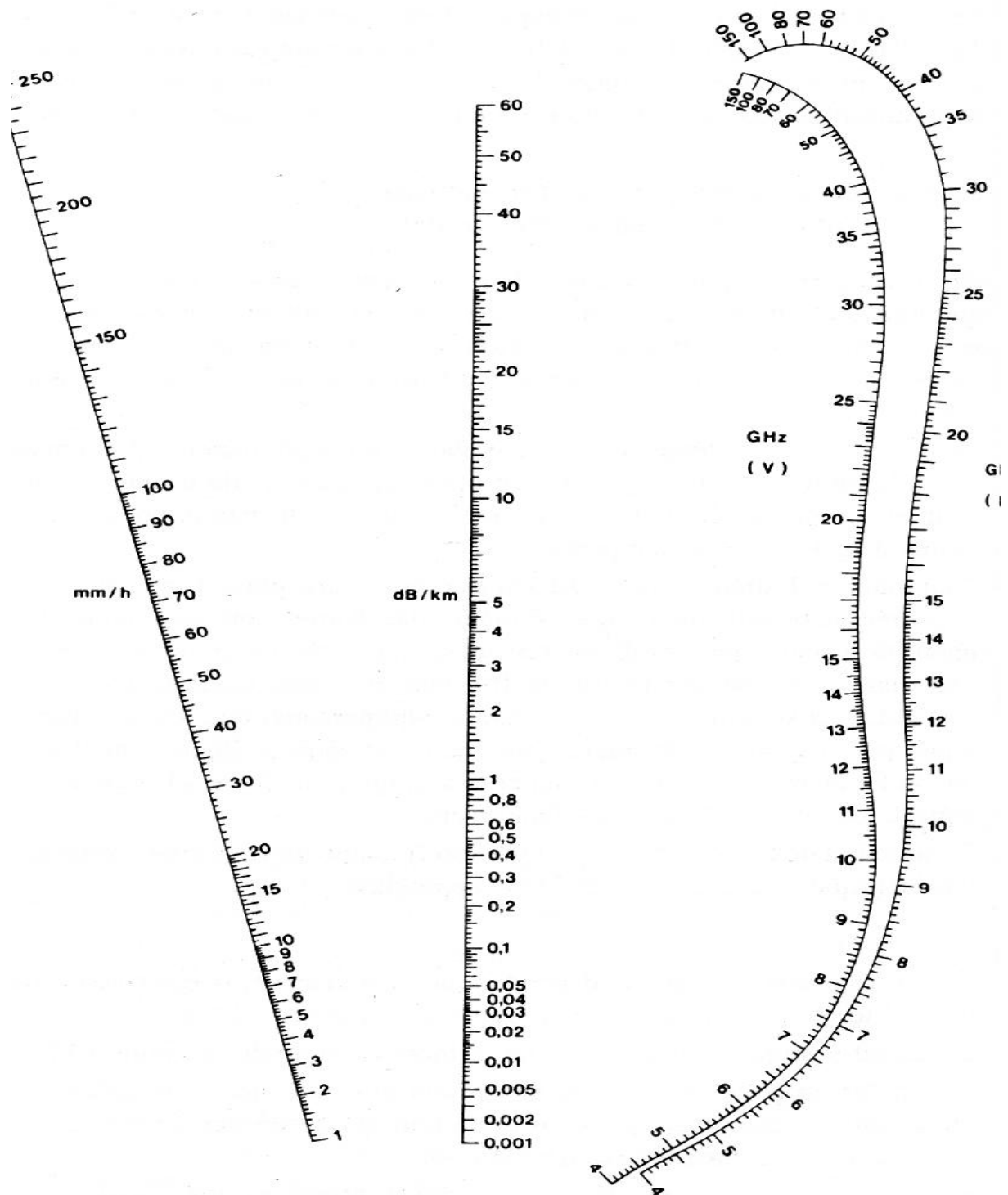


Figure .IV.3. Monogramme permettant le calcul de l'affaiblissement dû à la pluie.

(H) polarisation horizontale

(V) polarisation verticale

Alors :

$$\begin{aligned} \text{RSLra} &= 23+40,1 - 139,49 +40,1- 38,75 \\ &= - 75,04 \text{ dBm} \end{aligned}$$

IV.6.L'adaptation du niveau de réception

En fin de calcul de niveau de réception, il faut avoir l'adaptabilité de la valeur obtenue au système protégé pour une meilleure exploitation. Le critère utilisé pour le système PASOLINK :

- Critère A

Le niveau de réception doit maintenir une marge de fading MF (marge de protection contre les évanouissent) supérieure à 37 dBm par rapport au niveau de seuil NS (dBm) du récepteur à TEB 10^{-3} .

$$\text{MF} > 37\text{dBm P.R.P p.r.p NS à TEB } 10^{-3}$$

$$\text{-Marge de fading(MF) = niveau de seuil (SN)– niveau de réception(RSL)}$$

Item	15GHz	18GHz	23GHz
Niveau de seuil (dBm Mesure au port antenne) TEB= 10^{-3}			
8MB	-90,5	-89,5	-88,5
34MB	-84,5	-83,5	-82,5

IV.3.Le seuil [14]

Tableau.
niveau de

$$\text{MF} = \text{SN} - \text{RSL}$$

$$\text{SN} = - 83, 5\text{dBm (d'après le tableau .3.)}$$

$$\text{MF} = - 83, 5 \text{ dBm} - (- 36,29 \text{ dBm})$$

$= -47,21 \text{ dB}$

$47,21 \text{ dB} > 37 \text{ dB}$

Critère B

Un niveau de réception y compris un affaiblissement dû à la pluie doit maintenir une marge de fading supérieur par rapport au niveau de seuil NS (dBm) du récepteur à $TEB10^{-3}$.

RSL_y compris L_{ra} (RSL_{ra}) = Niveau de réception (RSL) - Affaiblissement dû à la pluie (L_{ra})

$RSL_{ra} = RSL - L_{ra}$

$= -36,29 \text{ dBm} - 38,75 \text{ dBm}$

$= -75,04 \text{ dBm}$

$-75,04 \text{ dB} > -83,5 \text{ dB}$

$RSL_{ra} > NS$

- Conclusion

L'atténuation admise est de 46,35 dB. Comme la pluie intense ne provoque que 38,75 dB, la marge de fading de notre liaison est suffisante pour fonctionner sous un temps pluvieux avec une intensité qui peut atteindre 42 mm/h.

IV.7. Bilan global de la liaison

	Site-A	Site-B
Nom et N°	Boudjima	Belloua
Distance (d)	12,5 Km	
Système	2×16 Mbits/s	
Diamètre ANT	0,6 m	0,6 m
Fréq EM (Fréq, sub-band, Ch n.)	18 GHz, s-band (Tx=18473, Rx=19481)	18 GHz, s-band (Tx=19481, Rx=18473)

1	Puissance .EM (Ptx)	+23 (dBm)
2	Gain d'antenne (Coté EM) (Gtx) 15G 18G 23G 0,3m 31,9 34,0 34,9 0,6m 36,6 38,7 40,1 1,2m 42,6 44,7 46,0	40 ,1 (dB)
3	Affaiblissement d'espace libre (Lfs) $92,45+20\text{Log}[f(\text{GHz}) \times d(\text{Km})]$	139,49 (dB)
4	Affaiblissement du à la pluie (lra) Zone K : 100mm/h Zone E : 70mm/h Zone C : 42mm/h Zone A : 22mm/h	38,75 (dB)
5	Gain d'antenne (Coté RX) (Grx)	40,1 (dB)
6	Calcul (Niveau de réception) (Rsl) Ptx+Gtx-Lfs-lra+Grx	-75,9 (dBm)

1	Niveau de seuil (TEB= 10^{-3}) (SN)	(dBm)
	15G 18G 23G 8M -90,5 -89,5 -88,5 34M -84,5-83,5 -82,5	-83,5
2	Marge de fading (MF) SN-RSL	-47,21 (dB)
3	Critère MF > 37 dBm	A Adaptabilité Concluent
4	RSL y compris affaiblissement du à la pluie (RSLra) RSL-Lra	-75,04 dBm

5	Critère RSLra > SN	B	Adaptabilité Concluent
----------	--	----------	---

Conclusion générale

*S'il n'y a pas de solution, ...
c'est qu'il n'y a pas de problème.
Quand on ne sait pas où l'on va, ...
il faut y aller ! et le plus vite possible !
Devises shadoks.*

Les faisceaux hertziens restent aujourd'hui le moyen le plus rapide et le moins onéreux pour installer un réseau de télécommunication. Ils sont utilisés dans les régions moins accessibles et les lieux accidentés. L'adaptabilité de ces réseaux se fait à l'aide de multiplexage SDH, qui permet le transport de débits très importants, et utilise les normes OSI, ce qui facilite cette adaptabilité aux différents réseaux.

L'étude de l'installation d'une liaison FHN reliant la région de Boudjima au réseau national était l'objet de notre travail. Cette liaison est caractérisée par un débit de 16×2 Mbits/s, choisi selon les besoins d'utilisations et la distance qui sépare les deux sites qui sont en visibilité directe. La liaison utilise deux bandes de fréquence, l'une pour l'émission et l'autre pour la réception, à la fréquence de 18 GHz. Le calcul du bilan de la liaison nous a permis de calculer un niveau de réception de -37 dbm qui maintient une marge d'atténuation (fading) $MF = -46$ dB. Cette marge permet de travailler avec suffisamment de performances, sous un temps pluvieux à une intensité qui peut atteindre 42 mm/h, et dans les conditions de propagation qui peuvent se présenter (interférences, contraintes dues aux obstacles ou les masques tels que : végétation, montagne, immeubles et divers obstacles lié à la propagation en espace libre).

Malgré leur simple réalisation et leur coût moindre, les faisceaux hertziens numériques SDH restent limités dans les débits transportés à 1,5 Gbit/s. Pour surpasser cette limitation, la fibre optique apporte des améliorations considérables en termes de débits et reste, à ce jour, le meilleur support de transmission moyennant un coût plus élevé.

Liste des figures

Figure I.1 : Structure du réseau locale

Figure I.2 : Structure simplifiée d'un tronçon du RTCP

Figure I.3 Architecture d'un réseau GSM

Figure I.4 : Le câble coaxial

Figure I.5 .La paire torsadée

Figure I.6. La fibre optique

Figure I.7. Transmission par satellite

Figure. I.8. La bande passante

Figure. I.9. Modélisation d'une ligne de transmission

Figure II.1. La structure de l'onde plane

Figure II.2. Polarisation rectiligne

Figure II.3. Polarisation circulaire

Figure II.4 : Spectre électromagnétique

Figure II.5 : Propagation des ondes électromagnétiques

Figure II. 6 : Couches atmosphériques

Figure II.7 .Portée d'une transmission troposphérique

Figure II.8 :L'ellipsoïde de Fresnel

Figure II.9 : Schéma principale d'une liaison hertziennes

Figure II .10. Géométrie d'une antenne parabolique

Figure II.12. Modulation de fréquence ou FSK

Figure II.13. Modulation de phase ou PSK

Figure II.14. Modulation d'amplitude ou ASK

Figure II.15. Modulation QAM

Figure II.16. Exemple de constellation QAM8 (3 bits par baud)

Figure II.17. Les étapes de la numérisation MIC.

Figure II.18. La loi européenne A

Figure II.19. Les étapes de la modulation MIC

Figure II.20 .Le Codage AMI

Figure II.21. le codage HDB3

Figure II.22. Structure d'une trame MIC

Figure III.1. Multiplexage et démultiplexage en PDH

Figure III.2. Structure de la trame STM-1

Figure. III.3. Les octets du pointeur

Figure .III.4. les octets du POH d'ordre supérieur

Figure. III.5. les octets du POH d'ordre inférieur

Figure. III.6. Les niveaux de multiplexage SDH

Figure. III.7. Structure du multiplexage synchrone

Figure III.8. Constitution de la tributary unit TU-12

Figure .III.9. Organisation matricielle d'une TU-12

Figure III.10. TUG-2 construite par multiplexage de 3 TU-12

Figure II.11. VC.3 construit à partir de 7 TUG-2

Figure III.12. L'unité administrative AU-3

Figure. III.13. AUG construit à partir de 3 AU-3

Figure III.14. groupe d'Unité Administrative AU-G

Figure. III.15. Le conteneur C4

Figure III.16. VC-4 construit à partir de 3 TUG-3

Figure III.17. La trame STM-n

Figure III.18. Distribution de l'horloge

Figure III.19. Infrastructure du réseau S.D.H.

Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Figure III.21. Multiplexeur Terminal Simplifié

Figure III.22. Les topologies de la hiérarchie SDH

Figure III.23.1. Le principe de la protection MSP : 1+1

Figure III. 24. Le principe de la protection MS- DPR.

Figure .IV.1. Carte géographique présente la situation (position) de la commune de Boudjima et Belloua

Figure .IV.3. Monogramme permettant le calcul de l'affaiblissement dû à la pluie.

Figure .IV.2. La précipitation de 4 zones différentes dû à la pluie

Liste des tableaux

Tableau I.1 : comparaison des supports de transmission.

Tableau II.1. L'utilisation de spectre électromagnétique.

Tableau II.2. Les combinaisons d'amplitudes et de phases.

Tableau III.1. Les réseaux de sections de multiplexage RSOH

Tableau III.2. Les réseaux de sections de multiplexage MSOH

Tableau. III.3. La correspondance affluent -conteneur

Tableau III.4. Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

Tableau .IV.1. Tableau de puissances P_{tx}

Tableau .IV.2. Gain d'antenne G_{tx} et G_{rx}

Tableau. IV.3. Le niveau de seuil

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électronique

Option : Communication

Thème

**Etude d'une liaison FHN point à point utilisant
Le multiplexage SDH du réseau Algérie télécom**

Fait par :

Mlle: OUELMOKHTAR FARIDA

Mlle : OUGACHE LILA

Promoteur:

Mr.: M. TAHANOUT

Proposé par :

Mr : K.IZRI

PROMOTION 2011



Remerciements

D'abord nous tenons à remercier le bon Dieu de nous avoir accordé la force et le courage de muni à terme ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour les gens de CA2 d'Algérie Télécom de Tizi-Ouzou qui nous ont aidés tout au long de notre travail.

Nos remerciements vont également :
A notre promoteur Mr : M.TAHANOUT
Au Co promoter Mr K .IZRI
A Mr. M. BERCHICHE
A Mr. H.K ANANE
A Mr. k. MOKRI

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







Je tiens à dédier ce travail à :

Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé, je vous dis merci du fond du cœur, je vous adore et que Dieu vous garde ;

 *Ma très chère Yemma khessoudja, que Dieu la protège ;*


 *Mes chères sœurs Kahina et Katia qui tiennent une grande place dans mon cœur ;*


 *Mes chers frères Rachid et Djamel que j'aime beaucoup ;*

 *Mes cousins et cousines et toute la famille Ougache ;*

 *Ma chère binôme Farida et sa famille ;*

 *Tous mes amis sans exception ;*

 *Toute la section 5^{ème} année ingénieur en particulier option communication ;*

 *Tous ceux qui m'ont aidé pour réussir ce travail ;*



dicaces



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

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chères mère et père pour toutes ses tendresses et pour ses nombreux sacrifices. Que Dieu les garde.

A toute la Famille Spécialement mes frères (Saïd et Hidouche), mes sœurs (Fatiha, Sadia et Thanina), mes oncles surtout Rabah, mes cousins surtout Siham, ma tante Fatiha et mes grandes mères Zazou et Fatma et ma belle mère Ouardia.

A mes très chères amies : Karima, Nouna et sa sœur Karima, Saida , Siham et ma binôme LILA.

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

Enfin je dédie ce modeste travaille à mon fiancé HAKIM.

Farida

Introduction Générale

*“ Il faut avoir déjà beaucoup
appris des choses pour savoir
demander ce qu 'on ne sait pas ”
Jean-Jacques Rousseau*

Le monde devient de plus en plus mobile. Autant par la multiplicité des supports qui accompagnent l'activité nomade des entités professionnelles à l'échelle planétaire, que par la diversité des applications qui permettent aux utilisateurs de rester connectés en tout lieu et tout le temps, de communiquer, de s'informer, d'échanger de la voix et des données, grâce à la capacité de plus en plus hallucinante de débits.

Les technologies de télécommunications, qualifiées il y a une quinzaine d'années, ne servent plus que de passerelles vers l'édification de réseaux de télécommunications encore plus puissants, multicanaux et multifonctions. Nous sommes aujourd'hui dans l'ère du multimédia.

Pendant de nombreuses décennies, ni les systèmes à fil de cuivre et à câbles coaxiaux, ni les systèmes à paire torsadée, ne permettaient de transmettre un débit supérieur à 100 Mbits/s en moyenne. Le système coaxial le plus évolué était capable de transmettre un débit de 274Mbits/s, mais à condition de prévoir l'installation des répéteurs tous les dizaines de kilomètres.

Une amélioration substantielle des performances a été réalisée avec l'utilisation des technologies optiques. En effet, grâce à la fibre optique la bande passante est nettement améliorée pour transmettre plus d'informations sur une porteuse optique. Toutefois, dans les régions à topologie difficile et les lieux accidentés, la fibre optique ne peut être utilisée sans un coût plus élevé, surtout lorsque le nombre d'utilisateurs n'est pas suffisant pour amortir les installations. C'est pourquoi on préfère utiliser les faisceaux hertziens large bande afin de couvrir ces zones.

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux directement entre deux points fixes. Il utilise des antennes très directives (antennes parabolique ou a antennes yagi) et travaille dans les bandes de fréquence de 250 MHz à 40 GHz. Les débits vont de 2 à 155 Mbits/s.

Dans le présent travail nous nous sommes consacrés à l'étude d'une liaison FH point à point avec le multiplexage SDH dans la région de Tizi-Ouzou. Pour mieux montrer notre travail, dans un premier temps, nous avons consacré le premier chapitre à présenter quelques

généralités sur différents réseaux de télécommunications et les supports de transmissions. Ensuite, le deuxième chapitre est dédié à l'étude des ondes électromagnétiques, les faisceaux hertziens et les antennes indispensables pour la transmission radioélectrique. Le troisième chapitre est basé sur l'étude de la hiérarchie SDH et son fondement théorique. Enfin, le dernier consiste à l'étude d'une liaison FHN point à point de la région de Tizi-Ouzou.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux de télécommunication

I.1.Introduction

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

I.2.Les réseaux de télécommunication

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

I.2.1.Le réseau de télécommunications fixe [1]

Les réseaux de télécommunications fixes sont historiquement basés sur des évolutions du réseau téléphonique commuté (RTC), réseau de téléphonie dans lequel un poste d'abonné est relié à un central téléphonique par une paire de fils de cuivre, généralement continue entre l'abonné et l'équipement desservant son quartier, également nommée « boucle locale ». Le RTC permet principalement des services de type voix. Il est constitué de deux principaux réseaux :

I.2.1.1.Le réseau local

Le réseau local ou réseau périphérique est constitué essentiellement des lignes d'abonnés

qui sont constituées de paire de cuivre de 0.4 à 0.6 mm de diamètre qui relie le poste téléphonique de l'abonné au Commutateur. Ce commutateur est appelé commutateur de rattachement ou commutateur d'abonné. il se situe dans un bâtiment appelé central ou centre téléphonique.

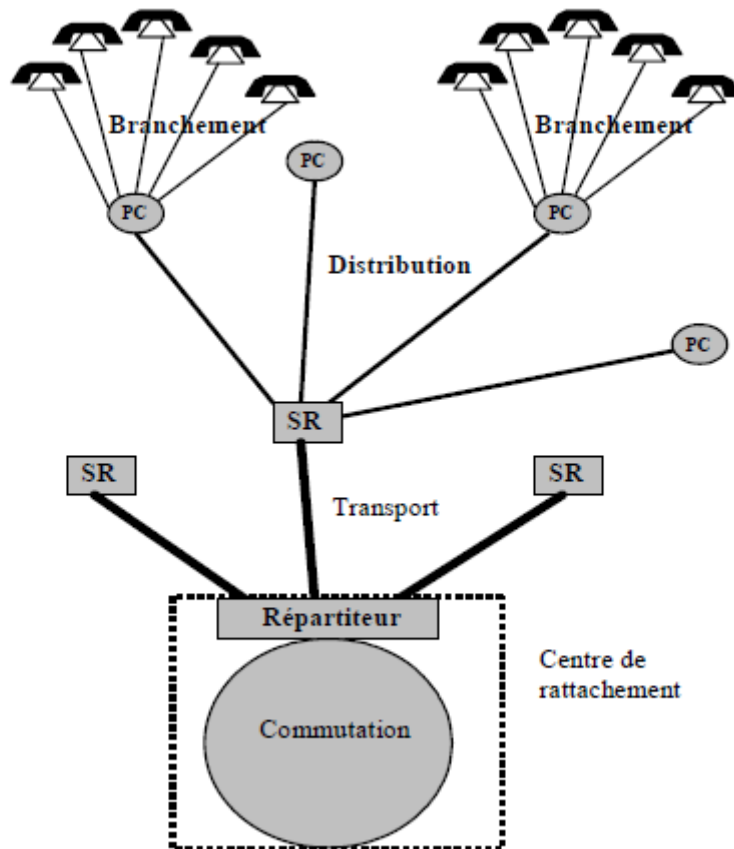


Figure I.1. Structure du réseau locale

Il est constitué de :

- Postes téléphoniques.
- Câbles de branchement : Ce sont des lignes bifilaires individuelles.
- Points de concentration PC : Le PC est un mini répartiteur de petite capacité placées sur des poteaux ou dans des endroits réservés. Les paires téléphoniques arrivent au PC sur des réglettes, des connexions amovibles les relie à d'autres réglettes sur lesquelles sont branchés les câbles de distribution.
- Câbles de distribution : Ces câbles peuvent être soit aériens, soit posé en plein terre, Ils relient les points de concentration aux sous-répartiteurs. Chaque câble contient un certain

nombre de paires de calibres normalisés. On trouve des câbles de 14, 28, 56, 112, 244, 448 paires de calibres 0.4 ou 0.6 mm.

- Les sous répartiteurs SR : Ce sont des "casiers" placés sur les trottoirs. Ils permettent de la même façon qu'un PC de regrouper les câbles de distribution vers les câbles de transport qui sont plus volumineux. Un SR peut connecter jusqu'à 1500 paires.
- Les câbles de transport : Ils sont similaires aux câbles de distribution avec des capacités plus élevées de 112 à 2688 paires. Ces câbles sont posés dans des conduites souterraines.
- Le répartiteur général : Il constitue le point d'accès des lignes à l'autocommutateur. Les lignes sont amenées sur des barrettes verticales dites têtes de câbles verticaux ou "les verticales". Les points d'arrivées des lignes sur l'autocommutateur sont raccordés sur des réglottes horizontales.

I.2.1.2.Le réseau dorsal

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

I.2.1.2.1.Commutation

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

- Les centres d'abonnés : ils permettent le rattachement des abonnés. Ils sont différenciés en deux types:
 - Les centres à autonomie d'acheminement CAA : qui sont capables d'analyser les numéros qu'ils reçoivent et les traduire en un itinéraire parmi ceux possibles pour acheminer la communication vers l'abonné demandé.
 - Les centres locaux CL : Ils sont seulement capables d'analyser les numéros des abonnés qu'ils desservent. Ils n'ont aucune intelligence et leur rôle se limite à la concentration. On les appelle aussi centres auxiliaires.

- Les centres de transit : Ils permettent de connecter les commutateurs qui n'ont pas de liaisons entre eux, ils sont aussi différenciés en deux types, les centres de transit secondaires et les centres de transit principaux.

Les centres de transit permettant de connecter les réseaux de deux pays sont appelés centres de transit internationaux.

I.2.1.2.2.Transmission

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

➤ **Hiérarchie du RTC**

Le réseau téléphonique est organisé en trois zones :

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

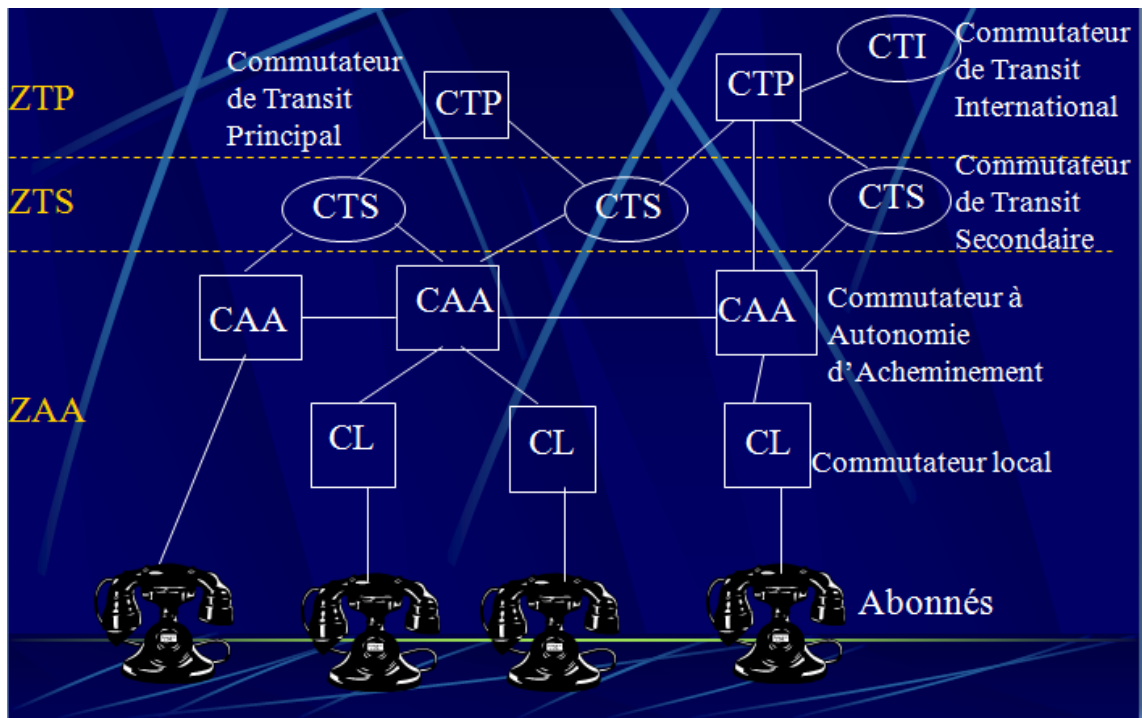


Figure I.2. Structure simplifiée d'un tronçon du RTCP [3]

I.2.2. le réseau GSM

I.2.2.1 Définition

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

I.2.2.2. Architecture d'un réseau GSM [2]

L'architecture d'un réseau GSM est spécifiée dans la norme de l'ETSI (Européen Télécommunication Standards Institute). Plusieurs entités sont définies dans la norme. Ce qu'on entend par entité, est l'équipement physique doté d'une certaine intelligence et d'une capacité à traiter l'information. On peut diviser le réseau en trois parties principales :

- 4) Le sous-système radio(BSS) Base Station Sub-System.
- 5) Le sous-système réseau(NSS) Network Sub-System.
- 6) Le sous-système d'exploitation et de maintenance(OSS) Operation Support Sub-system.

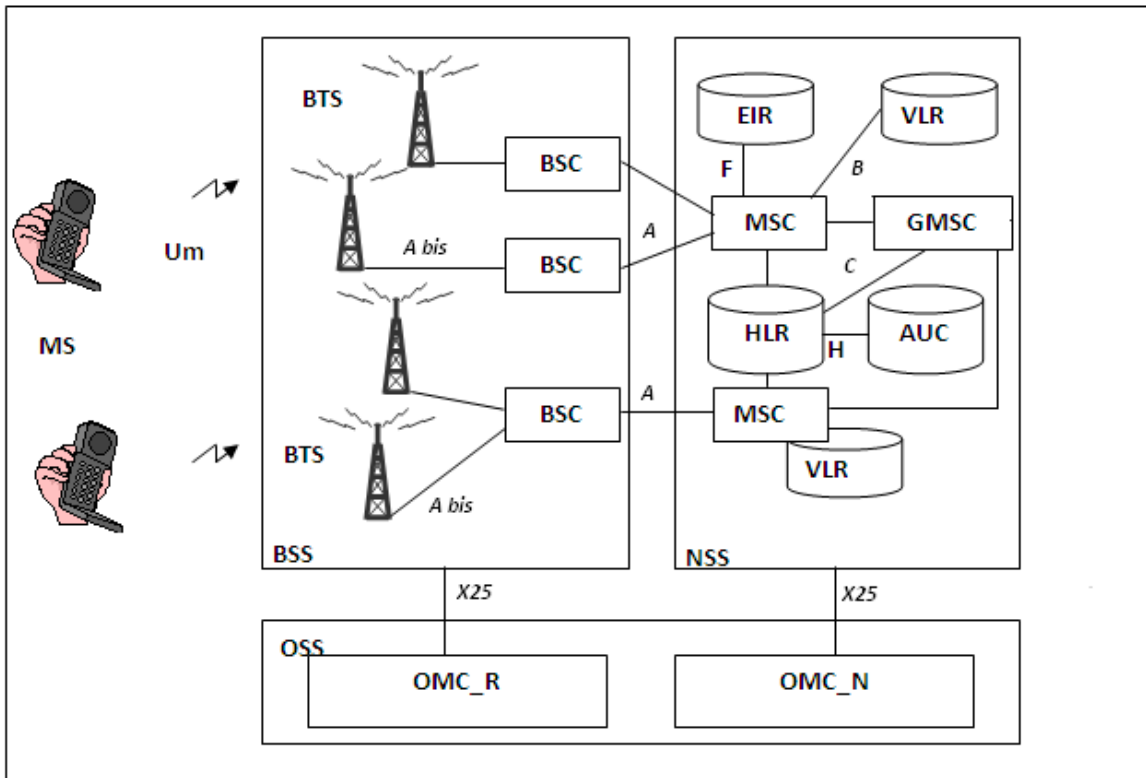


Figure I.3 Architecture d'un réseau GSM [4]

I.2.2.2.1. Le sous-système radio BSS (Base Station Sub-system)

C'est l'ensemble des constituants du réseau qui gère l'échange et la transmission des données par voie hertzienne. Le sous-système radio est principalement constitué de trois éléments :

➤ **La station de base BTS (Base Transceiver Station)**

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

➤ **Le contrôleur de stations de base BSC (Base Station Controller)**

Il contrôle un ensemble de BTS et permet une concentration des circuits de parole et de données vers le sous-système réseau(NSS).C'est véritablement l'organe intelligent du BSS. Il prend les décisions résultantes des mesures effectuées par la BTS. Concrètement, il commande l'allocation des canaux, gère le Handover, contrôle les puissances des mobiles et des BTS. Les BTS communiquent entre elles par l'intermédiaire de l'interface A bis.

➤ **Le transcodeur TRC (TransCoder)**

Le TRC a pour but principal le transcodage (codage et décodage) de la parole et l'adaptation du débit pour les transmissions de données utilisées dans le réseau fixe spécifié par la norme GSM. Le transcodage de la parole est réalisé entre 64 Kbit/s arrivant du MSC et 16 Kbit/s transmis vers le BSC 13 Kbit/s de téléphonie et 3 Kbit/s de signalisation de la bande. L'unité responsable du transcodage est le TRAU dans le BSC/TRC ou seulement le TRC.

I. 2.2.2.2.Le sous-système réseau NSS (Network Sub- System)

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires pour gérer la mobilité des abonnés en utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : (chiffrement, authentification ou roaming). Le NSS est constitué de six blocs suivants :

➤ **Commutateur de service mobile MSC (mobile switching center)**

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

➤ **Commutateur d'entrée de service mobile GMSC (Gateway MSC)**

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

➤ **Registre des abonnés locaux HLR (Home Location Register)**

Il gère toutes les informations concernant les abonnés au réseau (numéro de l'utilisateur, numéro réseau d'un abonné, profil de l'abonnement,...) cette base de données gère également

la position courante de l'abonné puisqu'elle enregistre le numéro de la zone de localisation où il se trouve. Il y a une HLR par opérateur.

➤ **Registre des abonnés visiteurs VLR (visitor location register)**

Le VLR est une base de données associée à un commutateur MSC. Sa mission est d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le ruisseau. Cette gestion est importante car on doit connaître dans quelle cellule se trouve un abonné pour l'acheminement de l'appel. La spécificité des abonnés GSM étant la mobilité, il faut en permanence localiser tous les abonnés présents dans le réseau et suivre leurs déplacements.

➤ **centre d'authentification AUC (AU thentification Center)**

Lorsqu'un abonné reconnecte au réseau, AUC permet une grande sécurité pour les abonnés et l'opérateur. Pour chaque abonné, il mémorise une clé Ki secrète qui authentifie les demandes de services et qui sert pour le chiffrement des communications .En général, l'AU est associe à chaque HLR.

➤ **Registre d'identification d'équipement EIR (Equipment Identity Register)**

Chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI. Le registre EIR contient la liste de tous les terminaux valides. Une consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui a été déclaré perdu ou volé.

I.2.2.2.3. Sous-système opération OSS (Operation and Support System)

Les éléments constituant les deux sous réseaux précédents sont reliés à distance, via X25, au centre d'exploitation et de maintenance.

Dans un réseau GSM l'OSS comporte un OMC-R (centre d'exploitation et de maintenance radio) et un OMC-N (centre d'exploitation et de maintenance réseau).

I.2.2.2.4. La station mobile MS (mobile station)

La station mobile est un équipement portable ou installé à bord d'un véhicule. Dans le système GSM, une petite unité appelée « module d'identification d'abonné » (SIM : Subscriber Identity Module), sous forme d'une carte à puce. L'ensemble SIM et l'équipement constituent la station mobile qui permet à l'utilisateur d'accéder au réseau à travers une interface dite interface Um. La carte SIM est indépendante de type de l'équipement utilisé.

- Interfaces UM : appelée aussi Air ou radio, entre BTS et MS s'appuie sur le protocole LAPDm (link acces protocol on the D mobile channel).Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Le téléphone portable et le sous système radio communiquent par l'intermédiaire de l'interface UM, qui est une liaison radio. Sur cette interface la voix est codée sur 13Kbit/s.
- Interface A bis : Cette interface relie la station de base BTS à son contrôleur, s'appuie sur le protocole LAPD. Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Sur l'interfaces A-bis la transmission est numérique sur des voies à 64Kbit /s et la couche physique est définie par une liaison MIC à 2 Mbit/s.
- **Interface A : Elle relie entre BSC et MSC, s'appuie sur le protocole sémaphore N-7du CCITT (SS7, système de signalisation). Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Le sous système radio et le sous système réseau, communiquent par l'intermédiaire de l'interfaces A.**
- **Les interfaces B : Elle relie entre MSC et VLR, C entre GMSC et HLR, D entre VLR et HLR, E entre MSC et MSC, F entre MSC et EIR, G entre VLR et VLR, et H entre HLR et AUC. Ces interfaces sont utilisées en particulier pour le transport des données relatives à l'application des mobiles.**
- **Les interfaces REM : entre OMC-R et BSS ou entre OMC-S et NSS, Elles utilisent un réseau de transmission de données de type X25.**
- **Les interfaces passerelles : entre le MSC et les réseaux publics s'appuient sur le protocole sémaphore N° 7 du CCITT (UIT-T). Elles sont utilisées pour le transport du trafic et des données de signalisation.**

I.3.Les supports de transmissions

I.3.1. Liaisons filaires

I.3.1. 1. Câble coaxiale

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques sur un même axe (le cœur, fil de cuivre), séparés par un isolant de qualité (Téflon, polythène, polypropylène, air), le tout étant protégé par une gaine plastique en cuivre, l'impédance sera faible et aux fréquences élevées il se comporte comme un guide d'onde.

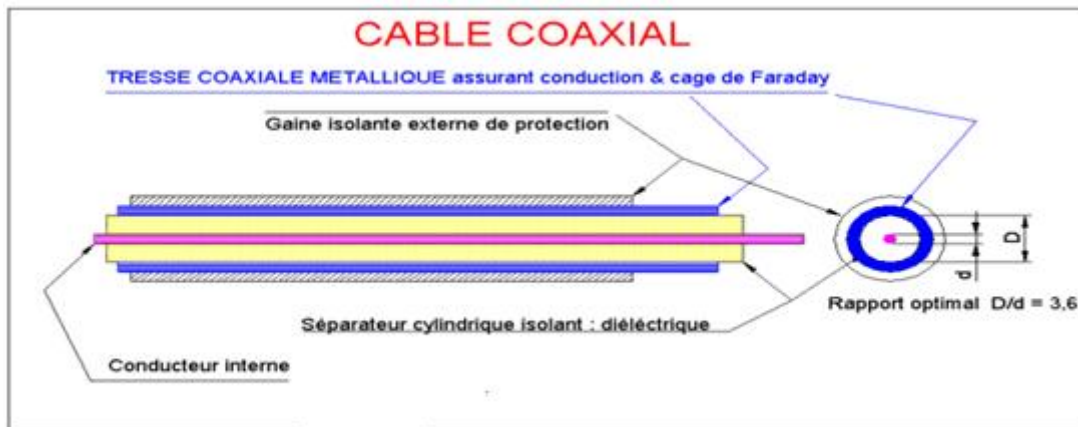
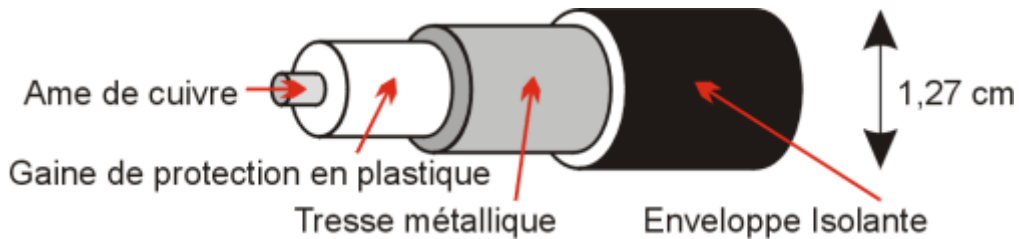


Figure I.4. Le câble coaxial [5]

- Les avantages et les inconvénients

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

I.3.1. 2. Paire torsadée

La paire torsadée est composée de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe longitudinal.

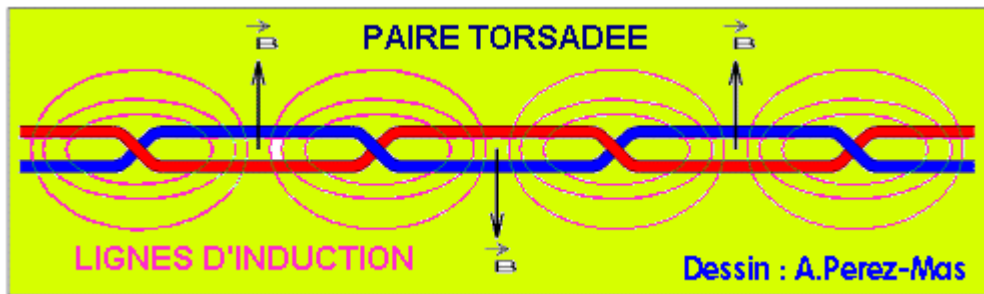


Figure. I.5.paire torsadée

- Les avantages et les inconvénients

-Un circuit de type pair téléphonique largement implantée dans les bâtiments.

-Elle est sensible aux perturbations.

-Une forte atténuation.

-Une vitesse de transmission relativement faible.

-Limitation de la distance maximum entre deux stations ou entre deux appareils d'interconnexion.

I.3.2. liaisons optiques

La fibre optique est un guide diélectrique permettant de conduire la lumière sur une grande distance. Elle est constituée des éléments suivants :

- Le cœur : est un conducteur central (âme) de fibre qui permet la propagation de l'onde optique.
- La gaine : Représente une couche entourant le cœur de la fibre avec un indice de réfraction légèrement inférieur à celui de cœur; ce qui permet par conséquent, la réflexion totale des modes à l'interface cœur gaine.

- Le revêtement : C'est une couche directe appliquée sur le verre de gaine, Il est important que cette couche soit détachable afin de permettre d'effectuer des injections ou des découpages de la lumière, son indice de réfraction est supérieur à celui de la gaine.

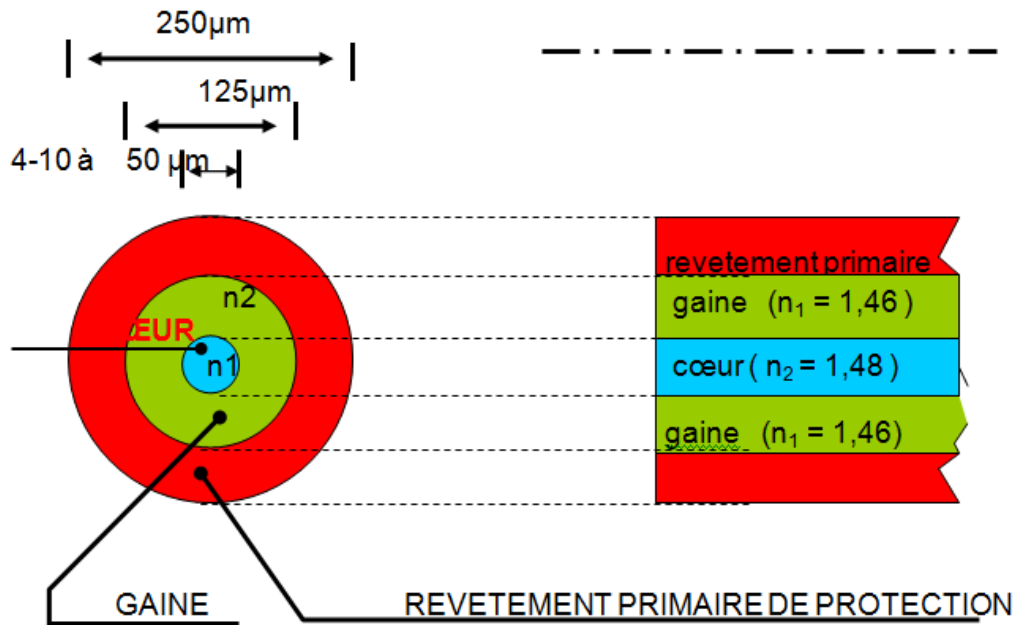


Figure I.5. La fibre optique [5]

- Les avantages et les inconvénients :
 - Il est complètement insensible aux perturbations de type électromagnétique et à la diaphonie.
 - Il réalise l'isolation électrique totale entre les deux extrémités.
 - Il crée peu d'affaiblissement.
 - Il est un support léger et peu encombrant.
 - Le coût de la fibre est moyen, mais le coût des interfaces optoélectroniques reste encore élevé.
 - La mise en œuvre est encore délicate pour les dérivations.

I.3.3. Faisceaux hertziens

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux (aujourd'hui principalement numériques) entre deux points fixes. Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1 GHz à 40 GHz (domaine des micro-ondes), très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

- Les avantages et les inconvénients
- Il propose des débits élevés : 140 Mbit/s.
- Il permet d'atteindre des lieux difficiles d'accès.
- Il réalise une émission d'une station à une autre très directive.
- Les stations doivent être en visibilité directe.
- La portée entre deux stations limitée à 50 km environ.

I.3.4. liaisons satellite

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

Un satellite de télécommunication comporte deux parties :

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

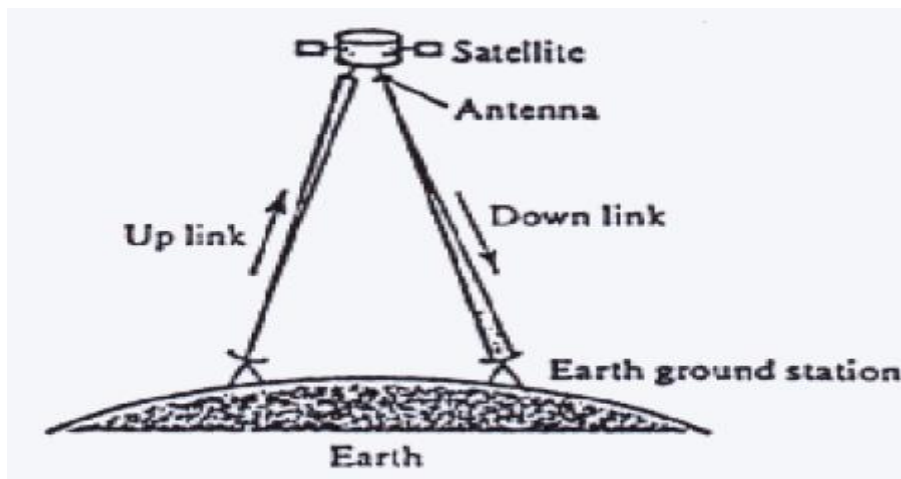


Figure I.6. Transmission par satellite [5]

- Les avantages et les inconvénients
- Débits jusqu'à 2 Mbit/s.
- Diffusion des résultats vers plusieurs points en même temps.
- Offre multiservices : voix, données, image, audio et visioconférence, TV.

-Coût de réalisation élevé.

-Temps de transmission plus long.

- Comparaison des différents supports de transmission :

Support	Paires torsadées	Câble coaxial	Ondes radio	Fibres optiques
<i>Propagation</i>	Guidée	Guide	Libre/dirigée	Guidée
Propriété du matériau	Cuivre	Cuivre		Silice, polymères
Bande passante	KHZ-MHZ	MHZ	GHZ	THZ
Atténuation	Forte	Forte (fonction de la fréquence)	variable	Très faible
Sensibilité aux perturbations électromagnétique	Forte	Faible	Forte	Nulle
Confidentialité	Limitée	Correcte	Nulle	Elevée
Coût du support	Très faible	Faible	Nul	Elevé
Applications	- téléphone - Réseaux bas et moyens débits -réseaux haut débit courtes distances	- Réseaux téléphoniques hauts débits, - Réseaux locaux haut débits - vidéo	- hertzien - satellite - mobile	- haut débit longues distances

Tableau I.1. comparaison des supports de transmission.[5]

I.4.Caractéristiques des supports de transmission

I.4.1. La bande passante

La bande passante B d'une voie est la plage de fréquences sur laquelle la voie est capable de transmettre des signaux sans que leur affaiblissement soit trop important. Elle s'exprime en Hertz.

-La courbe d'affaiblissement donne la valeur du rapport d'affaiblissement des signaux en fonction de la fréquence.

-Le rapport d'affaiblissement : est le rapport entre l'amplitude du signal reçu et la puissance du signal émis. C'est nul pour les fréquences hors de la bande passante, et constante pour les fréquences dans la bande passante.

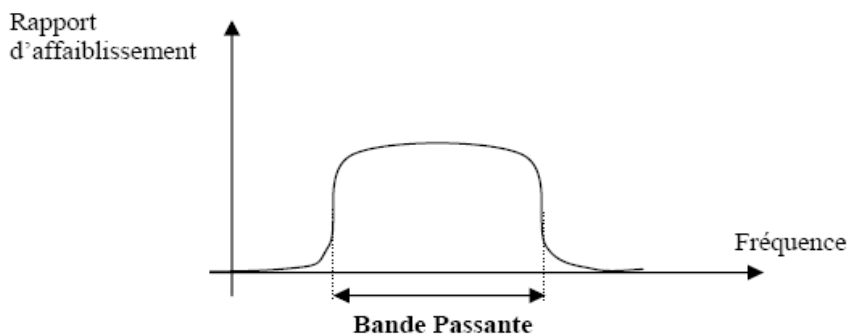


Figure. I.7. La bande passante

I.4.2. Capacité

La capacité d'une voie est la quantité maximale d'information qu'elle peut transporter par seconde.

- **L'unité d'information étant le bit,**
- **la capacité s'exprime en bit/s.**

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \quad (I.1)$$

C : C'est la capacité d'une ligne de transmission.

S/N : C'est le rapport signal/bruit en puissance du signal.

B : C'est la largeur de bande(Hz).

I.4.3. Temps de propagation et temps de transmission

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

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

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

I.4.4. Les bruits

La communication peut être perturbée par des signaux parasites suivants :

- Bruit blanc : il est dû à l'agitation thermique dans les composants du système.
- Bruit impulsif : il est dû principalement aux organes électromécaniques de commutation.
- Bruit diaphonique : engendré par d'autres voies, ou échos.

I.4.5. Modélisation d'une ligne de transmission [6]

Un tronçon de longueur « dx » peut être représenté par le circuit électrique suivant :

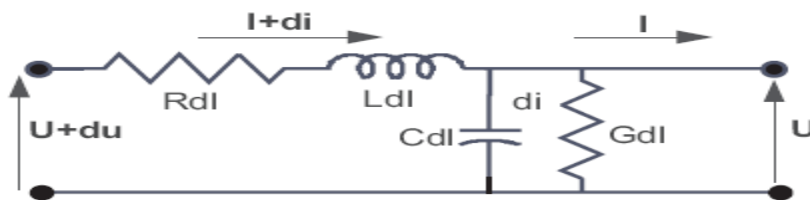


Figure. I.8. Modélisation d'une ligne de transmission

Les éléments R, C, L et G sont appelés paramètres de la ligne :

En série, une résistance R et une inductance, L pour représenter successivement les pertes d'énergie active et réactive dans les conducteurs de la ligne.

En parallèle, une conductance G et une capacité C pour représenter les pertes d'énergie active et réactive dans le diélectrique de la ligne.

- L'impédance caractéristique

$$Z_c = \sqrt{\frac{R+jL\omega}{R+jC\omega}} \quad (I.2)$$

Avec : $\omega = 2\pi f$

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

f : la fréquence du signal en Hz,

Lorsqu'on est dans la condition de non distorsion($L\omega R$), l'impédance caractéristique est réelle et constante :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

(I.3)

- L'atténuation

L'atténuation d'un signal est calculée en décibel par :

$$N_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{Power_{out}}{power_{in}} \right)$$

Chapitre II

Les faisceaux hertziens numériques

II.1. Généralités

Les systèmes radio sont des supports de transmission qui utilisent la propagation des ondes radio électriques pour véhiculer les informations d'un point à un autre, on les appelle généralement faisceaux hertziens. Donc un faisceau hertzien est un système de transmission numérique ou analogique, entre deux points fixes de l'espace par ondes électromagnétiques, avec des fréquences porteuses de 250 MHz à 40 GHz (domaine des micro-ondes), très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

Pour la communication terrestre on utilise une gamme de fréquence allant de 1,5 à 30 GHz, ou bien à des fréquences 400 MHz à 1000 GHz dont l'affaiblissement croît comme le carré de la distance (moins rapidement que sur un câble où l'affaiblissement est exponentielle). Leur propagation est limitée à l'horizon des distances (liaison point à point) entre station en visibilité.

Du fait de l'absence de tout support physique entre les stations, les faisceaux hertziens peuvent surmonter plus facilement des difficultés des parcours et franchir des obstacles naturels tels que : étendues d'eau, terrains montagneux, terrains fortement brisés etc. Par rapport aux systèmes par câbles coaxiaux qui transmettent directement la bande de fréquence résultant du multiplexage, les FH nécessitent une modulation supplémentaire pour faire porter cette bande de base par les ondes radioélectriques hyperfréquences.

Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est souvent découpé en plusieurs tronçons, appelés bonds, reliés par des stations relais qui reçoivent, amplifient et réémettent le signal modulé vers les stations suivantes.

Dans le cas d'un réseau composé de plusieurs bonds ou liaisons proches géographiquement, des problèmes d'interférences peuvent apparaître, affectant la qualité des transmissions. Les bandes de fréquences sont réglementées par des organismes officiels nationaux et internationaux et le signal à transmettre est transposé en fréquence par modulation.

L'opération de modulation transforme le signal à l'origine en bande de base, en signal modulé dit à « bande étroite » dont le spectre se situe à l'intérieur de la bande passante du canal. Les modulations analogique (AM et FM) sont désormais remplacées par des normes numériques utilisées comme suit à :

4 ou 16 états (QPSK, 4 QAM, 16 QAM...) pour les signaux PDH ;

64 ou 128 états (64 QAM, 128 QAM ...) pour les signaux SDH ;

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

II.2. Les équations de Maxwell dans le vide

Les équations de bases de l'électromagnétisme dans le vide sont les quatre équations de Maxwell auxquelles s'ajoute la force de Lorentz qui s'exerce sur une charge électrique.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

(II.1)

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

(II.2)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} =$$

ρ

(II.3)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

(II.4)

Ces équations doivent être complétées par les relations dites du milieu :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

(II.5)

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

(II.6)

\vec{E} : Champ électrique (V/m)

\vec{H} : Champ magnétique (A/m)

\vec{B} : Induction magnétique(Tesla)

\vec{D} : Induction électrique(C/m²)

\vec{j} : Densité de courant de conduction (A/m²)

ρ : Densité volumique de charge(C/m³)

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$: Densité du courant du déplacement (Henry/m)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$: Perméabilité magnétique du vide

$\epsilon_0 = 8,854187817 \dots \dots 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$: Perméabilité électrique du vide

En l'absence de charge électrique, de courant électrique et en régime harmonique, ces équations prennent la forme suivante ($\rho = 0$ et $J=0$).

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -j\omega\mu_0\vec{H} \quad (II.7)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = j\omega\epsilon_0\vec{E} \quad (II.8)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 0 \quad (II.9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (II.10)$$

II.2.1 Les équations de propagation de champ électrique et magnétique (équation d'Helmholtz)

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}) \\ &= -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \\ &= -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ &= -\mu_0 \epsilon_0 \omega^2 \vec{E} \end{aligned}$$

Comme de l'analyse vectorielle on a ;

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla})\vec{E} \quad \text{on a donc} \quad -\nabla^2 \vec{E} = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 \vec{E} \quad \text{car} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\Delta \vec{E} + \omega^2 \epsilon \mu \vec{E} = 0 \quad \text{on prend } k_0^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0$$

$$\Delta \vec{E} + k_0^2 \vec{E} = 0 \quad (\text{II.11})$$

$$\Delta \vec{H} + k_0^2 \vec{H} = 0 \quad (\text{II.12})$$

Le Laplacien s'écrit en coordonnées cartésiennes : $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

$$\nabla^2 E = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2} = \omega^2 \epsilon \mu E_i \quad \text{et} \quad i=x,y,z \quad (\text{II.13})$$

II.2.2. L'onde plane

Une onde est dite plane lorsque les champs dépendent que d'une seule variable d'espace (z) et de temps. Dans la direction transverse, ils ont la même valeur en tout point du Plan xoy, appelé plan d'onde.

II.2.3 La structure de l'onde plane

Les champs électriques et magnétiques sont perpendiculaires entre eux et à la direction de propagation. Ils sont en phase et constants dans tout plan perpendiculaire à la direction de propagation.

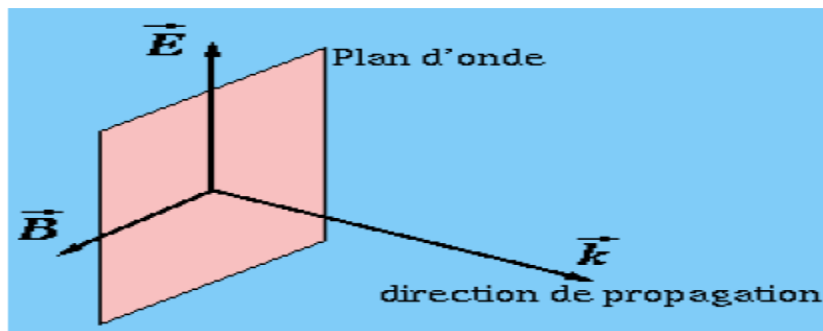


Figure II.1. La structure de l'onde plane

II.2.3.1 Expression des champs

Alors : $\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} = 0$

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_x \quad \leftrightarrow \quad \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_x = 0$$

(II.14)

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_y \quad \leftrightarrow \quad \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_y = 0$$

(II.15)

II.2.3.2 vitesse de propagation

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

C : est une vitesse de propagation de l'onde électromagnétique dans le vide (célérité de la lumière dans le vide), elle vaut environ $c = 3.10^8$ m/s.

- **La fréquence f :** $f = \frac{\omega}{2\pi}$
- **La longueur d'onde λ :** $\lambda = \frac{c}{f}$
- **Le Vecteur d'onde k :** $k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$
- **L'impédance caractéristique du vide :** $Z_0 = \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377 \Omega$
- **Indice de réfraction :** $n = \frac{c}{v} \leftrightarrow n^2 = \frac{\epsilon \mu}{\mu_0 \epsilon_0}$

Dans le vide $n=1$

Dans un diélectrique : $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ et $\mu = \mu_0 \mu_r$, on obtient $n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$ $n = \sqrt{\epsilon_r}$ pour les matériaux non magnétique $\mu_r = 1$

II.2.3.3 Le vecteur de Poynting

La puissance qui traverse l'unité de surface du plan d'onde est donnée par le flux de la valeur Moyenne du vecteur de Poynting :

$$\langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*]$$

(II.16)

\vec{H}^* : est un conjugué de \vec{H}

Le vecteur de Poynting le long \vec{z} :
$$\langle P_z \rangle = -\frac{1}{2} \text{Re} [E_y \times H_x^*] = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\mu_0}} E_0^2 = \frac{E_0^2}{2z}$$

(II.17)

II.2.4 Polarisation des ondes planes

II.2.4.1 Polarisation rectiligne

La polarisation fait référence à l'orientation du vecteur \vec{E} . Par convention, Lorsque le champ électrique reste le long d'une droite, l'onde est à polarisation rectiligne.

Dans les systèmes de transmission utilisant une antenne, on parle de « polarisation horizontale » ou de « polarisation verticale », selon que le champ électrique est parallèle ou perpendiculaire à la surface de la terre. Une polarisation rectiligne quelconque résulte de deux ondes qui se propagent en phase.

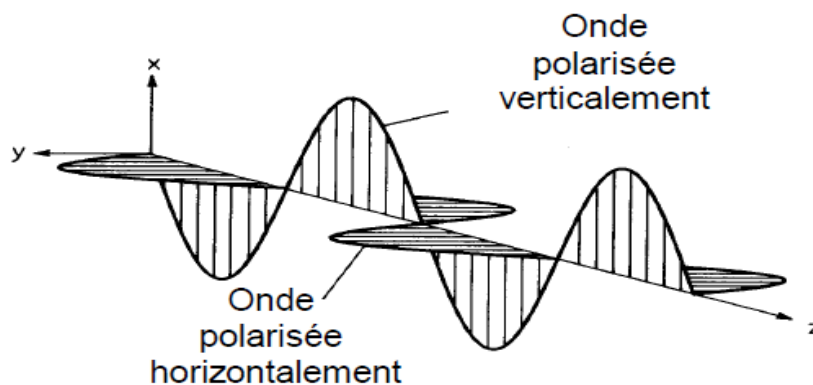


Figure II.2 : Polarisation rectiligne

II.2.4.2 Polarisation circulaire

La polarisation est circulaire lorsque l'extrémité du vecteur résultant \vec{E} décrit un cercle au cours du temps dans le plan transverse xOy. On obtient une polarisation circulaire lorsque les deux composantes d'égale amplitude, sont déphasées d'un quart de période. Le champ \vec{E} peut s'écrire en fonction des composantes E_x et E_y , déphasées d'un angle θ :

$$\vec{E} = E_1 \sin(\omega t - \beta z) \vec{x} + E_2 \sin(\omega t - \beta z + \theta) \vec{y}$$

Pour $\theta = \mp \frac{\pi}{2}$ et $E_1 = E_2$

$$E_x \vec{x} + E_y \vec{y} = E_1 [\sin(\omega t - \beta z) \vec{x} \mp \cos(\omega t - \beta z) \vec{y}]$$

Prenons la somme des carrés des composantes :

$$E_x^2 + E_y^2 = E_1^2 [\sin^2(\omega t - \beta z) + \cos^2(\omega t - \beta z)] = E_1^2 \quad (\text{II.18})$$

C'est l'équation d'un cercle de rayon E_1 dans le plan xOy .

Polarisation droite : pour $\theta = +\frac{\pi}{2}$, E_y est en avance sur E_x

Polarisation gauche : pour $\theta = -\frac{\pi}{2}$, l'observateur verra \vec{E} tourner dans le sens trigonométrique.

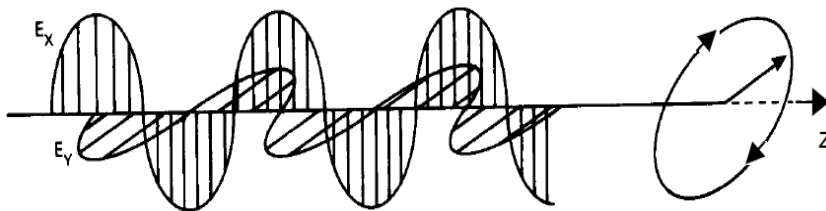


Figure II.3. Polarisation circulaire

II.2.4.3. Polarisation elliptique :

Lorsque $E_1 \neq E_2$ et la différence de phase θ est quelconque, on a la polarisation elliptique.

II.3 .La gestion du spectre électromagnétique

Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde. Le spectre électromagnétique s'étend des très basses fréquences jusqu'aux rayons γ .

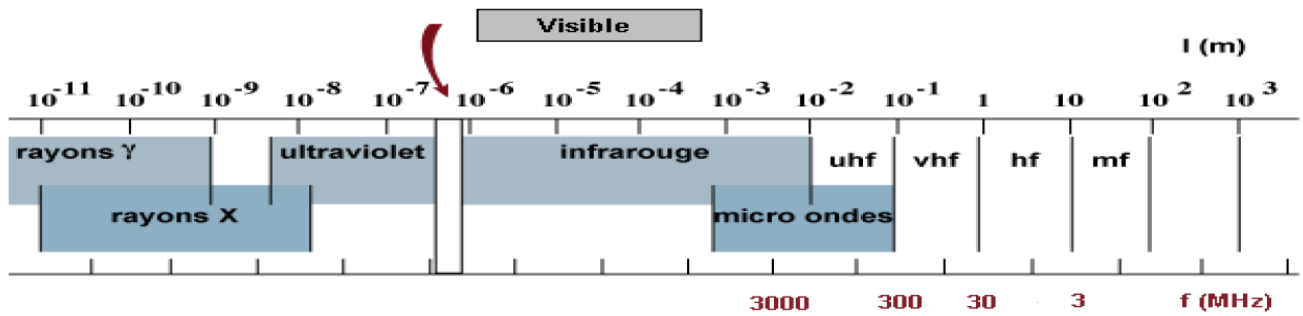


Figure II.4 : Spectre électromagnétique

Le tableau ci-dessous représente l'utilisation du spectre électromagnétique

Fréquence	Longueur d'onde	Applications
10 KHz	30 Km	Très basse fréquences (communications sous marins)
100 KHz	3 Km	Radio diffusion longue
1 Mhz	300 m	Radio AM
10 Mhz	30 m	Ondes radios courtes(ionosphère)
100 Mhz	3 m	Radio fm
150 Mhz	2 m	Radio mobile
300 Mhz	1m	UHF(radio diffusion tv, liaisons points a points)
3-60 Ghz	10 Cm- 0 ,5 mm	Ondes radios
230 Thz	1300 Nm	Fibres optiques

Tableau II.5.L'utilisation de spectre électromagnétique.

II.3.1 .Propagation des ondes électromagnétiques planes dans l'environnement terrestre

Lorsqu'on effectue sur la terre une transmission entre un émetteur et un récepteur, le récepteur reçoit une onde directe émise par l'émetteur mais aussi une onde réfléchi. La réflexion peut se faire sur la terre, sur la mer, mais parfois aussi sur les hautes couches de l'atmosphère.

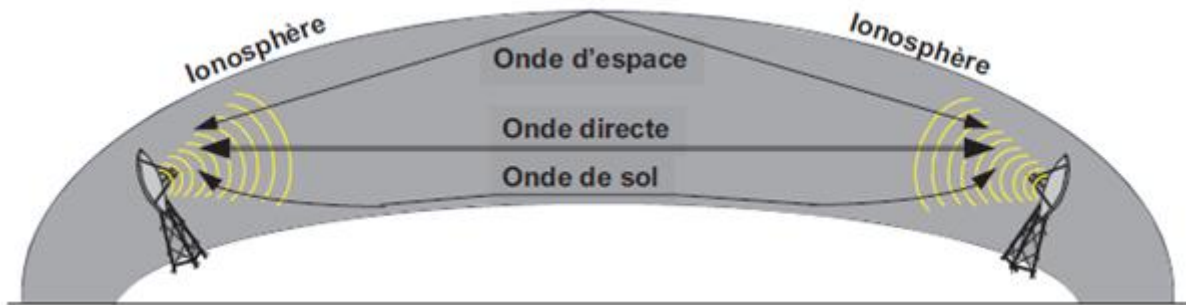


Figure II.5 : Propagation des ondes électromagnétiques

II.3.2. l'atmosphère terrestre

La Propagation longue distance des ondes radio dépend d'une couche invisible de particules chargées, qui enveloppe la Terre. Cette couche de particules chargées connu sous le nom de l'ionosphère.

L'atmosphère terrestre est essentiellement constituée d'un mélange gazeux, l'air. Ce mélange comprend surtout de l'azote et de l'oxygène. Pour le reste, soit 1 %, on y trouve de l'argon, du dioxyde de carbone et des traces infimes de néon, krypton, hélium, ozone, hydrogène, xénon ainsi que les différents rejets de la biosphère.

Cette composition est quasiment constante jusqu'à 85 km d'altitude, sauf pour l'ozone qui est surtout présent entre 30 et 40 km d'altitude et qui est responsable de la remontée en température dans la stratosphère où il absorbe le rayonnement solaire. Elle est divisée en quatre zones :

➤ La troposphère

Est la couche la plus proche de la surface de la Terre. Sa température diminue de 6,5 °C par km d'altitude. Son épaisseur moyenne est de 13 km. C'est dans la troposphère que les phénomènes météorologiques tels que les précipitations, les tornades et les éclairs se déroulent. C'est également là que s'accumulent les gaz polluants issus des activités humaines.

➤ **La stratosphère**

La stratosphère est une couche qui monte jusqu'à une altitude de 50 km, où la température est proche de celle de la surface terrestre. La température augmente progressivement dans la stratosphère car la couche d'ozone absorbe le rayonnement solaire. Le célèbre trou de la couche d'ozone se situe également dans cette couche.

➤ **L'exosphère**

Est la couche ultime de l'atmosphère. La première barrière s'étend de 500 à 3500 km alors que la deuxième barrière s'étend de 12000 à 50000km, elles sont constituées principalement d'électrons et de protons venant du soleil et piégés par le champ magnétique terrestre. On connaît mal les propriétés de cette couche. Elle joue peu de rôle dans la propagation des ondes.

➤ **L'ionosphère**

C'est la partie de l'atmosphère ionisée par les radiations solaires, s'étire de 50 à 1 000 km et chevauche à la fois la thermosphère et l'exosphère. Elle joue un rôle important dans l'électricité atmosphérique et forme le bord intérieur de la magnétosphère. Ces particules chargées négativement (électrons) et positivement (ions) ont tendance à se regrouper en couches ionisées qui vont jouer un rôle très important dans la propagation des ondes, principalement des ondes HF.

On distingue généralement trois couches aux propriétés propres vis-à-vis de la propagation des ondes.

- la couche D : c'est la plus proche de la surface de la terre ; elle est située dans une partie relativement dense de l'atmosphère entre 50 et 90 Km. Elle est moins ionisée que les autres couches pendant la journée et elle disparaît pendant la nuit. Les ondes de basse fréquence (30 à 300 kHz) sont donc réfléchies par la couche.
- La couche E : elle est de 25km d'épaisseur, située à environ 100km, Elle permet des propagations à grande distance avec plusieurs réflexions successives.

Elle existe le jour et disparaît en partie la nuit ce qui réduit la gamme de fréquence réfléchies mais les ondes longues et moyennes passent toujours tandis que les ondes courtes trop courtes (fréquences élevées) vont tout droit et se perdent.

- **la couche F:** Cette couche est située au dessus de la couche E ; Pendant le jour, il y a deux couches F1 et F2 :

- Sous-couche F1 hauteur 200 km

- Sous-couche F2 hauteur 300 km

- Ces couches étant directement exposées au rayonnement du soleil ; sont les plus ionisées et ce sont celles qui permettent la réflexion des fréquences les plus élevées.

- Elle est bien ionisée pendant le jour et moins la nuit.

Les couches F1 et F2 fusionnent en une couche F la nuit.

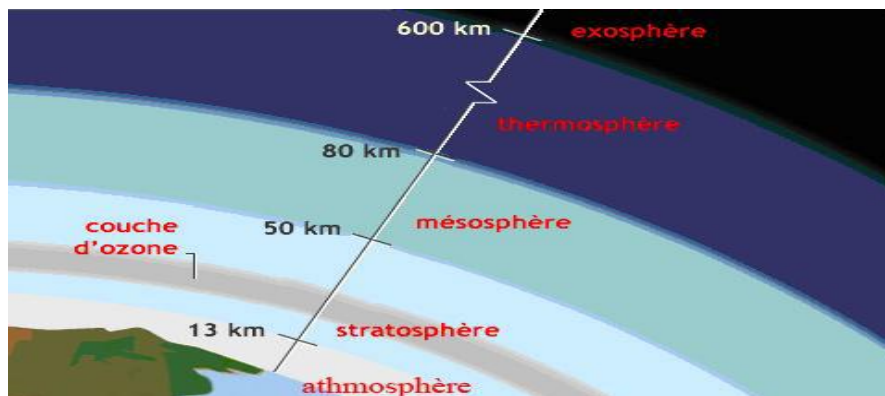


Figure II. 6 : Couches atmosphériques

II.3.3 Les types de propagation

Entre une antenne d'émission et une antenne de réception, situées au voisinage de la terre, une onde électromagnétique peut suivre quatre chemins différents.

II.3.3.1 Propagation Troposphérique

Les ondes radio se propagent en ligne droite dans le vide ; ceci est également vrai dans l'air si la densité de l'air est homogène. Cependant comme la densité de l'air diminue avec l'altitude, le trajet des ondes sera légèrement incurvé vers la terre.

- **Les contraintes de la propagation troposphérique**

En propagation troposphérique, les ondes accomplissent la totalité de leur trajet dans la couche la plus basse de l'atmosphère, très près du sol. L'onde sera donc influencée par les phénomènes atmosphériques (pluie, brouillard, etc..) par les obstacles naturels (montagnes, forêts,..) et artificiels (bâtiments élevés). L'oxygène et la vapeur d'eau absorbent peu d'énergie aux fréquences radio.

L'horizon radio, c'est à dire la distance maximale D à laquelle une antenne située au niveau du sol pourra recevoir le signal émis par une antenne située à une hauteur H_e , est donné par la formule approchée :

$$D = \sqrt{2RH_e} \quad (\text{II.19})$$

R est le rayon de la terre = 6366 Km

Si l'antenne de réception est à la hauteur H_r , la distance maximale pour une communication devient

$$D = \sqrt{2RH_e} + \sqrt{2RH_r} \quad (\text{II.20})$$

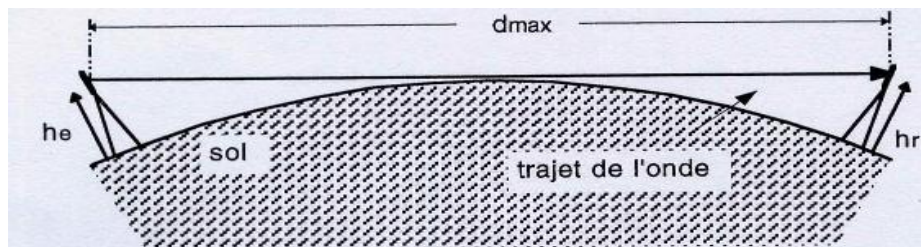


Figure II.7. Portée d'une transmission troposphérique

➤ L'effet fantôme : une première cause d'interférence

Les obstacles peuvent se comporter soit comme des écrans, créant une zone d'ombre, soit comme des réflecteurs s'ils comportent des éléments métalliques (béton armé, châssis métallique,..). On constate alors parfois des effets fantômes, créés par une interférence entre une onde captée directement et une onde captée après réflexion avec un obstacle. Le résultat sur l'écran de télévision est une image atténuée et légèrement décalée par rapport à l'image principale, d'où le qualificatif « fantôme ».

➤ L'effet du sol : une cause majeure d'interférences

Cet effet peut être très gênant, il est dû à la présence d'une onde réfléchi par la surface terrestre : en effet, les deux ondes auront parcourues un chemin presque égal, mais la composante horizontale du champ électrique aura été déphasée de 180 degrés lors de la réflexion sur le sol. La composante horizontale du champ électrique au niveau de l'antenne sera donc fortement réduite.

➤ **Les facteurs qui réduisent les interférences**

Ces facteurs diminuent en fait l'intensité de l'onde réfléchi et donc les interférences : Sol peu conducteur dans la zone où s'opère la réflexion; Présence d'obstacles sur le trajet du chemin réfléchi ; emploi d'antennes très directives qui envoient peu d'énergie en direction du sol, ceci n'est réalisable qu'aux très hautes fréquences ;

II.3.3.2. Propagation par onde de surface ou de sol

L'onde du sol est une onde de surface. Elle se propage en suivant la surface de la Terre comme une onde guidée. Lorsque l'antenne d'émission est verticale et proche du sol, l'onde électromagnétique quittant l'antenne est polarisée verticalement. Comme la direction de propagation de l'onde est toujours perpendiculaire au champ électrique E, l'onde quitte l'antenne parallèlement au sol. Cependant, l'angle entre E et la surface du sol peut se modifier en raison du relief ou de la composition de l'atmosphère.

A une certaine distance de l'antenne, le champ électrique E comportera donc, outre la composante perpendiculaire au sol, une composante horizontale qui provoque des pertes qui l'atténue fortement. Il reste donc seulement la composante verticale de E, la direction de propagation de l'onde se modifie par conséquent pour rester parallèle à la surface du sol. C'est essentiellement ainsi que sont diffusées les grandes ondes.

II.3.3.3 Propagation ionosphérique

Les couches ionisées vont se comporter comme un véritable miroir sur les ondes de radio pour produire un mécanisme de réflexion. L'indice de réfraction est d'autant plus petit que la couche est ionisée et que la fréquence est faible. Comme la vitesse de l'onde dans un milieu diélectrique vaut c/n , cela signifie que la vitesse de l'onde est plus grande dans la couche ionisée que dans la couche non ionisée. Donc, au moment où l'onde se rapproche de la couche ionisée, sa partie supérieure se déplace dans la zone où la vitesse est plus grande, le front d'onde va donc s'incliner progressivement et la

direction de propagation de l'onde, qui est toujours perpendiculaire au front d'onde, va aussi se modifier. Plutôt que de réflexion, on devrait parler de réfraction atmosphérique.

➤ **Caractéristiques des couches ionisées**

Les couches ionisées sont caractérisées par un certain nombre de paramètres:

- **hauteur virtuelle : qui est la hauteur à laquelle on devrait placer un réflecteur parfait pour que le trajet des ondes en dehors de l'atmosphère corresponde au trajet réellement observé;**
- **Fréquence critique : qui est la fréquence maximale réfléchiée par la couche en incidence verticale, elle dépend de la concentration en électrons libres N ($\text{é}/\text{m}^3$) et est donc maximale pour la couche F2, les ondes qui ne sont pas réfractées par F2 s'échappant de l'atmosphère.**

➤ **Les avantages de la propagation ionosphérique**

Il est possible de communiquer avec n'importe quel autre point de la surface terrestre en choisissant convenablement la puissance, la fréquence et le type d'antenne. En effet l'onde peut être réfléchiée plusieurs fois et même faire le tour de la terre.

➤ **Les inconvénients de la propagation ionosphérique**

Ce mode de propagation est moins fiable que les autres. De nombreux phénomènes peuvent faire varier l'intensité du signal reçu. C'est ce qu'on appelle l'évanouissement des ondes. Cet évanouissement est dû à des interférences entre ondes arrivant par différents chemins après réflexions sur les couches dont la hauteur et la composition varient au cours du temps (variations lentes irrégulières). Pour combattre l'évanouissement, on a parfois recours aux techniques de diversité :

- **Diversité spatiale : on place deux antennes sur chaque site; on émet simultanément avec les deux antennes d'émission et on choisit à chaque instant l'antenne de réception qui reçoit le plus grand signal. L'évanouissement n'affectera pas alors simultanément les quatre canaux possibles de transmission.**

- **Diversité fréquentielle : on n'utilise qu'une antenne par site, mais on travaille à deux fréquences**

II.3.3.4 Diffraction troposphérique

La diffraction troposphérique est, comme la propagation ionosphérique, un moyen de communiquer avec un correspondant au-delà de l'axe optique : si l'on pointe deux antennes très directives de façon à ce que leurs faisceaux se coupent à mi-chemin entre elles, et que l'une émet un signal puissant, l'autre antenne recevra une très petite partie de l'énergie émise, qui aura été diffractée par des particules dans la troposphère.

Les fréquences les plus appropriées pour ce mode de transmission se situent vers 900, 2000 et 5000 Mhz, mais même dans ces gammes de fréquences, l'énergie captée est extrêmement faible, ce qui suppose donc des émetteurs très puissants, des antennes d'émission et de réception très directives et des récepteurs très sensibles.

Les applications se concentrent surtout dans le domaine des communications à portée moyenne (300 à 500 km) à la place de faisceaux hertziens ou de câbles coaxiaux. Pour combattre l'évanouissement, on utilise souvent la diversité spatiale.

II.3.4. Les types de propagation pour les diverses gammes d'ondes

II.3.4.1. Les ondes moyennes

Les antennes sont verticales et près du sol, donc la propagation se fera essentiellement par onde de sol. La propagation est stable et peu sujette à l'évanouissement. La portée dépend de la puissance de l'émetteur et peut dépasser 1000 km.

II.3.4.2. Les ondes courtes

L'onde de sol s'atténue vite vue la fréquence élevée. La propagation se fera donc essentiellement par réflexion ionosphérique. La portée est très grande et peu sujette à l'évanouissement, elle est meilleure la nuit. A faible distance de l'émetteur, on peut capter l'onde au sol, à distance moyenne inférieure au saut, on ne peut plus capter l'émetteur

II.3.4.3. Les ondes ultracourtes et micro-ondes

C'est la propagation troposphérique qui est utilisée, la portée est limitée à l'horizon radio, la propagation est fiable. Pour des portées plus grandes, on peut utiliser la diffraction troposphérique.

II .4 .Transmission par faisceaux hertziens numériques

II .4.1 . Définition

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux, numériques ou analogiques, entre deux points fixes. La directivité du faisceau est d'autant plus grande que la longueur d'onde utilisée est petite et que la surface de l'antenne émettrice est grande. Le faisceau est un support de type pseudo-4 fils. Les deux sens de transmission sont portés par des fréquences différentes.

II .4.2 Principe de faisceaux hertziens

Les télécommunications hertziennes permettent des liaisons point fixe à point fixe (relais téléphoniques, relais de télévision, etc.) ou entre mobiles. La souplesse de l'infrastructure nécessaire permet de desservir des zones géographiques impropres aux communications filaires. Les fréquences des systèmes de télécommunication sont donc attribuées par des organismes de normalisation tels que l'UIT-R et l'IFRB (International Frequency Registration Board). Selon la forme (numérique ou analogique) sous laquelle se présente ces informations, différents types de modulation sont utilisés, d'une part, pour former le multiplex et, d'autre part, pour transposer le spectre des signaux dans la gamme de fréquences appropriées pour l'émission.

II .4.2.1 Faisceaux hertziens numériques

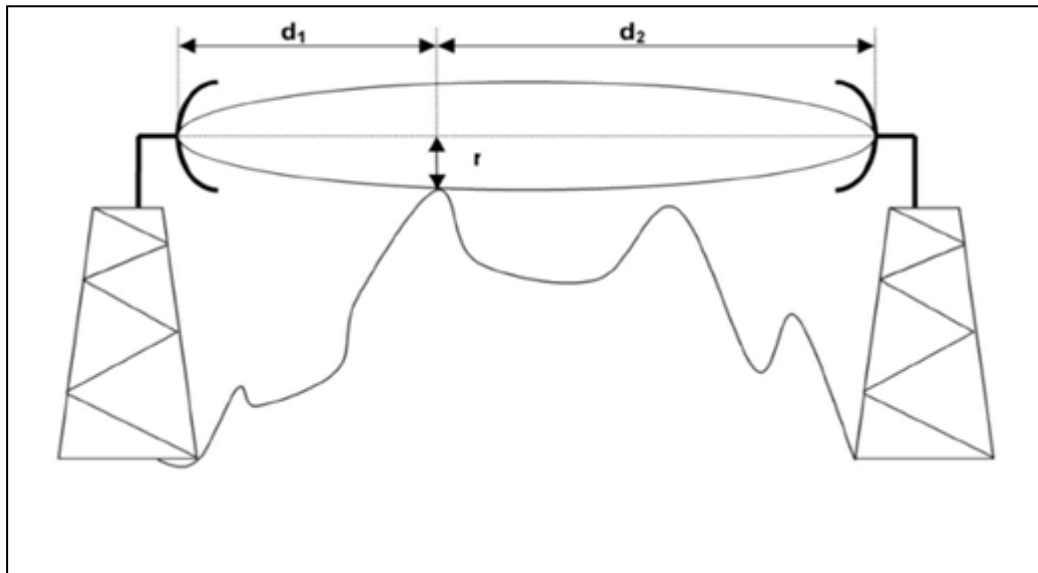
C'est le multiplexage temporel de voies téléphoniques numérisées par une modulation MIC ou de données numériques, puis transposition en hyperfréquences par modulation (analogique discrète) d'une porteuse sinusoïdale en PSK, MSK, QAM,...

II .4.3. Propagation en espace libre (L'ellipsoïde de Fresnel)

On dit qu'une liaison en visibilité directe est dégagée s'il n'existe aucun obstacle à l'intérieur d'un certain volume appelé premier ellipsoïde de Fresnel. Les antennes d'émission E et de réception R constituent les foyers de cet ellipsoïde. Ce dégagement signifie que les

phénomènes de diffractions par les obstacles situés au voisinage du trajet directe ont un effet négligeable sur le niveau reçu.

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



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

(II.21)

r : rayon de l'ellipse

d_1 : distance entre l'émetteur et le point M.

d_2 : la distance entre le récepteur et le point M.

λ : longueur d'onde de fonctionnement .

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

$$r_{eq} = \sqrt{\frac{\lambda \frac{d}{2} \times \frac{d}{2}}{\frac{d}{2} + \frac{d}{2}}} = \sqrt{\frac{\lambda d}{4}} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

(II.22)

Normalisation :

$$\begin{aligned} \frac{r}{r_{eq}} &= \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \times \frac{2}{\sqrt{\lambda d}} = 2 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d(d_1 + d_2)}} = \\ &= 2 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)^2}} = 2 \frac{\sqrt{d_1 d_2}}{(d_1 + d_2)} \quad \text{car } d = (d_1 + d_2) \end{aligned}$$

$$\frac{r}{r_{eq}} = 2 \frac{\sqrt{d_1 d_2}}{d}$$

(II. 23)

II.4.4. Les facteurs pouvant affecter la propagation

II.4.4.1 Réfraction atmosphérique

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

II.4.4.2 .Dégagement / diffraction

L'ellipsoïde de Fresnel est parfois partiellement obstrué par un obstacle. On distingue habituellement trois types d'obstacle : lame, pour des obstacles « minces », rugueux, pour une paire d'obstacles de type « lame » sphérique, pour des obstacles obstruant le faisceau sur une distance importante. Pour chacun, des méthodes de calcul permettent de prévoir l'atténuation supplémentaire à prendre en compte dans les bilans.

II .4.4.3. Réflexion et trajet multiple

Le signal reçu est la somme du signal principal, et de tous les signaux réfléchis (sur le sol, la végétation, et surtout les étendues d'eau). Les interférences générées entre tous ces signaux entraînent des sur-champs et des sous-champs parfois extrêmement importants mais également des distorsions (évanouissements sélectifs). La réflexion principale est le phénomène de multi-trajet dominant.

II.4.4.4. Phénomènes de guidage

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

d'antenne. La probabilité d'occurrence, sur le mois quelconque, de ces «évanouissements non sélectifs» est donnée dans l'UIT-R P.530-8 par un paramètre statistique appelé facteur PL .Ce phénomène de guidage est dimensionnant dans l'ingénierie des liaisons dont la bande fréquence est inférieure à 15GHz. Il réduira la longueur possible du bond pour des exigences de disponibilité données.

II .4.4.5 Atténuations dues aux hydrométéores

Pour les FH de fréquence supérieure à 8 GHz, les précipitations entraînent des pertes également considérables, d'autant plus que le taux de précipitation (en mm/h) et la fréquence sont élevés. De plus, la phase de ces précipitations influence également l'atténuation du signal. Ainsi la neige, qui a une très petite constante diélectrique, a beaucoup moins d'influence que des gouttes de pluie de même masse. La neige fondante, d'autre part, allie le large diamètre des flocons et le coefficient de la pluie pour créer un obstacle plus important que les deux séparément que l'on nomme la bande brillante. Ainsi le passage d'une onde de 10 cm dans cette bande rencontre de trois à 30 fois plus d'atténuation que dans la pluie sous la bande¹.

II .4.5. Schéma principale d'une liaison hertziennes

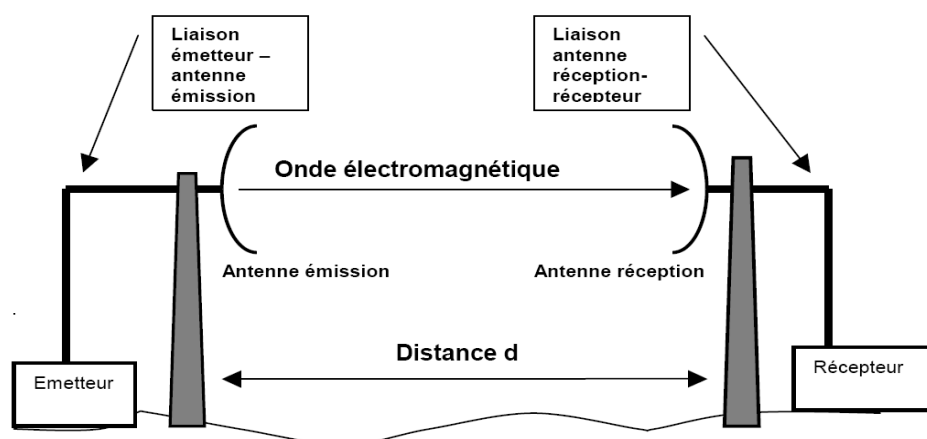


Figure. II.9. Schéma principale d'une liaison hertziennes

- **Emetteur : Il est caractérisé par sa puissance émise PE.**

- **Liaison émetteur- antenne émission** : elle est généralement réalisée en câble coaxial.
- **A plus haute fréquence (quelques GHz), elle peut être réalisée en guide d'onde.** Elle est caractérisée par son atténuation L_E .
- **Antenne émission** : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne G_E , exprimé en dBi.
- **Distance d** : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. La distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation A_{EL} (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$A_{EL} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (\text{II.24})$$

Cette grandeur est exprimée en dB.

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

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

On obtient ainsi :

$$P_R = P_E - L_E + G_E - A_{EL} + G_R - L_R \quad (\text{II.25})$$

P_R : La puissance reçue en dB.

P_E : La puissance émise en dB.

L_E : Atténuation au niveau d'émission.

G_E : Gain d'antenne coté d'émission.

A_{EL} : Affaiblissement d'espace libre.

G_R : Gain d'antenne coté de réception.

L_R : Atténuation au niveau de réception.

II.4.6. Condition de bon fonctionnement d'une liaison hertzienne

Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit supérieure à la sensibilité du récepteur.

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

II .5 .Les antennes paraboliques

Une antenne parabolique, communément appelée parabole par le grand public, est une antenne disposant d'une surface réfléchissante en forme de paraboloïde de révolution autour d'un axe de symétrie Oz , basé sur les propriétés géométriques de la courbe nommée parabole et d'une source primaire située au foyer du paraboloïde de révolution .

➤ Le réflecteur

Le réflecteur parabolique, en réception, est indiqué pour faire converger toute la puissance d'une onde plane incidente vers un point Focal d_f .Il faut que cette onde arrive d'une direction particulière sinon la convergence vers un seul point ne sera pas possible. Par réciprocité, une source électromagnétique située au point Focal verra la partie de sa puissance capturée par le réflecteur, redirigée vers la direction privilégiée .La figure (II.10) illustre les divers paramètres géographiques de ce type de réflecteur dans sa version axisymétrique (symétrie par rapport à l'axe z contenant le foyer).

Le réflecteur parabolique étant une antenne à ouverture, son étude passe par l'expression des champs électromagnétiques dans le plan de l'ouverture. Il faut alors considérer les trois points suivants :

- L'amplitude des champs dans l'ouverture dépend de la fonction caractéristique de la source primaire située au foyer .Mais cette distribution n'est pas identique car elle implique une conversion des angles d'émission de la source primaire vers les coordonnées du plan d'ouverture.
- La phase des champs dans l'ouverture est constante car la distance pour se rendre du foyer au réflecteur parabolique et de là, horizontalement à un point du plan de l'ouverture ne change pas ; c'est d'ailleurs la caractéristique principale d'une parabole. Le terme de phase peut donc être supprimé.
- L'orientation des champs dans l'ouverture dépend de la polarisation de la source primaire mais la parabole cause une dépolarisation qu'il faudra considérer.

Si on visualise par la théorie de l'optique sur la figure (II.10).Les rayons émis puis réfléchis par la parabole émergeront parallèlement .La géométrie est telle que dans le plan de l'ouverture sur la figure (II.10) ; Les signaux émis du point focal vers le réflecteur ,revient tous en phase .

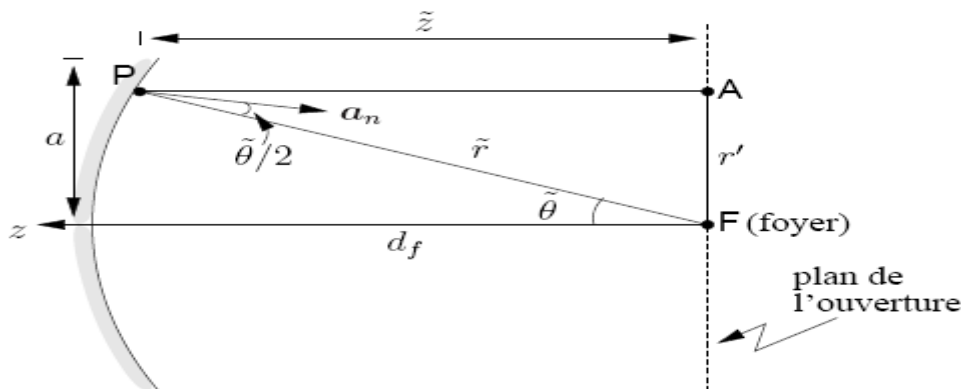


Figure II.10 : Géométrie d'une antenne parabolique

$$\overline{FP} = \tilde{r} \quad \text{et} \quad \overline{PA} = \tilde{r} \cos \theta$$

$$\overline{FP} + \overline{PA} = \tilde{r} + \tilde{r} \cos \theta = \tilde{r} (1 + \cos \theta) \quad (\text{II.26})$$

Dans le cas particulière ou $\theta = 0$ on aura : $\overline{PA} = \tilde{r} = d_f$

Alors :

$$\overline{FP} + \overline{PA} = 2 \tilde{r} = 2 d_f \quad (\text{II.27})$$

Plus le réflecteur sera grand (pour une même géométrie), plus la puissance capturée sera grande donc la surface effective et la directivité plus grande.

➤ La source

Le câble d'alimentation de l'antenne est relié à une antenne-source, communément appelée simplement « source » qui est placée au foyer du réflecteur parabolique. Le but de la source est d'« éclairer » entièrement la surface du réflecteur.

II .5.1 Gain d'une antenne parabolique

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.

Le gain d'une antenne parabolique est donné par la relation suivante :

$$G_{dBt} = 10 \cdot \log K \cdot \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \quad (II.28)$$

k : rendement du système d'illumination (source), généralement compris entre 0,5 et 0,8.

D : diamètre du réflecteur parabolique.

λ : Longueur d'onde d'utilisation.

D et λ doivent être exprimés dans la même unité. Plus l'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important.

II .5.2 Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture d'une antenne parabolique est lié à la dimension de l'antenne. Plus

L'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important et plus l'antenne est directive. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\theta = \quad \quad \quad (II.29)$$

II .5.3. Polarisation

La polarisation de la source détermine la polarisation de l'antenne parabolique.

II .5.4. Principe de Fonctionnement

La source primaire de l'antenne éclaire le réflecteur métallique. Si on décompose le champ (dit primaire) de cette source en rayons et qu'on applique les lois de l'optique, on constate qu'après réflexion sur le paraboloïde :

- **Tous les rayons sont parallèles à l'axe Oz du système. (Propriété de la parabole)**
- **Tous les rayons se retrouvent en phase dans un plan perpendiculaire à Oz .**

II.6 .Types de modulation numériques

II. 6.1 .Modulation de fréquence ou FSK (Frequency Shift Keying)

Dans la modulation de fréquence chaque élément binaire à transmettre sera associée à une certaine fréquence de l'onde porteuse, Cette modulation est utilisée pour des transmissions à faible débit sur le réseau téléphonique commuté.

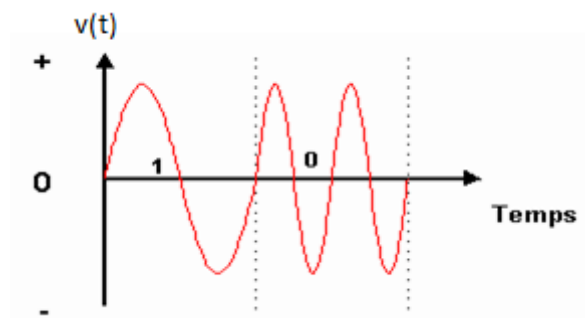


Figure II.12. Modulation de fréquence ou FS

II.6.2 .Modulation de phase ou PSK (Phase Shift Keying)

La modulation de phase associe à un code binaire une valeur de la phase de la porteuse. La vitesse peut être facilement augmentée en utilisant un code binaire sur 2, 3 bits ou plus sans augmentation de la fréquence de la porteuse

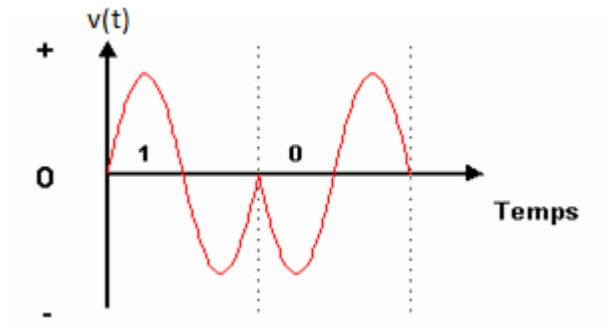


Figure II.13. Modulation de phase ou PSK

II.6.3 Modulation d'amplitude ou ASK (Amplitude Shift Keying)

La modulation d'amplitude s'applique en faisant varier l'amplitude du signal en fonction des bits à coder. Par exemple :

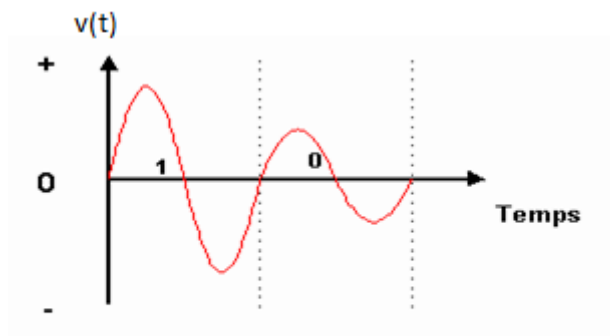


Figure II.14. Modulation d'amplitude ou ASK

II.6.4. Modulation QAM

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

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

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

Tableau II.6. Les combinaisons d'amplitudes et de phases

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

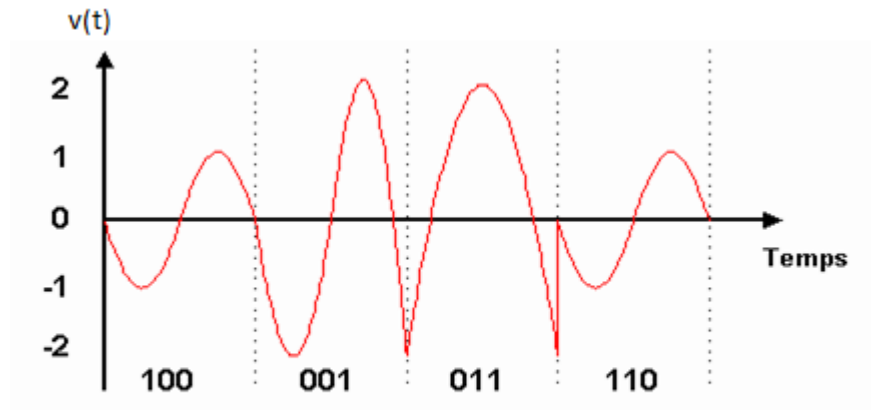


Figure II.15. Modulation QAM

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

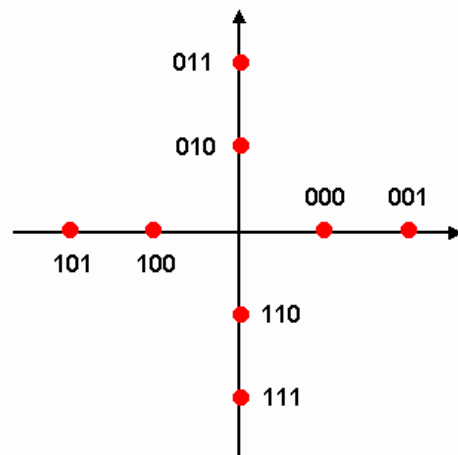


Figure II.16. Exemple de constellation QAM8 (3 bits par baud)

II.6.5. La modulation d'impulsions codées (MIC)

La modulation par impulsion d'amplitude (Pulse amplitude modulation PAM) consiste à échantillonner l'information analogique (voies, données, vidéo, etc.....) provenant de la source, puis convertir l'amplitude de chaque échantillon en code binaire et l'appliquer directement sur un support de transmission, comme indique la figure suivante :

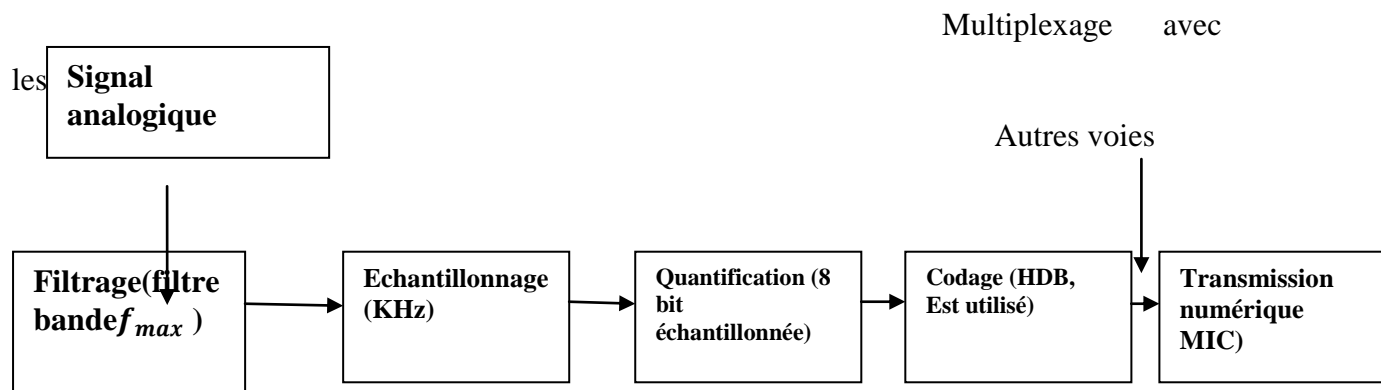


Figure II.17. Les étapes de la numérisation MIC.

II.6.5.1 .Echantillonnage

L'échantillonnage est une opération qui a pour but de remplacer un signal continu réel (une infinité de valeurs) par un signal constitué de quelques valeurs prélevées du signal origine, séparés entre eux par une durée constante.

Théorème d'échantillonnage

Un signal possède une fréquence maximale F_{max} dans son spectre. Pour l'échantillonner à la fréquence, F_e n'implique aucune perte d'information, il faut et il suffit que :

$$F_e \geq 2F_{max}$$

Pour une communication téléphonique : $f_{max} = 4 \text{ KHz} \rightarrow F_e = 8 \text{ KHz}$

II.6.5.2 Quantification

La transmission des impulsions modulées sont très sensible aux bruits ce qui rend la reconstitution du signal à la réception incomplète. Pour cette raison nous quantifions le signal en faisant correspondre à chaque échantillon l'amplitude la plus voisine d'une suite discrète et finie d'amplitudes « étalons » appelées niveaux. C'est la valeur de ces niveaux qui à l'émission après le codage seront transmises en ligne.

En système téléphonie (MIC) :

Les échantillons sont codés par des mots de n bites : $n=8$

Les valeurs discrètes: $N = (2)^n = (2)^8 = 256$

II.6.5.3 Compression

D'après la répartition statique de la parole, le rapport signal sur bruit est faible pour les petits signaux que les forts signaux. Pour garder une bonne qualité de transmission ; le rapport

S/B doit être constant sur toutes les plages de fréquences. Pour corriger ce problème on utilise deux lois de compression :

➤ **La loi européenne A**

C'est une loi de compression adoptée en Europe ; définit une quantification logarithmique approchée selon le compromis suivant :

- segment logarithmique pour les amplitudes relatives se trouvant entre $1/A$ et A
- segment linéaire à l'origine pour $x \leq \frac{1}{A}$ tangent au segment logarithmique

Son expression, exprimée relativement à l'amplitude maximale tolérable du signal

$$Y = \frac{A}{1 + \ln(A)} x \quad \text{pour } x \leq \frac{1}{A} \quad (\text{II.30})$$

$$Y = \frac{1 + \ln(Ax)}{1 + \ln(A)} \quad \text{pour } x \geq \frac{1}{A}$$

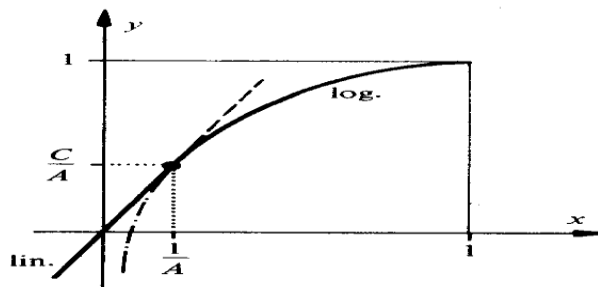


Figure II.18. La loi européenne A

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

$$C = \frac{1}{1 + \ln A} = 16 \quad (\text{II.31})$$

Ce qui définit $A = 87,6$.

➤ **La loi américaine μ**

La loi μ est une loi de compression adoptée en Amérique qui a l'expression mathématique suivante :

$$Y = \frac{\text{Ln}(1 + \mu x)}{\text{Ln}(1 + \mu)} \quad \text{avec } \mu = 255 \quad (\text{II.32})$$

$$C = \frac{c}{\ln(1 + \mu)} = 46 \quad (\text{II.33})$$

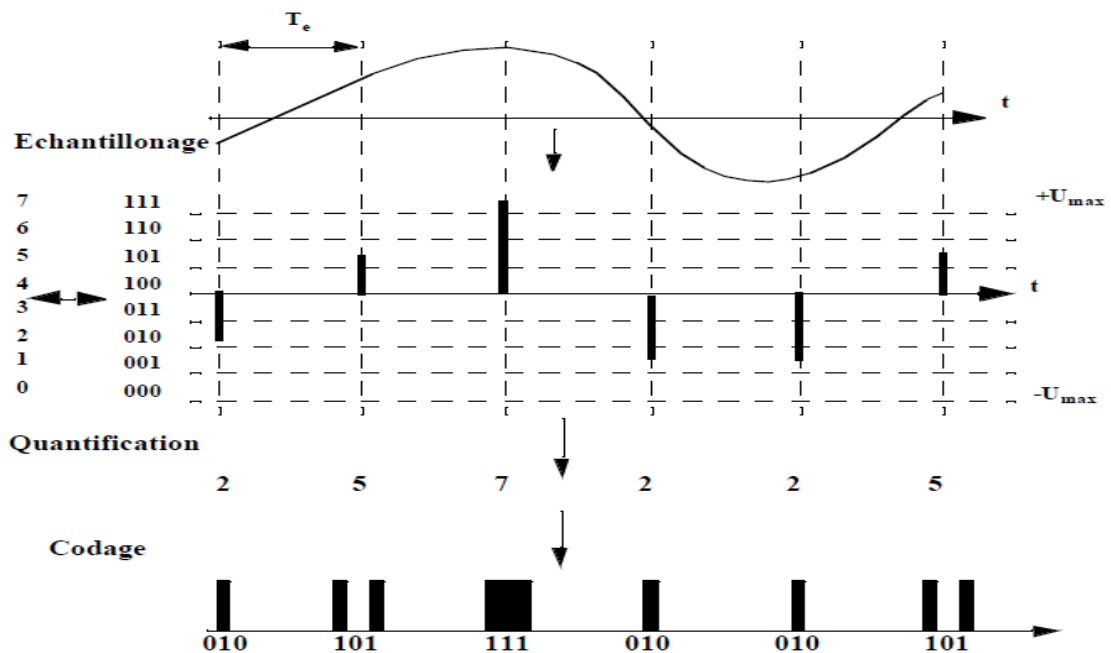


Figure II.19. Les étapes de la modulation MIC

II.6.5.4 Le codage

Chaque niveau de quantification est représenté par un nombre binaire de « n » bits, qui est le même pour tous les niveaux, ce qui permet une transmission synchrone de mot identique.

➤ Le code AMI (Alternate Mark Interchange)

C'est la conversion de signal binaire en signal bipolaire alternant telle que les valeurs "1" du code binaire sont représentées alternativement par des impulsions de tension positive et négative et les valeurs binaires "0" par la tension nul.

1 bit → AMI/NRZ et $\frac{1}{2}$ bit → AMI/RZ

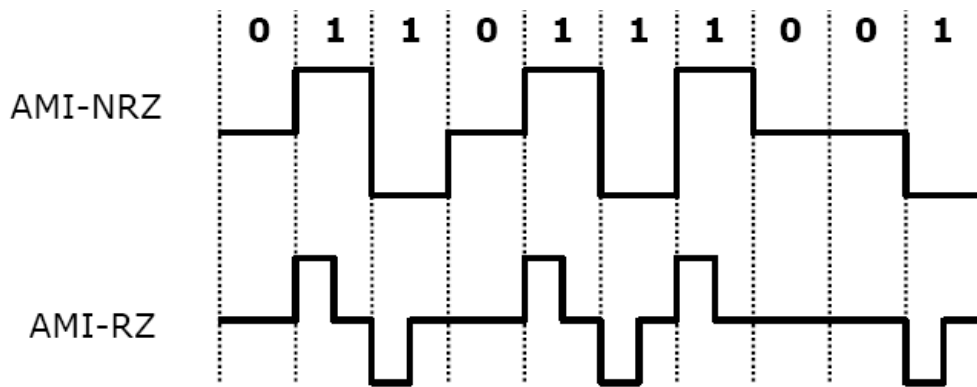


Figure II.20. Le Codage AMI

➤ **Le code HDB3 (third order high density bipolar code)**

Le code HDB3 est l'amélioration de code AMI, il est très utilisé dans les réseaux téléphoniques numériques. Il suit deux règles :

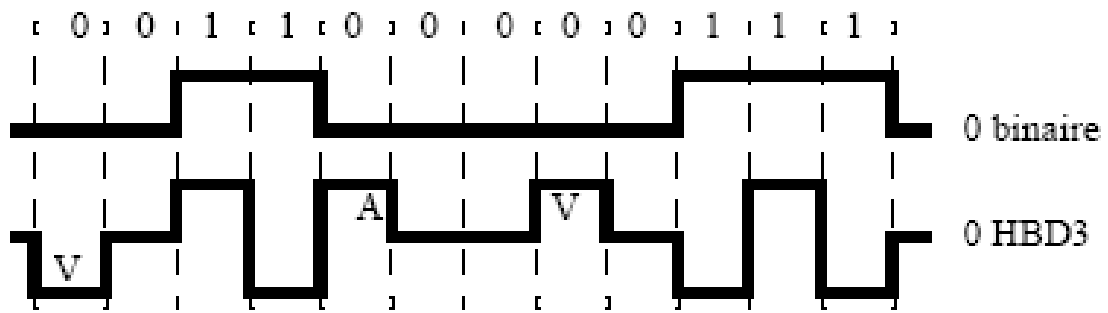
-Règle 1 :

Lorsque 4 éléments de signaux "0" sont adjacents, le quatrième "0" de la séquence est remplacé par un élément de signal V pour obtenir la forme 000V. L'élément de signal V prend la même polarité que l'élément de signal "1" qui le précédait. Un élément de signal V provoque une violation de la règle AMI.

-Règle 2 :

Lorsqu'un nombre pair d'éléments de signaux "1" est présent entre l'élément de signal V précédent et le nouvel élément de signal V généré selon les dispositions de la règle 1, le premier des quatre éléments de signaux "0" doit être remplacé par un élément de signal A (= élément de signal "1").

La polarité de l'élément de signal A correspond à la règle AMI. Le dernier des quatre éléments sera à nouveau remplacé par un élément de signal V (A00V). Dans ce cas, les éléments de signal A et V sont de même polarité. Cette deuxième règle est nécessaire pour éviter une composante continue.



II.21. le codage HDB3

II.6.5.5 Constitution de la Trame MIC

II.6.5.5.1 trame primaire et l'intervalle temporel (IT)

MIC est le premier niveau de la hiérarchie de multiplexage. Il contient 30 voies qui sont multiplexées temporellement dans une trame de 125µs. Cette dernière est découpée en 32 morceaux appelés "Intervalle de temps" ou "IT"(IT0 à IT31).

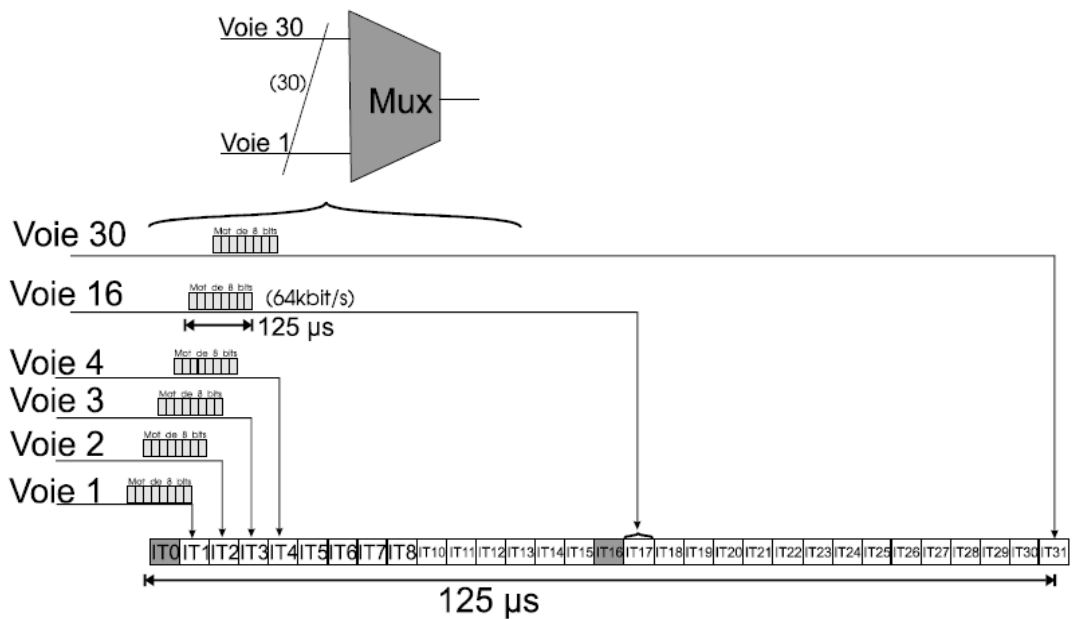


Figure II.22. Structure d'une trame MIC

Les 32 intervalles de temps sont occupés de la manière suivante :

30 IT sont utilisés pour transmettre les voies de communications telle que :

-Les voies 1 à 15 : sont placées respectivement dans les IT1 à IT15.

-Les voies 16 à 30 : sont placées respectivement dans les IT17 à IT31.

Deux IT sont utilisés pour la signalisation telle que :

-IT0 : est réservé à la synchronisation (verrouillage de trame).

-IT16 : est réservé pour la signalisation des voies.

Lorsqu'une trame est émise par un émetteur vers un récepteur deux principes importants doivent être respectés:

➤ Synchronisation

L'émetteur(E) et récepteur (R) doivent être Synchronisées, c'est à dire que leurs horloges HE et HR doivent être identiques afin que les bits soient lus à des instants "corrects"

Pour s'affranchir des erreurs de bits répétées ou ratées.

Une méthode consiste à envoyer au récepteur l'horloge de l'émetteur par un fil indépendant de la ligne de transmission, ou bien à fournir à tous les éléments de la ligne de transmission les mêmes impulsions d'horloges provenant d'une tierce machine. On peut aussi multiplexer temporellement le signal d'horloge et le signal contenant les informations (codage HDB3).

➤ Verrouillage

Le récepteur R doit savoir où commence la trame au bit près. Sans cela il n'y a aucun moyen de distinguer où commence un IT et où s'arrête un autre. A cela deux conséquences :

1- Il faut indiquer le début de la trame.

2- Si R n'est pas synchronisé sur E, il est important que E et R puissent se transmettre un signal de perte de verrouillage les avertissant de l'état de leur synchronisation. Les IT0 et IT16 jouent cet office, et permettent à l'émetteur E et au récepteur R de "s'entendre".

II.6.5.5.2 Mot de verrouillage de Trame (MVT)

Pour pouvoir être reconnue, et pour que son origine soit repérée, la trame a donc la particularité suivante :

-Dans les trames paires, l'IT0 est remplie avec VER un mot de verrouillage de trame (MVT) (VER1=X0011011, 1B ou 9B en hexadécimal). Dès que le récepteur R détecte ce mot il peut se verrouiller.

-Pour les trames impaires, le mot de verrouillage de trame de l'IT0 est remplie par VER2=xB2Axxxxx. Dès que le verrouillage est constaté R renvoie à E dans une trame impaire le mot VER2 avec B2=1 et A=0.

En revanche si A=1, c'est une alarme de perte de verrouillage de trame. Par sécurité le verrouillage n'est considéré comme perdu qu'après 3 alarmes successives.

Chapitre III

La hiérarchie numérique synchrone SDH

*Si les faits sont correctement observés,
il doit y avoir des moyens de les expliquer
et de les coordonner entre eux.*

Bullard, 1965

III.1. Introduction

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

Avant les années 90, le réseau de transmission numérique était basé sur l'utilisation de la hiérarchie numérique dite "plésiochrone". Cette technique s'est montrée, au fil des années, quelque peu limitée. En effet, l'évolution des débits des différents services, les besoins en flexibilité du réseau de transmission, la nécessité d'améliorer les fonctions d'exploitation-maintenance, l'augmentation continue de la capacité de transmission sur fibre optique et le besoin d'interconnexion entre opérateurs à des débits élevés et normalisés, tous ces éléments ont montré les limitations de la hiérarchie actuelle et ont conduit à la normalisation de la hiérarchie numérique synchrone (SDH : synchro nous digital hiérarchie).

III.2. La hiérarchie plésiochrone PDH

La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) a été réalisée et stabilisée durant les années 1960 à 1970. Elle trouve son origine dans le transport de signaux téléphoniques vocaux, convertis en canaux numériques à 64 K bits/s (système primaire).

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

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

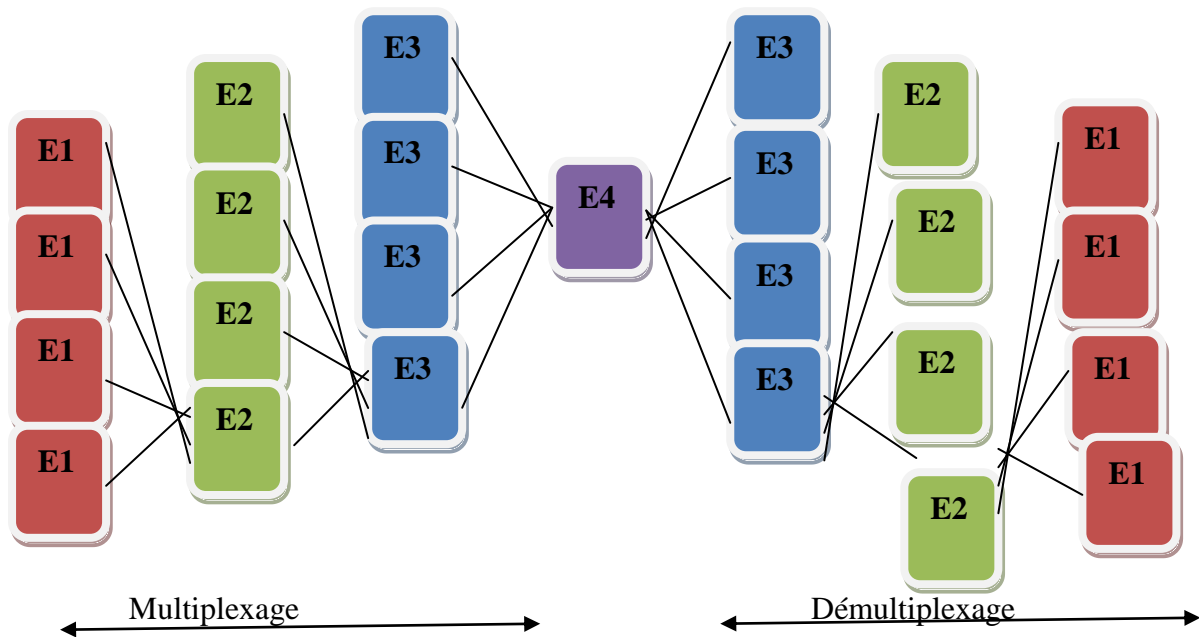


Figure.III.1. Multiplexage et démultiplexage en PDH

N. III.2.1. Limitations de la PDH

-L'inconvénient de ce mode de transmission est le multiplexage bit par bit de la trame numérique plésiochrone, ce qui ne permet pas l'accès au niveau inférieur sans démultiplexage.

-L'absence de la normalisation au niveau de L'UIT-T(C.C.I.T.T), ce qui veut dire qu'on ne peut pas interconnecter deux hiérarchies différentes (U.S.A, EUROPE).

-La technique de multiplexage est complexe en raison du plésiochronisme des sources.

-La trame PDH ne contient pas d'octets réservés à l'exploitation.

-Pas d'interopérabilité à hauts débits entre les continents puisque les débits sont différents.

-La technique PDH est une technique de point à point et non une technique de réseau organisée en anneau permettant d'obtenir une disponibilité importante de services.

III.3.Multiplexage Synchrone SDH(Synchronous Digital Hierarchie)

III.3.1. Définition de la SDH

La SDH est une nouvelle technologie de transmission synchrone qui utilise principalement la fibre optique vu ses nombreux avantages en termes de débit, de fiabilité, de sécurisation et de supervision à distance du réseau. La SDH est issue des concepts SONET proposé par BELLCORE (BELL Communication Research). Les premières normes SDH ont été approuvées par le CCITT (Comité Consultatif International de Téléphone et Télégraphe) à MELBOURNE en Novembre 1988. Elle définit les débits, la trame et les procédés de multiplexage.

La SDH se situe sur les deux premières couches du modèle OSI. Cette technologie offre la possibilité de transmettre dans une même trame des services de types et de débits différents.

III.3.2. La trame de SDH

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

Longueur totale = $9 \times 270 = 2\,430$ octets

Fréquence de répétition = 8 kHz.

durée = $1/8\text{KHz} = 125 \mu\text{s}$.

Débit = $(2430 \times 8\text{bits}) / 125 \mu\text{s} = 155,520 \text{ Mbit/s}$.

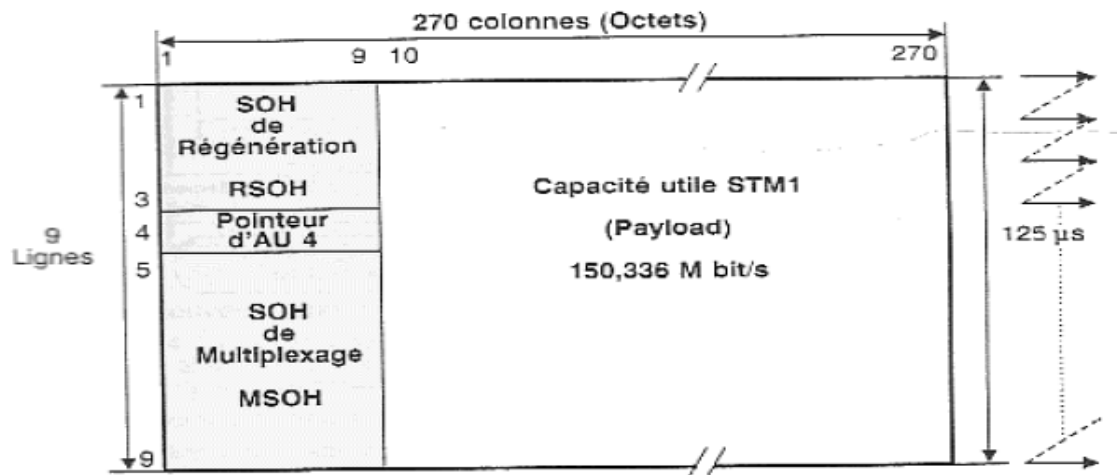


Figure III.2. Structure de la trame STM-1[11]

Cette trame représentée ci-dessus comporte trois zones principales :

III.3.2.1. Charge utile

Elle est une information utile ie celle de l'utilisation (liaison entre deux commutateurs), sa taille vaux 2349octets.

III.3.2.2. Sur débit de la section(SOH)

Il est utilisé pour la gestion des sections des lignes de transmissions, il utilise les 9 premières colonnes de la trame. Il se décompose en deux parties :

- RSOH (Regenerator Section Over head)

Il utilise les 3 premières lignes de SOH .Il est dédié à la gestion des sections de régénération (il est traité au niveau des répéteur-régénérateurs).

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	nu	nu
B1	X	X	E1	X	X	F1	nu	nu
D1	X	X	D2	X	X	D3	X	X

Tableau.III.1.Les réseaux de sections de multiplexage RSOH

La signification des octets est la suivante:

A1, A2 : Les deux octets sont alloués aux mots de verrouillage de la trame. Ils sont caractérisés par une configuration particulière comme suit :

A1=11110110

A2=00101000

J0 : Identification de la trace de section de régénération, elle permet de vérifier si la connexion est maintenue avec l'extrémité d'émission.

B1 : Bip de surveillance des erreurs.

E1 : est une voie de service pour des communications vocales entre régénérateurs

F1 : est une voie de donnée entre régénérateurs réservés aux besoins particuliers de l'utilisateur.

D 1, D2 et D3 : la communication de données de la section de régénération

X : Octet réservé pour la normalisation international.

Nu : Octet réservé pour l'utilisation national.

➤ MSOH (Multiplex Section Overhead)

Il est constitué de 5 à9 lignes de SOH. Il est dédié à la gestion des sections de Multiplexage (il est traité au niveau des terminaux de ligne).

B2	B2	B2	K1	X	X	K2	X	X
D4	X	X	D8	X	X	D6	X	X
D7	X	X	D8	X	X	D9	X	X
D10	X	X	D11	X	X	D12	X	X
S1	Z1	Z2	Z2	Z2	M1	E2	Nu	Nu

Tableau. III.2. Les réseaux de sections de multiplexage MSOH

La signification des octets:

B2 : trois octets réservés pour la détection des erreurs sur les bits de la section.

K1 et K2 : deux octets affectés à la commande de commutation de protection automatique.

D4 à D12 : 9 octets qui représentent un canal de communication de données pour transporter les flux de gestion au niveau de section de multiplexage.

S1 : marqueur de qualité de la synchronisation.

Z1, Z2 : réservés.

M1 : Véhicule le nombre de bits qui ont été détectés erronés sur B2.

3.2.3. Pointeur

Il identifie la position ou l'adresse de la charge utile par rapport à celle de la trame STM-n, ce qui permet la localisation des affluents tout en autorisant leur accès direct sans passer par le démultiplexage. Dans le cas de fluctuation ou glissement de l'information à transporter (charge utile) dans la trame qui provoque des différences de phases par rapport à cette dernière. Le pointeur fait la signalisation et la composition de ces différences par une technique de justification.

H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Figure. III.3. Les octets du pointeur

- Processus de justification [12]

Le débit du signal entrant varie positivement ou négativement par rapport au débit fixe de la trame de transport, c'est pour ce la qu'on utilise une opération qui permet de transporter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe. Cette opération s'appelle « justification ».

- ✓ Justification négative

Le pointeur est un compteur dynamique dont la valeur s'incrémente ou décrémente au rythme des mouvements du VC au sein de la trame et accompagne donc le processus de justification. A coté de l'octet H2, une ressource de 3 octets nommés H3 a été prévue pour absorber un éventuel surplus d'information dans les situations où le débit de VC est supérieur à celui de la trame. On est donc dans un cas de justification négative où H3 est transformé en octet d'information.

✓ Justification positive

Si la trame est en avance de phase par rapport à la charge utile, une justification positive est donc nécessaire, les octets action de pointeur composent ce retard, afin d'aligner les débits.

✓ Justification nulle

Dans le cas où la trame et la charge utile sont en phase, aucune justification n'est indiquée au niveau du pointeur.

➤ POH(Path Over Head)

Les octets du POH sont utilisés pour déterminer les différentes informations sur les Conteneurs. Il existe deux types de POH:

-POH d'ordre supérieur

J1	
B3	
C2	
G1	
F2	
H4	
F3	

K3	
N1	

J1 : identificateur de conduit.

B3 : contrôle de qualité.

C2 : étiquette de conduit.

G1 : indications de défauts distants.

F2 : besoins d'utilisateurs.

H4 : indicateur de position (multi trame pour Vc-n).

F3 : besoins utilisateurs.

K3 : canal utilisé pour la protection automatique de
Conduit.

Figure .III.4.Les octets du POH d'ordre supérieur

- POH d'ordre inférieur

J2	J2 : contrôle de connections.
V5	K4 : mise en œuvre de protection.
K4	N2 : contrôle de qualité.
N2	V5 : transport d'alarme.

Figure.III.5.Les octets du POH d'ordre inférieur

III.3.3. Niveaux du multiplexage SDH

Le multiplexage SDH se fait en deux étapes. Un premier niveau dit niveau inférieur, LO (Low Order) suivi d'un deuxième niveau dit niveau supérieur HO (High Order).

Dans le premier niveau les VC-LO sont multiplexés pour former les VC-HO, en suite, dans le 2^{ème} niveau, les VC-HO sont multiplexés pour former la trame STM.

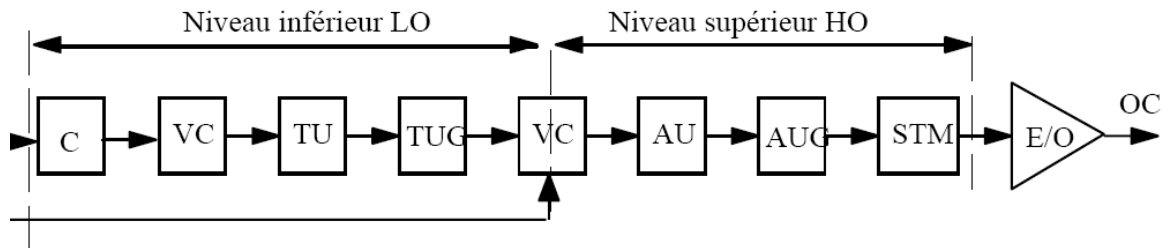


Figure.III.6.Les niveaux de multiplexage SDH [12]

III.3.4. Entités de la hiérarchie synchrone

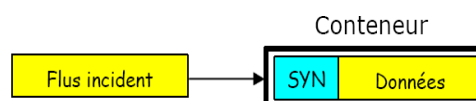
III.3.4.1. Les conteneurs Cn (Contener)

Ce sont des blocs d'octets mis sous une certaine forme dont la capacité est dimensionnées pour assurer le transport d'un affluent (l'information utile) telle que n dépends du débit entrant.

Le conteneur est dimensionné pour assurer un débit définis par le CCIT, et qui sont regroupés dans le tableau suivant.

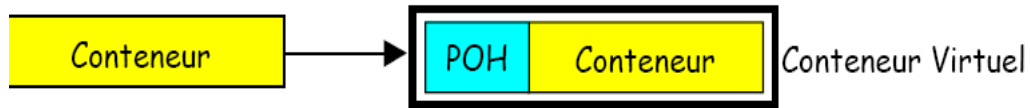
Affluents(Mbits/s)	Conteneur
1,5	C11
2,048	C12
6,312	C2
34,368	C3
139,264	C4

Tableau.III.3.La correspondance affluent -conteneur



III.3. 4. 2. Le conteneur virtuel VCn (Virtual Conteneur)

Le conteneur virtuel VCn (n=11, 12, 2, 3,4) est obtenu à partir du conteneur en lui ajoutant un Sur débit de Conduit POH (*Path OverHead*) utilisé pour la gestion du conteneur.



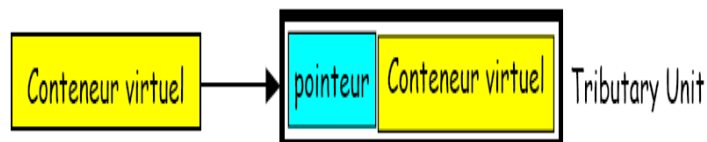
(VCn= Cn+ POH).

Il existe deux types de VCn :

- Les VCn d'ordre inférieur (LOP, Low Order Path) sont : VC11, VC12 et VC2.
- Les VCn d'ordre supérieur (HOP, High Order Path) sont : VC4 et VC3.

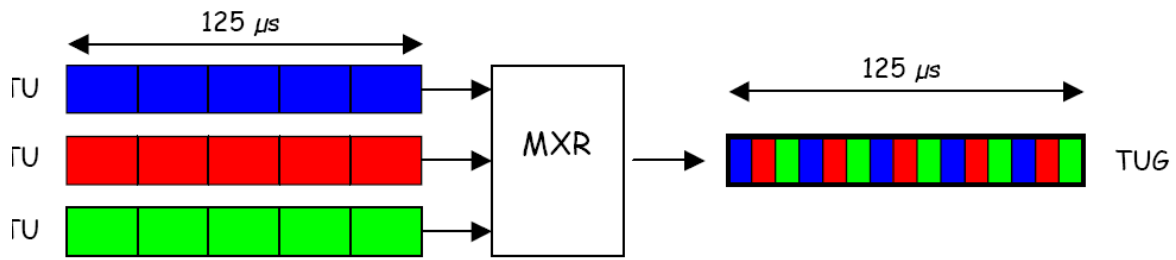
III.3.4.3. L'unité d'affluent TUn (Tributary Unit)

L'unité d'affluent (n=1 à 3) regroupe le conteneur virtuel et son pointeur. (TUn=VCn+PTR). La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VCn dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport.



III .3.4.4. Le groupe d'unités d'affluents TUGn (Tributary Unit Group)

Le groupe d'unités d'affluents (n=2 à 3) est une structure virtuelle de la trame qui permet de regrouper ou multiplexer les TUn et les assembler en unité (bloc) d'ordre supérieur. Le multiplexage se fait toujours octet par octet.



III.3.4.5. Unité Administrative AUn

L'unité administrative (n=3 à 4) assure l'adaptation entre la couche du conduit de niveau supérieur et la couche de la section de multiplexage, elle se compose d'un conteneur virtuel d'ordre Supérieur associé au pointeur .

III.3.4.6. Groupe d'Unités Administratives AUG

Le Groupe d'unités administratives AUG n'est pas une nouvelle entité physique, mais seulement une structure virtuelle de la trame .L' AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport utilisée.

III.4.L'arbre de multiplexage SDH

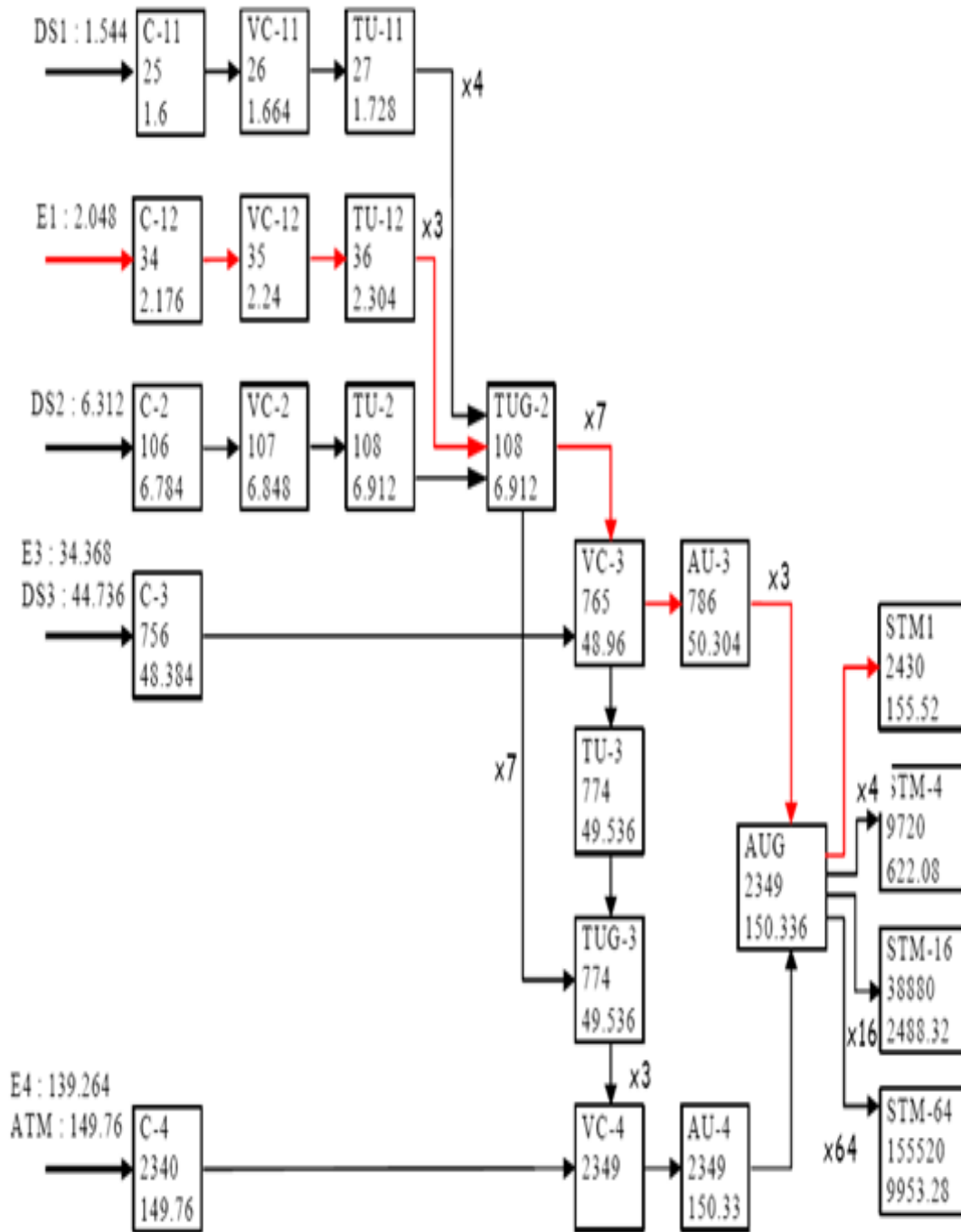


Figure. III.7.structure du multiplexage synchrone [12]

III.4.1.Insertion d'affluent 2Mbit/s dans un STM-1 [12]

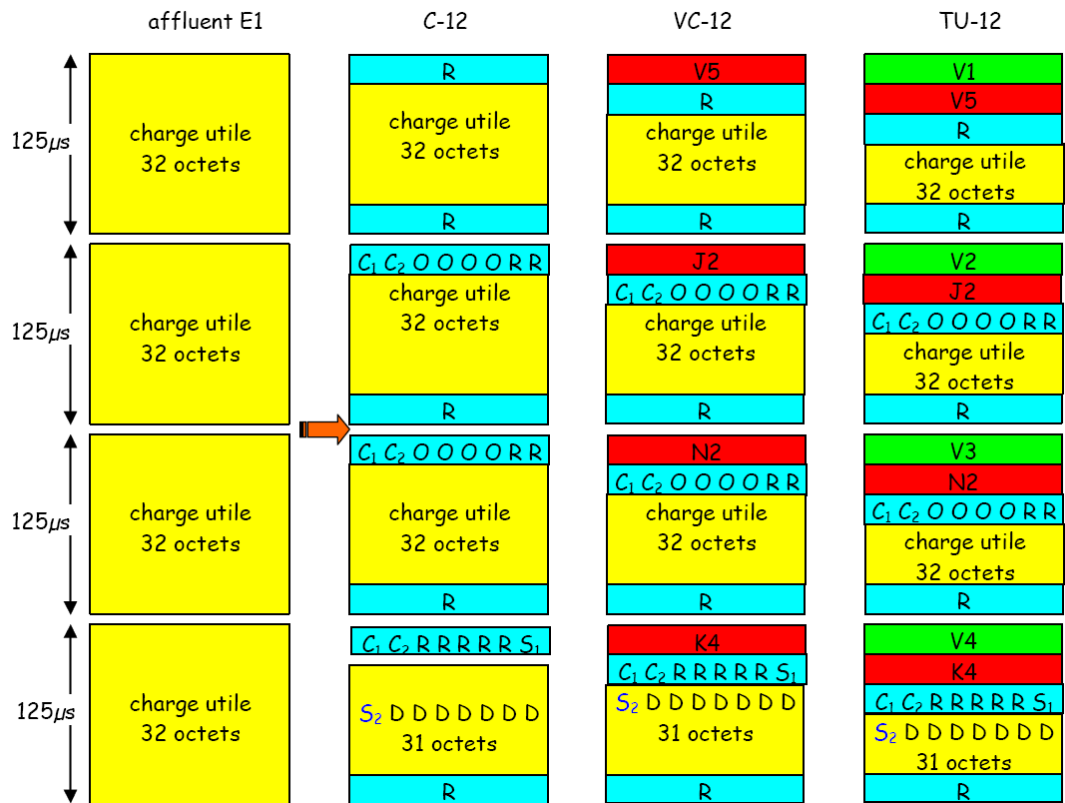


Figure III.8. Constitution de la tributary unit TU-12

III.4.1.1. Constitution du conteneur C-12

Le C-12 est une multi trame de 136 octets en 500µs (4fois 125 µs), chaque trame est constituée d'un affluent E1(32 octets,125µs) à qui on ajoute deux octets de sur débit, on obtient un conteneur C-12 de capacité de 34 octets.

La signification des octets :

- R : bit de Remplissage.
- D : bit de donnée (charge utile).
- C1 et C2 : bits de contrôle de justification.
- S1 et S2 : bits de justification.
- O : bit de service.

Le contrôle de justification se fait comme suit :

Il y a 3 bits C1 dans une multi-trame de Conteneurs

- Si C1 C1 C1 = 000 alors S1 est un bit de donnée
- Si C1 C1 C1 = 111 alors S1 est un bit de bourrage

Il y a 3 bits C2 dans une multi-trame

- Si C2 C2 C2 = 000 alors S2 est un bit de donnée
- Si C2 C2 C2 = 111 alors S2 est un bit de bourrage

Les bits C1 et C2 sont transmis trois fois pour augmenter la sécurité

III.4.1.2. Constitution du conteneur Virtuel VC-12

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

- V5 : Surveillance des erreurs.
- J2 : Identification du point d'accès.
- N2 : Surveillance des connexions en cascade.
- K4 : Octet réservé pour un complément d'étude.

III.4.1.3. Constitution de la tributary Unit TU-12

La Tributaire Unit TU-12 est obtenue en ajoutant un pointeur au VC-12. L'obligation de disposer de 4 pointeurs a mené à regrouper les TU-12 en multi trames de 4.

Les pointeurs sont notés V1, V2, V3 et V4.

V1 et V2 : constituent le pointeur de VC12.

V3 est l'opportunité de justification négative.

V4 : n'est pas utilisé (application future).

V4 : n'est pas utilisé (application future).

V4 : n'est pas utilisé (application future).

- Organisation matricielle des Tributary Units

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36

Figure .III.9.Organisation matricielle d'une TU-12

III.4.1.4. La Tributary Unit Group TUG-2

la TUG-2 est constituée de trois TU-12 multiplexées octet par octet. Elle est constituée de 108 octets organisés en une matrice de 12 colonnes.

1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
5	5	5	6	6	6						
									36	36	36

Figure. III.10.TUG-2 construite par multiplexage de 3 TU-12

III.4.1.5. Le conteneur virtuel VC-3 (7 x TUG-2)

Le groupe AUG reçoit trois AU-3 multiplexées octet par octets.

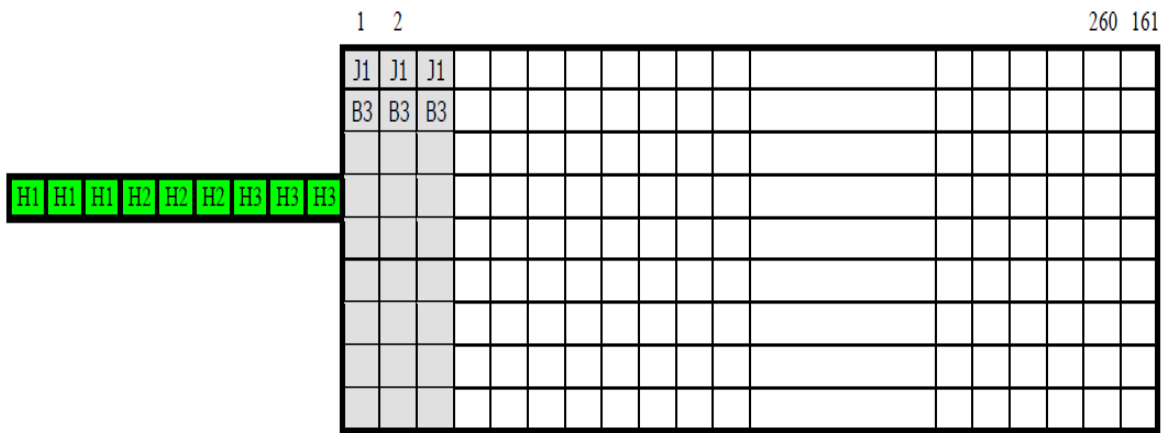


Figure. III.13.AUG construit à partir de 3 AU-3

III.4.1.8. La trame STM-1

La trame STM-1 est constituée d'une AUG à laquelle on a ajouté le sur débit RSOH et le sur débit MSOH.

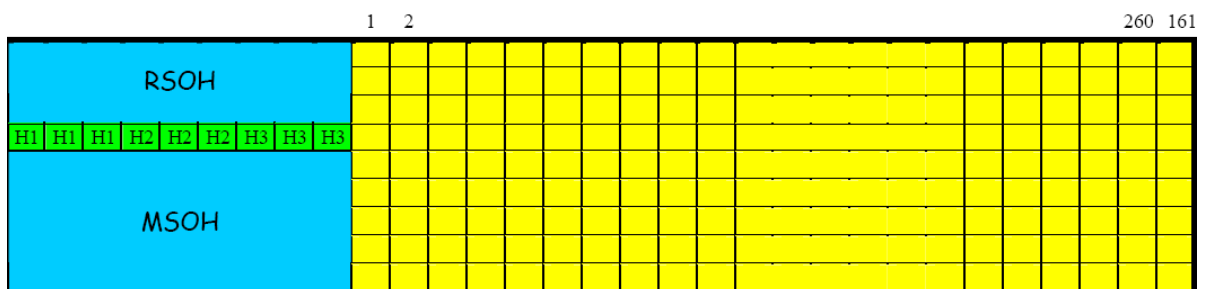


Figure. III.14.Groupe d'unité administrative AU-G

III.4.2.Insertion d'affluent 140Mbit/s dans un STM1 [11]

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 140 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C4. Ce conteneur de périodicité 125ms est formé de 180 blocs chacun constitué de 13 octets.

La capacité : $20 \times 9 \times 13 \times 8 = 18720$ bits.

Le débit : $18720 / 125 = 149,760$ Mbit/s

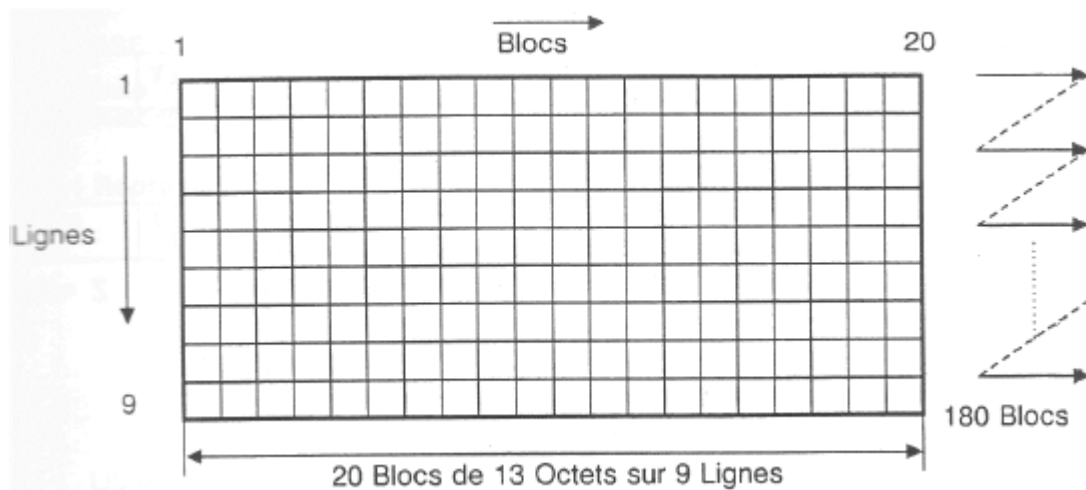


Figure.

III.15. bloc de conteneur C4

Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de 139,264 Mbit/s, tous les bits ne seront donc pas utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc il y a 13 octets répartis comme suit :

- 1 octet pour les bits d'indications tels que le bit de remplissage, de justification ou de sur débit.
- 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Ceci permet de voir qu'il y a en faite 17406 bits d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mbit/s.

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

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

- L'unité Administrative AU4 est constituée de l'ensemble VC4 et d'un pointeur associé.
- La trame STM-1 est constituée de l'ensemble AU4 et d'un sur débit de section SOH qui se décompose en deux sous ensembles : le RSOH et le MSOH.

III.4.3. Insertion d'affluent 34Mbit/s dans un STM-1

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 34 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C3. Ce conteneur de périodicité 125ms est formé de 9 lignes comptant chacune 84 octets.

La capacité : $9 \times 84 \times 8 = 6048$ bits.

Le débit : $6048/125 = 48,384$ Mbit/s

Le débit de C3 est supérieur au débit de l'affluent donc tous les octets ne sont pas utilisés pour transporter des bits d'information. Le Conteneur C3 est partagé en trois parties T1, T2, T3, de trois lignes chacune. Comme il n'y a pas assez d'octets de données on ajoute des bits de remplissage, donc le débit nominal de l'information dans du C3 passe à 34,344 Mbit/s.

- Le conteneur virtuel VC3 est obtenu en rajoutant à C3 un sur débit de Conduit POH identique au POH du VC4.
- Le TU3 est constitué de l'ensemble du VC3 et d'un pointeur associé placé dans la capacité utile de la trame STM1. Le pointeur TU3 est identique au pointeur d'AU4 et joue le même rôle.
- Le TUG3 définit les emplacements des TU3 (VC3 et pointeurs associés) dans le VC4.
- Le VC4 formé de 3 TUG3 est obtenu en effectuant un multiplexage par entrelacement de colonnes des TUG3 A/B/C après avoir placé en tête du VC4 la colonne contenant le POH de VC4 et deux colonnes de remplissage.

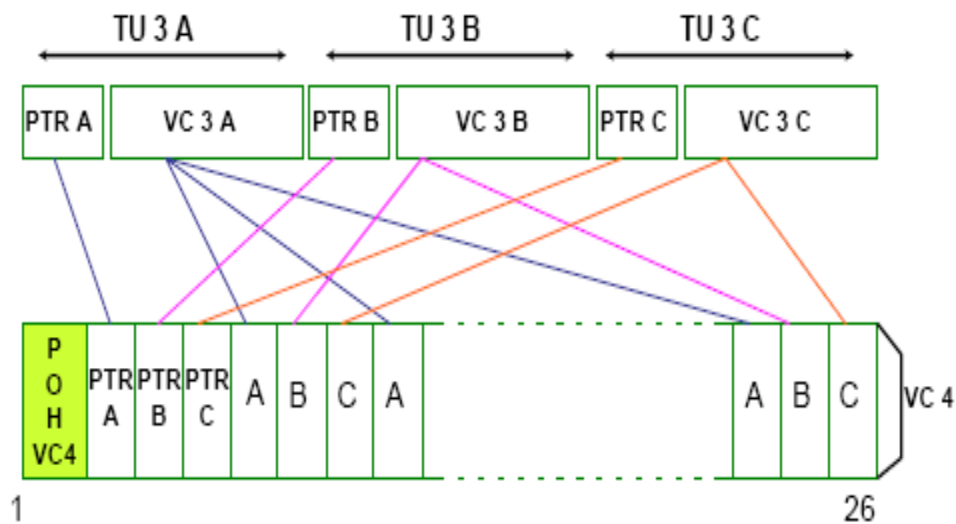


Figure III.16. VC-4 construit à partir de 3 TUG-3

III.5. La trame STM-n

La trame STM-n est composée d'une capacité utile obtenue par multiplexage de n

AUG et d'un SOH.

La capacité utile d'un STM-n est obtenue par multiplexage de n VC4 (n x261 colonnes) qui est composé de n AUG. Le multiplexage est réalisé en effectuant un entrelacement des octets de n VC4.

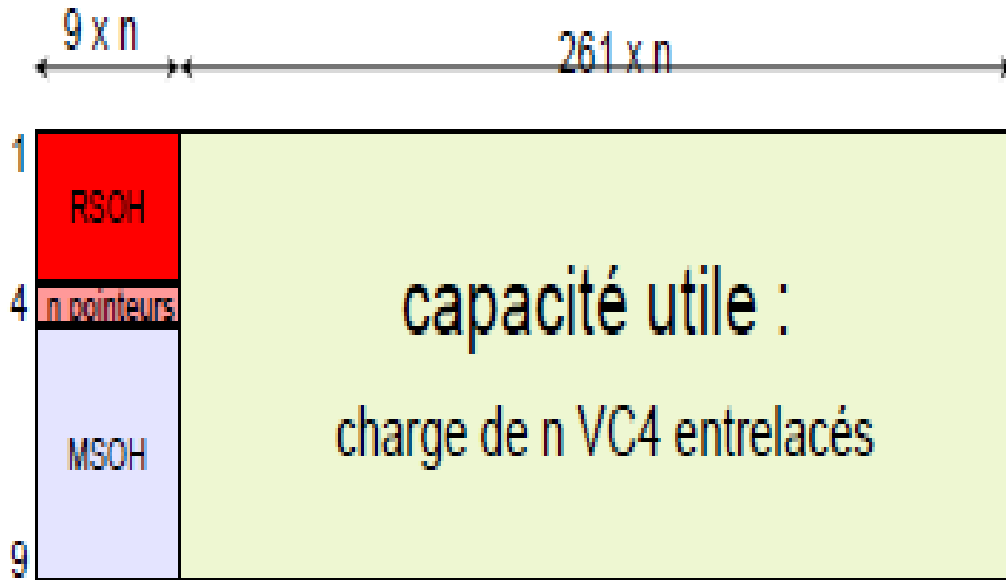


Figure III.17.La trame STM-n

III.6. Synchronisation du réseau SDH

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

Le dispositif général de synchronisation est du type maître esclave. Chaque équipement du réseau possède une horloge propre qui se synchronise sur l'horloge du niveau supérieur. L'horloge unique du plus fort niveau est appelée horloge primaire de référence PRC (Primary Reference Clock). C'est une horloge au césium de très haute précision (10^{-11} sur le log terme), elle est doublée par une horloge secondaire SRC (Secondary Reference Clock) qui est souvent une horloge GPS fournie par satellite.

L'architecture du réseau est telle que chaque élément du réseau reçoit au moins deux circuits d'horloge. Dans un réseau en anneau, la référence primaire est injectée sur un nœud (Fig. III-18 : N1) qui se charge de la diffuser sur les trames STM vers les autres nœuds. L'horloge secondaire est injectée sur un autre nœud (Fig. III-18 : N3) qui la diffuse vers les autres soit sur la 2ème fibre dans le cas d'un anneau bidirectionnel soit sur la fibre de secours. L'horloge secondaire est utilisée en cas de rupture du circuit normal ou en cas d'annonce du nœud N1 d'une perte du rythme de référence. Les trames STM comportent un octet STS (StatuS message Byte) dans le surdébit SOH qui permet d'identifier la nature de l'horloge transportée,

PRC : 0010

SEC: 10111 DNU: 1111(Do Not Use)

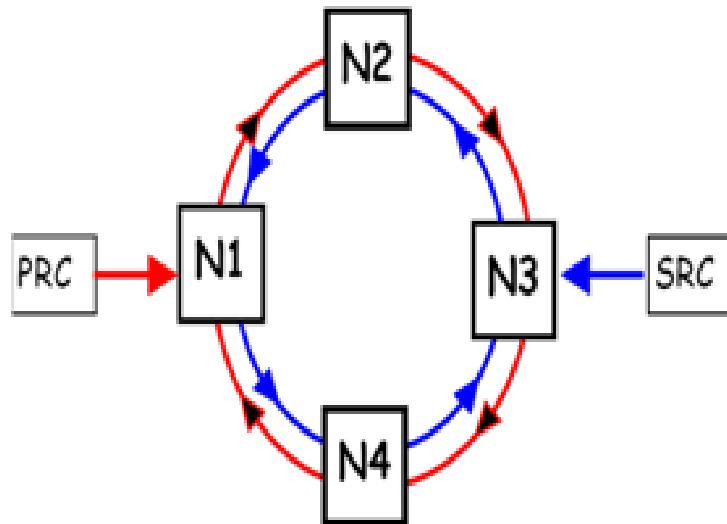


Figure III.19.Distribution de l'horloge [13]

III.7. Infrastructure du réseau SDH

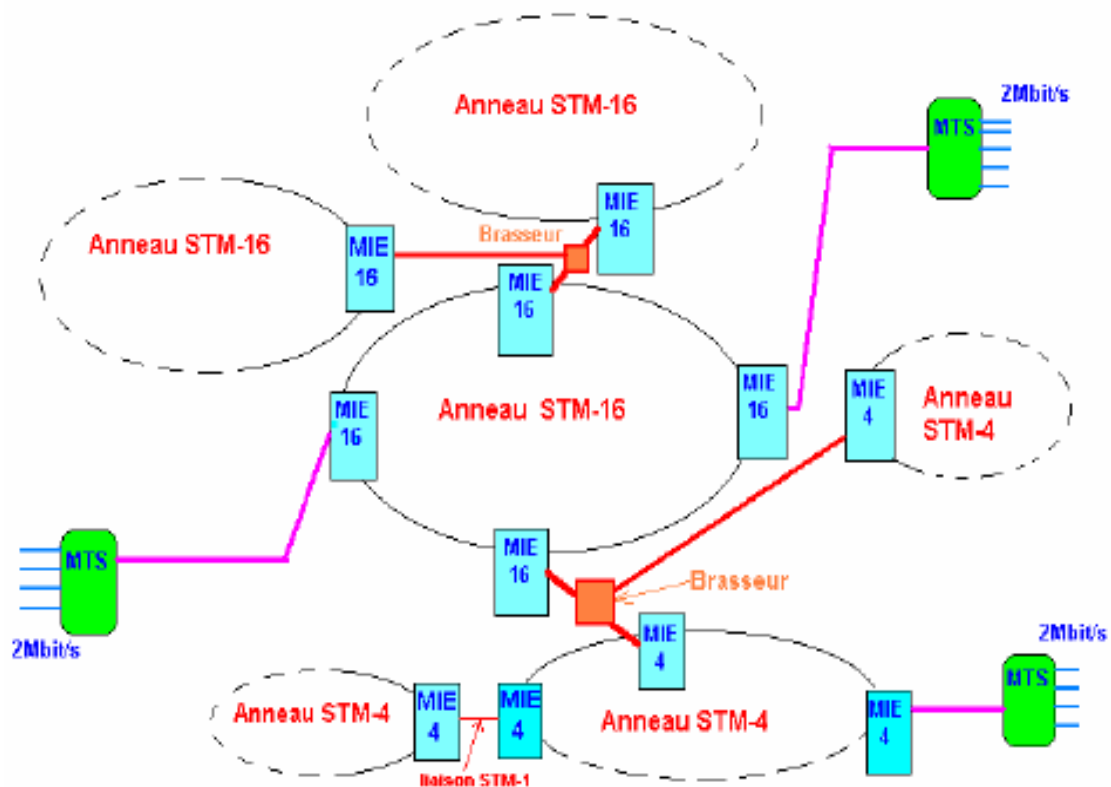


Figure III.19. Infrastructure du réseau S.D.H. [13]

III.7.1. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Les multiplexeurs insertion-extraction (add-drop) sont utilisés pour réaliser les fonctions de transmission suivantes :

- Transfert du signal numérique synchrone de ligne entre ses accès " Ouest " et " Est ".
- Dérivation : insertion/extraction de signaux numériques plésiochrones et/ou synchrones dans le signal numérique synchrone présent à ses accès " Ouest " et/ou " Est ".
- Des fonctions de brassage de VC12 ont été introduites dans le MIE.

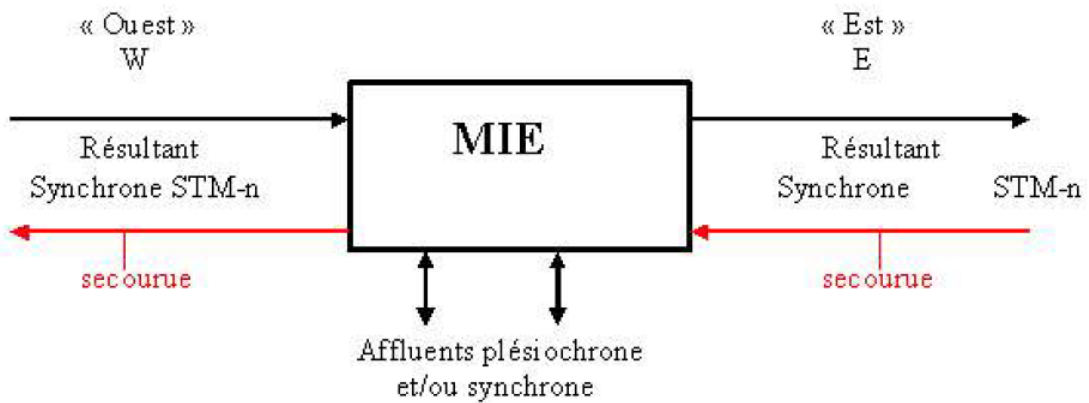


Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Le MIE contient la fonction de régénération qui permet la remise en forme uniquement par régénération du signal électrique et une surveillance de la section de la régénération. Pour de longue distance on n'installe un MIE sans cartes affluentes pour régénérer le signal.

L'un des inconvénients majeurs du MIE est le nombre insuffisant d'accès à 2Mbit/s au niveau du châssis MIE alors que ce débit est le plus demandé, c'est pour cela que l'on utilise des MTS.

III.7.2. Multiplexeur Terminal Simplifié

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant.

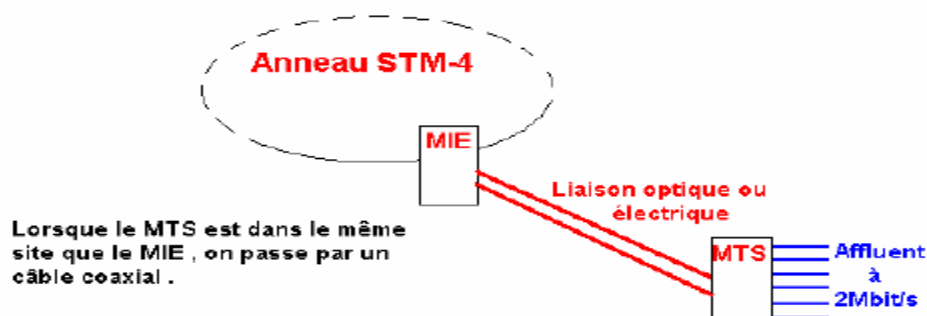


Figure III.21. Multiplexeur Terminal Simplifié

III.7.3. Brasseur

Les brasseurs sont destinés à assurer la connectivité et la flexibilité de la bande passante entre différentes portions de réseau, les transferts de VC entre boucles ou sous réseaux. Ces brasseurs sont des équipements de forte capacité, ils sont situés aux nœuds importants du réseau.

III.8.Topologies

Les architectures peuvent être réalisées en bus, en anneau, en étoile et peuvent être combinées entre elles permettant aux opérateurs de résoudre un grand nombre de cas pratiques.

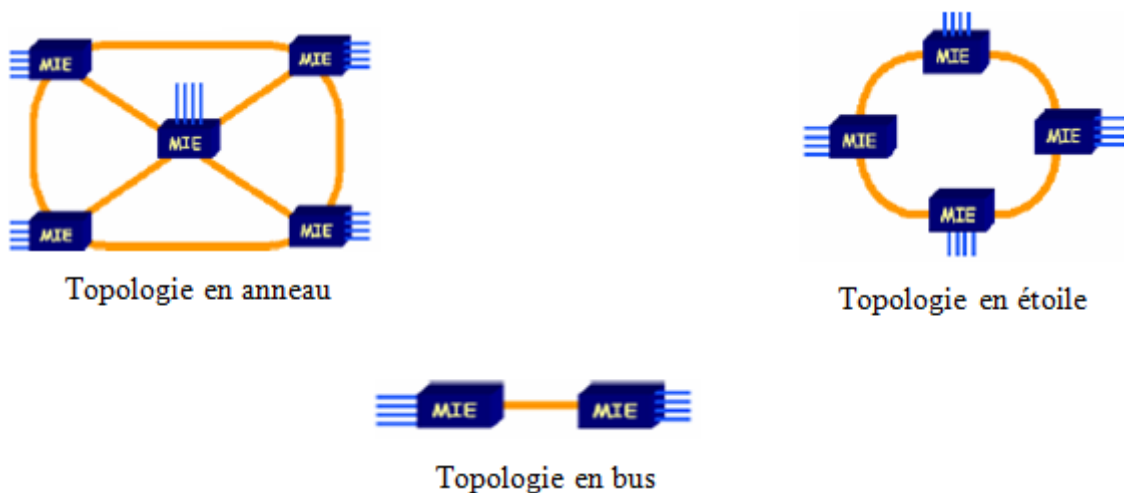


Figure III.22.Les topologies de la hiérarchie SDH

Un réseau en anneau est une chaîne, repliée sur elle-même et refermée, constituée uniquement des nœuds MIE (ou ADM pour Add-Drop Multiplexer) et ne possédant pas de nœud terminal. Ce type de réseau joue un rôle clé en SDH/SONET grâce aux mécanismes performants d'auto cicatrisation (délai de rétablissement < 50 ms) du réseau en cas de défaillance (par exemple: câble coupé, panne d'électricité ou incendie dans un nœud du réseau).

Les applications des réseaux en anneau sont nombreuses : réseaux d'accès aux réseaux nationaux, en passant par les réseaux locaux et régionaux. Les réseaux auto cicatrisants sont divisés en deux catégories :

- Les anneaux unidirectionnels.
- Les anneaux bidirectionnels.

III.8.1. Les anneaux unidirectionnels (2 fibre)

Les trafics émissions et réception circulent dans le même sens sur l'anneau, sur la fibre dite active. L'autre fibre de protection peut être utilisée, soit pour la duplication du trafic, soit pour transporter un STM-n vide ou un trafic non prioritaire.

III.8.2. Les anneaux bidirectionnels (2 fibres)

Les trafics émissions et réception circulent en sens opposés sur l'anneau et utilisent donc les deux fibres de la fibre. Par conséquent, la moitié de la bande passante doit être réservée pour la protection, afin de permettre une réorientation de trafic en cas de défaillance.

III.8.3. Les anneaux bidirectionnels (4 fibres)

Dans ce cas, une paire de fibres est réservée pour la protection. Cette paire de fibres peut être éventuellement utilisée pour un trafic non prioritaire et pour de la protection entre nœuds voisins.

III.9. La protection dans les réseaux SDH [14]

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission comme la rupture d'une fibre ou la défaillance d'un équipement de réseau.

III.9.1. La protection du sous-réseau SNCP (Sub-Network Connection Protection)(1+1)

Ce type de protection consiste à protéger le trafic conduit par conduit d'un anneau à deux fibres, chacun étant terminé par un basculeur. Lorsqu'une fibre est coupée, autant de basculements de conduits se produiront qu'il y aura des conduits empruntant cette fibre. Le trafic est diffusé en permanence sur deux chemins dans le réseau. Puis, à l'autre extrémité de la portion protégée du conduit, on choisit la branche sur laquelle le trafic est de meilleure qualité au niveau de chaque affluent TU-12, TU-3 et AU-4. L'objectif recherché dans ce type

de protection étant de limiter l'activation des mécanismes de protection à des segments de conduits.

III.9.2. La protection de la section de multiplexage MSP (Multiplex Section Protection)

- La protection MSP linéaire (point à point) : On protège de cette façon un lien direct entre deux ADM adjacents par un autre lien direct entre ces deux ADM. Il existe plusieurs possibilités de mise en œuvre :
- La protection 1 + 1 : Cette protection prévoit un deuxième support de secours qui prend le relais en cas de défaillance du circuit normal. Le circuit de secours dépend de l'architecture, il peut être constitué d'une fibre en cas d'un réseau unidirectionnel, ou d'une paire de fibre en cas d'un réseau bidirectionnel.

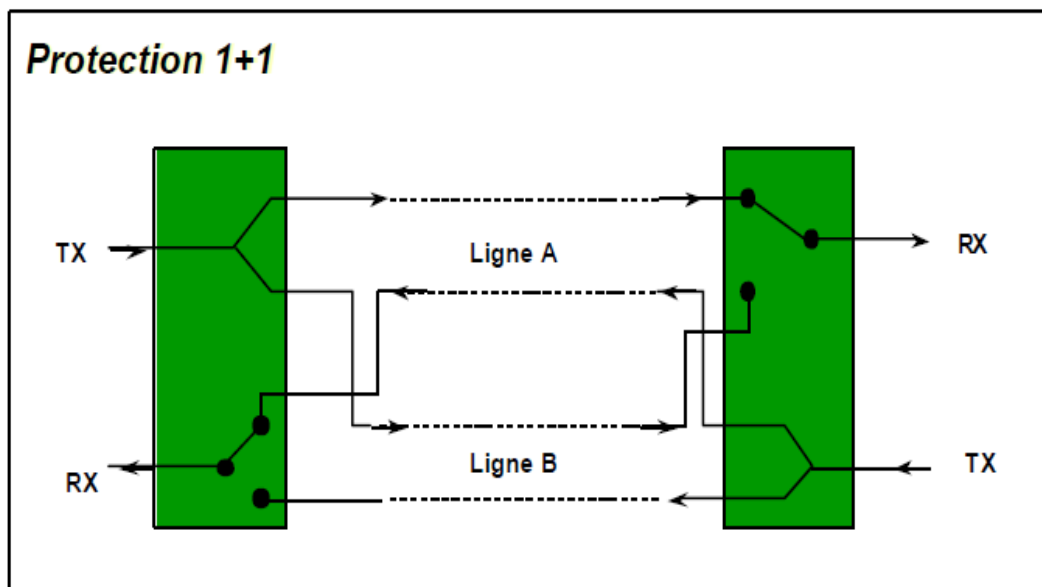


Figure III.23.1. Le principe de la protection MSP : 1+1

- La protection 1 : N : Consiste à protéger plusieurs liaisons entre les multiplexeurs adjacents par une seule liaison de secours, qui prendra en charge l'une des liaisons en panne seulement (si plusieurs tombent en même temps). Le signal est sélectionné à l'émission comme à la réception. Le trajet de la ligne normale et celui de celle de secours devraient pour bien faire être différents.

- La protection M : N : La protection M : N est dérivée de la protection 1 : N, elle consiste à réserver M dispositifs de protection pour protéger N dispositifs actifs, ainsi dans une liaison SDH, N conduits actifs seront protégés par M conduits de secours. Ce système de protection est utilisé pour les lignes de longues distances.

III.9.3. La protection MSP des anneaux

- La protection dédiée de la section de multiplexage MS-DPR (MS-Dedicated Protection Ring) Pour chaque trafic traversant l'anneau, une capacité équivalente est réservée sur tout l'anneau, grâce à une deuxième fibre. Par conséquent, le nombre maximum de conduits traversant l'anneau correspond au nombre maximum de conduits sur une liaison entre deux ADM adjacents.

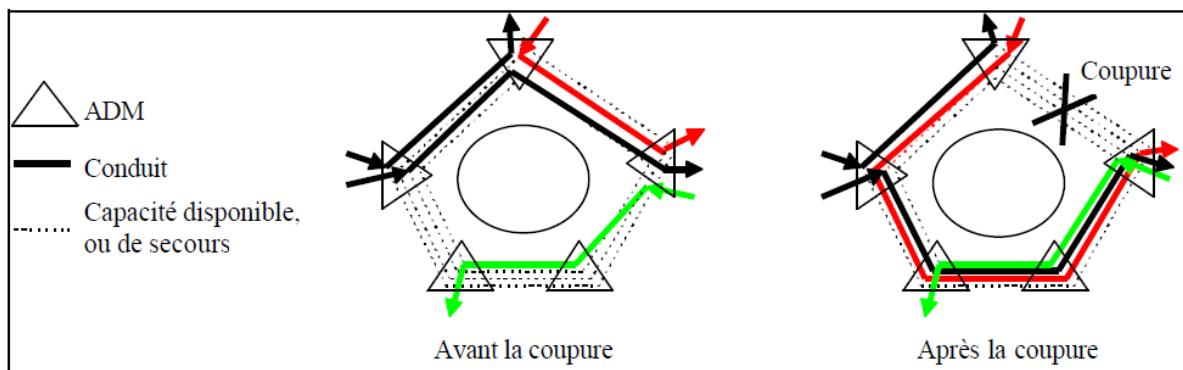


Figure III. 24. Le principe de la protection MS- DPR.

Les anneaux unidirectionnels sont des anneaux à deux fibres et peuvent être à protection de section ou protection de conduit. Les anneaux bidirectionnels sont uniquement à protection de section et peuvent être à 2 ou 4 fibres.

Le choix du type d'anneau et de son mécanisme de protection associé dépend de plusieurs paramètres, tels que la taille du réseau et le type de trafic sur le réseau.

Néanmoins, les anneaux bidirectionnels conviennent mieux pour des trafics équilibrés entre chaque nœud (réseau national par exemple) et que les anneaux unidirectionnels à protection de conduits sont plus adaptés à des trafics dirigés vers un nœud particulier (hub par exemple).

La sécurité de la technologie SDH prévoit qu'en cas de coupure de la ligne, le signal est automatiquement réacheminé sur un réseau « secours ». Plusieurs configurations de ce réseau sont possibles.

III.10. Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

Pour la norme SONET, les niveaux sont classés en OC : Optical Conteneur.

Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM - n (Synchronous Transport Module, niveau n).

La hiérarchie de la norme SDH correspond à celle de SONET pour les interfaces ATM.

Le niveau 1 de SDH (155,52 Mb/s) est le niveau 3 de SONET et le niveau 2 de SDH (622,08 Mb/s) est le niveau 12 de SONET.

SDH	SONET	Débit
STM-1	OC-3	155 Mb/s
STM-14	OC-12	622 Mb/s
STM-16	OC-48	25 Mb/s
STM-64	OC-192	10 Mb/s
STM-48	OC-384	20 Mb/s
STM-256	OC-768	40 Mb/s

Tableau .III.4.Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

III.11. Avantages de SDH /SONET

La SDH offre des avantages significatifs sur la PDH.

La SHD repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte, en plus du haut débit (plus élevé qu'on PDH).

-Grande fiabilité de transmission, la fibre de verre est insensible aux interférences électriques et électromagnétiques.

-Absence d'interférences entre fibres optiques voisines.

-Grande bande passante. Une fibre unique peut transporter plus de 1000000 fois le volume

-transporté par un fil de cuivre. Même sur fibre optique, avec son débit max de 565 Mb/s, la hiérarchie PDH a du mal à satisfaire les besoins en bande passante des nouveaux services.

-Très faible atténuation, ce qui augmente considérablement la portée en deux régénérateurs. Une seule fibre optique peut transporter un débit de 10 Gbps sur 400 Km sans amplificateurs.

-Les deux standards SDH et SONET sont compatibles. Ils sont interfaçages entre eux et avec les réseaux non optiques (PDH (USA), PDH(Europe), ATM.)

-Possibilité d'insérer et d'extraire un affluent de faible débit d'un circuit à haut débit sans être obligé de le démultiplexer. Cette opération est impossible avec la hiérarchie PDH.

-Une souplesse accrue quant à la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex.

-Une facilité d'exploitation-maintenance : des débits importants sont réservés à ces fonctions.

-Une possibilité d'évolution vers des hauts débits : les trames synchrones hauts débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base.

-Cette entité de base définit implicitement toutes les trames hauts débits, la limitation n'est plus que technologique.

- Une interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes.

-Des architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipements.

-La modularité des équipements SDH est plus adaptée aux progrès de la technologie que les équipements plésiochrones.

Chapitre IV

Etude d'une liaison FHN au profil de Boudjima

IV.1.Introduction

ALGERIE TELECOM a le statut d'une entreprise publique, sa naissance remonte au 5 aout 2000, après une restructuration visant le secteur des postes et des télécommunications Algériens, séparant ainsi les domaines d'activités postales de ceux des télécommunications.

ALGRIE TELECOM effectue ses transmissions en utilisant plusieurs réseaux dont :

- Réseau public de transmission de données par paquets X25(DZPZC) 7600 accès ;
- Backbone national de transmission à 10Gbits/s(WDM)
- Backbone régional de transmission à 2.5Gbits/s ;
- Réseau national rural : 103 réseaux intégrant plus de 1500 localités ;
- Plus de 1000 communes rattachées en fibre optique ;
- Une centaine de commune rattachée en faisceaux hertziens ;
- Backbone FHN pour relier communes et village isolé ;

Dans ce qui suit, nous allons montrer les différentes étapes de mise en service pour la réalisation d'une liaison de transmission par faisceaux hertziens d'ALGRIE TELECOM de la wilaya de Tizi-Ouzou.

IV.2. Caractéristique de la liaison

La commune de Boudjima est situé au nord ouest de tizi-ouzou elle est délimité au nord par la commune de tizirt, à l'est, par la commune de timizat, au sud, par la commune de ouaguenoun, et à l'ouest par la commune de makouda, elle est composé de 13 villages. En 2008 elle avait 15628 habitants et une densité de population de 447 habitants/km²; les besoins en télécommunications sont en effet nombreux et divers (téléphonie mobile, fixe, ADSL, WLL...).

Vue son relief montagneux et pour répondre à ces différents besoins la société d'ALGERIE TELECOM s'est avérée que la réponse la plus approprié consistait à déployer une liaison (16 × 2Mbits/s) par faisceaux hertziens numériques entre les sites de Boudjima et Belloua.



Figure IV.1. Carte géographique présente la situation (position) de la commune de Boudjima et Belloua

IV.3. Les étapes de l'étude

IV.3.1. Déplacement sur les deux sites

On se déplace sur les deux sites aux même temps avec les outillages nécessaires pour le travail (jumelle, miroir, talkie walkie ...etc).

- **Site de boudjima :** le choix d'un terrain est indispensable suite à l'inexistence d'une localité qui revient à Algérie Télécom afin d'établir un plan pour la construction d'un local qui abritera l'équipement.

✓ **Coordonnées géographiques**

Longitude : 4° 17'57'' E

Latitude : 36° 48'34''

Altitude : 416 m.

- **Site de belloua** : Il occupe le sommet de la montagne de belloua qui domine par le nord la wilaya de tizi ouzo, le terrain revient à Algérie télécom et les équipements existent déjà.

✓ **Coordonnées géographiques**

Longitude : 4° 30'47''

Latitude : 36° 44'0''

Altitude : 680 m

IV.3.2.Vérification de la visibilité entres les deux sites

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

IV.3.2.Distance du bon

La localité de Boudjima doit être raccordée aux réseaux de Tizi-Ouzou à travers le relais de Belloua, pour cela on utilise une carte géographique au 1 : 50 000 . Une fois la distance est calculée on peut utiliser le GPS (postion global système) pour la vérification.

On a trouvé une distance de 12,5 Km

IV.3.2. Paramètres d'installation

IV.3.2.1. Le choix de la liaison

La capacité de l'équipement a été choisie selon les besoins d'utilisation (station GSM, ADSL, équipement spécialisées, WLL....etc.). Le débit de la liaison est de 16×2 Mbits/s et la fréquence est de 18Ghertz.

IV.3.2.2. Les antennes

Les installations de radiocommunication par faisceaux hertziens se composent de deux antennes paraboliques, l'une à l'emplacement d'émission, l'autre à l'emplacement

de réception. Leur rôle principale est d'assurer l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

Pour cette liaison les antennes sont de 0,6 m de diamètre et 18 m de hauteur avec des supports de 25 m de hauteur pour avoir une meilleure directivité.

IV.3.2.3. Le câble coaxial

Le câble coaxial est utilisé comme un support de guide d'onde entre les équipements et les antennes. Il a une impédance caractéristique de 75Ω .

IV.3.2.4. Polarisation des antennes

Pour les liaisons longue distance on choisit la polarisation verticale parce que le signal est nettement mieux et l'information est reçue sans distorsion. Tandis que la polarisation horizontale est employée pour les distances courtes. La polarisation verticale peut diminuer le temps d'interruption de 30% par rapport à la polarisation horizontale. Pour qu'une liaison fonctionne correctement, il faut que l'antenne de réception soit polarisée de la même façon que l'antenne d'émission.

IV.3.2.5. Source d'alimentation

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

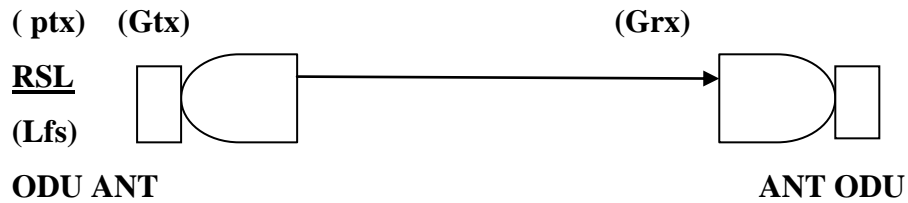
IV.3. 2.5. Protection nécessaire

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

IV.4. Calcul du bilan de la liaison

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

IV.4. Calcul de la puissance du niveau de réception en aire clair (RSL en dB)



$$RSL = Ptx + Gtx - Lfs + Grx$$

RSL : Niveau de réception

Ptx : puissance sortie d'émission

Gtx : Gain d'antenne coté émission

Grx : Gain d'antenne coté réception

Lfs : Affaiblissement d'espace libre

IV.4.1. Puissance sortie d'émission Ptx d'ODU

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

Tableau .IV.1. Tableau de puissances Ptx [14]

IV.4.2 Gain d'antenne Gtx et Grx

Diam D'antenne	Gain d'antenne (dB)		
	15GHz	18GHz	23GHz
0,3 m	31,9Db	34,0dB	34,9Db
0,6 m	36,6dB	38,7dB	40,1dB
1,2 m	42,6dB	44,7dB	46,0Db

Tableau .IV.2.Gain d'antenne Gtx et Grx [14]

IV.4.3 Calcul l'affaiblissement en espace libre (Lfs)

$$Lfs = 92,45 + 20 \log [f(\text{GHz}) \times d(\text{Km})]$$

d= 12,5km est la distance qui sépare les deux sites

f =18 GHz fréquence de signal

$$Lfs = 92,45 + 20 \log (18 \times 12,5)$$

$$Lfs = 139,49 \text{ dB}$$

Ptx = +23 dbm (d'après le tableau .IV.1)

La puissance sortie d'émission pour ODU de bande 18GH doit être de +23 db

Gtx = 40,1 db(d'après le tableau .IV.2)

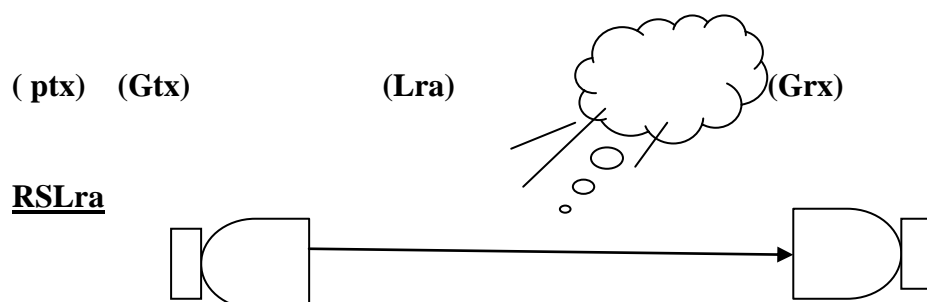
Grx = 40,1 db(d'après le tableau .IV.2)

Alors :

$$RSL = 23 + 40,1 - 139,49 + 40,1 \text{ RSL}$$

$$= - 36,29 \text{ dBm}$$

IV.5.Niveau de réception y compris l'affaiblissement dû à la pluie(RSLra)



ODU ANT

(Lfs)

ANT ODU

$$\mathbf{RSLra = Ptx + Gtx - Lfs - lra + Grx}$$

Lra= Affaiblissement dû à la pluie

IV.5.1. Affaiblissement dû à la pluie

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

La figure .IV.4 qui suit montre les zones (K, E, C, A) de précipitation sur un point de région.

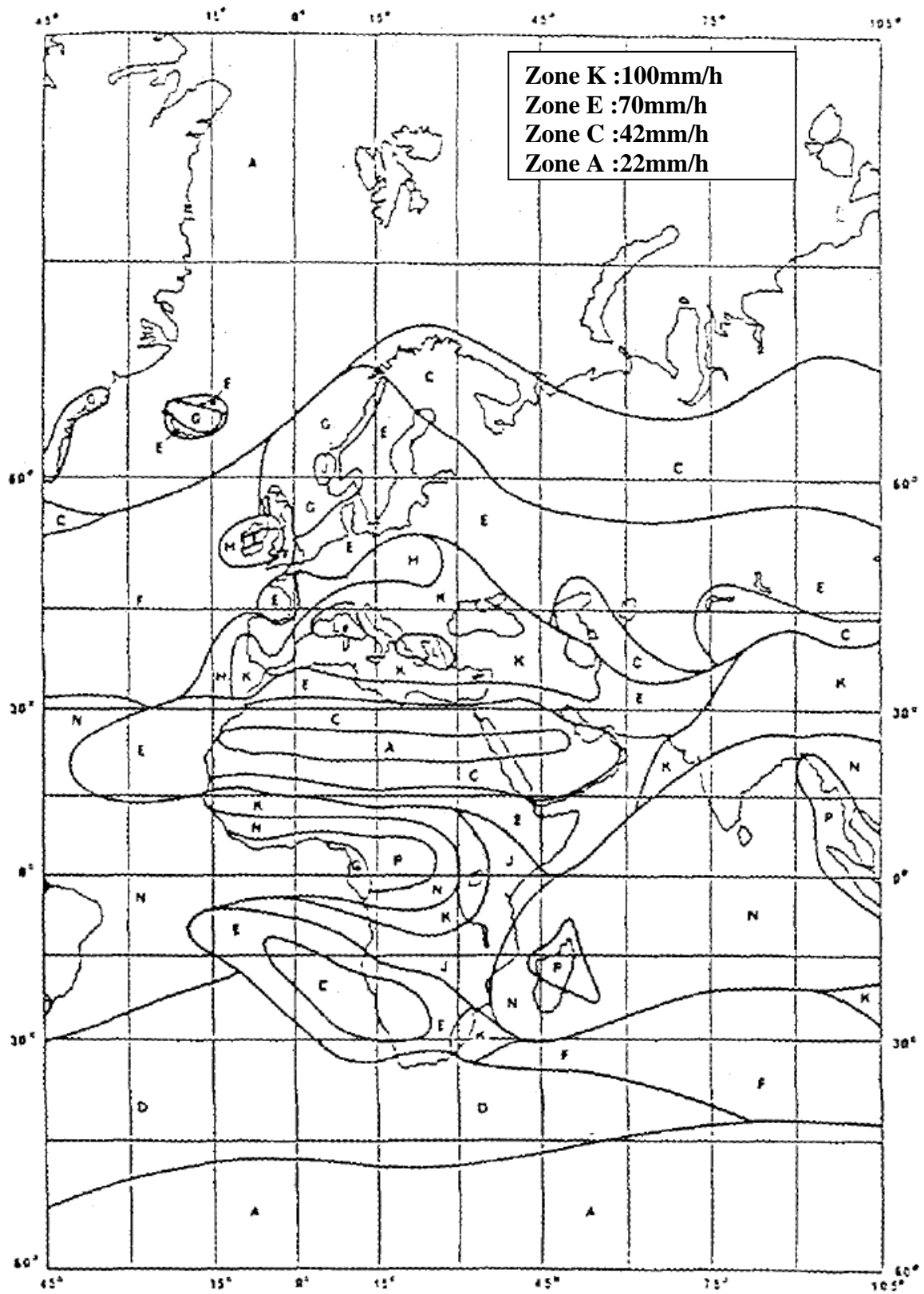


Figure .IV.2.La précipitation de 4 zones différentes

IV.5.2.Calcul de L'affaiblissement dû à la pluie (Lra)

On est dans la zone c : 42 mm /h

On a trace sur la figure IV.5 une ligne entre un point de 42 mm/h sur l'échelle gauche (précipitation à la zone c) et un point de 18 GHz sur l'échelle droite (bande de fréquence) on a trouvé un point d'affaiblissement de 3,1 GHz/km sur l'échelle au milieu donc l'affaiblissement du à la pluie sur 12,5 Km est 38,75 dB.

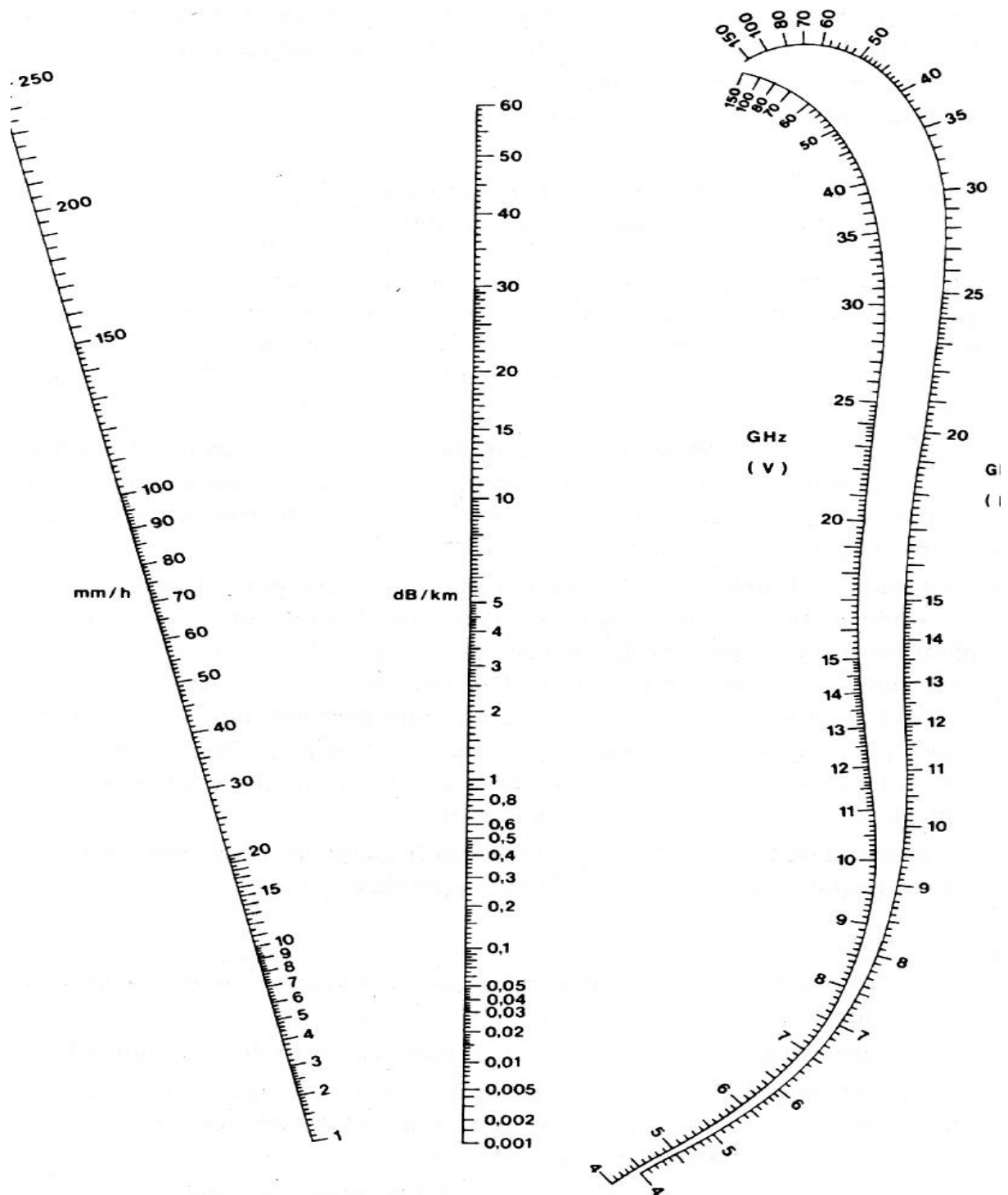


Figure .IV.3. Monogramme permettant le calcul de l'affaiblissement dû à la pluie.

(H) polarisation horizontale

(V) polarisation verticale

Alors :

$$\begin{aligned} \text{RSLra} &= 23+40,1 - 139,49 +40,1- 38,75 \\ &= - 75,04 \text{ dBm} \end{aligned}$$

IV.6.L'adaptation du niveau de réception

En fin de calcul de niveau de réception, il faut avoir l'adaptabilité de la valeur obtenue au système protégé pour une meilleure exploitation. Le critère utilisé pour le système PASOLINK :

- Critère A

Le niveau de réception doit maintenir une marge de fading MF (marge de protection contre les évanouissent) supérieure à 37 dBm par rapport au niveau de seuil NS (dBm) du récepteur à TEB 10^{-3} .

$$\text{MF} > 37\text{dBm P.R.P p.r.p NS à TEB } 10^{-3}$$

$$\text{-Marge de fading(MF) = niveau de seuil (SN)– niveau de réception(RSL)}$$

Item	15GHz	18GHz	23GHz
Niveau de seuil (dBm Mesure au port antenne) TEB= 10^{-3}			
8MB	-90,5	-89,5	-88,5
34MB	-84,5	-83,5	-82,5

IV.3.Le
seuil [14]

Tableau.
niveau de

$$\text{MF} = \text{SN} - \text{RSL}$$

$$\text{SN} = - 83, 5\text{dBm (d'après le tableau .3.)}$$

$$\text{MF} = - 83, 5 \text{ dBm} - (- 36,29 \text{ dBm})$$

$$= -47,21 \text{ dB}$$

$$47,21 \text{ dB} > 37 \text{ dB}$$

Critère B

Un niveau de réception y compris un affaiblissement dû à la pluie doit maintenir une marge de fading supérieur par rapport au niveau de seuil NS (dBm) du récepteur à $TEB10^{-3}$.

RSL_y compris L_{ra} (RSL_{ra}) = Niveau de réception (RSL) - Affaiblissement dû à la pluie (L_{ra})

$$RSL_{ra} = RSL - L_{ra}$$

$$= -36,29 \text{ dBm} - 38,75 \text{ dBm}$$

$$= -75,04 \text{ dBm}$$

$$-75,04 \text{ dB} > -83,5 \text{ dB}$$

$RSL_{ra} > NS$

- Conclusion

L'atténuation admise est de 46,35 dB. Comme la pluie intense ne provoque que 38,75 dB, la marge de fading de notre liaison est suffisante pour fonctionner sous un temps pluvieux avec une intensité qui peut atteindre 42 mm/h.

IV.7. Bilan global de la liaison

	Site-A	Site-B
Nom et N°	Boudjima	Belloua
Distance (d)	12,5 Km	
Système	2×16 Mbits/s	
Diamètre ANT	0,6 m	0,6 m
Fréq EM (Fréq, sub-band, Ch n.)	18 GHz, s-band (Tx=18473, Rx=19481)	18 GHz, s-band (Tx=19481, Rx=18473)

1	Puissance .EM (Ptx)	+23 (dBm)
2	Gain d'antenne (Coté EM) (Gtx) 15G 18G 23G 0,3m 31,9 34,0 34,9 0,6m 36,6 38,7 40,1 1,2m 42,6 44,7 46,0	40 ,1 (dB)
3	Affaiblissement d'espace libre (Lfs) $92,45+20\text{Log}[f(\text{GHz})\times d(\text{Km})]$	139,49 (dB)
4	Affaiblissement du à la pluie (lra) Zone K : 100mm/h Zone E : 70mm/h Zone C : 42mm/h Zone A : 22mm/h	38,75 (dB)
5	Gain d'antenne (Coté RX) (Grx)	40,1 (dB)
6	Calcul (Niveau de réception) (Rsl) Ptx+Gtx-Lfs-lra+Grx	-75,9 (dBm)

1	Niveau de seuil (TEB= 10^{-3}) (SN)	(dBm)
	15G 18G 23G 8M -90,5 -89,5 -88,5 34M -84,5-83,5 -82,5	-83,5
2	Marge de fading (MF) SN-RSL	-47,21 (dB)
3	Critère MF > 37 dBm	A Adaptabilité Concluent
4	RSL y compris affaiblissement du à la pluie (RSLra) RSL-Lra	-75,04 dBm

5	Critère RSLra > SN	B	Adaptabilité Concluent
----------	--	----------	---

Conclusion générale

*S'il n'y a pas de solution, ...
c'est qu'il n'y a pas de problème.
Quand on ne sait pas où l'on va, ...
il faut y aller ! et le plus vite possible!
Devise shadoks.*

Les faisceaux hertziens restent aujourd'hui le moyen le plus rapide et le moins onéreux pour installer un réseau de télécommunication. Ils sont utilisés dans les régions moins accessibles et les lieux accidentés. L'adaptabilité de ces réseaux se fait à l'aide de multiplexage SDH, qui permet le transport de débits très importants, et utilise les normes OSI, ce qui facilite cette adaptabilité aux différents réseaux.

L'étude de l'installation d'une liaison FHN reliant la région de Boudjima au réseau national était l'objet de notre travail. Cette liaison est caractérisée par un débit de 16×2 Mbits/s, choisi selon les besoins d'utilisations et la distance qui sépare les deux sites qui sont en visibilité directe. La liaison utilise deux bandes de fréquence, l'une pour l'émission et l'autre pour la réception, à la fréquence de 18 GHz. Le calcul du bilan de la liaison nous a permis de calculer un niveau de réception de -37 dbm qui maintient une marge d'atténuation (fading) $MF = -46$ dB. Cette marge permet de travailler avec suffisamment de performances, sous un temps pluvieux à une intensité qui peut atteindre 42 mm/h, et dans les conditions de propagation qui peuvent se présenter (interférences, contraintes dues aux obstacles ou les masques tels que : végétation, montagne, immeubles et divers obstacles lié à la propagation en espace libre).

Malgré leur simple réalisation et leur coût moindre, les faisceaux hertziens numériques SDH restent limités dans les débits transportés à 1,5 Gbit/s. Pour surpasser cette limitation, la fibre optique apporte des améliorations considérables en termes de débits et reste, à ce jour, le meilleur support de transmission moyennant un coût plus élevé.

Liste des figures

Figure I.1 : Structure du réseau locale

Figure I.2 : Structure simplifiée d'un tronçon du RTCP

Figure I.3 Architecture d'un réseau GSM

Figure I.4 : Le câble coaxial

Figure I.5 .La paire torsadée

Figure I.6. La fibre optique

Figure I.7. Transmission par satellite

Figure. I.8. La bande passante

Figure. I.9. Modélisation d'une ligne de transmission

Figure II.1. La structure de l'onde plane

Figure II.2. Polarisation rectiligne

Figure II.3. Polarisation circulaire

Figure II.4 : Spectre électromagnétique

Figure II.5 : Propagation des ondes électromagnétiques

Figure II. 6 : Couches atmosphériques

Figure II.7 .Portée d'une transmission troposphérique

Figure II.8 :L'ellipsoïde de Fresnel

Figure II.9 : Schéma principale d'une liaison hertziennes

Figure II .10. Géométrie d'une antenne parabolique

Figure II.12. Modulation de fréquence ou FSK

Figure II.13. Modulation de phase ou PSK

Figure II.14. Modulation d'amplitude ou ASK

Figure II.15. Modulation QAM

Figure II.16. Exemple de constellation QAM8 (3 bits par baud)

Figure II.17. Les étapes de la numérisation MIC.

Figure II.18. La loi européenne A

Figure II.19. Les étapes de la modulation MIC

Figure II.20 .Le Codage AMI

Figure II.21. le codage HDB3

Figure II.22. Structure d'une trame MIC

Figure III.1. Multiplexage et démultiplexage en PDH

Figure III.2. Structure de la trame STM-1

Figure. III.3. Les octets du pointeur

Figure .III.4. les octets du POH d'ordre supérieur

Figure. III.5. les octets du POH d'ordre inférieur

Figure. III.6. Les niveaux de multiplexage SDH

Figure. III.7. Structure du multiplexage synchrone

Figure III.8. Constitution de la tributary unit TU-12

Figure .III.9. Organisation matricielle d'une TU-12

Figure III.10. TUG-2 construite par multiplexage de 3 TU-12

Figure II.11. VC.3 construit à partir de 7 TUG-2

Figure III.12. L'unité administrative AU-3

Figure. III.13. AUG construit à partir de 3 AU-3

Figure III.14. groupe d'Unité Administrative AU-G

Figure. III.15. Le conteneur C4

Figure III.16. VC-4 construit à partir de 3 TUG-3

Figure III.17. La trame STM-n

Figure III.18. Distribution de l'horloge

Figure III.19. Infrastructure du réseau S.D.H.

Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Figure III.21. Multiplexeur Terminal Simplifié

Figure III.22. Les topologies de la hiérarchie SDH

Figure III.23.1. Le principe de la protection MSP : 1+1

Figure III. 24. Le principe de la protection MS- DPR.

Figure .IV.1. Carte géographique présente la situation (position) de la commune de Boudjima et Belloua

Figure .IV.3. Monogramme permettant le calcul de l'affaiblissement dû à la pluie.

Figure .IV.2. La précipitation de 4 zones différentes dû à la pluie

Liste des tableaux

Tableau I.1 : comparaison des supports de transmission.

Tableau II.1. L'utilisation de spectre électromagnétique.

Tableau II.2. Les combinaisons d'amplitudes et de phases.

Tableau III.1. Les réseaux de sections de multiplexage RSOH

Tableau III.2. Les réseaux de sections de multiplexage MSOH

Tableau. III.3. La correspondance affluent -conteneur

Tableau III.4. Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

Tableau .IV.1. Tableau de puissances P_{tx}

Tableau .IV.2. Gain d'antenne G_{tx} et G_{rx}

Tableau. IV.3. Le niveau de seuil

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électronique

Option : **Communication**

Thème

**Etude d'une liaison FHN point à point utilisant
Le multiplexage SDH du réseau Algérie télécom**

Fait par :

Mlle: OUELMOKHTAR FARIDA

Mlle : OUGACHE LILA

Promoteur:

Mr.: M. TAHANOUT

Proposé par :

Mr : K.IZRI

PROMOTION 2011



Remerciements

D'abord nous tenons à remercier le bon Dieu de nous avoir accordé la force et le courage de muni à terme ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour les gens de CA2 d'Algérie Télécom de Tizi-Ouzou qui nous ont aidés tout au long de notre travail.

Nos remerciements vont également :

A notre promoteur Mr : M.TAHANOUT

Au Co promoter Mr K .IZRI

A Mr. M. BERCHICHE

A Mr. H.K ANANE

A Mr. k. MOKRI


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






Je tiens à dédier ce travail à :

Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé, je vous dis merci du fond du cœur, je vous adore et que Dieu vous garde ;

 *Ma très chère Yemma khessoudja, que Dieu la protège ;*


 *Mes chères sœurs Kahina et Katia qui tiennent une grande place dans mon cœur ;*


 *Mes chers frères Rachid et Djamel que j'aime beaucoup ;*

 *Mes cousins et cousines et toute la famille Ougache ;*

 *Ma chère binôme Farida et sa famille ;*

 *Tous mes amis sans exception ;*

 *Toute la section 5^{ème} année ingénieur en particulier option communication ;*

 *Tous ceux qui m'ont aidé pour réussir ce travail ;*



dicaces



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

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chères mère et père pour toutes ses tendresses et pour ses nombreux sacrifices. Que Dieu les garde.

A toute la Famille Spécialement mes frères (Saïd et Hidouche), mes sœurs (Fatiha, Sadia et Thanina), mes oncles surtout Rabah, mes cousins surtout Siham, ma tante Fatiha et mes grandes mères Zazou et Fatma et ma belle mère Ouardia.

A mes très chères amies : Karima, Nouna et sa sœur Karima, Saida , Siham et ma binôme LILA.

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

Enfin je dédie ce modeste travaille à mon fiancé HAKIM.

Farida

Introduction Générale

*“ Il faut avoir déjà beaucoup
appris des choses pour savoir
demander ce qu 'on ne sait pas ”
Jean-Jacques Rousseau*

Le monde devient de plus en plus mobile. Autant par la multiplicité des supports qui accompagnent l'activité nomade des entités professionnelles à l'échelle planétaire, que par la diversité des applications qui permettent aux utilisateurs de rester connectés en tout lieu et tout le temps, de communiquer, de s'informer, d'échanger de la voix et des données, grâce à la capacité de plus en plus hallucinante de débits.

Les technologies de télécommunications, qualifiées il y a une quinzaine d'années, ne servent plus que de passerelles vers l'édification de réseaux de télécommunications encore plus puissants, multicanaux et multifonctions. Nous sommes aujourd'hui dans l'ère du multimédia.

Pendant de nombreuses décennies, ni les systèmes à fil de cuivre et à câbles coaxiaux, ni les systèmes à paire torsadée, ne permettaient de transmettre un débit supérieur à 100 Mbits/s en moyenne. Le système coaxial le plus évolué était capable de transmettre un débit de 274Mbits/s, mais à condition de prévoir l'installation des répéteurs tous les dizaines de kilomètres.

Une amélioration substantielle des performances a été réalisée avec l'utilisation des technologies optiques. En effet, grâce à la fibre optique la bande passante est nettement améliorée pour transmettre plus d'informations sur une porteuse optique. Toutefois, dans les régions à topologie difficile et les lieux accidentés, la fibre optique ne peut être utilisée sans un coût plus élevé, surtout lorsque le nombre d'utilisateurs n'est pas suffisant pour amortir les installations. C'est pourquoi on préfère utiliser les faisceaux hertziens large bande afin de couvrir ces zones.

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux directement entre deux points fixes. Il utilise des antennes très directives (antennes parabolique ou a antennes yagi) et travaille dans les bandes de fréquence de 250 MHz à 40 GHz. Les débits vont de 2 à 155 Mbits/s.

Dans le présent travail nous nous sommes consacrés à l'étude d'une liaison FH point à point avec le multiplexage SDH dans la région de Tizi-Ouzou. Pour mieux montrer notre travail, dans un premier temps, nous avons consacré le premier chapitre à présenter quelques

généralités sur différents réseaux de télécommunications et les supports de transmissions. Ensuite, le deuxième chapitre est dédié à l'étude des ondes électromagnétiques, les faisceaux hertziens et les antennes indispensables pour la transmission radioélectrique. Le troisième chapitre est basé sur l'étude de la hiérarchie SDH et son fondement théorique. Enfin, le dernier consiste à l'étude d'une liaison FHN point à point de la région de Tizi-Ouzou.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux de télécommunication

I.1.Introduction

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

I.2.Les réseaux de télécommunication

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

I.2.1.Le réseau de télécommunications fixe [1]

Les réseaux de télécommunications fixes sont historiquement basés sur des évolutions du réseau téléphonique commuté (RTC), réseau de téléphonie dans lequel un poste d'abonné est relié à un central téléphonique par une paire de fils de cuivre, généralement continue entre l'abonné et l'équipement desservant son quartier, également nommée « boucle locale ». Le RTC permet principalement des services de type voix. Il est constitué de deux principaux réseaux :

I.2.1.1.Le réseau local

Le réseau local ou réseau périphérique est constitué essentiellement des lignes d'abonnés

qui sont constituées de paire de cuivre de 0.4 à 0.6 mm de diamètre qui relie le poste téléphonique de l'abonné au Commutateur. Ce commutateur est appelé commutateur de rattachement ou commutateur d'abonné. il se situe dans un bâtiment appelé central ou centre téléphonique.

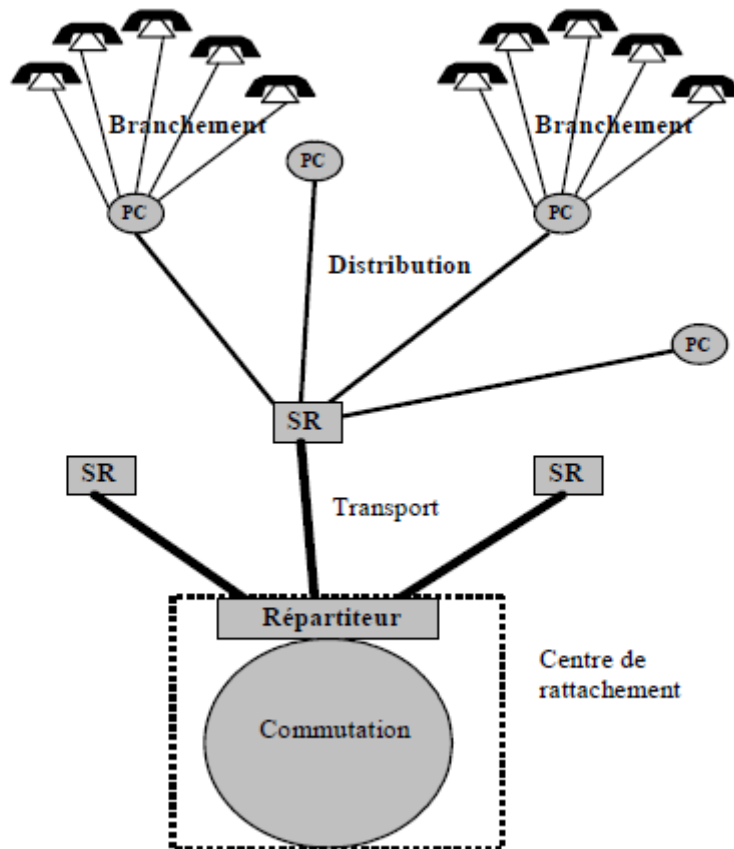


Figure I.1. Structure du réseau locale

Il est constitué de :

- Postes téléphoniques.
- Câbles de branchement : Ce sont des lignes bifilaires individuelles.
- Points de concentration PC : Le PC est un mini répartiteur de petite capacité placées sur des poteaux ou dans des endroits réservés. Les paires téléphoniques arrivent au PC sur des réglettes, des connexions amovibles les relie à d'autres réglettes sur lesquelles sont branchés les câbles de distribution.
- Câbles de distribution : Ces câbles peuvent être soit aériens, soit posé en plein terre, Ils relient les points de concentration aux sous-répartiteurs. Chaque câble contient un certain

nombre de paires de calibres normalisés. On trouve des câbles de 14, 28, 56, 112, 244, 448 paires de calibres 0.4 ou 0.6 mm.

- Les sous répartiteurs SR : Ce sont des "casiers" placés sur les trottoirs. Ils permettent de la même façon qu'un PC de regrouper les câbles de distribution vers les câbles de transport qui sont plus volumineux. Un SR peut connecter jusqu'à 1500 paires.
- Les câbles de transport : Ils sont similaires aux câbles de distribution avec des capacités plus élevées de 112 à 2688 paires. Ces câbles sont posés dans des conduites souterraines.
- Le répartiteur général : Il constitue le point d'accès des lignes à l'autocommutateur. Les lignes sont amenées sur des barrettes verticales dites têtes de câbles verticaux ou "les verticales". Les points d'arrivées des lignes sur l'autocommutateur sont raccordés sur des réglottes horizontales.

I.2.1.2.Le réseau dorsal

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

I.2.1.2.1.Commutation

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

- Les centres d'abonnés : ils permettent le rattachement des abonnés. Ils sont différenciés en deux types:
 - Les centres à autonomie d'acheminement CAA : qui sont capables d'analyser les numéros qu'ils reçoivent et les traduire en un itinéraire parmi ceux possibles pour acheminer la communication vers l'abonné demandé.
 - Les centres locaux CL : Ils sont seulement capables d'analyser les numéros des abonnés qu'ils desservent. Ils n'ont aucune intelligence et leur rôle se limite à la concentration. On les appelle aussi centres auxiliaires.

- Les centres de transit : Ils permettent de connecter les commutateurs qui n'ont pas de liaisons entre eux, ils sont aussi différenciés en deux types, les centres de transit secondaires et les centres de transit principaux.

Les centres de transit permettant de connecter les réseaux de deux pays sont appelés centres de transit internationaux.

I.2.1.2.2.Transmission

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

➤ **Hiérarchie du RTC**

Le réseau téléphonique est organisé en trois zones :

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

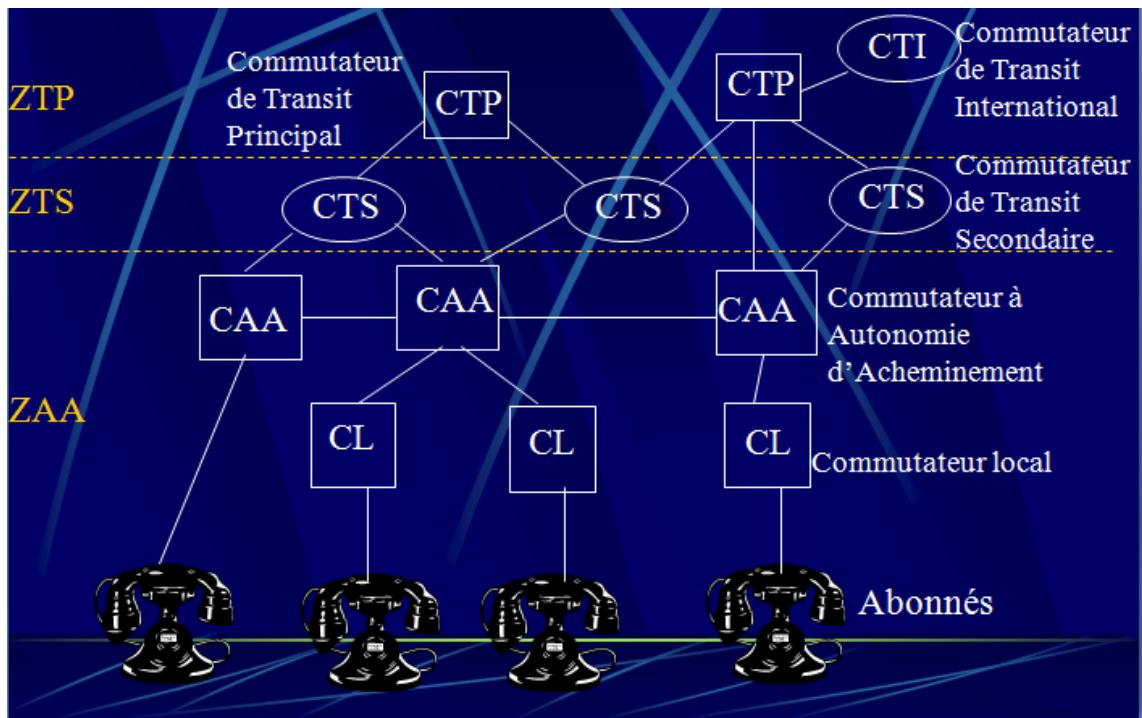


Figure I.2. Structure simplifiée d'un tronçon du RTCP [3]

I.2.2. le réseau GSM

I.2.2.1 Définition

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

I.2.2.2. Architecture d'un réseau GSM [2]

L'architecture d'un réseau GSM est spécifiée dans la norme de l'ETSI (Européen Télécommunication Standards Institute). Plusieurs entités sont définies dans la norme. Ce qu'on entend par entité, est l'équipement physique doté d'une certaine intelligence et d'une capacité à traiter l'information. On peut diviser le réseau en trois parties principales :

- 7) Le sous-système radio (BSS) Base Station Sub-System.
- 8) Le sous-système réseau (NSS) Network Sub-System.
- 9) Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS) Operation Support Sub-system.

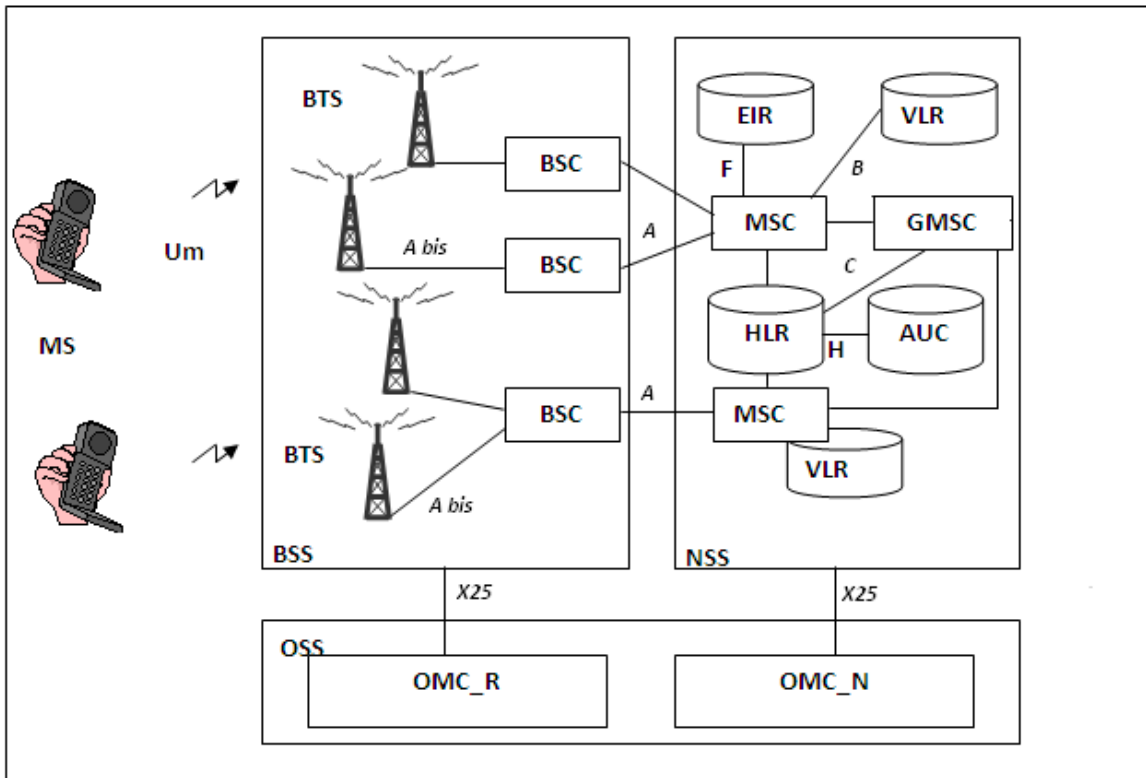


Figure I.3 Architecture d'un réseau GSM [4]

I.2.2.2.1. Le sous-système radio BSS (Base Station Sub-system)

C'est l'ensemble des constituants du réseau qui gère l'échange et la transmission des données par voie hertzienne. Le sous-système radio est principalement constitué de trois éléments :

➤ **La station de base BTS (Base Transceiver Station)**

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

➤ **Le contrôleur de stations de base BSC (Base Station Controller)**

Il contrôle un ensemble de BTS et permet une concentration des circuits de parole et de données vers le sous-système réseau(NSS).C'est véritablement l'organe intelligent du BSS. Il prend les décisions résultantes des mesures effectuées par la BTS. Concrètement, il commande l'allocation des canaux, gère le Handover, contrôle les puissances des mobiles et des BTS. Les BTS communiquent entre elles par l'intermédiaire de l'interface A bis.

➤ **Le transcodeur TRC (TransCoder)**

Le TRC a pour but principal le transcodage (codage et décodage) de la parole et l'adaptation du débit pour les transmissions de données utilisées dans le réseau fixe spécifié par la norme GSM. Le transcodage de la parole est réalisé entre 64 Kbit/s arrivant du MSC et 16 Kbit/s transmis vers le BSC 13 Kbit/s de téléphonie et 3 Kbit/s de signalisation de la bande. L'unité responsable du transcodage est le TRAU dans le BSC/TRC ou seulement le TRC.

I. 2.2.2.2.Le sous-système réseau NSS (Network Sub- System)

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires pour gérer la mobilité des abonnés en utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : (chiffrement, authentification ou roaming). Le NSS est constitué de six blocs suivants :

➤ **Commutateur de service mobile MSC (mobile switching center)**

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

➤ **Commutateur d'entrée de service mobile GMSC (Gateway MSC)**

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

➤ **Registre des abonnés locaux HLR (Home Location Register)**

Il gère toutes les informations concernant les abonnés au réseau (numéro de l'utilisateur, numéro réseau d'un abonné, profil de l'abonnement,...) cette base de données gère également

la position courante de l'abonné puisqu'elle enregistre le numéro de la zone de localisation où il se trouve. Il y a une HLR par opérateur.

➤ **Registre des abonnés visiteurs VLR (visitor location register)**

Le VLR est une base de données associée à un commutateur MSC. Sa mission est d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le ruisseau. Cette gestion est importante car on doit connaître dans quelle cellule se trouve un abonné pour l'acheminement de l'appel. La spécificité des abonnés GSM étant la mobilité, il faut en permanence localiser tous les abonnés présents dans le réseau et suivre leurs déplacements.

➤ **centre d'authentification AUC (AU thentification Center)**

Lorsqu'un abonné reconnecte au réseau, AUC permet une grande sécurité pour les abonnés et l'opérateur. Pour chaque abonné, il mémorise une clé Ki secrète qui authentifie les demandes de services et qui sert pour le chiffrement des communications .En général, l'AU est associe à chaque HLR.

➤ **Registre d'identification d'équipement EIR (Equipment Identity Register)**

Chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI. Le registre EIR contient la liste de tous les terminaux valides. Une consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui a été déclaré perdu ou volé.

I.2.2.2.3. Sous-système opération OSS (Operation and Support System)

Les éléments constituant les deux sous réseaux précédents sont reliés à distance, via X25, au centre d'exploitation et de maintenance.

Dans un réseau GSM l'OSS comporte un OMC-R (centre d'exploitation et de maintenance radio) et un OMC-N (centre d'exploitation et de maintenance réseau).

I.2.2.2.4. La station mobile MS (mobile station)

La station mobile est un équipement portable ou installé à bord d'un véhicule. Dans le système GSM, une petite unité appelée « module d'identification d'abonné » (SIM : Subscriber Identity Module), sous forme d'une carte à puce. L'ensemble SIM et l'équipement constituent la station mobile qui permet à l'utilisateur d'accéder au réseau à travers une interface dite interface Um. La carte SIM est indépendante de type de l'équipement utilisé.

- Interfaces UM : appelée aussi Air ou radio, entre BTS et MS s'appuie sur le protocole LAPDm (link acces protocol on the D mobile channel).Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Le téléphone portable et le sous système radio communiquent par l'intermédiaire de l'interface UM, qui est une liaison radio. Sur cette interface la voix est codée sur 13Kbit/s.
- Interface A bis : Cette interface relie la station de base BTS à son contrôleur, s'appuie sur le protocole LAPD. Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Sur l'interfaces A-bis la transmission est numérique sur des voies à 64Kbit /s et la couche physique est définie par une liaison MIC à 2 Mbit/s.
- **Interface A : Elle relie entre BSC et MSC, s'appuie sur le protocole sémaphore N-7du CCITT (SS7, système de signalisation). Elle est utilisée pour le transport du trafic et des données de signalisation. Le sous système radio et le sous système réseau, communiquent par l'intermédiaire de l'interfaces A.**
- **Les interfaces B : Elle relie entre MSC et VLR, C entre GMSC et HLR, D entre VLR et HLR, E entre MSC et MSC, F entre MSC et EIR, G entre VLR et VLR, et H entre HLR et AUC. Ces interfaces sont utilisées en particulier pour le transport des données relatives à l'application des mobiles.**
- **Les interfaces REM : entre OMC-R et BSS ou entre OMC-S et NSS, Elles utilisent un réseau de transmission de données de type X25.**
- **Les interfaces passerelles : entre le MSC et les réseaux publics s'appuient sur le protocole sémaphore N° 7 du CCITT (UIT-T). Elles sont utilisées pour le transport du trafic et des données de signalisation.**

I.3.Les supports de transmissions

I.3.1. Liaisons filaires

I.3.1. 1. Câble coaxiale

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques sur un même axe (le cœur, fil de cuivre), séparés par un isolant de qualité (Téflon, polythène, polypropylène, air), le tout étant protégé par une gaine plastique en cuivre, l'impédance sera faible et aux fréquences élevées il se comporte comme un guide d'onde.

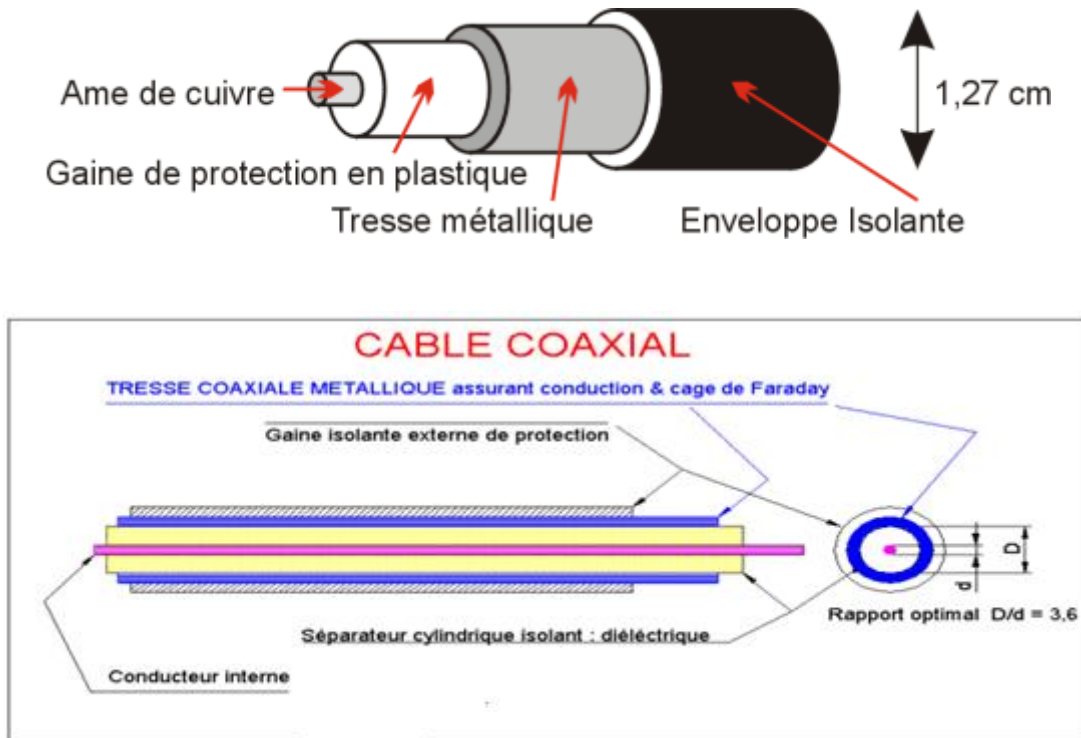


Figure I.4. Le câble coaxial [5]

- Les avantages et les inconvénients

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

I.3.1. 2. Paire torsadée

La paire torsadée est composée de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe longitudinal.

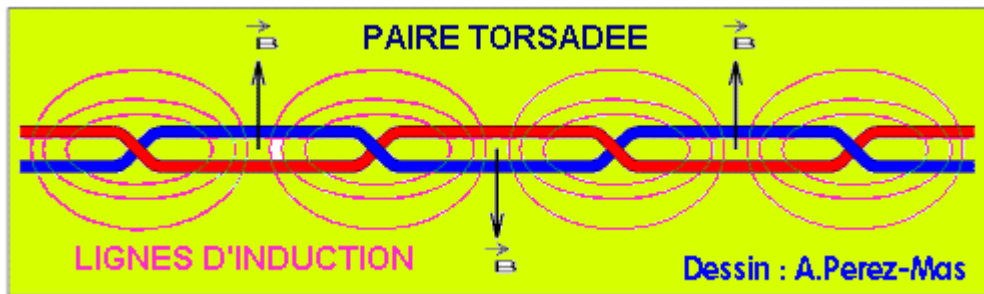


Figure. I.5.paire torsadée

- Les avantages et les inconvénients

-Un circuit de type pair téléphonique largement implantée dans les bâtiments.

-Elle est sensible aux perturbations.

-Une forte atténuation.

-Une vitesse de transmission relativement faible.

-Limitation de la distance maximum entre deux stations ou entre deux appareils d'interconnexion.

I.3.2. liaisons optiques

La fibre optique est un guide diélectrique permettant de conduire la lumière sur une grande distance. Elle est constituée des éléments suivants :

- Le cœur : est un conducteur central (âme) de fibre qui permet la propagation de l'onde optique.
- La gaine : Représente une couche entourant le cœur de la fibre avec un indice de réfraction légèrement inférieur à celui de cœur; ce qui permet par conséquent, la réflexion totale des modes à l'interface cœur gaine.

- Le revêtement : C'est une couche directe appliquée sur le verre de gaine, Il est important que cette couche soit détachable afin de permettre d'effectuer des injections ou des découpages de la lumière, son indice de réfraction est supérieur à celui de la gaine.

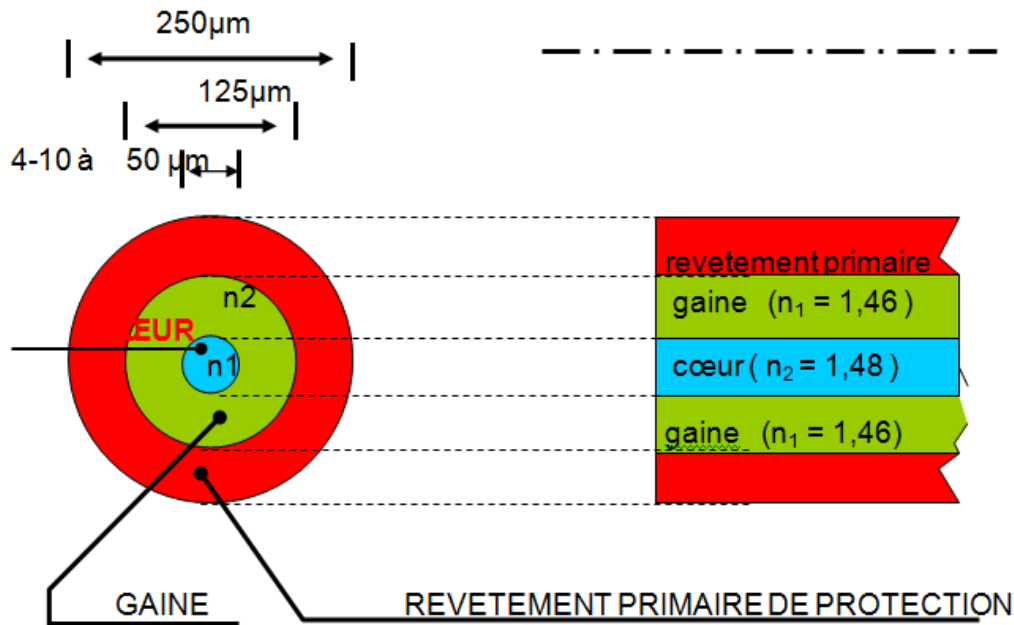


Figure I.5. La fibre optique [5]

- Les avantages et les inconvénients :
 - Il est complètement insensible aux perturbations de type électromagnétique et à la diaphonie.
 - Il réalise l'isolation électrique totale entre les deux extrémités.
 - Il crée peu d'affaiblissement.
 - Il est un support léger et peu encombrant.
 - Le coût de la fibre est moyen, mais le coût des interfaces optoélectroniques reste encore élevé.
 - La mise en œuvre est encore délicate pour les dérivations.

I.3.3. Faisceaux hertziens

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux (aujourd'hui principalement numériques) entre deux points fixes. Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1 GHz à 40 GHz (domaine des micro-ondes), très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

- Les avantages et les inconvénients
- Il propose des débits élevés : 140 Mbit/s.
- Il permet d'atteindre des lieux difficiles d'accès.
- Il réalise une émission d'une station à une autre très directive.
- Les stations doivent être en visibilité directe.
- La portée entre deux stations limitée à 50 km environ.

I.3.4. liaisons satellite

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

Un satellite de télécommunication comporte deux parties :

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

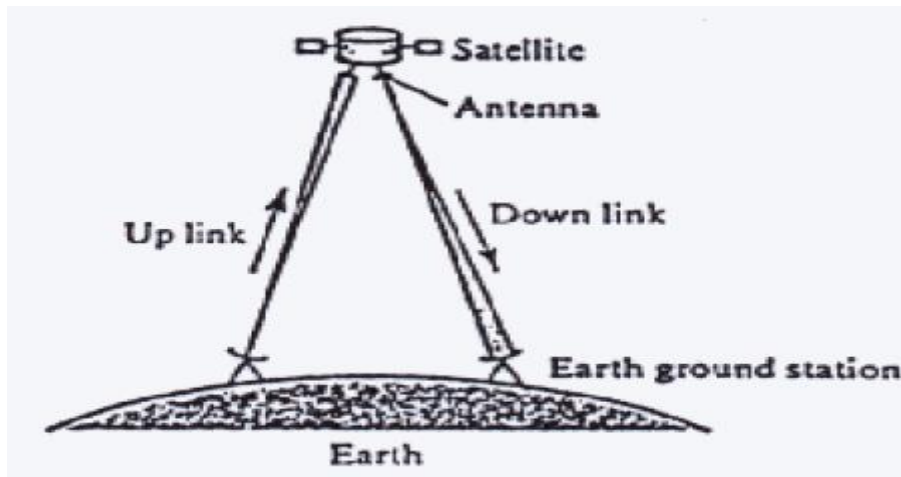


Figure I.6. Transmission par satellite [5]

- Les avantages et les inconvénients
- Débits jusqu'à 2 Mbit/s.
- Diffusion des résultats vers plusieurs points en même temps.
- Offre multiservices : voix, données, image, audio et visioconférence, TV.

-Coût de réalisation élevé.

-Temps de transmission plus long.

- Comparaison des différents supports de transmission :

Support	Paires torsadées	Câble coaxial	Ondes radio	Fibres optiques
<i>Propagation</i>	Guidée	Guide	Libre/dirigée	Guidée
Propriété du matériau	Cuivre	Cuivre		Silice, polymères
Bande passante	KHZ-MHZ	MHZ	GHZ	THZ
Atténuation	Forte	Forte (fonction de la fréquence)	variable	Très faible
Sensibilité aux perturbations électromagnétique	Forte	Faible	Forte	Nulle
Confidentialité	Limitée	Correcte	Nulle	Elevée
Coût du support	Très faible	Faible	Nul	Elevé
Applications	- téléphone - Réseaux bas et moyens débits -réseaux haut débit courtes distances	- Réseaux téléphoniques hauts débits, - Réseaux locaux haut débits - vidéo	- hertzien - satellite - mobile	- haut débit longues distances

Tableau I.1. comparaison des supports de transmission.[5]

I.4.Caractéristiques des supports de transmission

I.4.1. La bande passante

La bande passante B d'une voie est la plage de fréquences sur laquelle la voie est capable de transmettre des signaux sans que leur affaiblissement soit trop important. Elle s'exprime en Hertz.

-La courbe d'affaiblissement donne la valeur du rapport d'affaiblissement des signaux en fonction de la fréquence.

-Le rapport d'affaiblissement : est le rapport entre l'amplitude du signal reçu et la puissance du signal émis. C'est nul pour les fréquences hors de la bande passante, et constante pour les fréquences dans la bande passante.

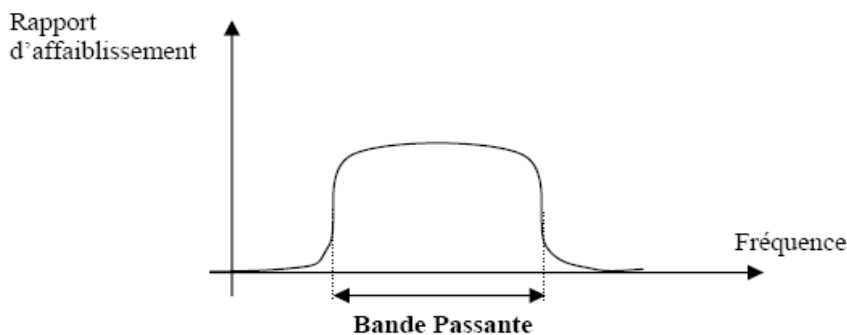


Figure. I.7. La bande passante

I.4.2. Capacité

La capacité d'une voie est la quantité maximale d'information qu'elle peut transporter par seconde.

- **L'unité d'information étant le bit,**
- **la capacité s'exprime en bit/s.**

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \quad (I.1)$$

C : C'est la capacité d'une ligne de transmission.

S/N : C'est le rapport signal/bruit en puissance du signal.

B : C'est la largeur de bande(Hz).

I.4.3. Temps de propagation et temps de transmission

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

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

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

I.4.4. Les bruits

La communication peut être perturbée par des signaux parasites suivants :

- **Bruit blanc : il est dû à l'agitation thermique dans les composants du système.**
- **Bruit impulsif : il est dû principalement aux organes électromécaniques de commutation.**
- **Bruit diaphonique : engendré par d'autres voies, ou échos.**

I.4.5. Modélisation d'une ligne de transmission [6]

Un tronçon de longueur « dx » peut être représenté par le circuit électrique suivant :

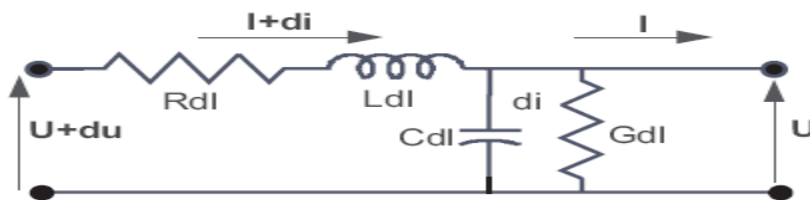


Figure. I.8. Modélisation d'une ligne de transmission

Les éléments R , C , L et G sont appelés paramètres de la ligne :

En série, une résistance R et une inductance, L pour représenter successivement les pertes d'énergie active et réactive dans les conducteurs de la ligne.

En parallèle, une conductance G et une capacité C pour représenter les pertes d'énergie active et réactive dans le diélectrique de la ligne.

- L'impédance caractéristique

$$Z_c = \sqrt{\frac{R+jL\omega}{R+jC\omega}} \quad (I.2)$$

Avec : $\omega = 2\pi f$

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

f : la fréquence du signal en Hz,

Lorsqu'on est dans la condition de non distorsion($L\omega R$), l'impédance caractéristique est réelle et constante :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

(I.3)

- L'atténuation

L'atténuation d'un signal est calculée en décibel par :

$$N_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{Power_{out}}{power_{in}} \right)$$

Chapitre II

Les faisceaux hertziens numériques

II.1. Généralités

Les systèmes radio sont des supports de transmission qui utilisent la propagation des ondes radio électriques pour véhiculer les informations d'un point à un autre, on les appelle généralement faisceaux hertziens. Donc un faisceau hertzien est un système de transmission numérique ou analogique, entre deux points fixes de l'espace par ondes électromagnétiques, avec des fréquences porteuses de 250 MHz à 40 GHz (domaine des micro-ondes), très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

Pour la communication terrestre on utilise une gamme de fréquence allant de 1,5 à 30 GHz, ou bien à des fréquences 400 MHz à 1000 GHz dont l'affaiblissement croît comme le carré de la distance (moins rapidement que sur un câble où l'affaiblissement est exponentielle). Leur propagation est limitée à l'horizon des distances (liaison point à point) entre station en visibilité.

Du fait de l'absence de tout support physique entre les stations, les faisceaux hertziens peuvent surmonter plus facilement des difficultés des parcours et franchir des obstacles naturels tels que : étendues d'eau, terrains montagneux, terrains fortement brisés etc. Par rapport aux systèmes par câbles coaxiaux qui transmettent directement la bande de fréquence résultant du multiplexage, les FH nécessitent une modulation supplémentaire pour faire porter cette bande de base par les ondes radioélectriques hyperfréquences.

Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est souvent découpé en plusieurs tronçons, appelés bonds, reliés par des stations relais qui reçoivent, amplifient et réémettent le signal modulé vers les stations suivantes.

Dans le cas d'un réseau composé de plusieurs bonds ou liaisons proches géographiquement, des problèmes d'interférences peuvent apparaître, affectant la qualité des transmissions. Les bandes de fréquences sont réglementées par des organismes officiels nationaux et internationaux et le signal à transmettre est transposé en fréquence par modulation.

L'opération de modulation transforme le signal à l'origine en bande de base, en signal modulé dit à « bande étroite » dont le spectre se situe à l'intérieur de la bande passante du canal. Les modulations analogique (AM et FM) sont désormais remplacées par des normes numériques utilisées comme suit à :

4 ou 16 états (QPSK, 4 QAM, 16 QAM...) pour les signaux PDH ;

64 ou 128 états (64 QAM, 128 QAM ...) pour les signaux SDH ;

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

II.2. Les équations de Maxwell dans le vide

Les équations de bases de l'électromagnétisme dans le vide sont les quatre équations de Maxwell auxquelles s'ajoute la force de Lorentz qui s'exerce sur une charge électrique.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

(II.1)

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

(II.2)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} =$$

ρ

(II.3)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

(II.4)

Ces équations doivent être complétées par les relations dites du milieu :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

(II.5)

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

(II.6)

\vec{E} : Champ électrique (V/m)

\vec{H} : Champ magnétique (A/m)

\vec{B} : Induction magnétique(Tesla)

\vec{D} : Induction électrique(C/m²)

\vec{j} : Densité de courant de conduction (A/m²)

ρ : Densité volumique de charge(C/m³)

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$: Densité du courant du déplacement (Henry/m)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$: Perméabilité magnétique du vide

$\epsilon_0 = 8,854187817 \dots \dots 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$: Perméabilité électrique du vide

En l'absence de charge électrique, de courant électrique et en régime harmonique, ces équations prennent la forme suivante ($\rho = 0$ et $J=0$).

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -j\omega\mu_0\vec{H} \quad (II.7)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = j\omega\epsilon_0\vec{E} \quad (II.8)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 0 \quad (II.9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (II.10)$$

II.2.1 Les équations de propagation de champ électrique et magnétique (équation d'Helmholtz)

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}) \\ &= -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \\ &= -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ &= -\mu_0 \epsilon_0 \omega^2 \vec{E} \end{aligned}$$

Comme de l'analyse vectorielle on a ;

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla})\vec{E} \quad \text{on a donc} \quad -\nabla^2 \vec{E} = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 \vec{E} \quad \text{car} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\Delta \vec{E} + \omega^2 \epsilon \mu \vec{E} = 0 \quad \text{on prend } k_0^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0$$

$$\Delta \vec{E} + k_0^2 \vec{E} = 0 \quad (\text{II.11})$$

$$\Delta \vec{H} + k_0^2 \vec{H} = 0 \quad (\text{II.12})$$

Le Laplacien s'écrit en coordonnées cartésiennes : $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

$$\nabla^2 E = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2} = \omega^2 \epsilon \mu E_i \quad \text{et} \quad i=x,y,z \quad (\text{II.13})$$

II.2.2. L'onde plane

Une onde est dite plane lorsque les champs dépendent que d'une seule variable d'espace (z) et de temps. Dans la direction transverse, ils ont la même valeur en tout point du Plan xoy, appelé plan d'onde.

II.2.3 La structure de l'onde plane

Les champs électriques et magnétiques sont perpendiculaires entre eux et à la direction de propagation. Ils sont en phase et constants dans tout plan perpendiculaire à la direction de propagation.

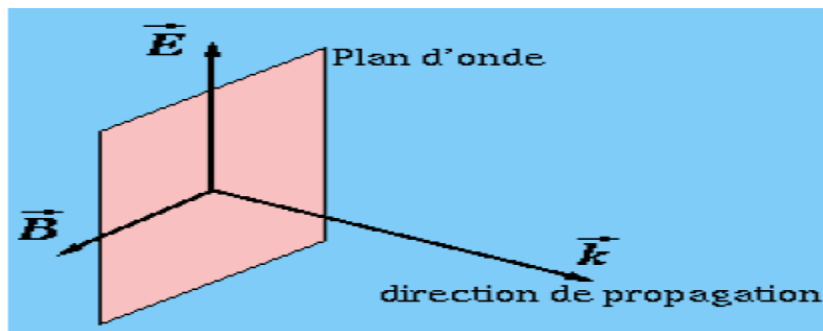


Figure II.1. La structure de l'onde plane

II.2.3.1 Expression des champs

Alors : $\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} = 0$

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_x \quad \leftrightarrow \quad \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_x = 0$$

(II.14)

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_y \quad \leftrightarrow \quad \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_y = 0$$

(II.15)

II.2.3.2 vitesse de propagation

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

C : est une vitesse de propagation de l'onde électromagnétique dans le vide (célérité de la lumière dans le vide), elle vaut environ $c = 3.10^8$ m/s.

- **La fréquence f :** $f = \frac{\omega}{2\pi}$
- **La longueur d'onde λ :** $\lambda = \frac{c}{f}$
- **Le Vecteur d'onde k :** $k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$
- **L'impédance caractéristique du vide :** $Z_0 = \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377 \Omega$
- **Indice de réfraction :** $n = \frac{c}{v} \leftrightarrow n^2 = \frac{\epsilon \mu}{\mu_0 \epsilon_0}$

Dans le vide $n=1$

Dans un diélectrique : $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ et $\mu = \mu_0 \mu_r$, on obtient $n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$ $n = \sqrt{\epsilon_r}$ pour les matériaux non magnétique $\mu_r = 1$

II.2.3.3 Le vecteur de Poynting

La puissance qui traverse l'unité de surface du plan d'onde est donnée par le flux de la valeur Moyenne du vecteur de Poynting :

$$\langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*]$$

(II.16)

\vec{H}^* : est un conjugué de \vec{H}

Le vecteur de Poynting le long \vec{z} :
$$\langle P_z \rangle = -\frac{1}{2} \text{Re} [E_y \times H_x^*] = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\mu_0}} E_0^2 = \frac{E_0^2}{2z}$$

(II.17)

II.2.4 Polarisation des ondes planes

II.2.4.1 Polarisation rectiligne

La polarisation fait référence à l'orientation du vecteur \vec{E} . Par convention, Lorsque le champ électrique reste le long d'une droite, l'onde est à polarisation rectiligne.

Dans les systèmes de transmission utilisant une antenne, on parle de « polarisation horizontale » ou de « polarisation verticale », selon que le champ électrique est parallèle ou perpendiculaire à la surface de la terre. Une polarisation rectiligne quelconque résulte de deux ondes qui se propagent en phase.

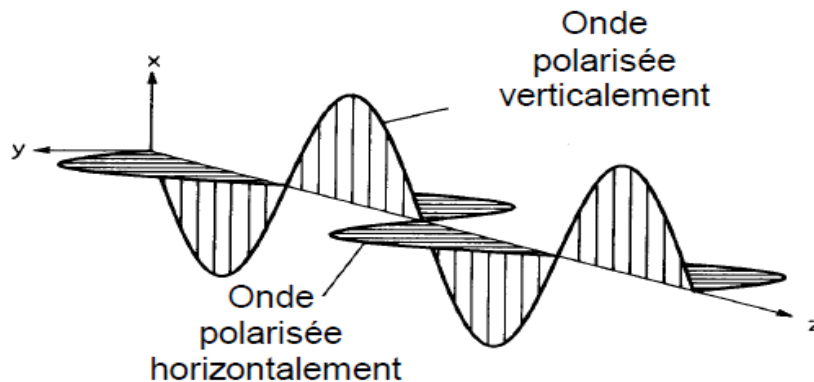


Figure II.2 : Polarisation rectiligne

II.2.4.2 Polarisation circulaire

La polarisation est circulaire lorsque l'extrémité du vecteur résultant \vec{E} décrit un cercle au cours du temps dans le plan transverse xOy. On obtient une polarisation circulaire lorsque les deux composantes d'égale amplitude, sont déphasées d'un quart de période. Le champ \vec{E} peut s'écrire en fonction des composantes E_x et E_y , déphasées d'un angle θ :

$$\vec{E} = E_1 \sin(\omega t - \beta z) \vec{x} + E_2 \sin(\omega t - \beta z + \theta) \vec{y}$$

Pour $\theta = \mp \frac{\pi}{2}$ et $E_1 = E_2$

$$E_x \vec{x} + E_y \vec{y} = E_1 [\sin(\omega t - \beta z) \vec{x} \mp \cos(\omega t - \beta z) \vec{y}]$$

Prenons la somme des carrés des composantes :

$$E_x^2 + E_y^2 = E_1^2 [\sin^2(\omega t - \beta z) + \cos^2(\omega t - \beta z)] = E_1^2 \quad (\text{II.18})$$

C'est l'équation d'un cercle de rayon E_1 dans le plan xOy .

Polarisation droite : pour $\theta = +\frac{\pi}{2}$, E_y est en avance sur E_x

Polarisation gauche : pour $\theta = -\frac{\pi}{2}$, l'observateur verra \vec{E} tourner dans le sens trigonométrique.

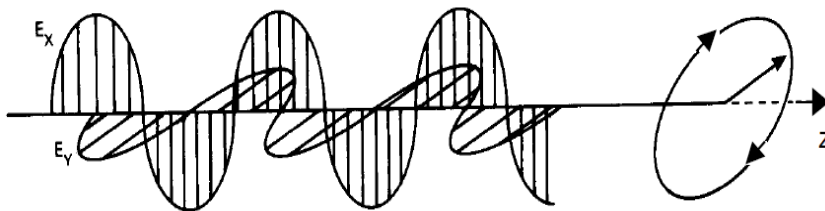


Figure II.3. Polarisation circulaire

II.2.4.3. Polarisation elliptique :

Lorsque $E_1 \neq E_2$ et la différence de phase θ est quelconque, on a la polarisation elliptique.

II.3 .La gestion du spectre électromagnétique

Les ondes électromagnétiques sont classées en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde. Le spectre électromagnétique s'étend des très basses fréquences jusqu'aux rayons γ .

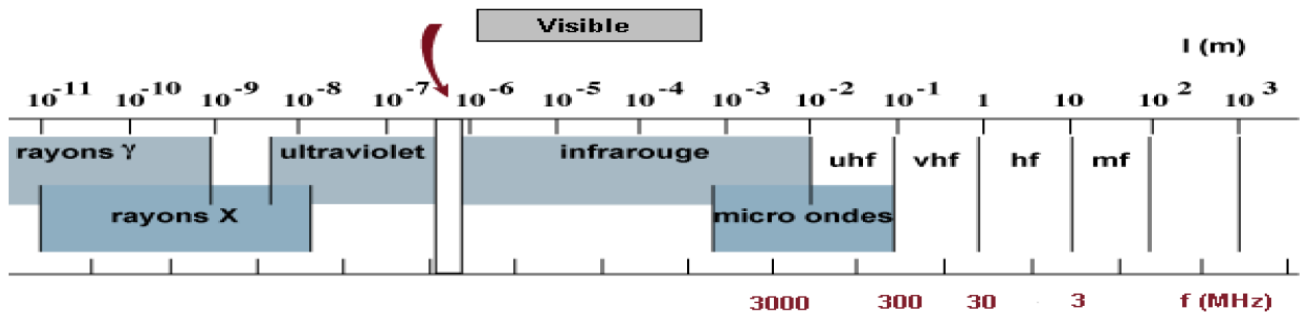


Figure II.4 : Spectre électromagnétique

Le tableau ci-dessous représente l'utilisation du spectre électromagnétique

Fréquence	Longueur d'onde	Applications
10 KHz	30 Km	Très basse fréquences (communications sous marins)
100 KHz	3 Km	Radio diffusion longue
1 Mhz	300 m	Radio AM
10 Mhz	30 m	Ondes radios courtes(ionosphère)
100 Mhz	3 m	Radio fm
150 Mhz	2 m	Radio mobile
300 Mhz	1m	UHF(radio diffusion tv, liaisons points a points)
3-60 Ghz	10 Cm- 0 ,5 mm	Ondes radios
230 Thz	1300 Nm	Fibres optiques

Tableau II.5.L'utilisation de spectre électromagnétique.

II.3.1 .Propagation des ondes électromagnétiques planes dans l'environnement terrestre

Lorsqu'on effectue sur la terre une transmission entre un émetteur et un récepteur, le récepteur reçoit une onde directe émise par l'émetteur mais aussi une onde réfléchi. La réflexion peut se faire sur la terre, sur la mer, mais parfois aussi sur les hautes couches de l'atmosphère.

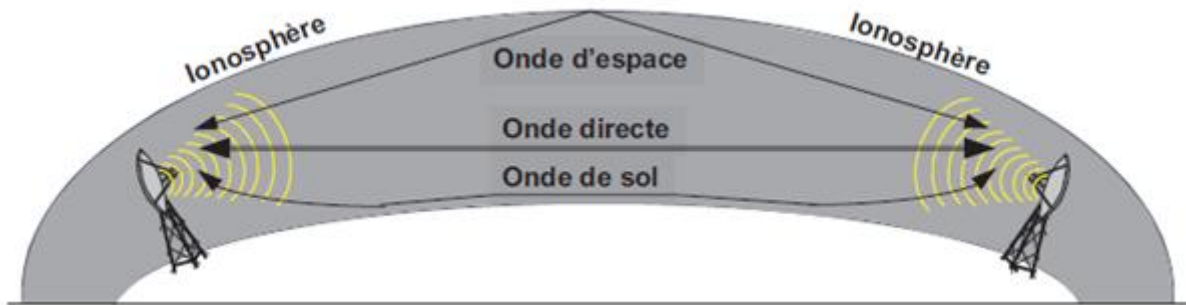


Figure II.5 : Propagation des ondes électromagnétiques

II.3.2. l'atmosphère terrestre

La Propagation longue distance des ondes radio dépend d'une couche invisible de particules chargées, qui enveloppe la Terre. Cette couche de particules chargées connu sous le nom de l'ionosphère.

L'atmosphère terrestre est essentiellement constituée d'un mélange gazeux, l'air. Ce mélange comprend surtout de l'azote et de l'oxygène. Pour le reste, soit 1 %, on y trouve de l'argon, du dioxyde de carbone et des traces infimes de néon, krypton, hélium, ozone, hydrogène, xénon ainsi que les différents rejets de la biosphère.

Cette composition est quasiment constante jusqu'à 85 km d'altitude, sauf pour l'ozone qui est surtout présent entre 30 et 40 km d'altitude et qui est responsable de la remontée en température dans la stratosphère où il absorbe le rayonnement solaire. Elle est divisée en quatre zones :

➤ La troposphère

Est la couche la plus proche de la surface de la Terre. Sa température diminue de 6,5 °C par km d'altitude. Son épaisseur moyenne est de 13 km. C'est dans la troposphère que les phénomènes météorologiques tels que les précipitations, les tornades et les éclairs se déroulent. C'est également là que s'accumulent les gaz polluants issus des activités humaines.

➤ **La stratosphère**

La stratosphère est une couche qui monte jusqu'à une altitude de 50 km, où la température est proche de celle de la surface terrestre. La température augmente progressivement dans la stratosphère car la couche d'ozone absorbe le rayonnement solaire. Le célèbre trou de la couche d'ozone se situe également dans cette couche.

➤ **L'exosphère**

Est la couche ultime de l'atmosphère. La première barrière s'étend de 500 à 3500 km alors que la deuxième barrière s'étend de 12000 à 50000km, elles sont constituées principalement d'électrons et de protons venant du soleil et piégés par le champ magnétique terrestre. On connaît mal les propriétés de cette couche. Elle joue peu de rôle dans la propagation des ondes.

➤ **L'ionosphère**

C'est la partie de l'atmosphère ionisée par les radiations solaires, s'étire de 50 à 1 000 km et chevauche à la fois la thermosphère et l'exosphère. Elle joue un rôle important dans l'électricité atmosphérique et forme le bord intérieur de la magnétosphère. Ces particules chargées négativement (électrons) et positivement (ions) ont tendance à se regrouper en couches ionisées qui vont jouer un rôle très important dans la propagation des ondes, principalement des ondes HF.

On distingue généralement trois couches aux propriétés propres vis-à-vis de la propagation des ondes.

- la couche D : c'est la plus proche de la surface de la terre ; elle est située dans une partie relativement dense de l'atmosphère entre 50 et 90 Km. Elle est moins ionisée que les autres couches pendant la journée et elle disparaît pendant la nuit. Les ondes de basse fréquence (30 à 300 kHz) sont donc réfléchies par la couche.
- La couche E : elle est de 25km d'épaisseur, située à environ 100km, Elle permet des propagations à grande distance avec plusieurs réflexions successives.

Elle existe le jour et disparaît en partie la nuit ce qui réduit la gamme de fréquence réfléchies mais les ondes longues et moyennes passent toujours tandis que les ondes courtes trop courtes (fréquences élevées) vont tout droit et se perdent.

- **la couche F:** Cette couche est située au dessus de la couche E ; Pendant le jour, il y a deux couches F1 et F2 :

- Sous-couche F1 hauteur 200 km

- Sous-couche F2 hauteur 300 km

- Ces couches étant directement exposées au rayonnement du soleil ; sont les plus ionisées et ce sont celles qui permettent la réflexion des fréquences les plus élevées.

- Elle est bien ionisée pendant le jour et moins la nuit.

Les couches F1 et F2 fusionnent en une couche F la nuit.

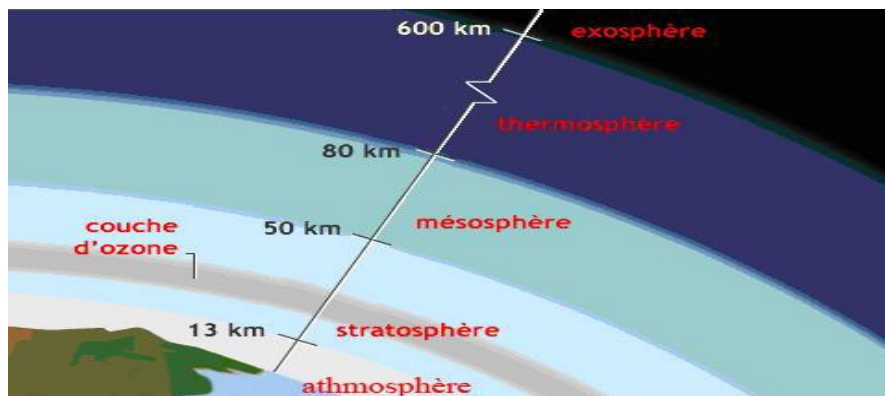


Figure II. 6 : Couches atmosphériques

II.3.3 Les types de propagation

Entre une antenne d'émission et une antenne de réception, situées au voisinage de la terre, une onde électromagnétique peut suivre quatre chemins différents.

II.3.3.1 Propagation Troposphérique

Les ondes radio se propagent en ligne droite dans le vide ; ceci est également vrai dans l'air si la densité de l'air est homogène. Cependant comme la densité de l'air diminue avec l'altitude, le trajet des ondes sera légèrement incurvé vers la terre.

- **Les contraintes de la propagation troposphérique**

En propagation troposphérique, les ondes accomplissent la totalité de leur trajet dans la couche la plus basse de l'atmosphère, très près du sol. L'onde sera donc influencée par les phénomènes atmosphériques (pluie, brouillard, etc..) par les obstacles naturels (montagnes, forêts,..) et artificiels (bâtiments élevés). L'oxygène et la vapeur d'eau absorbent peu d'énergie aux fréquences radio.

L'horizon radio, c'est à dire la distance maximale D à laquelle une antenne située au niveau du sol pourra recevoir le signal émis par une antenne située à une hauteur H_e , est donné par la formule approchée :

$$D = \sqrt{2R H_e} \quad (\text{II.19})$$

R est le rayon de la terre = 6366 Km

Si l'antenne de réception est à la hauteur H_r , la distance maximale pour une communication devient

$$D = \sqrt{2R H_e} + \sqrt{2R H_r} \quad (\text{II.20})$$

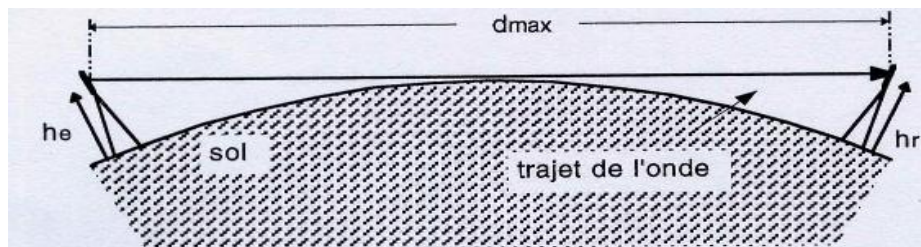


Figure II.7. Portée d'une transmission troposphérique

➤ L'effet fantôme : une première cause d'interférence

Les obstacles peuvent se comporter soit comme des écrans, créant une zone d'ombre, soit comme des réflecteurs s'ils comportent des éléments métalliques (béton armé, châssis métallique,..). On constate alors parfois des effets fantômes, créés par une interférence entre une onde captée directement et une onde captée après réflexion avec un obstacle. Le résultat sur l'écran de télévision est une image atténuée et légèrement décalée par rapport à l'image principale, d'où le qualificatif « fantôme ».

➤ L'effet du sol : une cause majeure d'interférences

Cet effet peut être très gênant, il est dû à la présence d'une onde réfléchi par la surface terrestre : en effet, les deux ondes auront parcourues un chemin presque égal, mais la composante horizontale du champ électrique aura été déphasée de 180 degrés lors de la réflexion sur le sol. La composante horizontale du champ électrique au niveau de l'antenne sera donc fortement réduite.

➤ **Les facteurs qui réduisent les interférences**

Ces facteurs diminuent en fait l'intensité de l'onde réfléchi et donc les interférences : Sol peu conducteur dans la zone où s'opère la réflexion; Présence d'obstacles sur le trajet du chemin réfléchi ; emploi d'antennes très directives qui envoient peu d'énergie en direction du sol, ceci n'est réalisable qu'aux très hautes fréquences ;

II.3.3.2. Propagation par onde de surface ou de sol

L'onde du sol est une onde de surface. Elle se propage en suivant la surface de la Terre comme une onde guidée. Lorsque l'antenne d'émission est verticale et proche du sol, l'onde électromagnétique quittant l'antenne est polarisée verticalement. Comme la direction de propagation de l'onde est toujours perpendiculaire au champ électrique E, l'onde quitte l'antenne parallèlement au sol. Cependant, l'angle entre E et la surface du sol peut se modifier en raison du relief ou de la composition de l'atmosphère.

A une certaine distance de l'antenne, le champ électrique E comportera donc, outre la composante perpendiculaire au sol, une composante horizontale qui provoque des pertes qui l'atténue fortement. Il reste donc seulement la composante verticale de E, la direction de propagation de l'onde se modifie par conséquent pour rester parallèle à la surface du sol. C'est essentiellement ainsi que sont diffusées les grandes ondes.

II.3.3.3 Propagation ionosphérique

Les couches ionisées vont se comporter comme un véritable miroir sur les ondes de radio pour produire un mécanisme de réflexion. L'indice de réfraction est d'autant plus petit que la couche est ionisée et que la fréquence est faible. Comme la vitesse de l'onde dans un milieu diélectrique vaut c/n , cela signifie que la vitesse de l'onde est plus grande dans la couche ionisée que dans la couche non ionisée. Donc, au moment où l'onde se rapproche de la couche ionisée, sa partie supérieure se déplace dans la zone où la vitesse est plus grande, le front d'onde va donc s'incliner progressivement et la

direction de propagation de l'onde, qui est toujours perpendiculaire au front d'onde, va aussi se modifier. Plutôt que de réflexion, on devrait parler de réfraction atmosphérique.

➤ **Caractéristiques des couches ionisées**

Les couches ionisées sont caractérisées par un certain nombre de paramètres:

- **hauteur virtuelle : qui est la hauteur à laquelle on devrait placer un réflecteur parfait pour que le trajet des ondes en dehors de l'atmosphère corresponde au trajet réellement observé;**
- **Fréquence critique : qui est la fréquence maximale réfléchiée par la couche en incidence verticale, elle dépend de la concentration en électrons libres N ($\text{é}/\text{m}^3$) et est donc maximale pour la couche F2, les ondes qui ne sont pas réfractées par F2 s'échappant de l'atmosphère.**

➤ **Les avantages de la propagation ionosphérique**

Il est possible de communiquer avec n'importe quel autre point de la surface terrestre en choisissant convenablement la puissance, la fréquence et le type d'antenne. En effet l'onde peut être réfléchiée plusieurs fois et même faire le tour de la terre.

➤ **Les inconvénients de la propagation ionosphérique**

Ce mode de propagation est moins fiable que les autres. De nombreux phénomènes peuvent faire varier l'intensité du signal reçu. C'est ce qu'on appelle l'évanouissement des ondes. Cet évanouissement est dû à des interférences entre ondes arrivant par différents chemins après réflexions sur les couches dont la hauteur et la composition varient au cours du temps (variations lentes irrégulières). Pour combattre l'évanouissement, on a parfois recours aux techniques de diversité :

- **Diversité spatiale : on place deux antennes sur chaque site; on émet simultanément avec les deux antennes d'émission et on choisit à chaque instant l'antenne de réception qui reçoit le plus grand signal. L'évanouissement n'affectera pas alors simultanément les quatre canaux possibles de transmission.**

- **Diversité fréquentielle : on n'utilise qu'une antenne par site, mais on travaille à deux fréquences**

II.3.3.4 Diffraction troposphérique

La diffraction troposphérique est, comme la propagation ionosphérique, un moyen de communiquer avec un correspondant au-delà de l'axe optique : si l'on pointe deux antennes très directives de façon à ce que leurs faisceaux se coupent à mi-chemin entre elles, et que l'une émet un signal puissant, l'autre antenne recevra une très petite partie de l'énergie émise, qui aura été diffractée par des particules dans la troposphère.

Les fréquences les plus appropriées pour ce mode de transmission se situent vers 900, 2000 et 5000 Mhz, mais même dans ces gammes de fréquences, l'énergie captée est extrêmement faible, ce qui suppose donc des émetteurs très puissants, des antennes d'émission et de réception très directives et des récepteurs très sensibles.

Les applications se concentrent surtout dans le domaine des communications à portée moyenne (300 à 500 km) à la place de faisceaux hertziens ou de câbles coaxiaux. Pour combattre l'évanouissement, on utilise souvent la diversité spatiale.

II.3.4. Les types de propagation pour les diverses gammes d'ondes

II.3.4.1. Les ondes moyennes

Les antennes sont verticales et près du sol, donc la propagation se fera essentiellement par onde de sol. La propagation est stable et peu sujette à l'évanouissement. La portée dépend de la puissance de l'émetteur et peut dépasser 1000 km.

II.3.4.2. Les ondes courtes

L'onde de sol s'atténue vite vue la fréquence élevée. La propagation se fera donc essentiellement par réflexion ionosphérique. La portée est très grande et peu sujette à l'évanouissement, elle est meilleure la nuit. A faible distance de l'émetteur, on peut capter l'onde au sol, à distance moyenne inférieure au saut, on ne peut plus capter l'émetteur

II.3.4.3. Les ondes ultracourtes et micro-ondes

C'est la propagation troposphérique qui est utilisée, la portée est limitée à l'horizon radio, la propagation est fiable. Pour des portées plus grandes, on peut utiliser la diffraction troposphérique.

II .4 .Transmission par faisceaux hertziens numériques

II .4.1 . Définition

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux, numériques ou analogiques, entre deux points fixes. La directivité du faisceau est d'autant plus grande que la longueur d'onde utilisée est petite et que la surface de l'antenne émettrice est grande. Le faisceau est un support de type pseudo-4 fils. Les deux sens de transmission sont portés par des fréquences différentes.

II .4.2 Principe de faisceaux hertziens

Les télécommunications hertziennes permettent des liaisons point fixe à point fixe (relais téléphoniques, relais de télévision, etc.) ou entre mobiles. La souplesse de l'infrastructure nécessaire permet de desservir des zones géographiques impropres aux communications filaires. Les fréquences des systèmes de télécommunication sont donc attribuées par des organismes de normalisation tels que l'UIT-R et l'IFRB (International Frequency Registration Board). Selon la forme (numérique ou analogique) sous laquelle se présente ces informations, différents types de modulation sont utilisés, d'une part, pour former le multiplex et, d'autre part, pour transposer le spectre des signaux dans la gamme de fréquences appropriées pour l'émission.

II .4.2.1 Faisceaux hertziens numériques

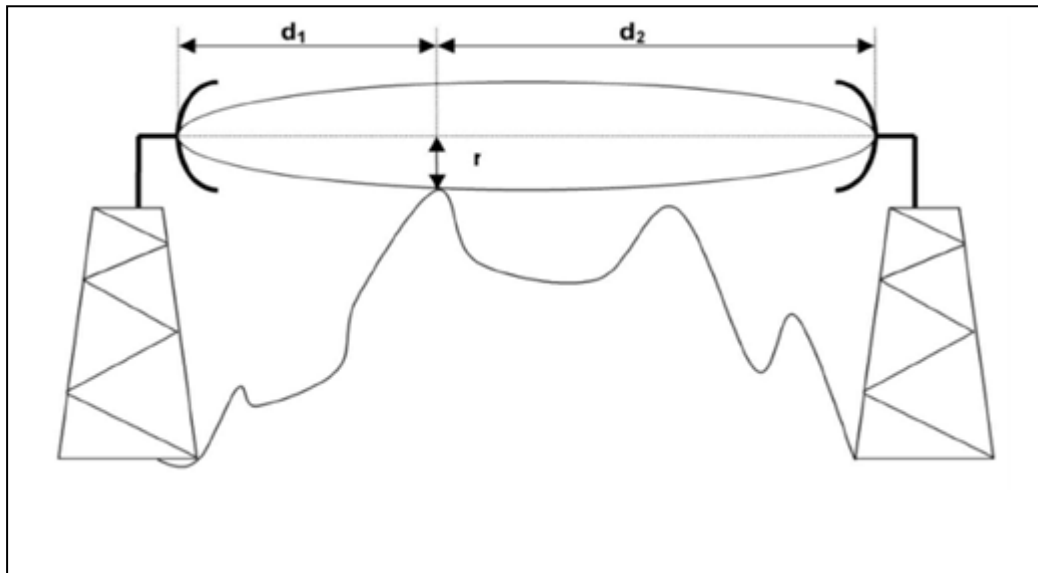
C'est le multiplexage temporel de voies téléphoniques numérisées par une modulation MIC ou de données numériques, puis transposition en hyperfréquences par modulation (analogique discrète) d'une porteuse sinusoïdale en PSK, MSK, QAM,...

II .4.3. Propagation en espace libre (L'ellipsoïde de Fresnel)

On dit qu'une liaison en visibilité directe est dégagée s'il n'existe aucun obstacle à l'intérieur d'un certain volume appelé premier ellipsoïde de Fresnel. Les antennes d'émission E et de réception R constituent les foyers de cet ellipsoïde. Ce dégagement signifie que les

phénomènes de diffractions par les obstacles situés au voisinage du trajet directe ont un effet négligeable sur le niveau reçu.

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



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

(II.21)

r : rayon de l'ellipse

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

d2 : la distance entre le récepteur et le point M.

λ : longueur d'onde de fonctionnement .

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

$$r_{eq} = \sqrt{\frac{\lambda \frac{d}{2} \times \frac{d}{2}}{\frac{d}{2} + \frac{d}{2}}} = \sqrt{\frac{\lambda d}{4}} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

(II.22)

Normalisation :

$$\begin{aligned} \frac{r}{r_{eq}} &= \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \times \frac{2}{\sqrt{\lambda d}} = 2 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d(d_1 + d_2)}} = \\ &= 2 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)^2}} = 2 \frac{\sqrt{d_1 d_2}}{(d_1 + d_2)} \quad \text{car } d = (d_1 + d_2) \end{aligned}$$

$$\frac{r}{r_{eq}} = 2 \frac{\sqrt{d_1 d_2}}{d}$$

(II. 23)

II.4.4. Les facteurs pouvant affecter la propagation

II.4.4.1 Réfraction atmosphérique

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

II.4.4.2 .Dégagement / diffraction

L'ellipsoïde de Fresnel est parfois partiellement obstrué par un obstacle. On distingue habituellement trois types d'obstacle : lame, pour des obstacles « minces », rugueux, pour une paire d'obstacles de type « lame » sphérique, pour des obstacles obstruant le faisceau sur une distance importante. Pour chacun, des méthodes de calcul permettent de prévoir l'atténuation supplémentaire à prendre en compte dans les bilans.

II .4.4.3. Réflexion et trajet multiple

Le signal reçu est la somme du signal principal, et de tous les signaux réfléchis (sur le sol, la végétation, et surtout les étendues d'eau). Les interférences générées entre tous ces signaux entraînent des sur-champs et des sous-champs parfois extrêmement importants mais également des distorsions (évanouissements sélectifs). La réflexion principale est le phénomène de multi-trajet dominant.

II.4.4.4. Phénomènes de guidage

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

d'antenne. La probabilité d'occurrence, sur le mois quelconque, de ces «évanouissements non sélectifs» est donnée dans l'UIT-R P.530-8 par un paramètre statistique appelé facteur PL .Ce phénomène de guidage est dimensionnant dans l'ingénierie des liaisons dont la bande fréquence est inférieure à 15GHz. Il réduira la longueur possible du bond pour des exigences de disponibilité données.

II .4.4.5 Atténuations dues aux hydrométéores

Pour les FH de fréquence supérieure à 8 GHz, les précipitations entraînent des pertes également considérables, d'autant plus que le taux de précipitation (en mm/h) et la fréquence sont élevés. De plus, la phase de ces précipitations influence également l'atténuation du signal. Ainsi la neige, qui a une très petite constante diélectrique, a beaucoup moins d'influence que des gouttes de pluie de même masse. La neige fondante, d'autre part, allie le large diamètre des flocons et le coefficient de la pluie pour créer un obstacle plus important que les deux séparément que l'on nomme la bande brillante. Ainsi le passage d'une onde de 10 cm dans cette bande rencontre de trois à 30 fois plus d'atténuation que dans la pluie sous la bande¹.

II .4.5. Schéma principale d'une liaison hertziennes

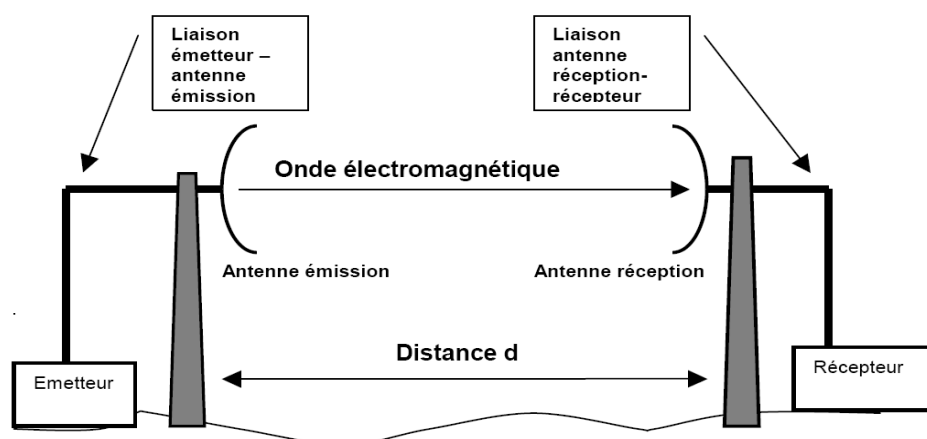


Figure. II.9. Schéma principale d'une liaison hertziennes

- **Emetteur : Il est caractérisé par sa puissance émise PE.**

- **Liaison émetteur- antenne émission** : elle est généralement réalisée en câble coaxial.
- **A plus haute fréquence (quelques GHz), elle peut être réalisée en guide d'onde.** Elle est caractérisée par son atténuation L_E .
- **Antenne émission** : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne G_E , exprimé en dBi.
- **Distance d** : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. La distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation A_{EL} (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$A_{EL} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (\text{II.24})$$

Cette grandeur est exprimée en dB.

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

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

On obtient ainsi :

$$P_R = P_E - L_E + G_E - A_{EL} + G_R - L_R \quad (\text{II.25})$$

P_R : La puissance reçue en dB.

P_E : La puissance émise en dB.

L_E : Atténuation au niveau d'émission.

G_E : Gain d'antenne coté d'émission.

A_{EL} : Affaiblissement d'espace libre.

G_R : Gain d'antenne coté de réception.

L_R : Atténuation au niveau de réception.

II.4.6. Condition de bon fonctionnement d'une liaison hertzienne

Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit supérieure à la sensibilité du récepteur.

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

II .5 .Les antennes paraboliques

Une antenne parabolique, communément appelée parabole par le grand public, est une antenne disposant d'une surface réfléchissante en forme de paraboloïde de révolution autour d'un axe de symétrie Oz , basé sur les propriétés géométriques de la courbe nommée parabole et d'une source primaire située au foyer du paraboloïde de révolution .

➤ Le réflecteur

Le réflecteur parabolique, en réception, est indiqué pour faire converger toute la puissance d'une onde plane incidente vers un point Focal d_f .Il faut que cette onde arrive d'une direction particulière sinon la convergence vers un seul point ne sera pas possible. Par réciprocité, une source électromagnétique située au point Focal verra la partie de sa puissance capturée par le réflecteur, redirigée vers la direction privilégiée .La figure (II.10) illustre les divers paramètres géographiques de ce type de réflecteur dans sa version axisymétrique (symétrie par rapport à l'axe z contenant le foyer).

Le réflecteur parabolique étant une antenne à ouverture, son étude passe par l'expression des champs électromagnétiques dans le plan de l'ouverture. Il faut alors considérer les trois points suivants :

- L'amplitude des champs dans l'ouverture dépend de la fonction caractéristique de la source primaire située au foyer .Mais cette distribution n'est pas identique car elle implique une conversion des angles d'émission de la source primaire vers les coordonnées du plan d'ouverture.
- La phase des champs dans l'ouverture est constante car la distance pour se rendre du foyer au réflecteur parabolique et de là, horizontalement à un point du plan de l'ouverture ne change pas ; c'est d'ailleurs la caractéristique principale d'une parabole. Le terme de phase peut donc être supprimé.
- L'orientation des champs dans l'ouverture dépend de la polarisation de la source primaire mais la parabole cause une dépolarisation qu'il faudra considérer.

Si on visualise par la théorie de l'optique sur la figure (II.10).Les rayons émis puis réfléchis par la parabole émergeront parallèlement .La géométrie est telle que dans le plan de l'ouverture sur la figure (II.10) ; Les signaux émis du point focal vers le réflecteur ,revient tous en phase .

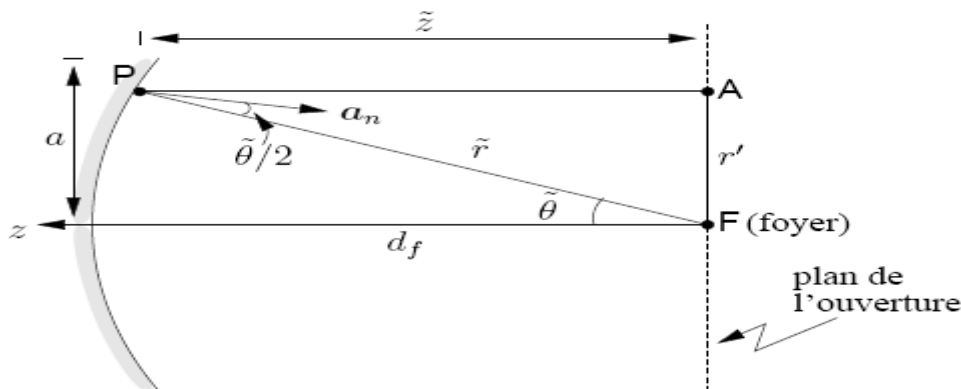


Figure II.10 : Géométrie d'une antenne parabolique

$$\overline{FP} = \tilde{r} \quad \text{et} \quad \overline{PA} = \tilde{r} \cos \theta$$

$$\overline{FP} + \overline{PA} = \tilde{r} + \tilde{r} \cos \theta = \tilde{r} (1 + \cos \theta)$$

(II.26)

Dans le cas particulière ou $\theta = 0$ on aura : $\overline{PA} = \tilde{r} = d_f$

Alors :

$$\overline{FP} + \overline{PA} = 2 \tilde{r} = 2 d_f$$

(II.27)

Plus le réflecteur sera grand (pour une même géométrie), plus la puissance capturée sera grande donc la surface effective et la directivité plus grande.

➤ La source

Le câble d'alimentation de l'antenne est relié à une antenne-source, communément appelée simplement « source » qui est placée au foyer du réflecteur parabolique. Le but de la source est d'« éclairer » entièrement la surface du réflecteur.

II .5.1 Gain d'une antenne parabolique

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.

Le gain d'une antenne parabolique est donné par la relation suivante :

$$G_{dBt} = 10 \cdot \log K \cdot \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \quad (II.28)$$

k : rendement du système d'illumination (source), généralement compris entre 0,5 et 0,8.

D : diamètre du réflecteur parabolique.

λ : Longueur d'onde d'utilisation.

D et λ doivent être exprimés dans la même unité. Plus l'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important.

II .5.2 Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture d'une antenne parabolique est lié à la dimension de l'antenne. Plus

L'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important et plus l'antenne est directive. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\theta = \quad \quad \quad (II.29)$$

II .5.3. Polarisation

La polarisation de la source détermine la polarisation de l'antenne parabolique.

II .5.4. Principe de Fonctionnement

La source primaire de l'antenne éclaire le réflecteur métallique. Si on décompose le champ (dit primaire) de cette source en rayons et qu'on applique les lois de l'optique, on constate qu'après réflexion sur le paraboloïde :

- **Tous les rayons sont parallèles à l'axe Oz du système. (Propriété de la parabole)**
- **Tous les rayons se retrouvent en phase dans un plan perpendiculaire à Oz .**

II.6 .Types de modulation numériques

II. 6.1 .Modulation de fréquence ou FSK (Frequency Shift Keying)

Dans la modulation de fréquence chaque élément binaire à transmettre sera associée à une certaine fréquence de l'onde porteuse, Cette modulation est utilisée pour des transmissions à faible débit sur le réseau téléphonique commuté.

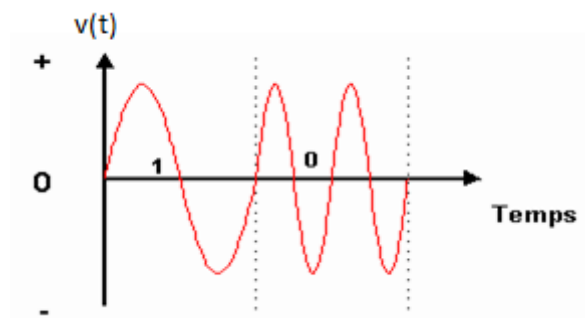


Figure II.12. Modulation de fréquence ou FS

II.6.2 .Modulation de phase ou PSK (Phase Shift Keying)

La modulation de phase associe à un code binaire une valeur de la phase de la porteuse. La vitesse peut être facilement augmentée en utilisant un code binaire sur 2, 3 bits ou plus sans augmentation de la fréquence de la porteuse

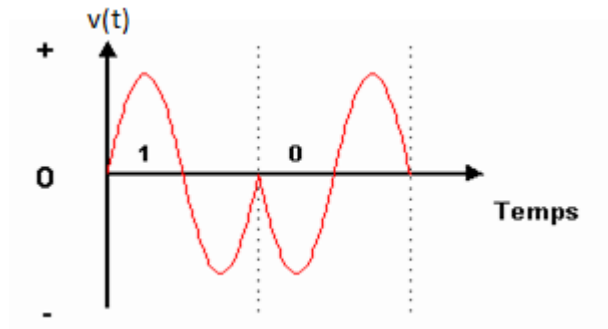


Figure II.13. Modulation de phase ou PSK

II.6.3 Modulation d'amplitude ou ASK (Amplitude Shift Keying)

La modulation d'amplitude s'applique en faisant varier l'amplitude du signal en fonction des bits à coder. Par exemple :

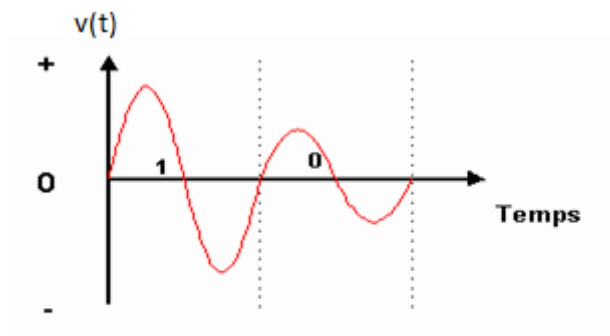


Figure II.14. Modulation d'amplitude ou ASK

II.6.4. Modulation QAM

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

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

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

Tableau II.6. Les combinaisons d'amplitudes et de phases

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

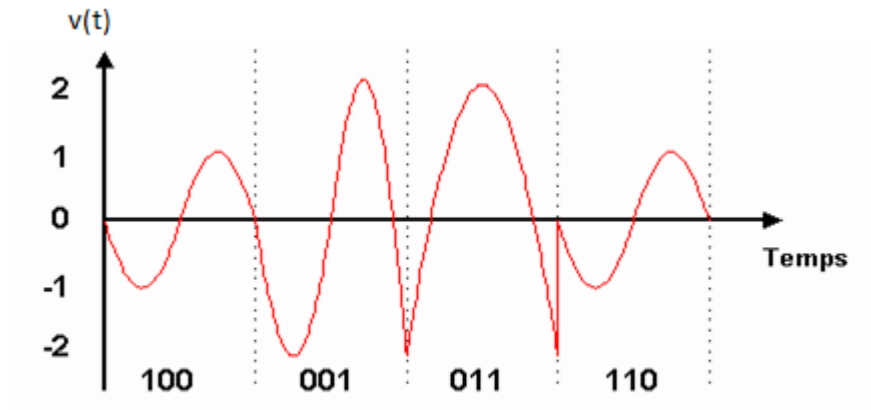


Figure II.15. Modulation QAM

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

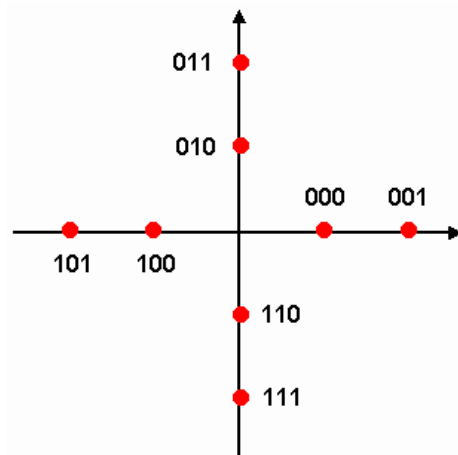


Figure II.16. Exemple de constellation QAM8 (3 bits par baud)

II.6.5. La modulation d'impulsions codées (MIC)

La modulation par impulsion d'amplitude (Pulse amplitude modulation PAM) consiste à échantillonner l'information analogique (voies, données, vidéo, etc.....) provenant de la source, puis convertir l'amplitude de chaque échantillon en code binaire et l'appliquer directement sur un support de transmission, comme indique la figure suivante :

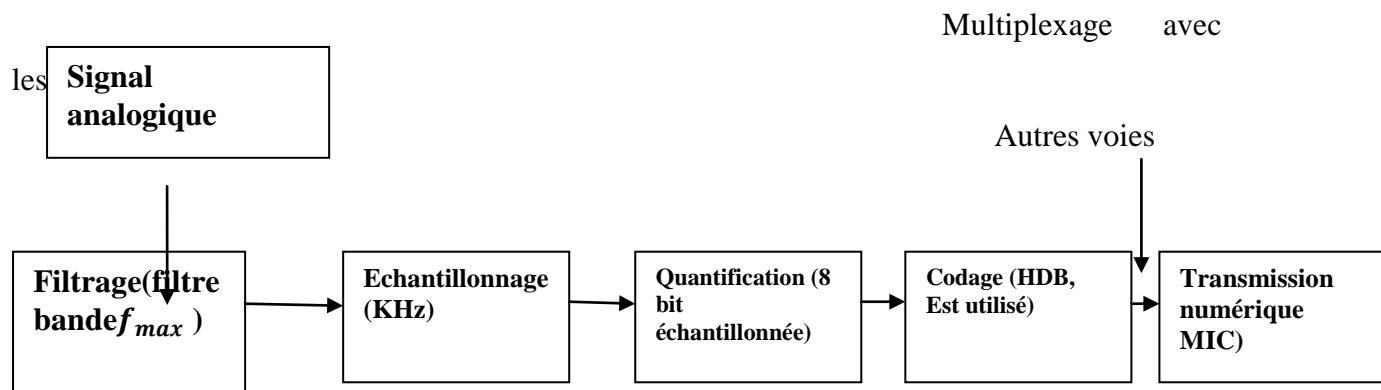


Figure II.17. Les étapes de la numérisation MIC.

II.6.5.1 .Echantillonnage

L'échantillonnage est une opération qui a pour but de remplacer un signal continu réel (une infinité de valeurs) par un signal constitué de quelques valeurs prélevées du signal origine, séparés entre eux par une durée constante.

Théorème d'échantillonnage

Un signal possède une fréquence maximale F_{max} dans son spectre. Pour l'échantillonner à la fréquence, F_e n'implique aucune perte d'information, il faut et il suffit que :

$$F_e \geq 2F_{max}$$

Pour une communication téléphonique : $f_{max} = 4 \text{ KHz} \rightarrow F_e = 8 \text{ KHz}$

II.6.5.2 Quantification

La transmission des impulsions modulées sont très sensible aux bruits ce qui rend la reconstitution du signal à la réception incomplète. Pour cette raison nous quantifions le signal en faisant correspondre à chaque échantillon l'amplitude la plus voisine d'une suite discrète et finie d'amplitudes « étalons » appelées niveaux. C'est la valeur de ces niveaux qui à l'émission après le codage seront transmises en ligne.

En système téléphonie (MIC) :

Les échantillons sont codés par des mots de n bites : $n=8$

Les valeurs discrètes: $N = (2)^n = (2)^8 = 256$

II.6.5.3 Compression

D'après la répartition statique de la parole, le rapport signal sur bruit est faible pour les petits signaux que les forts signaux. Pour garder une bonne qualité de transmission ; le rapport

S/B doit être constant sur toutes les plages de fréquences. Pour corriger ce problème on utilise deux lois de compression :

➤ **La loi européenne A**

C'est une loi de compression adoptée en Europe ; définit une quantification logarithmique approchée selon le compromis suivant :

- segment logarithmique pour les amplitudes relatives se trouvant entre $1/A$ et A
- segment linéaire à l'origine pour $x \leq \frac{1}{A}$ tangent au segment logarithmique

Son expression, exprimée relativement à l'amplitude maximale tolérable du signal

$$Y = \frac{A}{1 + \ln(A)} x \quad \text{pour } x \leq \frac{1}{A} \quad (\text{II.30})$$

$$Y = \frac{1 + \ln(Ax)}{1 + \ln(A)} \quad \text{pour } x \geq \frac{1}{A}$$

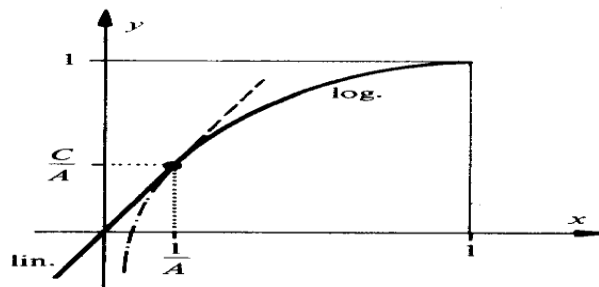


Figure II.18. La loi européenne A

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

$$C = \frac{1}{1 + \ln A} = 16 \quad (\text{II.31})$$

Ce qui définit $A = 87,6$.

➤ **La loi américaine μ**

La loi μ est une loi de compression adoptée en Amérique qui a l'expression mathématique suivante :

$$Y = \frac{\text{Ln}(1 + \mu x)}{\text{Ln}(1 + \mu)} \quad \text{avec } \mu = 255 \quad (\text{II.32})$$

$$C = \frac{c}{\ln(1 + \mu)} = 46 \quad (\text{II.33})$$

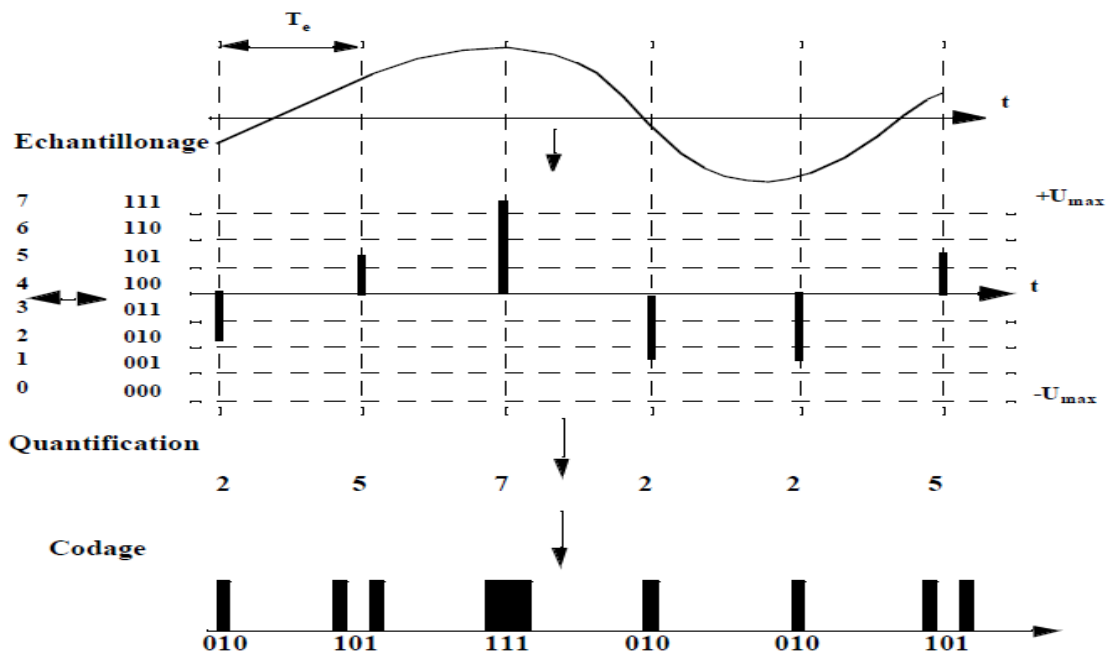


Figure II.19. Les étapes de la modulation MIC

II.6.5.4 Le codage

Chaque niveau de quantification est représenté par un nombre binaire de « n » bits, qui est le même pour tous les niveaux, ce qui permet une transmission synchrone de mot identique.

➤ Le code AMI (Alternate Mark Interchange)

C'est la conversion de signal binaire en signal bipolaire alternant telle que les valeurs "1" du code binaire sont représentées alternativement par des impulsions de tension positive et négative et les valeurs binaires "0" par la tension nul.

1 bit → AMI/NRZ et $\frac{1}{2}$ bit → AMI/RZ

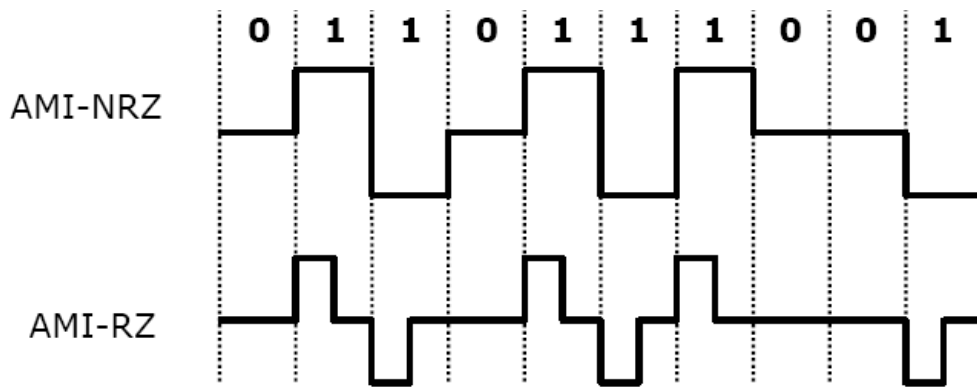


Figure II.20. Le Codage AMI

➤ **Le code HDB3 (third order high density bipolar code)**

Le code HDB3 est l'amélioration de code AMI, il est très utilisé dans les réseaux téléphoniques numériques. Il suit deux règles :

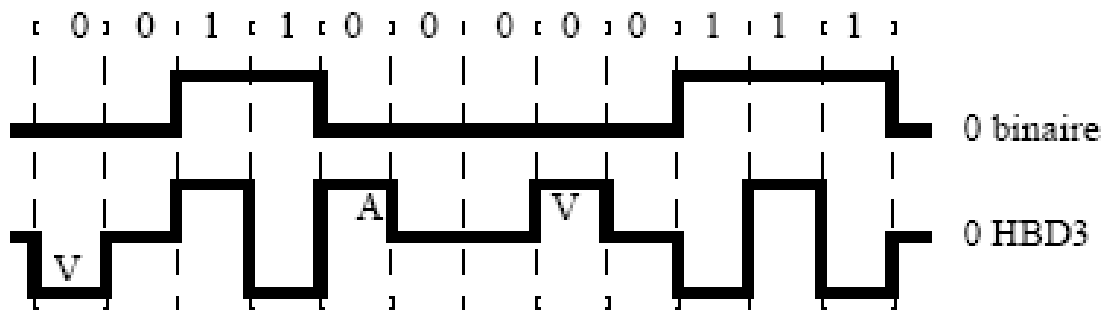
-Règle 1 :

Lorsque 4 éléments de signaux "0" sont adjacents, le quatrième "0" de la séquence est remplacé par un élément de signal V pour obtenir la forme 000V. L'élément de signal V prend la même polarité que l'élément de signal "1" qui le précédait. Un élément de signal V provoque une violation de la règle AMI.

-Règle 2 :

Lorsqu'un nombre pair d'éléments de signaux "1" est présent entre l'élément de signal V précédent et le nouvel élément de signal V généré selon les dispositions de la règle 1, le premier des quatre éléments de signaux "0" doit être remplacé par un élément de signal A (= élément de signal "1").

La polarité de l'élément de signal A correspond à la règle AMI. Le dernier des quatre éléments sera à nouveau remplacé par un élément de signal V (A00V). Dans ce cas, les éléments de signal A et V sont de même polarité. Cette deuxième règle est nécessaire pour éviter une composante continue.



II.21. le codage HDB3

II.6.5.5 Constitution de la Trame MIC

II.6.5.5.1 trame primaire et l'intervalle temporel (IT)

MIC est le premier niveau de la hiérarchie de multiplexage. Il contient 30 voies qui sont multiplexées temporellement dans une trame de 125 μ s. Cette dernière est découpée en 32 morceaux appelés "Intervalle de temps" ou "IT"(IT0 à IT31).

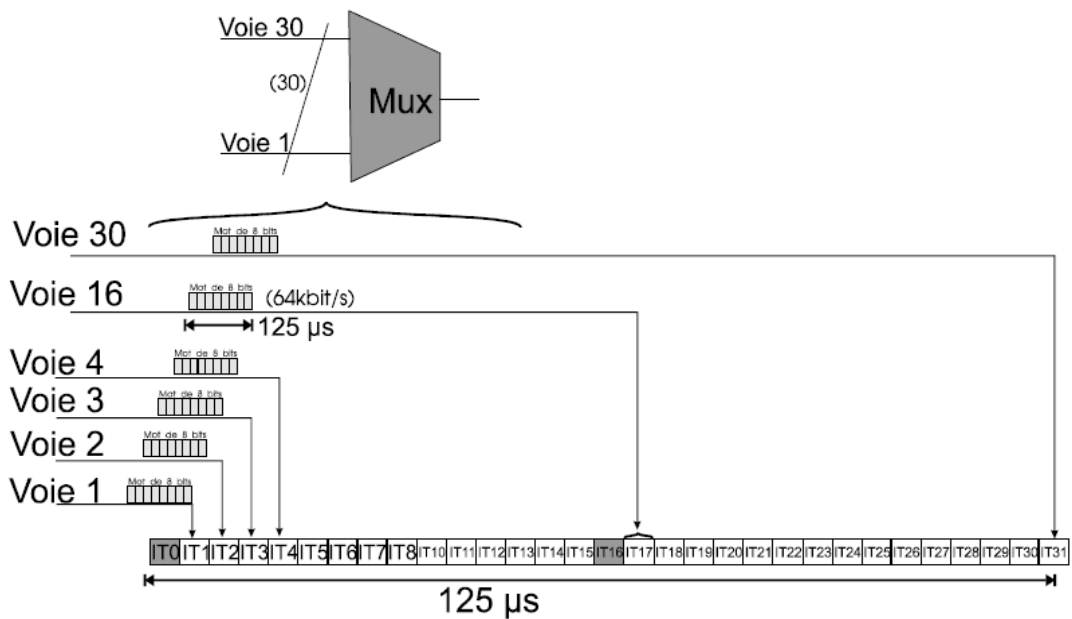


Figure II.22. Structure d'une trame MIC

Les 32 intervalles de temps sont occupés de la manière suivante :

30 IT sont utilisés pour transmettre les voies de communications telle que :

- Les voies 1 à 15 : sont placées respectivement dans les IT1 à IT15.
- Les voies 16 à 30 : sont placées respectivement dans les IT17 à IT31.

Deux IT sont utilisés pour la signalisation telle que :

-IT0 : est réservé à la synchronisation (verrouillage de trame).

-IT16 : est réservé pour la signalisation des voies.

Lorsqu'une trame est émise par un émetteur vers un récepteur deux principes importants doivent être respectés:

➤ **Synchronisation**

L'émetteur(E) et récepteur (R) doivent être Synchronisées, c'est à dire que leurs horloges HE et HR doivent être identiques afin que les bits soient lus à des instants "corrects"

Pour s'affranchir des erreurs de bits répétées ou ratées.

Une méthode consiste à envoyer au récepteur l'horloge de l'émetteur par un fil indépendant de la ligne de transmission, ou bien à fournir à tous les éléments de la ligne de transmission les mêmes impulsions d'horloges provenant d'une tierce machine. On peut aussi multiplexer temporellement le signal d'horloge et le signal contenant les informations (codage HDB3).

➤ **Verrouillage**

Le récepteur R doit savoir où commence la trame au bit près. Sans cela il n'y a aucun moyen de distinguer où commence un IT et où s'arrête un autre. A cela deux conséquences :

1- Il faut indiquer le début de la trame.

2- Si R n'est pas synchronisé sur E, il est important que E et R puissent se transmettre un signal de perte de verrouillage les avertissant de l'état de leur synchronisation. Les IT0 et IT16 jouent cet office, et permettent à l'émetteur E et au récepteur R de "s'entendre".

II.6.5.5.2 Mot de verrouillage de Trame (MVT)

Pour pouvoir être reconnue, et pour que son origine soit repérée, la trame a donc la particularité suivante :

-Dans les trames paires, l'IT0 est remplie avec VER un mot de verrouillage de trame (MVT) (VER1=X0011011, 1B ou 9B en hexadécimal). Dès que le récepteur R détecte ce mot il peut se verrouiller.

-Pour les trames impaires, le mot de verrouillage de trame de l'IT0 est remplie par VER2=xB2Axxxxx. Dès que le verrouillage est constaté R renvoie à E dans une trame impaire le mot VER2 avec B2=1 et A=0.

En revanche si A=1, c'est une alarme de perte de verrouillage de trame. Par sécurité le verrouillage n'est considéré comme perdu qu'après 3 alarmes successives.

Chapitre III

La hiérarchie numérique synchrone SDH

*Si les faits sont correctement observés,
il doit y avoir des moyens de les expliquer
et de les coordonner entre eux.*

Bullard, 1965

III.1. Introduction

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

Avant les années 90, le réseau de transmission numérique était basé sur l'utilisation de la hiérarchie numérique dite "plésiochrone". Cette technique s'est montrée, au fil des années, quelque peu limitée. En effet, l'évolution des débits des différents services, les besoins en flexibilité du réseau de transmission, la nécessité d'améliorer les fonctions d'exploitation-maintenance, l'augmentation continue de la capacité de transmission sur fibre optique et le besoin d'interconnexion entre opérateurs à des débits élevés et normalisés, tous ces éléments ont montré les limitations de la hiérarchie actuelle et ont conduit à la normalisation de la hiérarchie numérique synchrone (SDH : synchro nous digital hiérarchie).

III.2. La hiérarchie plésiochrone PDH

La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) a été réalisée et stabilisée durant les années 1960 à 1970. Elle trouve son origine dans le transport de signaux téléphoniques vocaux, convertis en canaux numériques à 64 K bits/s (système primaire).

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

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

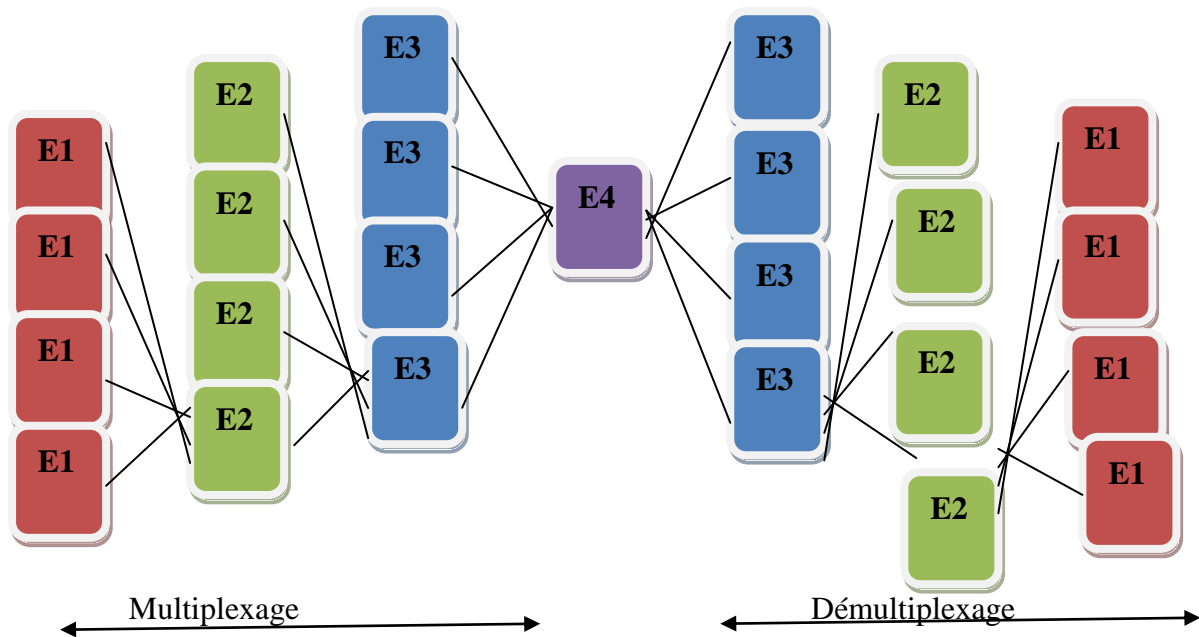


Figure.III.1. Multiplexage et démultiplexage en PDH

O. III.2.1. Limitations de la PDH

-L'inconvénient de ce mode de transmission est le multiplexage bit par bit de la trame numérique plésiochrone, ce qui ne permet pas l'accès au niveau inférieur sans démultiplexage.

-L'absence de la normalisation au niveau de L'UIT-T(C.C.I.T.T), ce qui veut dire qu'on ne peut pas interconnecter deux hiérarchies différentes (U.S.A, EUROPE).

-La technique de multiplexage est complexe en raison du plésiochronisme des sources.

-La trame PDH ne contient pas d'octets réservés à l'exploitation.

-Pas d'interopérabilité à hauts débits entre les continents puisque les débits sont différents.

-La technique PDH est une technique de point à point et non une technique de réseau organisée en anneau permettant d'obtenir une disponibilité importante de services.

III.3.Multiplexage Synchrone SDH(Synchronous Digital Hierarchie)

III.3.1. Définition de la SDH

La SDH est une nouvelle technologie de transmission synchrone qui utilise principalement la fibre optique vu ses nombreux avantages en termes de débit, de fiabilité, de sécurisation et de supervision à distance du réseau. La SDH est issue des concepts SONET proposé par BELLCORE (BELL Communication Research). Les premières normes SDH ont été approuvées par le CCITT (Comité Consultatif International de Téléphone et Télégraphe) à MELBOURNE en Novembre 1988. Elle définit les débits, la trame et les procédés de multiplexage.

La SDH se situe sur les deux premières couches du modèle OSI. Cette technologie offre la possibilité de transmettre dans une même trame des services de types et de débits différents.

III.3.2. La trame de SDH

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

Longueur totale = $9 \times 270 = 2\,430$ octets

Fréquence de répétition = 8 kHz.

durée = $1/8\text{KHz} = 125 \mu\text{s}$.

Débit = $(2430 \times 8\text{bits}) / 125 \mu\text{s} = 155,520 \text{ Mbit/s}$.

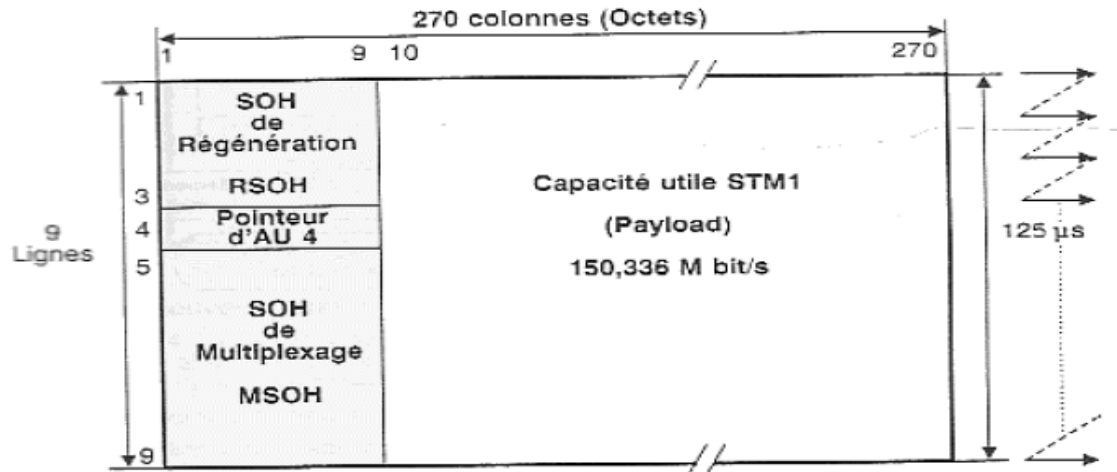


Figure III.2. Structure de la trame STM-1[11]

Cette trame représentée ci-dessus comporte trois zones principales :

III.3.2.1. Charge utile

Elle est une information utile ie celle de l'utilisation (liaison entre deux commutateurs), sa taille vaux 2349octets.

III.3.2.2. Sur débit de la section(SOH)

Il est utilisé pour la gestion des sections des lignes de transmissions, il utilise les 9 premières colonnes de la trame. Il se décompose en deux parties :

- RSOH (Regenerator Section Over head)

Il utilise les 3 premières lignes de SOH .Il est dédié à la gestion des sections de régénération (il est traité au niveau des répéteur-régénérateurs).

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	nu	nu
B1	X	X	E1	X	X	F1	nu	nu
D1	X	X	D2	X	X	D3	X	X

Tableau.III.1.Les réseaux de sections de multiplexage RSOH

La signification des octets est la suivante:

A1, A2 : Les deux octets sont alloués aux mots de verrouillage de la trame. Ils sont caractérisés par une configuration particulière comme suit :

A1=11110110

A2=00101000

J0 : Identification de la trace de section de régénération, elle permet de vérifier si la connexion est maintenue avec l'extrémité d'émission.

B1 : Bip de surveillance des erreurs.

E1 : est une voie de service pour des communications vocales entre régénérateurs

F1 : est une voie de donnée entre régénérateurs réservés aux besoins particuliers de l'utilisateur.

D 1, D2 et D3 : la communication de données de la section de régénération

X : Octet réservé pour la normalisation international.

Nu : Octet réservé pour l'utilisation national.

➤ MSOH (Multiplex Section Overhead)

Il est constitué de 5 à9 lignes de SOH. Il est dédié à la gestion des sections de Multiplexage (il est traité au niveau des terminaux de ligne).

B2	B2	B2	K1	X	X	K2	X	X
D4	X	X	D8	X	X	D6	X	X
D7	X	X	D8	X	X	D9	X	X
D10	X	X	D11	X	X	D12	X	X
S1	Z1	Z2	Z2	Z2	M1	E2	Nu	Nu

Tableau. III.2. Les réseaux de sections de multiplexage MSOH

La signification des octets:

B2 : trois octets réservés pour la détection des erreurs sur les bits de la section.

K1 et K2 : deux octets affectés à la commande de commutation de protection automatique.

D4 à D12 : 9 octets qui représentent un canal de communication de données pour transporter les flux de gestion au niveau de section de multiplexage.

S1 : marqueur de qualité de la synchronisation.

Z1, Z2 : réservés.

M1 : Véhicule le nombre de bits qui ont été détectés erronés sur B2.

3.2.3. Pointeur

Il identifie la position ou l'adresse de la charge utile par rapport à celle de la trame STM-n, ce qui permet la localisation des affluents tout en autorisant leur accès direct sans passer par le démultiplexage. Dans le cas de fluctuation ou glissement de l'information à transporter (charge utile) dans la trame qui provoque des différences de phases par rapport à cette dernière. Le pointeur fait la signalisation et la composition de ces différences par une technique de justification.

H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Figure. III.3. Les octets du pointeur

- Processus de justification [12]

Le débit du signal entrant varie positivement ou négativement par rapport au débit fixe de la trame de transport, c'est pour ce la qu'on utilise une opération qui permet de transporter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe. Cette opération s'appelle « justification ».

- ✓ Justification négative

Le pointeur est un compteur dynamique dont la valeur s'incrémente ou décrémente au rythme des mouvements du VC au sein de la trame et accompagne donc le processus de justification. A coté de l'octet H2, une ressource de 3 octets nommés H3 a été prévue pour absorber un éventuel surplus d'information dans les situations où le débit de VC est supérieur à celui de la trame. On est donc dans un cas de justification négative où H3 est transformé en octet d'information.

✓ Justification positive

Si la trame est en avance de phase par rapport à la charge utile, une justification positive est donc nécessaire, les octets action de pointeur composent ce retard, afin d'aligner les débits.

✓ Justification nulle

Dans le cas où la trame et la charge utile sont en phase, aucune justification n'est indiquée au niveau du pointeur.

➤ POH(Path Over Head)

Les octets du POH sont utilisés pour déterminer les différentes informations sur les Conteneurs. Il existe deux types de POH:

-POH d'ordre supérieur

J1	
B3	
C2	
G1	
F2	
H4	
F3	

K3	
N1	

J1 : identificateur de conduit.

B3 : contrôle de qualité.

C2 : étiquette de conduit.

G1 : indications de défauts distants.

F2 : besoins d'utilisateurs.

H4 : indicateur de position (multi trame pour Vc-n).

F3 : besoins utilisateurs.

K3 : canal utilisé pour la protection automatique de
Conduit.

Figure .III.4.Les octets du POH d'ordre supérieur

- POH d'ordre inférieur

J2	J2 : contrôle de connections.
V5	K4 : mise en œuvre de protection.
K4	N2 : contrôle de qualité.
N2	V5 : transport d'alarme.

Figure.III.5.Les octets du POH d'ordre inférieur

III.3.3. Niveaux du multiplexage SDH

Le multiplexage SDH se fait en deux étapes. Un premier niveau dit niveau inférieur, LO (Low Order) suivi d'un deuxième niveau dit niveau supérieur HO (High Order).

Dans le premier niveau les VC-LO sont multiplexés pour former les VC-HO, en suite, dans le 2^{ème} niveau, les VC-HO sont multiplexés pour former la trame STM.

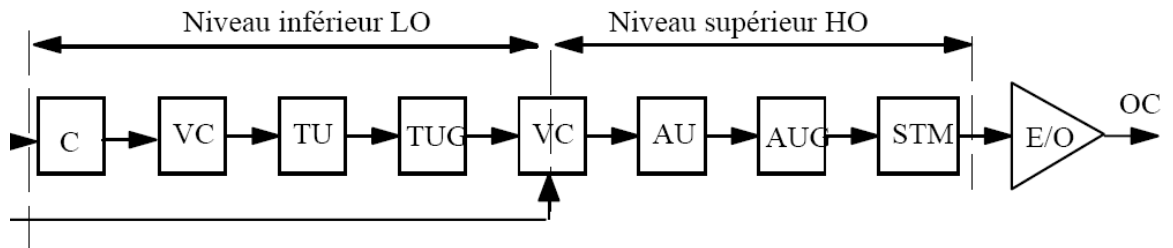


Figure.III.6.Les niveaux de multiplexage SDH [12]

III.3.4. Entités de la hiérarchie synchrone

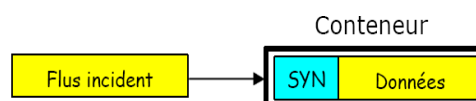
III.3.4.1. Les conteneurs Cn (Contener)

Ce sont des blocs d'octets mis sous une certaine forme dont la capacité est dimensionnées pour assurer le transport d'un affluent (l'information utile) telle que n dépends du débit entrant.

Le conteneur est dimensionné pour assurer un débit définis par le CCIT, et qui sont regroupés dans le tableau suivant.

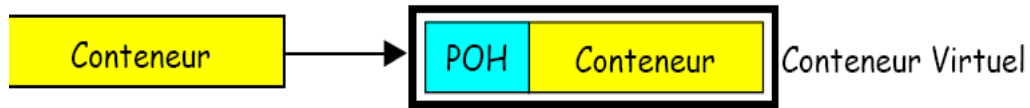
Affluents(Mbits/s)	Conteneur
1,5	C11
2,048	C12
6,312	C2
34,368	C3
139,264	C4

Tableau.III.3.La correspondance affluent -conteneur



III.3. 4. 2. Le conteneur virtuel VCn (Virtual Conteneur)

Le conteneur virtuel VCn (n=11, 12, 2, 3,4) est obtenu à partir du conteneur en lui ajoutant un Sur débit de Conduit POH (*Path OverHead*) utilisé pour la gestion du conteneur.



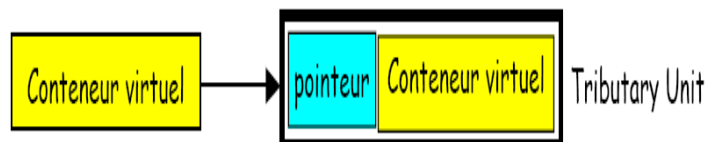
(VCn= Cn+ POH).

Il existe deux types de VCn :

- Les VCn d'ordre inférieur (LOP, Low Order Path) sont : VC11, VC12 et VC2.
- Les VCn d'ordre supérieur (HOP, High Order Path) sont : VC4 et VC3.

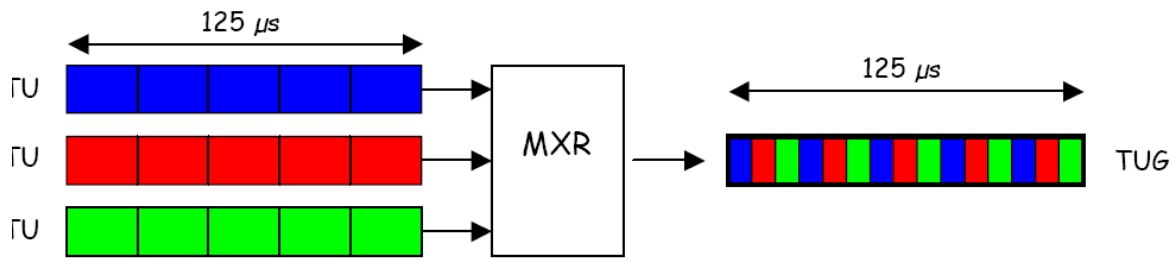
III.3.4.3. L'unité d'affluent TUn (Tributary Unit)

L'unité d'affluent (n=1 à 3) regroupe le conteneur virtuel et son pointeur. (TUn=VCn+PTR). La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VCn dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport.



III .3.4.4. Le groupe d'unités d'affluents TUGn (Tributary Unit Group)

Le groupe d'unités d'affluents (n=2 à 3) est une structure virtuelle de la trame qui permet de regrouper ou multiplexer les TUn et les assembler en unité (bloc) d'ordre supérieur. Le multiplexage se fait toujours octet par octet.



III.3.4.5. Unité Administrative AUn

L'unité administrative (n=3 à 4) assure l'adaptation entre la couche du conduit de niveau supérieur et la couche de la section de multiplexage, elle se compose d'un conteneur virtuel d'ordre Supérieur associé au pointeur .

III.3.4.6. Groupe d'Unités Administratives AUG

Le Groupe d'unités administratives AUG n'est pas une nouvelle entité physique, mais seulement une structure virtuelle de la trame .L' AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport utilisée.

III.4.L'arbre de multiplexage SDH

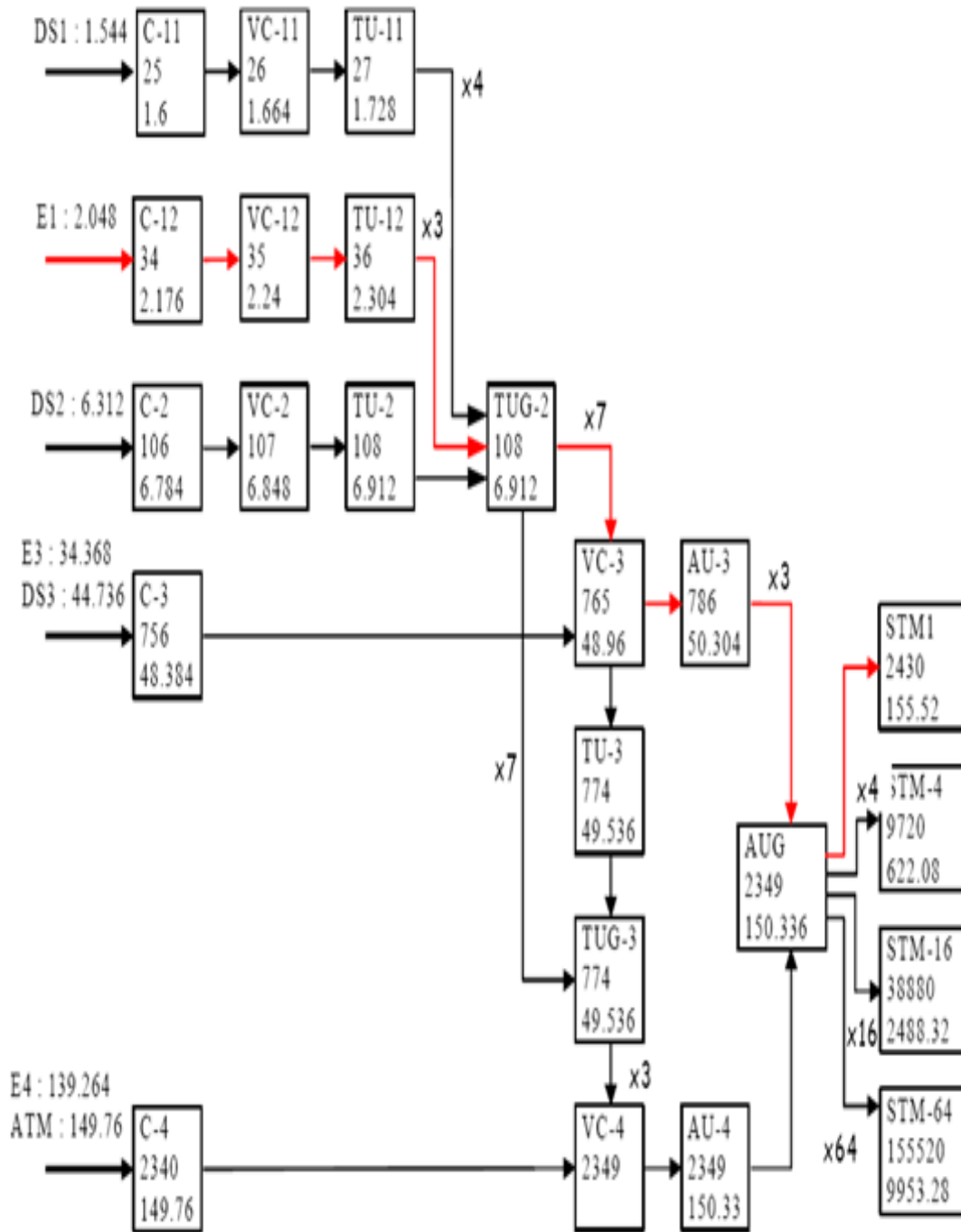


Figure. III.7.structure du multiplexage synchrone [12]

III.4.1.Insertion d'affluent 2Mbit/s dans un STM-1 [12]

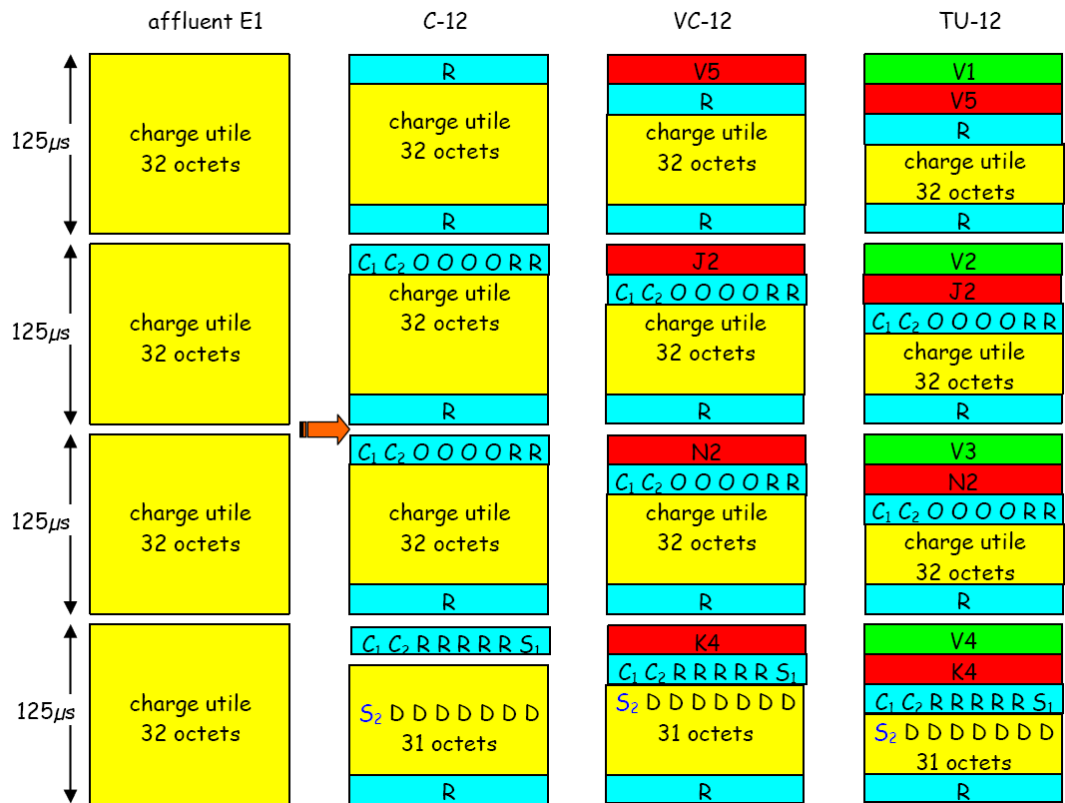


Figure III.8. Constitution de la tributary unit TU-12

III.4.1.1. Constitution du conteneur C-12

Le C-12 est une multi trame de 136 octets en 500µs (4fois 125 µs), chaque trame est constituée d'un affluent E1(32 octets,125µs) à qui on ajoute deux octets de sur débit, on obtient un conteneur C-12 de capacité de 34 octets.

La signification des octets :

- R : bit de Remplissage.
- D : bit de donnée (charge utile).
- C1 et C2 : bits de contrôle de justification.
- S1 et S2 : bits de justification.
- O : bit de service.

Le contrôle de justification se fait comme suit :

Il y a 3 bits C1 dans une multi-trame de Conteneurs

- Si C1 C1 C1 = 000 alors S1 est un bit de donnée
- Si C1 C1 C1 = 111 alors S1 est un bit de bourrage

Il y a 3 bits C2 dans une multi-trame

- Si C2 C2 C2 = 000 alors S2 est un bit de donnée
- Si C2 C2 C2 = 111 alors S2 est un bit de bourrage

Les bits C1 et C2 sont transmis trois fois pour augmenter la sécurité

III.4.1.2. Constitution du conteneur Virtuel VC-12

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

V5 : Surveillance des erreurs.

J2 : Identification du point d'accès.

N2 : Surveillance des connexions en cascade.

K4 : Octet réservé pour un complément d'étude.

III.4.1.3. Constitution de la tributary Unit TU-12

La Tributaire Unit TU-12 est obtenue en ajoutant un pointeur au VC-12. L'obligation de disposer de 4 pointeurs a mené à regrouper les TU-12 en multi trames de 4.

Les pointeurs sont notés V1, V2, V3 et V4.

V1 et V2 : constituent le pointeur de VC12.

V3 est l'opportunité de justification négative.

V4 : n'est pas utilisé (application future).

V4 : n'est pas utilisé (application future).

V4 : n'est pas utilisé (application future).

➤ Organisation matricielle des Tributary Units

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36

Figure .III.9.Organisation matricielle d'une TU-12

III.4.1.4. La Tributary Unit Group TUG-2

la TUG-2 est constituée de trois TU-12 multiplexées octet par octet. Elle est constituée de 108 octets organisés en une matrice de 12 colonnes.

1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
5	5	5	6	6	6						
									36	36	36

Figure. III.10.TUG-2 construite par multiplexage de 3 TU-12

III.4.1.5. Le conteneur virtuel VC-3 (7 x TUG-2)

Le groupe AUG reçoit trois AU-3 multiplexées octet par octets.

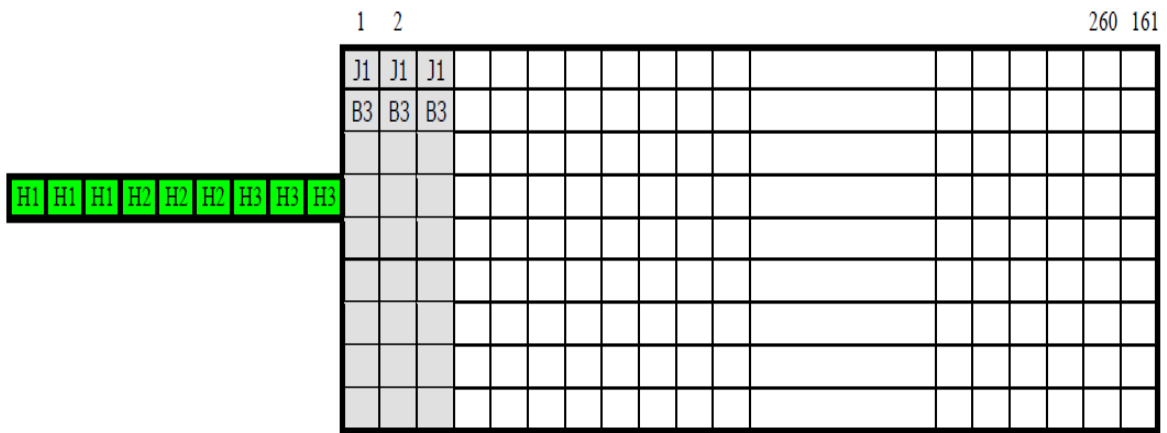


Figure. III.13.AUG construit à partir de 3 AU-3

III.4.1.8. La trame STM-1

La trame STM-1 est constituée d'une AUG à laquelle on a ajouté le sur débit RSOH et le sur débit MSOH.

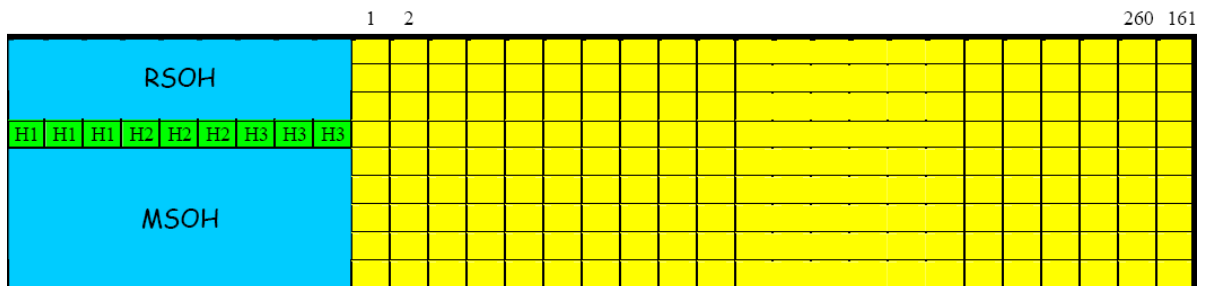


Figure. III.14.Groupe d'unité administrative AU-G

III.4.2.Insertion d'affluent 140Mbit/s dans un STM1 [11]

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 140 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C4. Ce conteneur de périodicité 125ms est formé de 180 blocs chacun constitué de 13 octets.

La capacité : $20 \times 9 \times 13 \times 8 = 18720$ bits.

Le débit : $18720 / 125 = 149,760$ Mbit/s

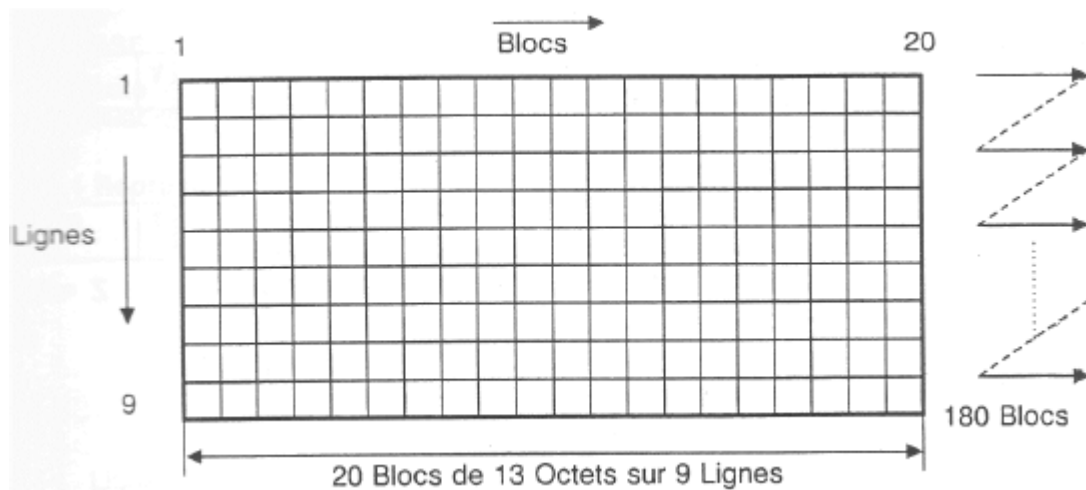


Figure.

III.15. bloc de conteneur C4

Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de 139,264 Mbit/s, tous les bits ne seront donc pas utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc il y a 13 octets répartis comme suit :

- 1 octet pour les bits d'indications tels que le bit de remplissage, de justification ou de sur débit.
- 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Ceci permet de voir qu'il y a en faite 17406 bits d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mbit/s.

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

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

- L'unité Administrative AU4 est constituée de l'ensemble VC4 et d'un pointeur associé.
- La trame STM-1 est constituée de l'ensemble AU4 et d'un sur débit de section SOH qui se décompose en deux sous ensembles : le RSOH et le MSOH.

III.4.3. Insertion d'affluent 34Mbit/s dans un STM-1

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 34 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C3. Ce conteneur de périodicité 125ms est formé de 9 lignes comptant chacune 84 octets.

La capacité : $9 \times 84 \times 8 = 6048$ bits.

Le débit : $6048/125 = 48,384$ Mbit/s

Le débit de C3 est supérieur au débit de l'affluent donc tous les octets ne sont pas utilisés pour transporter des bits d'information. Le Conteneur C3 est partagé en trois parties T1, T2, T3, de trois lignes chacune. Comme il n'y a pas assez d'octets de données on ajoute des bits de remplissage, donc le débit nominal de l'information dans du C3 passe à 34,344 Mbit/s.

- Le conteneur virtuel VC3 est obtenu en rajoutant à C3 un sur débit de Conduit POH identique au POH du VC4.
- Le TU3 est constitué de l'ensemble du VC3 et d'un pointeur associé placé dans la capacité utile de la trame STM1. Le pointeur TU3 est identique au pointeur d'AU4 et joue le même rôle.
- Le TUG3 définit les emplacements des TU3 (VC3 et pointeurs associés) dans le VC4.
- Le VC4 formé de 3 TUG3 est obtenu en effectuant un multiplexage par entrelacement de colonnes des TUG3 A/B/C après avoir placé en tête du VC4 la colonne contenant le POH de VC4 et deux colonnes de remplissage.

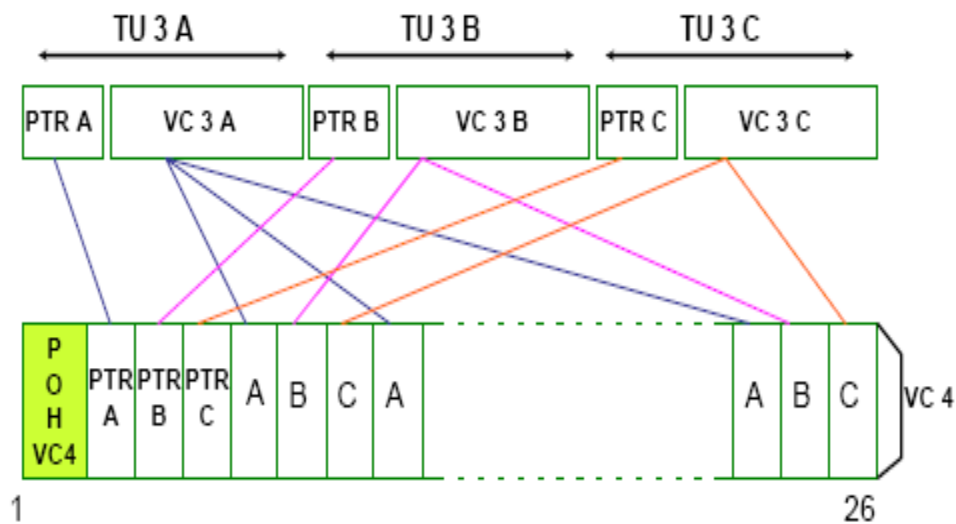


Figure III.16. VC-4 construit à partir de 3 TUG-3

III.5. La trame STM-n

La trame STM-n est composée d'une capacité utile obtenue par multiplexage de n

AUG et d'un SOH.

La capacité utile d'un STM-n est obtenue par multiplexage de n VC4 (n x261 colonnes) qui est composé de n AUG. Le multiplexage est réalisé en effectuant un entrelacement des octets de n VC4.

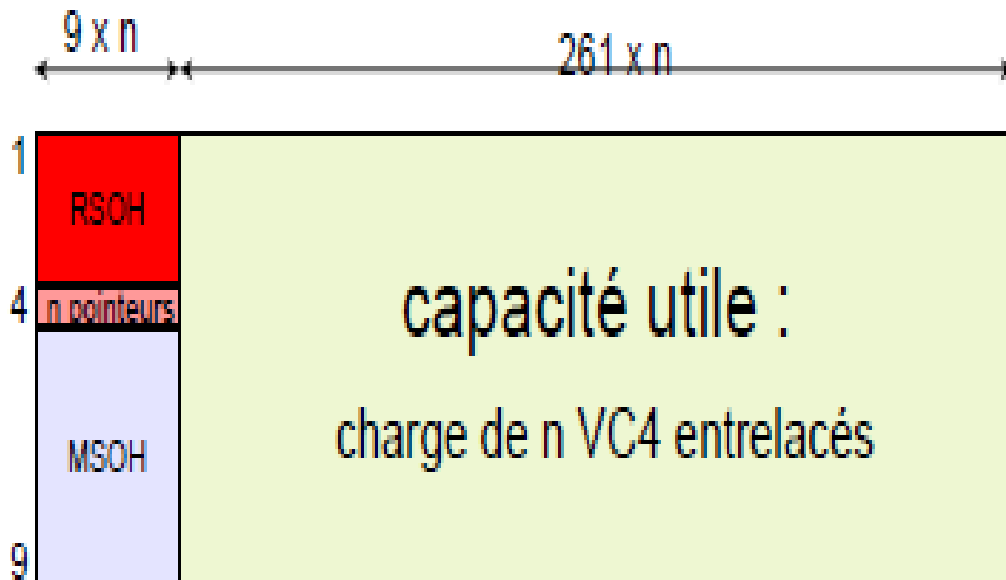


Figure III.17.La trame STM-n

III.6. Synchronisation du réseau SDH

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

Le dispositif général de synchronisation est du type maître esclave. Chaque équipement du réseau possède une horloge propre qui se synchronise sur l'horloge du niveau supérieur. L'horloge unique du plus fort niveau est appelée horloge primaire de référence PRC (Primary Reference Clock). C'est une horloge au césium de très haute précision (10^{-11} sur le log terme), elle est doublée par une horloge secondaire SRC (Secondary Reference Clock) qui est souvent une horloge GPS fournie par satellite.

L'architecture du réseau est telle que chaque élément du réseau reçoit au moins deux circuits d'horloge. Dans un réseau en anneau, la référence primaire est injectée sur un nœud (Fig. III-18 : N1) qui se charge de la diffuser sur les trames STM vers les autres nœuds. L'horloge secondaire est injectée sur un autre nœud (Fig. III-18 : N3) qui la diffuse vers les autres soit sur la 2ème fibre dans le cas d'un anneau bidirectionnel soit sur la fibre de secours. L'horloge secondaire est utilisée en cas de rupture du circuit normal ou en cas d'annonce du nœud N1 d'une perte du rythme de référence. Les trames STM comportent un octet STS (StatuS message Byte) dans le surdébit SOH qui permet d'identifier la nature de l'horloge transportée,

PRC : 0010

SEC: 10111 DNU: 1111(Do Not Use)

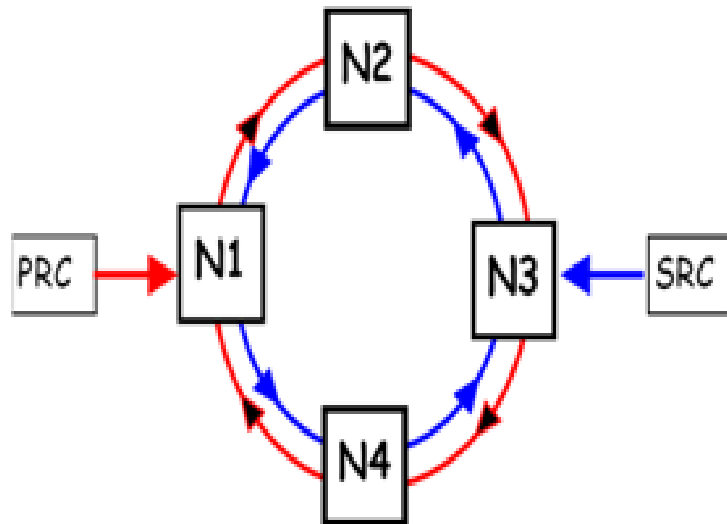


Figure III.19.Distribution de l'horloge [13]

III.7. Infrastructure du réseau SDH

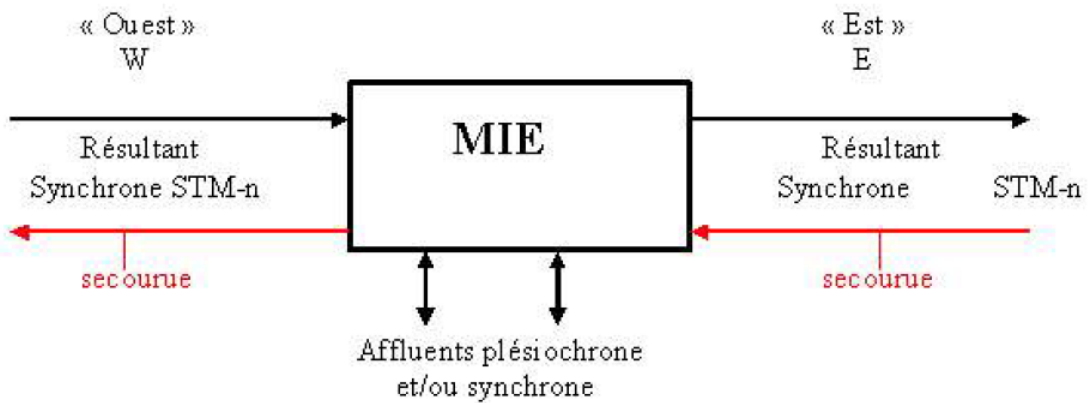


Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Le MIE contient la fonction de régénération qui permet la remise en forme uniquement par régénération du signal électrique et une surveillance de la section de la régénération. Pour de longue distance on n'installe un MIE sans cartes affluentes pour régénérer le signal.

L'un des inconvénients majeurs du MIE est le nombre insuffisant d'accès à 2Mbit/s au niveau du châssis MIE alors que ce débit est le plus demandé, c'est pour cela que l'on utilise des MTS.

III.7.2. Multiplexeur Terminal Simplifié

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant.

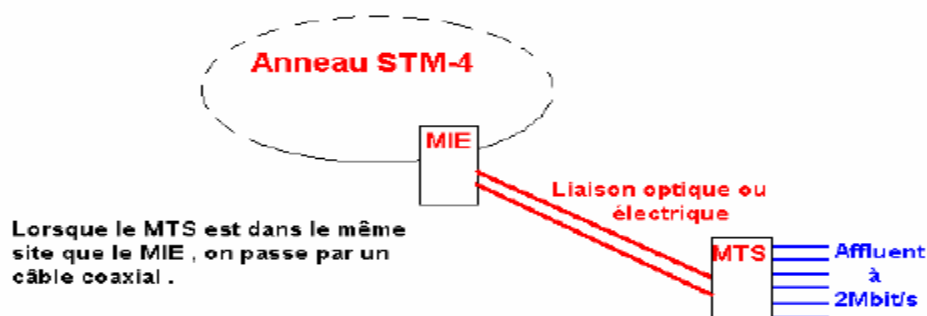


Figure III.21. Multiplexeur Terminal Simplifié

III.7.3. Brasseur

Les brasseurs sont destinés à assurer la connectivité et la flexibilité de la bande passante entre différentes portions de réseau, les transferts de VC entre boucles ou sous réseaux. Ces brasseurs sont des équipements de forte capacité, ils sont situés aux nœuds importants du réseau.

III.8.Topologies

Les architectures peuvent être réalisées en bus, en anneau, en étoile et peuvent être combinées entre elles permettant aux opérateurs de résoudre un grand nombre de cas pratiques.

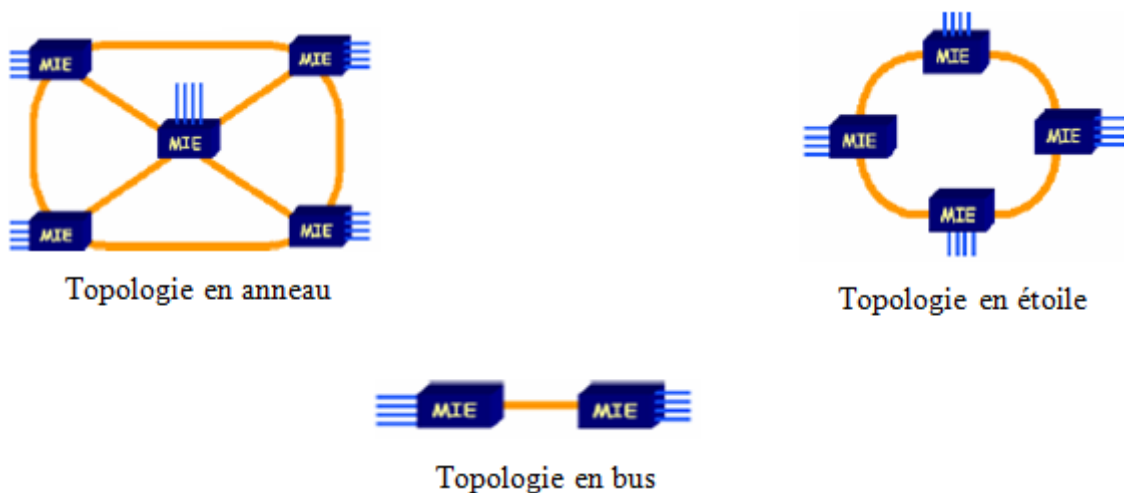


Figure III.22.Les topologies de la hiérarchie SDH

Un réseau en anneau est une chaîne, repliée sur elle-même et refermée, constituée uniquement des nœuds MIE (ou ADM pour Add-Drop Multiplexer) et ne possédant pas de nœud terminal. Ce type de réseau joue un rôle clé en SDH/SONET grâce aux mécanismes performants d'auto cicatrisation (délai de rétablissement < 50 ms) du réseau en cas de défaillance (par exemple: câble coupé, panne d'électricité ou incendie dans un nœud du réseau).

Les applications des réseaux en anneau sont nombreuses : réseaux d'accès aux réseaux nationaux, en passant par les réseaux locaux et régionaux. Les réseaux auto cicatrisants sont divisés en deux catégories :

- Les anneaux unidirectionnels.
- Les anneaux bidirectionnels.

III.8.1. Les anneaux unidirectionnels (2 fibre)

Les trafics émissions et réception circulent dans le même sens sur l'anneau, sur la fibre dite active. L'autre fibre de protection peut être utilisée, soit pour la duplication du trafic, soit pour transporter un STM-n vide ou un trafic non prioritaire.

III.8.2. Les anneaux bidirectionnels (2 fibres)

Les trafics émissions et réception circulent en sens opposés sur l'anneau et utilisent donc les deux fibres de la fibre. Par conséquent, la moitié de la bande passante doit être réservée pour la protection, afin de permettre une réorientation de trafic en cas de défaillance.

III.8.3. Les anneaux bidirectionnels (4 fibres)

Dans ce cas, une paire de fibres est réservée pour la protection. Cette paire de fibres peut être éventuellement utilisée pour un trafic non prioritaire et pour de la protection entre nœuds voisins.

III.9. La protection dans les réseaux SDH [14]

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission comme la rupture d'une fibre ou la défaillance d'un équipement de réseau.

III.9.1. La protection du sous-réseau SNCP (Sub-Network Connection Protection)(1+1)

Ce type de protection consiste à protéger le trafic conduit par conduit d'un anneau à deux fibres, chacun étant terminé par un basculeur. Lorsqu'une fibre est coupée, autant de basculements de conduits se produiront qu'il y aura des conduits empruntant cette fibre. Le trafic est diffusé en permanence sur deux chemins dans le réseau. Puis, à l'autre extrémité de la portion protégée du conduit, on choisit la branche sur laquelle le trafic est de meilleure qualité au niveau de chaque affluent TU-12, TU-3 et AU-4. L'objectif recherché dans ce type

de protection étant de limiter l'activation des mécanismes de protection à des segments de conduits.

III.9.2. La protection de la section de multiplexage MSP (Multiplex Section Protection)

- La protection MSP linéaire (point à point) : On protège de cette façon un lien direct entre deux ADM adjacents par un autre lien direct entre ces deux ADM. Il existe plusieurs possibilités de mise en œuvre :
- La protection 1 + 1 : Cette protection prévoit un deuxième support de secours qui prend le relais en cas de défaillance du circuit normal. Le circuit de secours dépend de l'architecture, il peut être constitué d'une fibre en cas d'un réseau unidirectionnel, ou d'une paire de fibre en cas d'un réseau bidirectionnel.

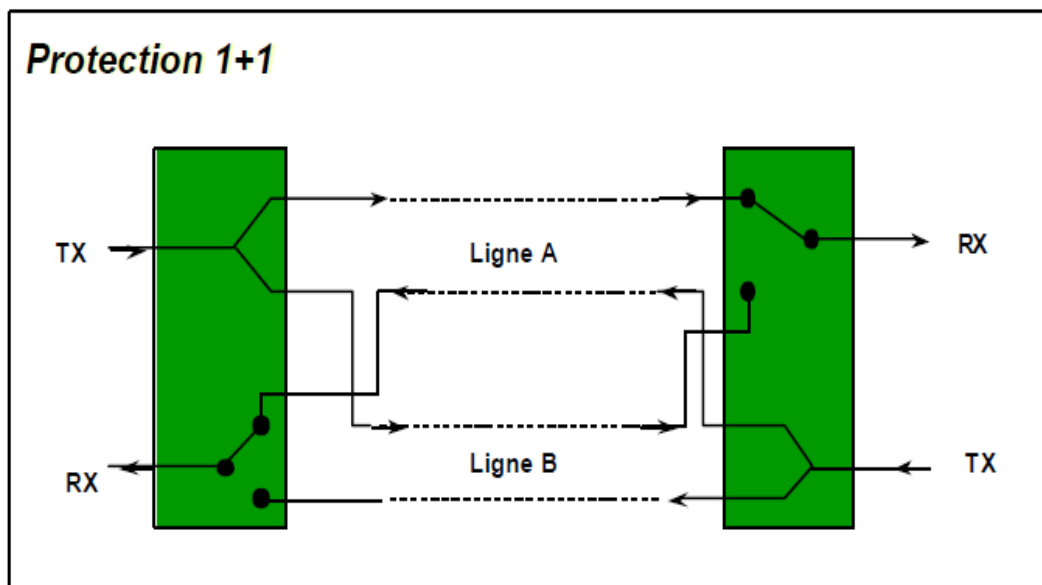


Figure III.23.1. Le principe de la protection MSP : 1+1

- La protection 1 : N : Consiste à protéger plusieurs liaisons entre les multiplexeurs adjacents par une seule liaison de secours, qui prendra en charge l'une des liaisons en panne seulement (si plusieurs tombent en même temps). Le signal est sélectionné à l'émission comme à la réception. Le trajet de la ligne normale et celui de celle de secours devraient pour bien faire être différents.

- La protection M : N : La protection M : N est dérivée de la protection 1 : N, elle consiste à réserver M dispositifs de protection pour protéger N dispositifs actifs, ainsi dans une liaison SDH, N conduits actifs seront protégés par M conduits de secours. Ce système de protection est utilisé pour les lignes de longues distances.

III.9.3. La protection MSP des anneaux

- La protection dédiée de la section de multiplexage MS-DPR (MS-Dedicated Protection Ring) Pour chaque trafic traversant l'anneau, une capacité équivalente est réservée sur tout l'anneau, grâce à une deuxième fibre. Par conséquent, le nombre maximum de conduits traversant l'anneau correspond au nombre maximum de conduits sur une liaison entre deux ADM adjacents.

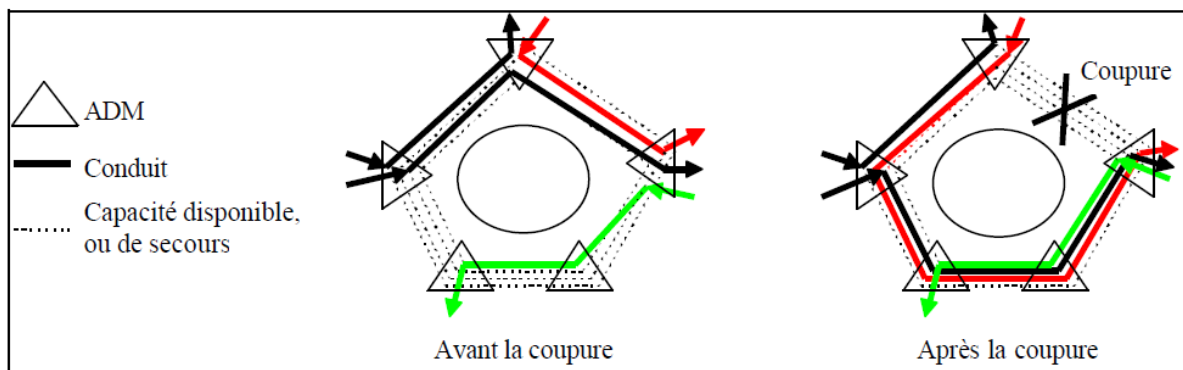


Figure III. 24. Le principe de la protection MS- DPR.

Les anneaux unidirectionnels sont des anneaux à deux fibres et peuvent être à protection de section ou protection de conduit. Les anneaux bidirectionnels sont uniquement à protection de section et peuvent être à 2 ou 4 fibres.

Le choix du type d'anneau et de son mécanisme de protection associé dépend de plusieurs paramètres, tels que la taille du réseau et le type de trafic sur le réseau.

Néanmoins, les anneaux bidirectionnels conviennent mieux pour des trafics équilibrés entre chaque nœud (réseau national par exemple) et que les anneaux unidirectionnels à protection de conduits sont plus adaptés à des trafics dirigés vers un nœud particulier (hub par exemple).

La sécurité de la technologie SDH prévoit qu'en cas de coupure de la ligne, le signal est automatiquement réacheminé sur un réseau « secours ». Plusieurs configurations de ce réseau sont possibles.

III.10. Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

Pour la norme SONET, les niveaux sont classés en OC : Optical Conteneur.

Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM - n (Synchronous Transport Module, niveau n).

La hiérarchie de la norme SDH correspond à celle de SONET pour les interfaces ATM.

Le niveau 1 de SDH (155,52 Mb/s) est le niveau 3 de SONET et le niveau 2 de SDH (622,08 Mb/s) est le niveau 12 de SONET.

SDH	SONET	Débit
STM-1	OC-3	155 Mbits/s
STM-14	OC-12	622 Mbits/s
STM-16	OC-48	25 Mbits/s
STM-64	OC-192	10 Mbits/s
STM-48	OC-384	20 Mbits/s
STM-256	OC-768	40 Mbits/s

Tableau .III.4.Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

III.11. Avantages de SDH /SONET

La SDH offre des avantages significatifs sur la PDH.

La SHD repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte, en plus du haut débit (plus élevé qu'on PDH).

-Grande fiabilité de transmission, la fibre de verre est insensible aux interférences électriques et électromagnétiques.

-Absence d'interférences entre fibres optiques voisines.

-Grande bande passante. Une fibre unique peut transporter plus de 1000000 fois le volume

-transporté par un fil de cuivre. Même sur fibre optique, avec son débit max de 565 Mb/s, la hiérarchie PDH a du mal à satisfaire les besoins en bande passante des nouveaux services.

-Très faible atténuation, ce qui augmente considérablement la portée en deux régénérateurs. Une seule fibre optique peut transporter un débit de 10 Gbps sur 400 Km sans amplificateurs.

-Les deux standards SDH et SONET sont compatibles. Ils sont interfaçages entre eux et avec les réseaux non optiques (PDH (USA), PDH(Europe), ATM.)

-Possibilité d'insérer et d'extraire un affluent de faible débit d'un circuit à haut débit sans être obligé de le démultiplexer. Cette opération est impossible avec la hiérarchie PDH.

-Une souplesse accrue quant à la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex.

-Une facilité d'exploitation-maintenance : des débits importants sont réservés à ces fonctions.

-Une possibilité d'évolution vers des hauts débits : les trames synchrones hauts débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base.

-Cette entité de base définit implicitement toutes les trames hauts débits, la limitation n'est plus que technologique.

- Une interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes.

-Des architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipements.

-La modularité des équipements SDH est plus adaptée aux progrès de la technologie que les équipements plésiochrones.

Chapitre IV

Etude d'une liaison FHN au profil de Boudjima

IV.1.Introduction

ALGERIE TELECOM a le statut d'une entreprise publique, sa naissance remonte au 5 aout 2000, après une restructuration visant le secteur des postes et des télécommunications Algériens, séparant ainsi les domaines d'activités postales de ceux des télécommunications.

ALGRIE TELECOM effectue ses transmissions en utilisant plusieurs réseaux dont :

- Réseau public de transmission de données par paquets X25(DZPZC) 7600 accès ;
- Backbone national de transmission à 10Gbits/s(WDM)
- Backbone régional de transmission à 2.5Gbits/s ;
- Réseau national rural : 103 réseaux intégrant plus de 1500 localités ;
- Plus de 1000 communes rattachées en fibre optique ;
- Une centaine de commune rattachée en faisceaux hertziens ;
- Backbone FHN pour relier communes et village isolé ;

Dans ce qui suit, nous allons montrer les différentes étapes de mise en service pour la réalisation d'une liaison de transmission par faisceaux hertziens d'ALGRIE TELECOM de la wilaya de Tizi-Ouzou.

IV.2. Caractéristique de la liaison

La commune de Boudjima est situé au nord ouest de tizi-ouzou elle est délimité au nord par la commune de tizirt, à l'est, par la commune de timizat, au sud, par la commune de ouaguenoun, et à l'ouest par la commune de makouda, elle est composé de 13 villages. En 2008 elle avait 15628 habitants et une densité de population de 447 habitants/km²; les besoins en télécommunications sont en effet nombreux et divers (téléphonie mobile, fixe, ADSL, WLL...).

Vue son relief montagneux et pour répondre à ces différents besoins la société d'ALGERIE TELECOM s'est avérée que la réponse la plus approprié consistait à déployer une liaison (16 × 2Mbits/s) par faisceaux hertziens numériques entre les sites de Boudjima et Belloua.



Figure IV.1. Carte géographique présente la situation (position) de la commune de Boudjima et Belloua

IV.3. Les étapes de l'étude

IV.3.1. Déplacement sur les deux sites

On se déplace sur les deux sites aux même temps avec les outillages nécessaires pour le travail (jumelle, miroir, talkie walkie ...etc).

- **Site de boudjima :** le choix d'un terrain est indispensable suite à l'inexistence d'une localité qui revient à Algérie Télécom afin d'établir un plan pour la construction d'un local qui abritera l'équipement.

✓ **Coordonnées géographiques**

Longitude : 4° 17'57'' E

Latitude : 36° 48'34''

Altitude : 416 m.

- **Site de belloua :** Il occupe le sommet de la montagne de belloua qui domine par le nord la wilaya de tizi ouzo, le terrain revient à Algérie télécom et les équipements existent déjà.

✓ **Coordonnées géographiques**

Longitude : 4° 30'47''

Latitude : 36° 44'0''

Altitude : 680 m

IV.3.2.Vérification de la visibilité entres les deux sites

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

IV.3.2.Distance du bon

La localité de Boudjima doit être raccordée aux réseaux de Tizi-Ouzou à travers le relais de Belloua, pour cela on utilise une carte géographique au 1 : 50 000 . Une fois la distance est calculée on peut utiliser le GPS (postion global système) pour la vérification.

On a trouvé une distance de 12,5 Km

IV.3.2. Paramètres d'installation

IV.3.2.1. Le choix de la liaison

La capacité de l'équipement a été choisie selon les besoins d'utilisation (station GSM, ADSL, équipement spécialisées, WLL....etc.). Le débit de la liaison est de 16×2 Mbits/s et la fréquence est de 18Ghertz.

IV.3.2.2. Les antennes

Les installations de radiocommunication par faisceaux hertziens se composent de deux antennes paraboliques, l'une à l'emplacement d'émission, l'autre à l'emplacement

de réception. Leur rôle principale est d'assurer l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

Pour cette liaison les antennes sont de 0,6 m de diamètre et 18 m de hauteur avec des supports de 25 m de hauteur pour avoir une meilleure directivité.

IV.3.2.3. Le câble coaxial

Le câble coaxial est utilisé comme un support de guide d'onde entre les équipements et les antennes. Il a une impédance caractéristique de 75Ω .

IV.3.2.4. Polarisation des antennes

Pour les liaisons longue distance on choisit la polarisation verticale parce que le signal est nettement mieux et l'information est reçue sans distorsion. Tandis que la polarisation horizontale est employée pour les distances courtes. La polarisation verticale peut diminuer le temps d'interruption de 30% par rapport à la polarisation horizontale. Pour qu'une liaison fonctionne correctement, il faut que l'antenne de réception soit polarisée de la même façon que l'antenne d'émission.

IV.3.2.5. Source d'alimentation

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

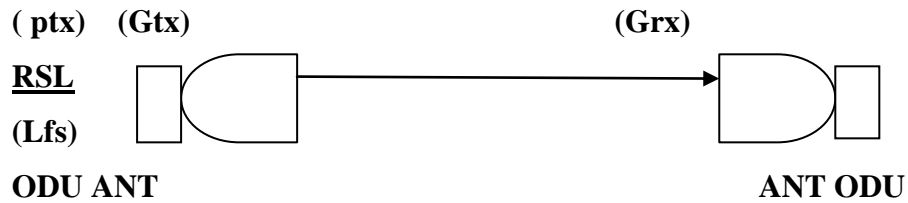
IV.3. 2.5. Protection nécessaire

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

IV.4. Calcul du bilan de la liaison

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

IV.4. Calcul de la puissance du niveau de réception en aire clair (RSL en dB)



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

RSL : Niveau de réception

Ptx : puissance sortie d'émission

Gtx : Gain d'antenne coté émission

Grx : Gain d'antenne coté réception

Lfs : Affaiblissement d'espace libre

IV.4.1. Puissance sortie d'émission Ptx d'ODU

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

Tableau .IV.1. Tableau de puissances Ptx [14]

IV.4.2 Gain d'antenne Gtx et Grx

Diam D'antenne	Gain d'antenne (dB)		
	15GHz	18GHz	23GHz
0,3 m	31,9Db	34,0dB	34,9Db
0,6 m	36,6dB	38,7dB	40,1dB
1,2 m	42,6dB	44,7dB	46,0Db

Tableau .IV.2.Gain d'antenne Gtx et Grx [14]

IV.4.3 Calcul l'affaiblissement en espace libre (Lfs)

$$Lfs = 92,45 + 20 \log [f(\text{GHz}) \times d(\text{Km})]$$

$d = 12,5 \text{ km}$ est la distance qui sépare les deux sites

$f = 18 \text{ GHz}$ fréquence de signal

$$Lfs = 92,45 + 20 \log (18 \times 12,5)$$

$$Lfs = 139,49 \text{ dB}$$

$P_{tx} = +23 \text{ dbm}$ (d'après le tableau .IV.1)

La puissance sortie d'émission pour ODU de bande 18GH doit être de +23 db

$G_{tx} = 40,1 \text{ db}$ (d'après le tableau .IV.2)

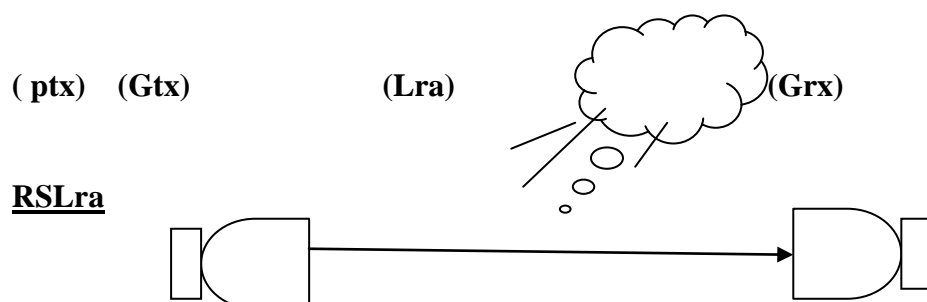
$G_{rx} = 40,1 \text{ db}$ (d'après le tableau .IV.2)

Alors :

$$RSL = 23 + 40,1 - 139,49 + 40,1 \text{ RSL}$$

$$= - 36,29 \text{ dBm}$$

IV.5. Niveau de réception y compris l'affaiblissement dû à la pluie (RSLra)



ODU ANT

(Lfs)

ANT ODU

$$\mathbf{RSLra = Ptx + Gtx - Lfs - Ira + Grx}$$

Lra= Affaiblissement dû à la pluie

IV.5.1. Affaiblissement dû à la pluie

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

La figure .IV.4 qui suit montre les zones (K, E, C, A) de précipitation sur un point de région.

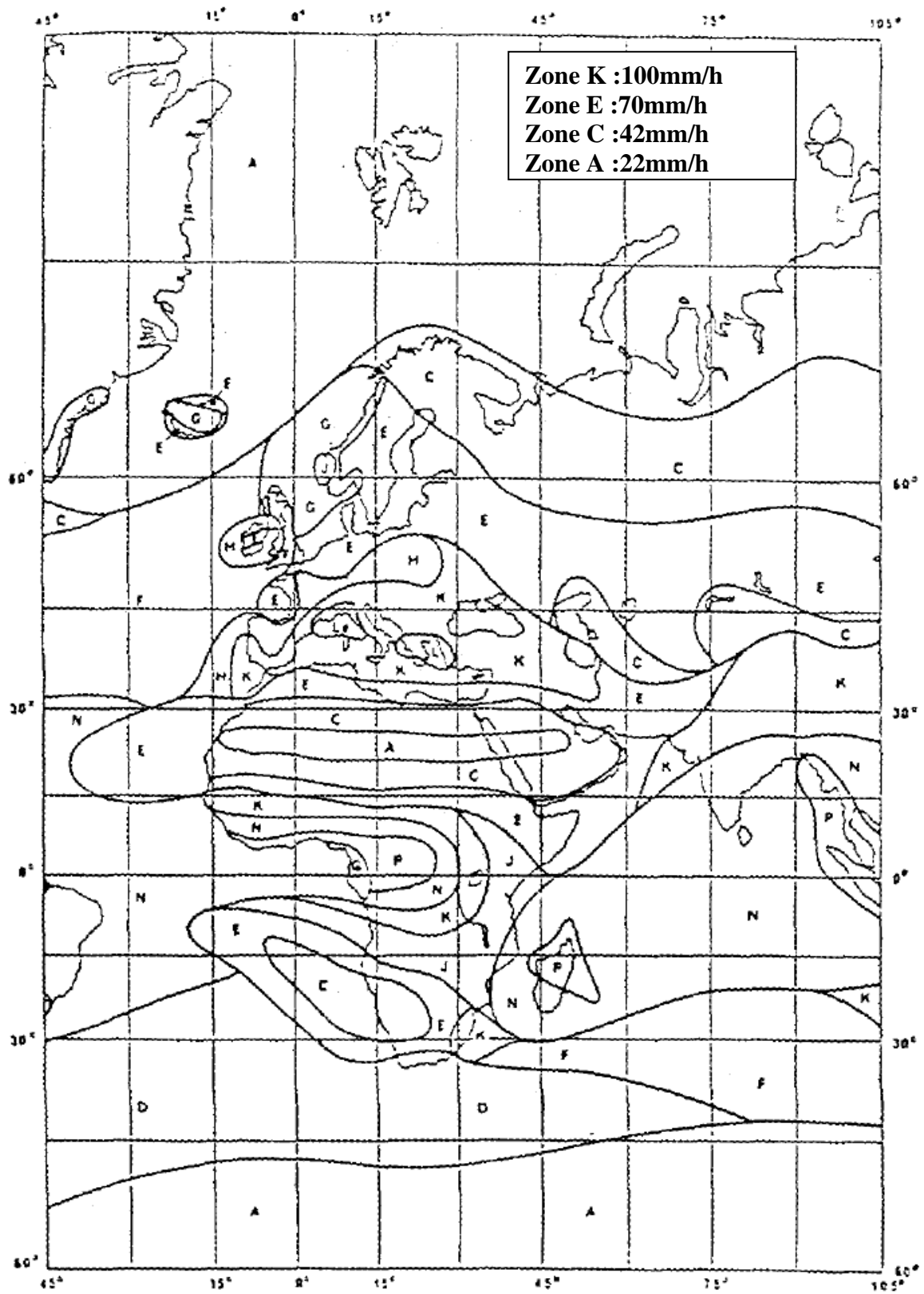


Figure .IV.2.La précipitation de 4 zones différentes

IV.5.2.Calcul de L'affaiblissement dû à la pluie (Lra)

On est dans la zone c : 42 mm /h

On a trace sur la figure IV.5 une ligne entre un point de 42 mm/h sur l'échelle gauche (précipitation à la zone c) et un point de 18 GHz sur l'échelle droite (bande de fréquence) on a trouvé un point d'affaiblissement de 3,1 GHz/km sur l'échelle au milieu donc l'affaiblissement du à la pluie sur 12,5 Km est 38,75 dB.

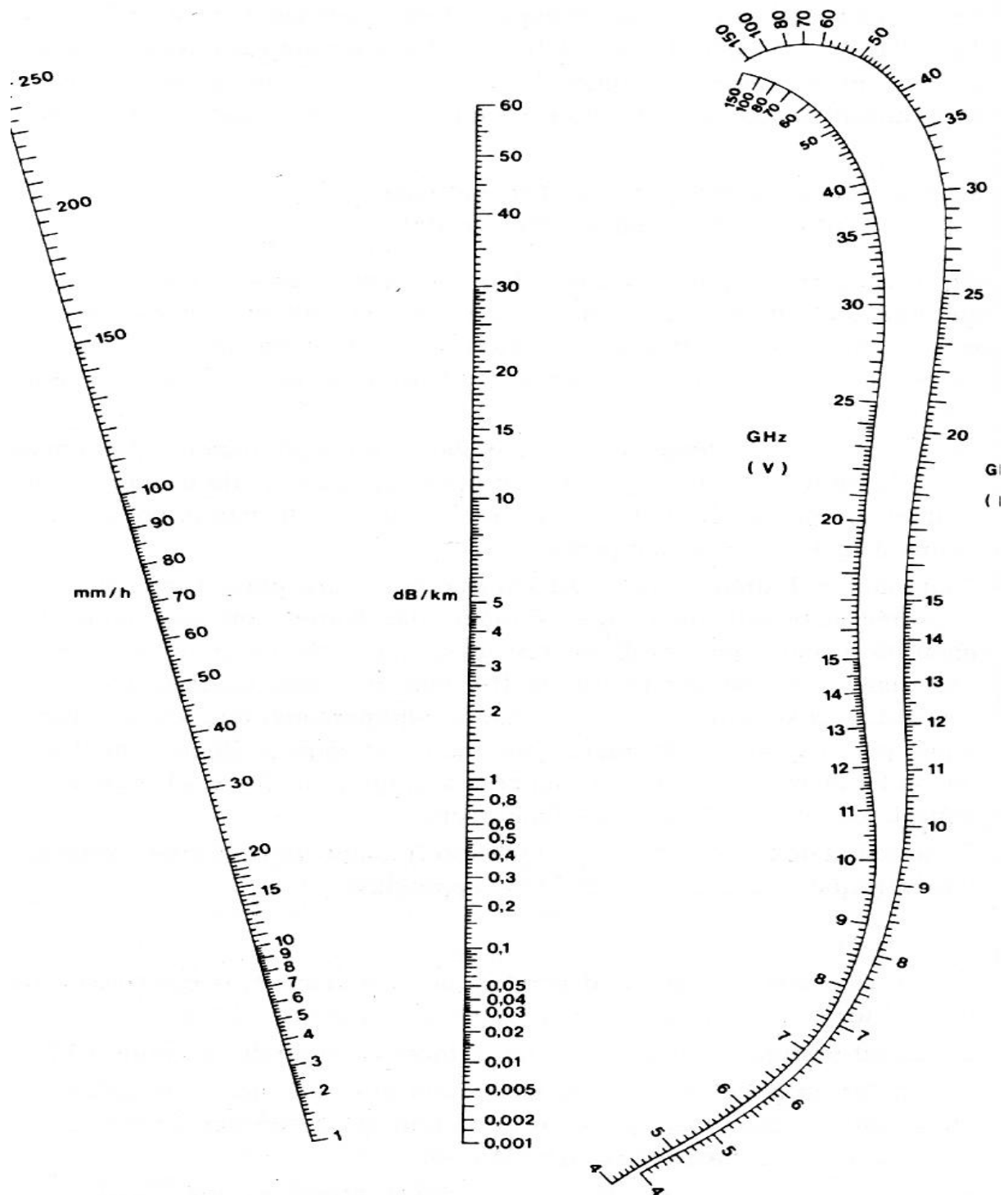


Figure .IV.3. Monogramme permettant le calcul de l'affaiblissement dû à la pluie.

(H) polarisation horizontale

(V) polarisation verticale

Alors :

$$\begin{aligned} \text{RSLra} &= 23+40,1 - 139,49 +40,1- 38,75 \\ &= - 75,04 \text{ dBm} \end{aligned}$$

IV.6.L'adaptation du niveau de réception

En fin de calcul de niveau de réception, il faut avoir l'adaptabilité de la valeur obtenue au système protégé pour une meilleure exploitation. Le critère utilisé pour le système PASOLINK :

- Critère A

Le niveau de réception doit maintenir une marge de fading MF (marge de protection contre les évanouissent) supérieure à 37 dBm par rapport au niveau de seuil NS (dBm) du récepteur à TEB 10^{-3} .

$$\text{MF} > 37\text{dBm P.R.P p.r.p NS à TEB } 10^{-3}$$

$$\text{-Marge de fading(MF) = niveau de seuil (SN)– niveau de réception(RSL)}$$

Item	15GHz	18GHz	23GHz
Niveau de seuil (dBm Mesure au port antenne) TEB= 10^{-3}			
8MB	-90,5	-89,5	-88,5
34MB	-84,5	-83,5	-82,5

IV.3.Le seuil [14]

Tableau.
niveau de

$$\text{MF} = \text{SN} - \text{RSL}$$

$$\text{SN} = - 83, 5\text{dBm (d'après le tableau .3.)}$$

$$\text{MF} = - 83, 5 \text{ dBm} - (- 36,29 \text{ dBm})$$

$$= -47,21 \text{ dB}$$

$$47,21 \text{ dB} > 37 \text{ dB}$$

Critère B

Un niveau de réception y compris un affaiblissement dû à la pluie doit maintenir une marge de fading supérieur par rapport au niveau de seuil NS (dBm) du récepteur à $TEB10^{-3}$.

RSL_y compris L_{ra} (RSL_{ra}) = Niveau de réception (RSL) - Affaiblissement dû à la pluie (L_{ra})

$$RSL_{ra} = RSL - L_{ra}$$

$$= -36,29 \text{ dBm} - 38,75 \text{ dBm}$$

$$= -75,04 \text{ dBm}$$

$$-75,04 \text{ dB} > -83,5 \text{ dB}$$

$RSL_{ra} > NS$

- Conclusion

L'atténuation admise est de 46,35 dB. Comme la pluie intense ne provoque que 38,75 dB, la marge de fading de notre liaison est suffisante pour fonctionner sous un temps pluvieux avec une intensité qui peut atteindre 42 mm/h.

IV.7. Bilan global de la liaison

	Site-A	Site-B
Nom et N°	Boudjima	Belloua
Distance (d)	12,5 Km	
Système	2×16 Mbits/s	
Diamètre ANT	0,6 m	0,6 m
Fréq EM (Fréq, sub-band, Ch n.)	18 GHz, s-band (Tx=18473, Rx=19481)	18 GHz, s-band (Tx=19481, Rx=18473)

1	Puissance .EM (Ptx)	+23 (dBm)
2	Gain d'antenne (Coté EM) (Gtx) 15G 18G 23G 0,3m 31,9 34,0 34,9 0,6m 36,6 38,7 40,1 1,2m 42,6 44,7 46,0	40 ,1 (dB)
3	Affaiblissement d'espace libre (Lfs) $92,45+20\text{Log}[f(\text{GHz})\times d(\text{Km})]$	139,49 (dB)
4	Affaiblissement du à la pluie (lra) Zone K : 100mm/h Zone E : 70mm/h Zone C : 42mm/h Zone A : 22mm/h	38,75 (dB)
5	Gain d'antenne (Coté RX) (Grx)	40,1 (dB)
6	Calcul (Niveau de réception) (Rsl) Ptx+Gtx-Lfs-lra+Grx	-75,9 (dBm)

1	Niveau de seuil (TEB= 10^{-3}) (SN)	(dBm)
	15G 18G 23G 8M -90,5 -89,5 -88,5 34M -84,5-83,5 -82,5	-83,5
2	Marge de fading (MF) SN-RSL	-47,21 (dB)
3	Critère MF > 37 dBm	A Adaptabilité Concluent
4	RSL y compris affaiblissement du à la pluie (RSLra) RSL-Lra	-75,04 dBm

5	Critère RSLra > SN	B	Adaptabilité Concluent
----------	--	----------	---

Conclusion générale

S'il n'y a pas de solution,...
c'est qu'il n'y a pas de problème.
Quand on ne sait pas où l'on va,...
il faut y aller ! et le plus vite possible!
Devises shadoks.

Les faisceaux hertziens restent aujourd'hui le moyen le plus rapide et le moins onéreux pour installer un réseau de télécommunication. Ils sont utilisés dans les régions moins accessibles et les lieux accidentés. L'adaptabilité de ces réseaux se fait à l'aide de multiplexage SDH, qui permet le transport de débits très importants, et utilise les normes OSI, ce qui facilite cette adaptabilité aux différents réseaux.

L'étude de l'installation d'une liaison FHN reliant la région de Boudjima au réseau national était l'objet de notre travail. Cette liaison est caractérisée par un débit de 16×2 Mbits/s, choisi selon les besoins d'utilisations et la distance qui sépare les deux sites qui sont en visibilité directe. La liaison utilise deux bandes de fréquence, l'une pour l'émission et l'autre pour la réception, à la fréquence de 18 GHz. Le calcul du bilan de la liaison nous a permis de calculer un niveau de réception de -37 dbm qui maintient une marge d'atténuation (fading) $MF = -46$ dB. Cette marge permet de travailler avec suffisamment de performances, sous un temps pluvieux à une intensité qui peut atteindre 42 mm/h, et dans les conditions de propagation qui peuvent se présenter (interférences, contraintes dues aux obstacles ou les masques tels que : végétation, montagne, immeubles et divers obstacles lié à la propagation en espace libre).

Malgré leur simple réalisation et leur coût moindre, les faisceaux hertziens numériques SDH restent limités dans les débits transportés à 1,5 Gbit/s. Pour surpasser cette limitation, la fibre optique apporte des améliorations considérables en termes de débits et reste, à ce jour, le meilleur support de transmission moyennant un coût plus élevé.

Liste des figures

Figure I.1 : Structure du réseau locale

Figure I.2 : Structure simplifiée d'un tronçon du RTCP

Figure I.3 Architecture d'un réseau GSM

Figure I.4 : Le câble coaxial

Figure I.5 .La paire torsadée

Figure I.6. La fibre optique

Figure I.7. Transmission par satellite

Figure. I.8. La bande passante

Figure. I.9. Modélisation d'une ligne de transmission

Figure II.1. La structure de l'onde plane

Figure II.2. Polarisation rectiligne

Figure II.3. Polarisation circulaire

Figure II.4 : Spectre électromagnétique

Figure II.5 : Propagation des ondes électromagnétiques

Figure II. 6 : Couches atmosphériques

Figure II.7 .Portée d'une transmission troposphérique

Figure II.8 :L'ellipsoïde de Fresnel

Figure II.9 : Schéma principale d'une liaison hertziennes

Figure II .10. Géométrie d'une antenne parabolique

Figure II.12. Modulation de fréquence ou FSK

Figure II.13. Modulation de phase ou PSK

Figure II.14. Modulation d'amplitude ou ASK

Figure II.15. Modulation QAM

Figure II.16. Exemple de constellation QAM8 (3 bits par baud)

Figure II.17. Les étapes de la numérisation MIC.

Figure II.18. La loi européenne A

Figure II.19. Les étapes de la modulation MIC

Figure II.20 .Le Codage AMI

Figure II.21. le codage HDB3

Figure II.22. Structure d'une trame MIC

Figure III.1. Multiplexage et démultiplexage en PDH

Figure III.2. Structure de la trame STM-1

Figure. III.3. Les octets du pointeur

Figure .III.4. les octets du POH d'ordre supérieur

Figure. III.5. les octets du POH d'ordre inférieur

Figure. III.6. Les niveaux de multiplexage SDH

Figure. III.7. Structure du multiplexage synchrone

Figure III.8. Constitution de la tributary unit TU-12

Figure .III.9. Organisation matricielle d'une TU-12

Figure III.10. TUG-2 construite par multiplexage de 3 TU-12

Figure II.11. VC.3 construit à partir de 7 TUG-2

Figure III.12. L'unité administrative AU-3

Figure. III.13. AUG construit à partir de 3 AU-3

Figure III.14. groupe d'Unité Administrative AU-G

Figure. III.15. Le conteneur C4

Figure III.16. VC-4 construit à partir de 3 TUG-3

Figure III.17. La trame STM-n

Figure III.18. Distribution de l'horloge

Figure III.19. Infrastructure du réseau S.D.H.

Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Figure III.20. Multiplexeur Insertion - Extraction MIE

Figure III.21. Multiplexeur Terminal Simplifié

Figure III.22. Les topologies de la hiérarchie SDH

Figure III.23.1. Le principe de la protection MSP : 1+1

Figure III. 24. Le principe de la protection MS- DPR.

Figure .IV.1. Carte géographique présente la situation (position) de la commune de Boudjima et Belloua

Figure .IV.3. Monogramme permettant le calcul de l'affaiblissement dû à la pluie.

Figure .IV.2. La précipitation de 4 zones différentes dû à la pluie

Liste des tableaux

Tableau I.1 : comparaison des supports de transmission.

Tableau II.1. L'utilisation de spectre électromagnétique.

Tableau II.2. Les combinaisons d'amplitudes et de phases.

Tableau III.1. Les réseaux de sections de multiplexage RSOH

Tableau III.2. Les réseaux de sections de multiplexage MSOH

Tableau. III.3. La correspondance affluent -conteneur

Tableau III.4. Les débits normalisés de la hiérarchie SDH/SONET

Tableau .IV.1. Tableau de puissances P_{tx}

Tableau .IV.2. Gain d'antenne G_{tx} et G_{rx}

Tableau. IV.3. Le niveau de seuil

Bibliographie

- [1] « Réseau téléphonique commuté » par A.OUMNAD
- [2] « La hiérarchie numérique synchrone » thèse d'ingénieur, promotion 2007. Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou(ELN), présenté par Aitseddik Aissam et Harbane Marzouk.
- [3] Introduction aux réseaux téléphoniques Présenté par Boucif AMAR BENSABER Math info, UQTR
- [4] « Sécurité et gestion de la mobilité dans le réseau GSM » thèse d'ingénieur, promotion 2005, Institut des télécommunications Abdelhafid Boussoul Orant présenté par Boutiouma,About Bakar.
- [5] documentation d'Algérie télécom
- [6] « Multiplexage SDH et dimensionnement des réseaux DWDM » thèse d'ingénieur, promotion 2011. Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou(ELN), présenté par Hamitouche Areski et Lahlouch Hassina.
- [7] « Coure optoélectronique » : Mr TAZIBT enseignant à l'université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou ,faculté de Génie Electrique et d'Informatique.
- [8] onde électromagnétique.
- [9] www.sysoco.fr
- [10] www.urec.cnrs.fr
- [11] www.francetelecom.fr
- [12] [www .commentcamache.net](http://www.commentcamache.net)
- [13] www.enst-bretagne.fr