

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÈRI, TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études
Présenté en vue de l'obtention
du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique

Option : Communication

Thème:

**Etude et fonctionnement du réseau de
transmission GSM (MOBILIS) à la Wilaya
de Tizi-Ouzou**

Proposé et dirigé par :

**M^r. R. ZIANI
M^r. K. HAMDAD**

Présenté par :

**M^r. R. MANSOUR
M^{me}. Z. TAKAZNOUNT**

Année universitaire 2008/2009

Remerciements

A travers ce travail, nous tenons à remercier vivement notre promoteur Mr. S. Ziani (Chef du département à l'institut d'électronique) pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude et réalisation de ce projet, malgré ses occupations.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à notre co-promoteur M^r K. Hamdad (chef de service déploiement et maintenance de la direction régionale d'ATM Mobilis de Tizi-Ouzou), à M^r S. Lahdir (ingénieur transmission) et à toute l'équipe de déploiement et maintenance pour nous avoir accueilli pendant toute la durée de notre stage pratique. Leurs remarques pertinentes nous ont été d'une aide précieuse.

Un tout grand merci aussi aux messieurs les membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle universitaire. Sans omettre bien sur de remercier profondément tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

Et enfin, que nos chers parents et familles, et bien avant tout, trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus sincères et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aides, soutien et encouragement afin de nous assurer cette formation d'ingénieur d'état dans les meilleures conditions.

Raman & Zakia

Dedicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

- *La mémoire de mes grand-père : Mnd Ouidir et Mohamed*
- *Mes très chers parents qui m'ont toujours poussé vers l'avant ;*
- *Mes grands-parents ;*
- *Mes deux chers frères chacun par son nom ;*
- *Mes deux chères sœurs chacune par son nom ;*
- *Tous mes tontons et tantes et leurs petites familles chacun par son nom ;*
- *Tous mes oncles et leurs petites familles chacun par son nom ;*
- *Tous Mes amis (es) chacun par son nom en particulier le club des cruciverbistes.*

Raman

Dedicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

- *Mes très chers parents qui m'ont toujours poussé vers l'avant ;*
- *Mes grands-parents ;*
- *Mes deux chers frères chacun par son nom ;*
- *Toutes mes chères sœurs chacune par son nom ;*
- *Mon très cher époux ;*
- *Mes beaux parents ;*
- *Mes belles sœurs et mes beaux frères ;*
- *Tous mes tontons et tantes et leurs petites familles chacun par son nom ;*
- *Tous mes oncles et leurs petites familles chacun par son nom ;*
- *Tous Mes amies et amis chacun(e) par son nom.*

Lak

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur le GSM

I. Le réseau GSM	3
I-1 Introduction	3
I-1-1 Historique	3
I-1-2 Evolution technologique	4
I-2 Architecture d'un réseau GSM	4
I-2-1. Le sous-système radio (BSS Base Station Subsystem)	5
I-2-1-1 La station mobile (MS Mobile Station)	5
I-2-1-2 BSC (Base Station Controler)	6
I-2-1-3 Le transcodeur	7
I-2-1-4 BTS (Base Transceiver Station)	8
I-2-2. Le sous-système réseau ou d'acheminement (NSS Network Subsystem)	11
I-2-3 Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operating Subsystem)	12
I-3 Protocoles	12
I-3-1 Pile de protocoles	12
I-4 Les interfaces réseau	14
I-4-1 L'interface A-bis	14
I-4-2 L'interface A	14
I-4-3 L'interface X.25	14
I-5 La technologie GSM	15
I-5-1 Le concept cellulaire	15
I-5-1-1 Réutilisation des ressources	18
I-5-1-2 Différents types de cellules	18
I-5-1-3 Clusters (motifs)	21
I-6 La structure topologique du réseau GSM	23
I-6-1 La cellule	23
I-6-2 La zone de localisation LA (Location Area)	23
I-6-3 La zone de service MSC/VLR	24

I-6-4 La zone de service du GSM.....	24
I-7 Synthèse des principales caractéristiques du GSM.....	25
I-8 Méthode d'accès d'abonnés au réseau GSM	27
I-8-1 Multiplexage fréquentiel.....	27
I-8-2 Multiplexage temporel	28
I-8-3 La modulation GMSK	30
I-9 Déroulement d'une communication.....	31
I-9-1 Itinérance(le roaming)	31
I-9-2 Le Handover (la mobilité)	32
I-9-2-1 Types de Handover (HO).....	33
I-9-2-2 Objectif et fonctions du Handover	33
I-9-2-3 Les phases du Handover	34
I-9-3 La localisation (Location Update)	34
I-9-3-1 Le paging	34
I-9-3-2 Etablissement d'un appel.....	34
I-10 Les canaux de transmission	36
I-10-1 Les canaux physiques.....	36
I-10-2 Les canaux logiques	36
I-11 Multiplexage des trames	37
I-11-1 Hiérarchie plésiochrone PDH	37
I-11-2 Hiérarchie synchrone SDH	38

Chapitre II : Les différents supports de transmission

II- Introduction	39
II-1 La Fibre optique.....	39
II-1-1 Introduction	39
II-1-2 Classification des fibres optiques	40
II-1-2-1 Fibres à saut d'indice	40
II-1-2-2 Fibres à Gradient D'indice	43
II-1-3 Caractéristiques principales	45
II-1-3-1 Introduction	45
II-1-3-2 Les inconvénients	45
II-1-3-3 Les avantages	48
II-1-4 Principe général de guidage dans les fibres optiques	49

II-1-5 Liaison par fibre optique	51
II-1-6 Transmission par fibre optique	52
II-1-7 Les émetteurs	52
II-1-8 Les récepteurs	53
II-2 : Les faisceaux hertziens	53
II-2-1 : Présentation des faisceaux hertziens	53
II-2-1-1 Définition	53
II-2-1-2 Les usages des faisceaux hertziens	53
II-2-1-3 Les différentes catégories des faisceaux hertziens	54
II-2-2 Stations relais	55
II-2-3 Structure d'une station terminale	57
II-2-4 Principales fréquences des FH	58
II-2-5 Les avantages et les inconvénients des FH	59
II-2-5-1 Inconvénients des faisceaux hertziens	59
II-2-5-2 Avantages des faisceaux hertziens	59
II-2-6 : Rôle du faisceau hertzien dans un réseau de téléphonie mobile	59
II-2-7 <i>Le câble coaxial</i>	61
II-2-7-1 <i>Les différents Paramètres d'un câble coaxial</i>	62
II-2-7-2 Les différents types de câbles coaxiaux	63
II-2-7-3 Les différentes caractéristiques de la transmission du câble coaxial	64

Chapitre III : Etude et application de logiciel de maintenance Mini-Link

III- Le Mini-Link	65
III-1- Le Mini-Link E	65
III-1-1 Le terminal Mini-Link E	65
III-1-2 Les différentes liaisons du Mini-Link E	72
III-2 -Le Mini-Link HC (High Capacity)	73
III-3-Le Net Man	73
III-4-La supervision et la maintenance de Mini-Link	73
III-5- exemple d'application du logiciel Mini-Link sur une liaison	85

Chapitre IV : Fonctionnement du réseau de transmission Mobilis à la Wilaya de Tizi-Ouzou

IV-1 Introduction	88
IV-2 Interconnexion entre les différents sites du réseau	88
IV-2-1 Les sites Hubs	88
IV-3 Etudes de la transmission sur un tronçon donné.....	90
IV-3-1 Présentation du tronçon	90
IV-3-2 Type de liaison entre les différents sites	90
IV-3-3 Configuration des différentes liaisons	91
IV-3-3-1 La liaison N.ville ←L.N.I.....	91
IV-3-3-2 La liaison LNI ←Yakourene.....	92
IV-3-3-3 La liaison Yakourene ←Ait Chafaa	93
IV-3-3-4 La liaison Ait-Chafaa ←P'tit paradis	94
IV-3-3-5 La liaison P'tit paradis ←Béni Ksila.....	94
IV-3-3-6 La liaison Béni Ksila ←Ait Mendil	95

Introduction générale

Introduction générale

Le concept de radiotéléphonie cellulaire apparaît pour la première fois en 1971. La compagnie Américaine BELL TELEPHONE en était à l'origine et l'avait mis en œuvre en développant l'AMPS (Advanced Mobile Phone Service) qui était opérationnel dès 1978. A partir de cette date, de nombreux réseaux cellulaires étaient mis en place dans d'autres pays.

Ces systèmes de première génération étaient analogiques, le nombre de communications simultanées dans une même cellule était faible. Ceci a conduit les opérateurs à rester impuissants devant la saturation de leurs réseaux en zone urbaine. Un second handicap venait du fait que chaque pays édictait souverainement sa norme, si bien que les systèmes de radiocommunications étaient incompatibles d'un pays à l'autre.

La condition nécessaire pour établir un service de téléphonie mobile est de disposer d'une bande de fréquence commune sur l'ensemble du territoire, ainsi en 1979, lors de la conférence administrative mondiale des radios télécommunication, la décision d'ouvrir une bande aux alentours des 900Mhz est prise.

En 1987, le GSM fixe les options, technique pour les normes de radio télécommunication avec les mobiles. Parmi les techniques pour lesquelles ils avaient opté on trouve la transmission numérique le multiplexage temporel des canaux radio, le cryptage des informations sur le canal radio et le codage de la parole à débit réduit.

De nos jours l'utilisation du GSM est devenue l'un des besoins quotidiens. En Algérie on a plus de dix millions d'abonnés répartis entre les différents opérateurs (Mobilis, Djezzy, Nedjma). Dans ce cadre, pour en savoir plus sur cette nouvelle technologie qui a envahi le monde, nous nous sommes intéressés au principe de fonctionnement du logiciel de transmission en GSM (Mini-Link) qui est l'une des clés principales de la réussite de ce système. Pour ce faire nous avons réparti notre travail en quatre chapitres :

✚ Le premier chapitre décrit les notions de base liées au réseau GSM, le fonctionnement des différents équipements, leurs emplacement dans le réseau, les zones de couverture, les bandes allouées au système et les méthodes d'accès multiples utilisées.

✚ Le second chapitre est consacré à l'étude des différents supports de transmission, leurs avantages, caractéristiques, inconvénients et leurs utilités dans la transmission des signaux.

✚ Le troisième chapitre présente la partie la plus délicate du réseau GSM qui est l'étude du logiciel de maintenance Mini-Link en d'autre terme le fonctionnement du système qui permet l'acheminement et la gestion du trafic, qui est l'équipement Mini-Link.

✚ Le quatrième chapitre consiste en l'étude de la transmission Mobilis dans la Wilaya de Tizi-Ouzou. Tout en appliquant l'équipement et logiciel Mini-Link sur un tronçon donné pour configurer les différents sites des différentes liaisons existantes dans notre tronçon à savoir la puissance émise et reçue, le niveau de champ, l'équipement Mini-Link convenant et les bandes de fréquences allouées aux différentes liaisons.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale qui mettra en exergue tout ce que nous avons appris durant notre stage effectué chez ATM Mobilis de Tizi-Ouzou.

Chapitre I

Généralités

Résumé

Si la téléphonie mobile se banalise aujourd'hui, on le doit à la conjonction de l'avènement du numérique, à l'accroissement des performances des semi-conducteurs et à différentes avancées technologiques. Mais le facteur déterminant fut sans doute la cristallisation autour de la norme **GSM** issue d'un effort soutenu de standardisation mené à l'**ETSI** (Organe européen de normalisation en télécommunications, créé à l'initiative du Conseil des ministres).

Dans cet article, nous passerons en revue différents aspects de la technologie GSM : éléments de la couche physique, caractérisation de la partie radio, architecture du réseau, etc. Pour faciliter la lecture, il faut concéder que les acronymes abondent dans ce domaine. Un glossaire est fourni en fin d'article.

I. Le réseau GSM

I.1 Introduction

I.1.1 Historique :

L'histoire de la téléphonie mobile (numérique) débute réellement en 1982. En effet, à cette date, le *Groupe Spécial Mobile*, appelé **GSM**, est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) afin d'élaborer les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences de 890 à 915 MHz pour l'émission à partir des stations mobiles et 935 à 960 MHz pour l'émission à partir de stations fixes. Il y eut bien des systèmes de mobilophonie analogique (MOB1 et MOB2, arrêté en 1999), mais le succès de ce réseau ne fut pas au rendez-vous.

Les années 80 voient le développement du numérique tant au niveau de la transmission qu'au niveau du traitement des signaux, avec pour dérivés des techniques de transmission fiables, grâce à un encodage particulier des signaux préalablement à l'envoi dans un canal, et l'obtention de débits de transmission raisonnables pour les signaux (par exemple 9,6 Kbits/s, pour un signal de parole).

Ainsi, en 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles : transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radio, chiffrement des informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole. Il faut attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu. Au passage, le sigle GSM change de signification et devient *Global System for Mobile communications* et les spécifications sont adaptées pour des systèmes fonctionnant dans la bande des 1800 MHz.

I.1.2 Evolution technologique :

Tel quel, le réseau GSM est adéquat pour les communications téléphoniques de parole. En effet, il s'agit principalement d'un réseau commuté, à l'instar des lignes fixes. Et constitués de circuits, c'est-à-dire de ressources allouées pour la totalité de la durée de la conversation. Rien ne fut mis en place pour les services de transmission de données.

Comme le réseau GSM ne convenait guère pour la transmission de données, les évolutions récentes ont visé à accroître la capacité des réseaux en termes de débit mais à élargir les fonctionnalités en permettant par exemple l'établissement de communications ne nécessitant pas l'établissement préalable d'un circuit.

Pour dépasser la borne des 14,4 kb/s, débit nominal d'un canal téléphonique basculé en mode de transmission de données, l'ETSI a défini un nouveau service de données en mode paquet : le *General Packet Radio Service* (GPRS) qui permet l'envoi de données à un débit de 115 kb/s par mise en commun de plusieurs canaux. D'une certaine manière, le GPRS prépare l'arrivée de la téléphonie de troisième génération, appelée *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), qui permettra d'atteindre un débit de 2 Mb/s. Mais le chemin est long car les applications nécessitant l'UMTS se font attendre, sans perdre de vue que tous les éléments du réseau UMTS sont incompatibles avec ceux du GSM. Pourquoi les investisseurs devraient-ils donc mettre la main au portefeuille ?

I.2 Architecture d'un réseau GSM : L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en *trois* sous-systèmes comme le montre la figure (I.1)

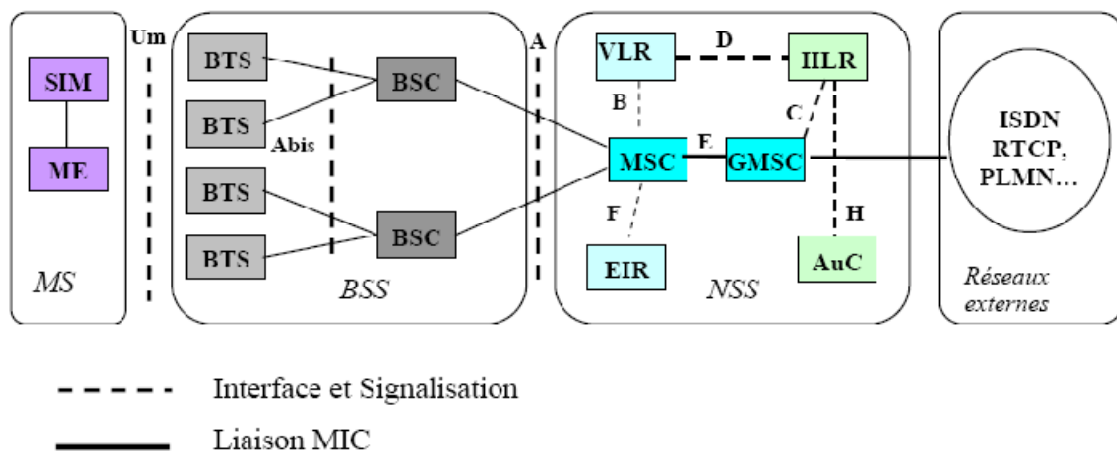


Figure I.1 : Architecture du réseau GSM

I.2.1. Le sous-système radio (BSS Base Station Subsystem) :

C'est le réseau d'accès radio qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio. Il contient la station mobile, la station de base et son contrôleur, lesquels sont les suivant :

I.2.1.1 La station mobile (MS Mobile Station) : Elle se compose des éléments suivants :

- **La carte SIM :** Cette carte identifie l'abonné sur le réseau. L'accès sera donc refusé si la carte a été déclarée perdue ou volée. Elle assure donc l'authentification de l'abonné ainsi que le cryptage de la voix.
- **Le téléphone mobile :** Il ne fonctionne que si la carte SIM a été insérée et le code secret validé par l'abonné.



Figure I.2 : Station mobile

Paramètres	Commentaires
<i>Données administratives</i>	
PIN /PIN2	Mot de passe demandé à chaque connexion
PUK /PUK2	Code pour débloquer une carte
Language	Langue choisie par l'utilisateur
<i>Données liées à la sécurité</i>	
Clé K_i	Valeur unique, connue de la seule carte SIM et du HLR
CKSN	Séquence de chiffrement
<i>Données relatives à l'utilisateur</i>	
IMSI	Numéro international de l'abonné
MSISDN	Numéro d'appel d'un téléphone GSM
<i>Données de "roaming"</i>	
TMSI	Numéro attribué temporairement par le réseau à un abonné
Location updating status	Indique si une mise à jour de la localisation est nécessaire
<i>Données relatives au réseau</i>	
Mobile Country Code (MCC), Mobile Network Code (MNC), etc	Identifiants du réseau mobile de l'abonné
Numéros de fréquence absolus	Fréquences utilisées par le PLMN

Tableau I.1 : Liste partielle des informations contenues dans une carte SIM

L'identification d'un mobile s'effectue exclusivement au moyen de la carte SIM. En effet, elle contient des données spécifiques comme le code **PIN** (*Personal Identification Number*) et d'autres caractéristiques de l'abonné, de l'environnement radio et de l'environnement de l'utilisateur.

L'identification d'un utilisateur est réalisée par un numéro unique (**IMSI**, *International Mobile Subscriber Identity*) différent du numéro de téléphone connu de l'utilisateur (**MSISDN**, *Mobile Station ISDN Number*), tous deux étant incrustés dans la carte SIM.

I.2.1.2 BSC (Base Station Controller) :

Il est l'équipement de contrôle du sous-système radio. Sa fonction principale est le pilotage des stations de base BTS. Le contrôleur peut être localisé sur le même site qu'une station de base, dans le centre de commutation MSC ou dans un site indépendant. Dans ce dernier cas, il assure un rôle de concentrateur du trafic des stations de base optimisant le réseau de transmission. La figure (I.3) présente la structure d'un contrôleur de stations de base.

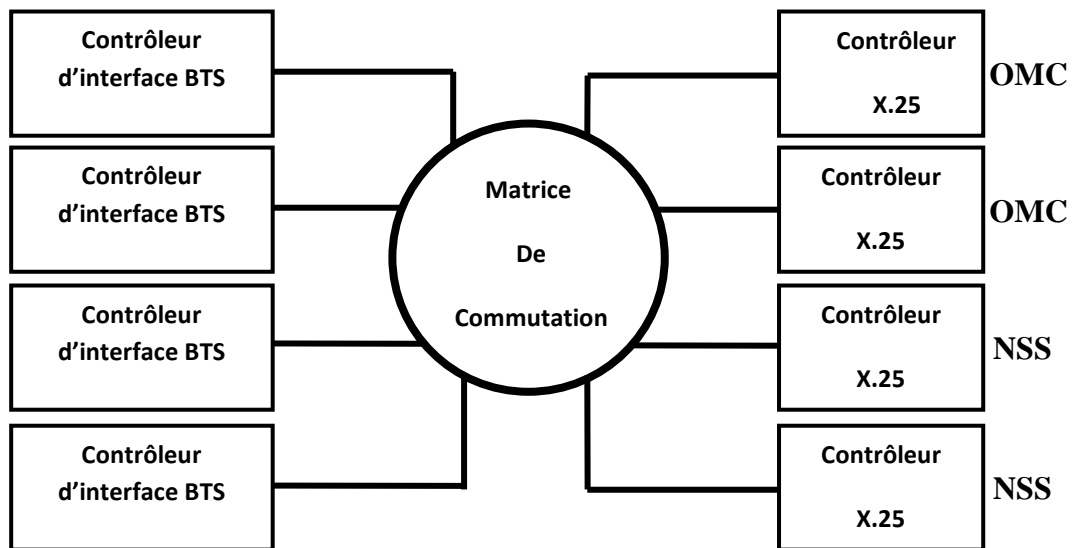


Figure I.3 : Structure d'un contrôleur de station de base

Les fonctions d'un contrôleur de station de base sont :

- La gestion des ressources radio (canaux de trafic, canaux de signalisation, etc...),
- La gestion des appels (établissement, supervision, libération des communications),
- La gestion des transferts intercellulaires dans son motif (Handover),
- La gestion de la puissance des émissions radio,
- La gestion de l'exploitation, de la maintenance, du dialogue avec le système d'exploitation,
- La gestion des processus de défense et de reconfiguration,
- La gestion des alarmes et la supervision des équipements périphériques,
- La sauvegarde du logiciel et des paramètres des stations de base.

I.2.1.3 Le transcodeur :

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 (PCM) spécifié par la norme GSM. Le transcodage de la parole est réalisé entre 64K bits/s arrivant du commutateur MSC et 16 K bits/s transmis vers le contrôleur BSC (13 K bits/s de téléphonie et 3 K bits/s de signalisation de la bande).

I.2.1.4 BTS (Base Transceiver Station):

La BTS est un ensemble d'émetteur/récepteur appelés TRX permettant de gérer une paire de fréquences GSM, elle est considérée comme un point d'accès au réseau GSM des utilisateurs mobiles, les BTS se matérialisent sous forme d'antennes sur les toits des immeubles en ville ou sur le bord des routes. Elles ont en charge l'accès radio des mobiles dans leurs zones de couverture.

Les fonctions d'une station de base sont :

- Effectuation des procédures de la couche physique : multiplexage TDMA, saut de fréquences lent, chiffrement, modulation / démodulation RF.
- Réalisation d'un ensemble de mesures radio nécessaires pour vérifier la qualité de la liaison et qui sont exploitées par le BSC.
- Gestion de la couche liaison de données (LAPDm).
- Capacité typique autour de 16 porteuses (support d'une centaine de communications simultanées).

On distingue différents types de BTS :

a- Les macro BTS (rayonnantes) :

Elles sont idéales pour couvrir les sites où la densité d'abonnés est faible. Elles sont situées sur des points stratégiques (sommets, pylônes...). Ces stations émettent dans toutes les directions, ce sont les stations les plus visibles. Elles couvrent des macrocellules. Ces BTS ne peuvent pas être utilisées dans les zones de forte densité car elles émettent et occupent la bande passante du réseau sur une grande distance (jusqu'à 30 Km).

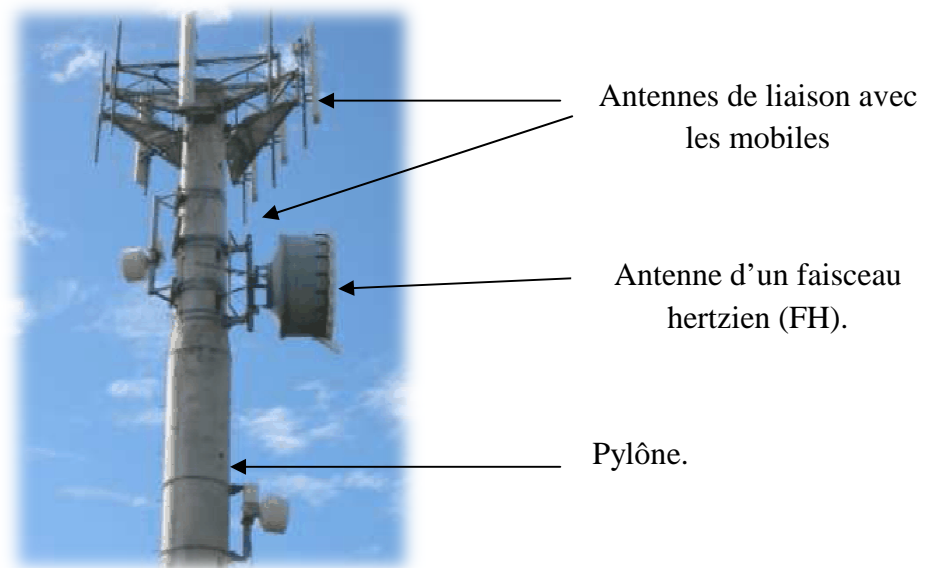


Figure I.4 : macro BTS (BTS rayonnantes)

b- Les miro BTS :

Les micro-BTS sont prévus pour assurer la couverture de zones urbaines denses à l'aide de microcellules. Ce sont des équipements de faible taille, intégrant les dispositifs de couplage et d'un cout plus faible que les BTS normales car elles sont en plus grand nombre et peuvent être montées à l'extérieur. On les retrouve par exemple sur les artères principales d'une ville, elles ont une portée d'environ 500 m.

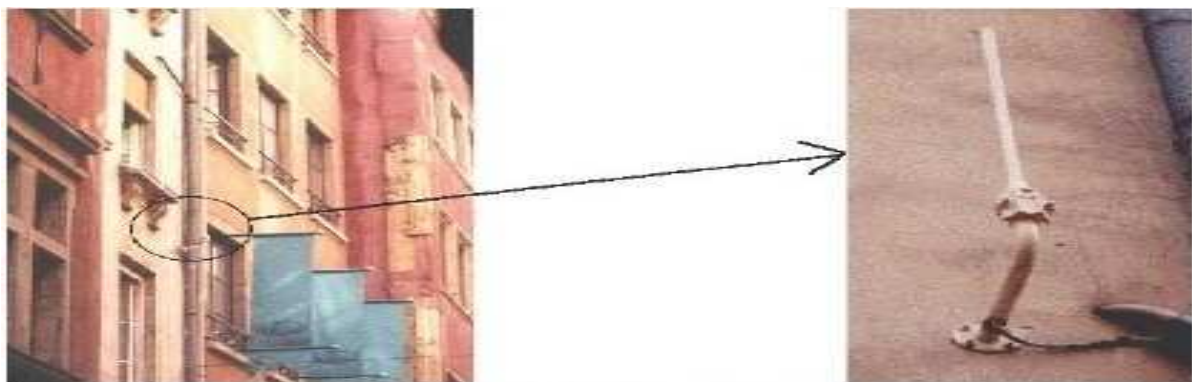


Figure I.5 : *Micro-BTS*

c- Les BTS ciblées :

Elles sont le plus souvent placées dans des zones à plus forte densité d'abonnés que les BTS rayonnantes. On les retrouve en ville par exemple. Elles sont de forme relativement allongée et permettent d'émettre suivant un angle très précis : on peut grâce à cela réutiliser facilement le même canal dans une autre cellule à proximité.



Figure I.6 : Exemple de BTS ciblée.

d- Les BTS normales :

La norme distingue les BTS dites normales des micro-BTS. Les premières correspondent aux stations de base classiques des systèmes cellulaires avec des équipements installés dans des locaux techniques et des antennes sur les toits reliées par des câbles. Des dispositifs de couplage permettent d'avoir une seule antenne pour plusieurs TRX mais peuvent réduire considérablement la puissance disponible à l'entrée de l'antenne. La norme spécifie la sensibilité et les puissances maximales des TRX, sans prendre en compte ces dispositifs de couplage.

Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous sont ainsi très supérieures à celles du mobile

Numéro de classe	GSM 900		DCS 1800	
	Puissance maximale (W)	Limite de la puissance maximale (W)	Puissance maximale (W)	Limite de la puissance maximale (W)
1	320	640	20	40
2	160	320	10	20
3	80	160	5	10
4	40	80	2,5	5
5	20	40		
6	10	20		
7	5	10		
8	2,5	5		

Tableau I.2 : classes de puissance des BTS normales avant coupleurs

I.2.2. Le sous-système réseau ou d'acheminement (NSS Network Subsystem) :

Il Comprend l'ensemble des fonctions nécessaires à l'établissement des appels et à la gestion de la mobilité. On peut dire que le NSS est le réseau cœur du GSM. IL est constitué des éléments suivants:

- **Mobile Switching Centre (MSC) :** Commutateur en charge de la gestion des services en mode circuit des stations mobiles qui sont enregistrées dans la zone géographique qu'il gère.
- **Home Location Register (HLR) :** Base de données. Elle contient des informations concernant les conditions d'abonnement de l'utilisateur et les caractéristiques des services souscrits. Elle contient également des informations grossières sur la localisation de l'abonné.
- **Visitor Location Register (VLR) :** Base de données. Elle contient des informations précises sur la position de l'abonné et son déplacement dans une zone de localisation (LA).
- **Authentication Centre (AuC) :** Base de données qui contient les paramètres utilisés pour la gestion de la sécurité de l'accès au système.

- **Equipment Identity Register (EIR)** : Base de données qui contient une liste noire des terminaux dont l'accès au réseau peut être refusé.
- **Gateway MSC (GMSC)** : Passerelle qui effectue le routage des appels venant du RTC vers le MSC du destinataire.

I.2.3 Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operating Subsystem) : Permet à l'exploitant d'administrer le réseau (coûts, performances, erreurs, sécurité...).

Les deux centres constituant l'OSS sont :

- **L' OMC(Operating and Maintenance Center)** :

Le centre d'exploitation et de maintenance « OMC », est l'entité de gestion et d'exploitation du réseau. Il regroupe la gestion administrative des abonnés et la gestion technique des équipements. La gestion administrative et commerciale du réseau s'intéresse aux abonnements en termes de création, modification, suppression et de facturation, ce qui suppose une interaction avec la base de données « HLR ». La gestion technique veille à garantir la disponibilité et la bonne configuration matérielle des équipements du réseau. Ses axes de travail sont la supervision des alarmes émises par les équipements, la suppression des dysfonctionnements, la gestion des versions logicielles, de la performance et de la sécurité. Dans les OMC, on distingue l'OMC/R(Radio) qui est relié à travers les BSC au sous-système radio, l'OMC/S(Système) qui est relié à travers les MSC au sous-système réseau. Il y a aussi l'OMC/M(Maintenance) qui contrôle les OMC/R et OMC/S

- **Le NMC (Network Management Center)** :

Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé. Ainsi, les incidents majeurs transmis à l'OMC remontent jusqu'au NMC qui les traite.

I.3 Protocoles :

I.3.1 Pile de protocoles :

La figure (I.7) représente l'architecture des protocoles GSM des différents éléments du réseau. Au niveau applicatif, on distingue les protocoles suivants qui, au travers de différents éléments du réseau, relient un mobile à un centre de communication (MSC) :

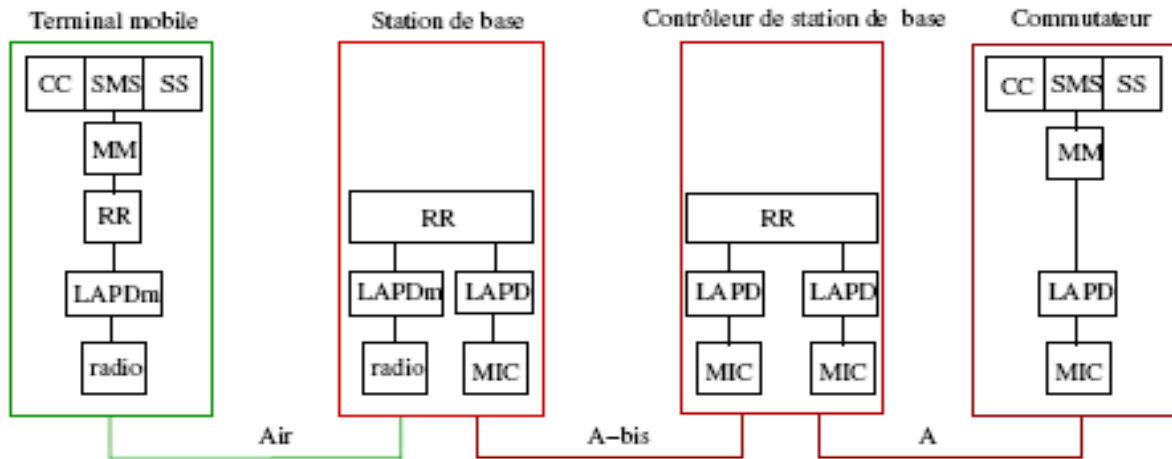


Figure I.7 : Piles de protocoles de différents sous-systèmes du réseau GSM

➤ . **Le protocole Call Control(CC) :**

Il prend en charge le traitement des appels tels que l'établissement, la terminaison et la supervision.

➤ . **Le protocole Short Message Service(SMS) :**

Il permet l'envoi de courts messages au départ d'un mobile .la longueur d'un SMS est limité à 160 caractères de 7 bits, soit 140 bytes.

➤ . **Le protocole Supplementary Services(SS) :**

Il prend en charge les compléments de services, la liste de ces services est longue mais, à titre d'exemple, citons le Calling Line Identification Presentation(CLIP), le Calling Line Identification Restriction (CLIR) et le Call Forwarding Unconditional (CFU).

➤ . **Le protocole Mobility Management (MM) :**

Il gère l'identification, l'authentification sur le réseau et la localisation d'un terminal. Cette application se trouve dans le sous-réseau de commutation (NSS) et dans le mobile car ils doivent tous deux connaître la position du mobile dans le réseau.

➤ . **Le protocole Radio Ressource management (RR) :**

Il s'occupe de la liaison radio. Il interconnecte une BTS et un BSC car ce dernier gère l'attribution des fréquences radio dans une zone.

Les trois premiers protocoles applicatifs précités (CC, SMS et SS) ne sont implémentés que dans les terminaux mobiles et les commutateurs ; leurs messages voyagent de façon transparente à travers le BSC et le BTS.

I.4 Les interfaces réseau :

❖ Les interfaces A-bis, A et X25 :

Présentons brièvement les trois types d'interface qui relient le BSC respectivement à la station de base (interface A-bis), au commutateur (interface A) et au centre d'exploitation et de maintenance (interface X25).

I.4.1 L'interface A-bis : La couche physique est définie par une liaison PCM à 2 Mb/s (recommandation de la série G de l'ITU) et la couche liaison de données est composée du protocole *Link Access Protocol D-channel* (LAPD).

Comme le canal de liaison PCM a un débit unitaire de 64 kb/s et que le débit par canal radio GSM est de 13 kb/s, il faut donc adapter le débit. Cette fonction est appelée **transcodage** et elle est réalisée dans une unité appelée *Transcoding Rate and Adaptation Unit* (TRAU). Deux solutions sont techniquement possibles et rencontrées dans les réseaux GSM :

1. Multiplexer quatre canaux à 13 kb/s pour produire un canal à 64 kb/s.
2. Faire passer le débit de chaque canal à 64 kb/s.

Tout est affaire de compromis et de choix. L'avantage de la première solution est de diminuer le débit entre la station de base et le BSC où le trafic est fortement concentré. La seconde solution offre par contre l'avantage de banaliser les équipements du système en ramenant tous les équipements à 64 kb/s. Souvent, la deuxième solution est utilisée au niveau des commutateurs et la première au niveau du BSC afin de garder l'avantage du faible débit de parole.

I.4.2 L'interface A : La couche physique est toujours définie par une liaison à PCM à 2 Mb/s mais c'est le protocole CCITT numéro 7 qui est utilisé pour la couche liaison de données.

I.4.3 L'interface X.25 : Cette interface relie le BSC au centre d'exploitation et de maintenance (OMC). Elle possède la structure en 7 couches du modèle OSI.

I.5 La technologie GSM :

I.5.1 Le concept cellulaire :

Les réseaux de première génération possédaient des cellules de grande taille (50 km de rayon) au centre desquelles se situait une station de base (antenne d'émission). Au tout début, ce système allouait une bande de fréquences de manière statique à chaque utilisateur qui se trouvait dans la cellule qu'il en ait besoin ou non. Ce système ne permettait donc de fournir un service qu'à un nombre d'utilisateurs égal au nombre de bandes de fréquences disponibles. La première amélioration consista à allouer un canal à un utilisateur uniquement à partir du moment où celui-ci en avait besoin permettant ainsi d'augmenter statistiquement le nombre d'abonnés, étant entendu que tout le monde ne téléphone pas en même temps.

Mais ce système nécessitait toujours des stations mobiles de puissance d'émission importante (8 W) et donc des appareils mobiles de taille et de poids conséquents. De plus, afin d'éviter les interférences, deux cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences. Cette organisation du réseau utilise donc le spectre fréquentiel d'une manière sous-optimale.

C'est pour résoudre ces différents problèmes qu'est apparu le concept de cellule. Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées *cellules*, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base (reliée au Réseau Téléphonique Commuté, RTC) à laquelle on associe un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite, sommairement nommés *fréquences*. Comme précédemment, ces fréquences ne peuvent pas être utilisées dans les cellules adjacentes afin d'éviter les interférences. Ainsi, on définit des *motifs*, aussi appelés *clusters*, constitués de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois. La figure (I.8) montre un tel motif, en guise d'exemple.

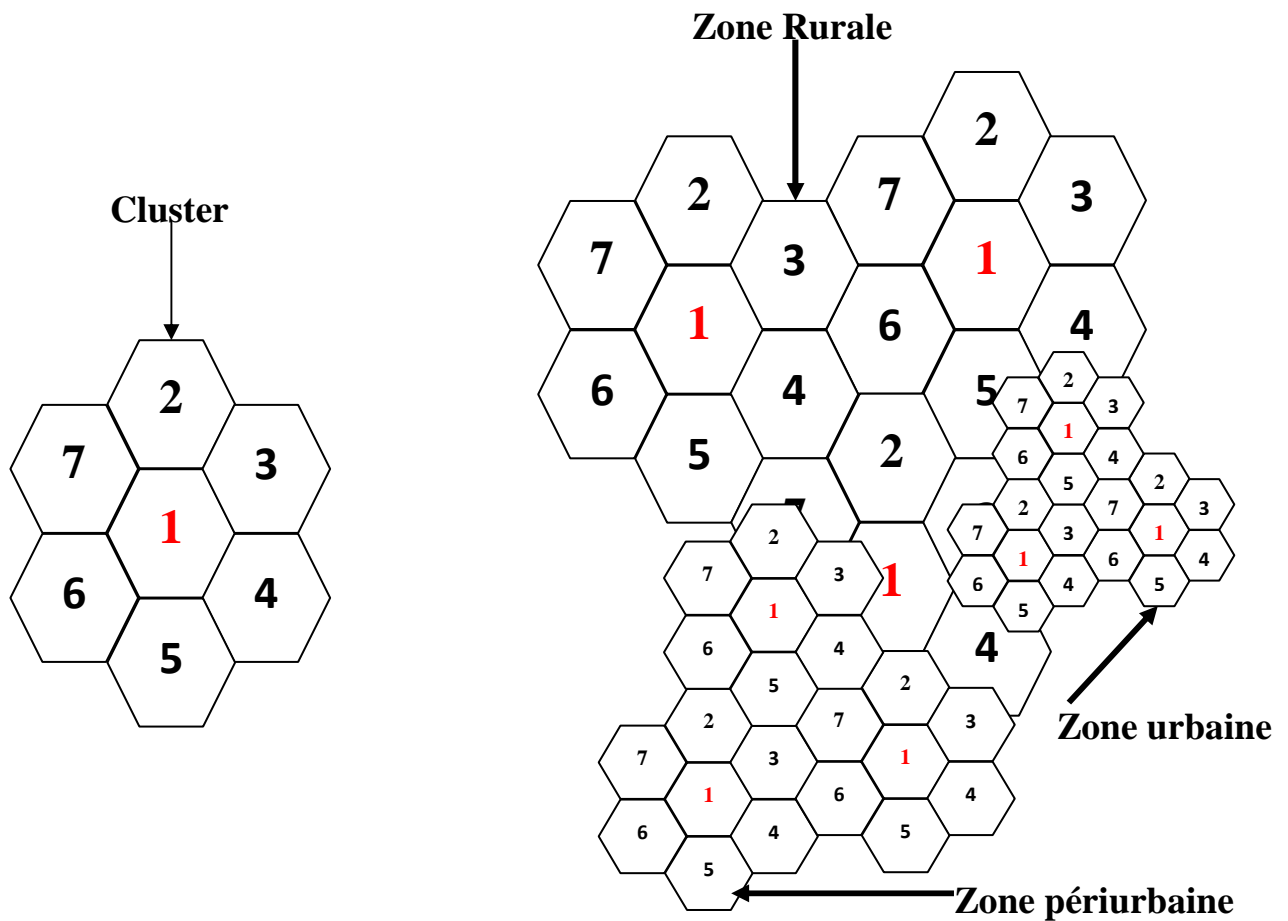


Figure I.8 : Le concept cellulaire

Graphiquement, on représente une cellule par un hexagone car cette forme approche celle d'un cercle. Cependant, en fonction de la nature du terrain et des constructions, les cellules n'ont pas une forme circulaire. De plus, afin de permettre à un utilisateur passant d'une cellule à une autre de garder sa communication, il est nécessaire que les zones de couverture se recouvrent de 10 à 15%, ce qui renforce la contrainte de ne pas avoir une même bande de fréquences dans deux cellules voisines.

Pour éviter les interférences à plus grande distance entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est également possible d'asservir la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur. Le même processus du contrôle de la puissance d'émission est également appliqué en sens inverse. En effet, pour diminuer la consommation d'énergie des mobiles et ainsi augmenter leur autonomie, leur puissance d'émission est calculée en fonction de leur distance à la station de base. Grâce à des mesures

permanentes entre un téléphone mobile et une station de base, les puissances d'émission sont régulées en permanence pour garantir une qualité adéquate pour une puissance minimale.

En résumé, une cellule se caractérise :

- Par sa *puissance d'émission nominale* .ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé ;
- par la *fréquence de porteuse* utilisée pour l'émission radioélectrique ;
- par le *réseau* auquel elle est interconnectée.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, celle-ci dépend:

- du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone ;
- de la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles, . . .) ;
- de la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton, . . .) ;
- de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.

Ainsi, dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat, les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau. On distingue pour cela quatre services principaux :

1. Le service .Outdoor. Qui indique les conditions nécessaires pour le bon déroulement d'une communication en extérieur.

2. Le service .Incar. Qui tient compte des utilisateurs se trouvant dans une voiture. On ajoute typiquement une marge supplémentaire de 6 dBm, dans le bilan de puissance pour en tenir compte.

3. Le service .Indoor. Qui permet le bon déroulement des communications à l'intérieur des bâtiments. Cette catégorie de service se subdivise à son tour en deux :

- a. le **.Soft Indoor.** Lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment et
- b. le **.Deep Indoor.** Lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur.

Typiquement, on considère que, lors de l'établissement du bilan de puissance, c'est-à-dire de l'analyse du rapport de la puissance émise à la puissance reçue au droit du récepteur, il faut tenir compte de 10 [dB] d'atténuation supplémentaire pour le **Soft Indoor** et de 20 [dB] pour

Deep Indoor à 900 [MHz]. Quand on sait que 10 [dB] représente un facteur de 10 en puissance, on comprend qu'il est crucial pour un opérateur de dimensionner au mieux son réseau, quitte à effectuer des mesures sur le terrain.

I.5.1.1 Réutilisation des ressources :

Par rapport au système de première génération, les cellules étant de taille plus petite, la puissance d'émission est plus faible et le nombre d'utilisateurs peut être augmenté pour une même zone géographique. C'est grâce au principe de réutilisation des fréquences qu'un opérateur peut augmenter la *capacité* de son réseau. En effet, il lui suffit de découper une cellule en plusieurs cellules plus petites et de gérer son plan de fréquences pour éviter toute interférence. Il y a ainsi toute une nomenclature spécifique pour classer les cellules en fonction de leur taille (macro, micro, pico, etc.).

I.5.1.2 Différents types de cellules :

➤ **Les macrocellules :**

Ce sont des cellules de taille importante adaptées aux zones rurales faiblement peuplées. Vu leurs tailles, les émetteurs s'y trouvant, doivent fournir des puissances très grandes.

➤ **Les microcellules :**

Adaptées aux zones urbaines denses, ce sont des cellules de très petite taille (quelques centaines de mètres de rayon 500 m).Elles permettent d'écouler un trafic important par unité de surface.

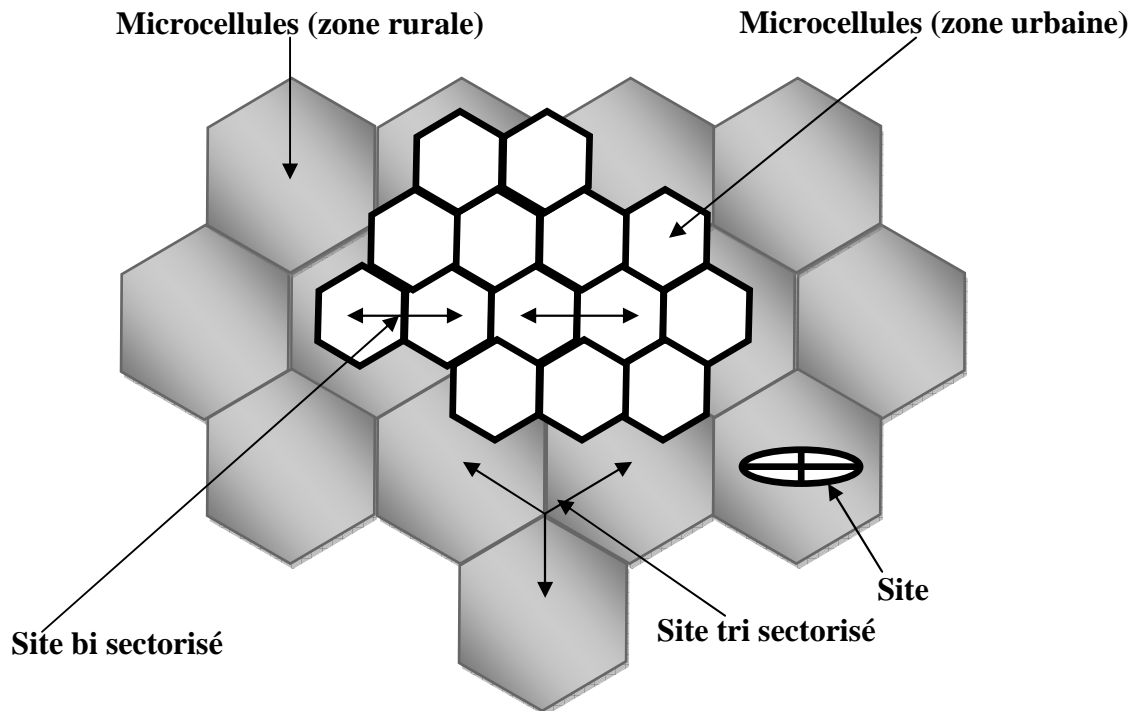


Figure I.9 : Les micros et macros cellules

➤ **Les cellules sélectives :**

Il n'est pas toujours judicieux d'utiliser une cellule avec une pleine couverture de 360° (antenne omnidirectionnelle). Dans certain cas, des cellules avec une forme et une portée particulière sont nécessaires. Ces cellules sont appelées cellules sélectives. On a par exemple des cellules qui peuvent être localisées le long d'une autoroute, on utilise dans ce cas une antenne directive avec un angle d'ouverture de 120°.

➤ **Les cellules parapluies :**

Un abonné traversant de petites cellules engendre un nombre important de « Handover » entre les différentes cellules voisines. Afin de résoudre ce problème, le concept de cellules parapluies a été introduit. La cellule parapluie couvre plusieurs autres.

Pour ce faire, la puissance dans la cellule parapluie est plus élevée et les fréquences utilisées différentes de celles des microcellules couvertes. Quand la vitesse du mobile est très élevée, le mobile est transféré sur la cellule parapluie pour y rester le plus longtemps possible. Cela réduira le nombre d'Handovers. Le nombre élevé de demandes de Handover et les caractéristiques de propagation des signaux peuvent aider à détecter sa vitesse de déplacement.

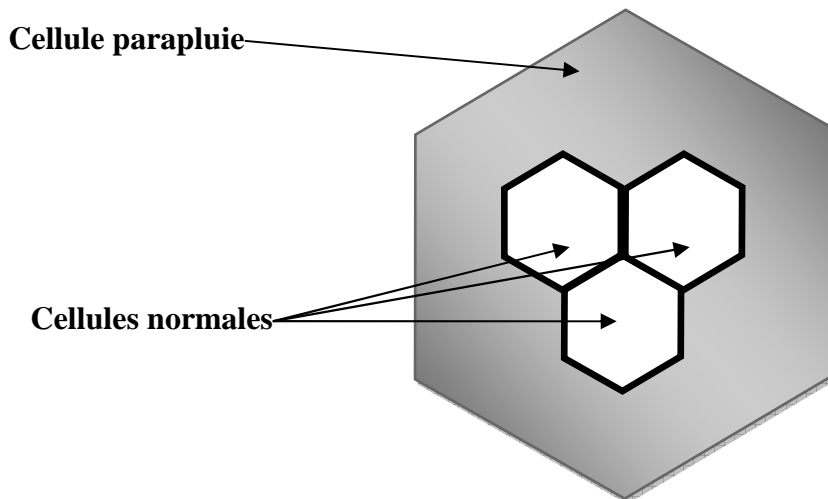


Figure I.10 : Les cellules parapluies(Umbrella)

➤ **Les cellules concentriques :**

Les cellules concentriques ont pour objet d'accroître l'économie de fréquence du réseau en réduisant les niveaux d'interférences de certaines porteuses de la BTS. Il est ainsi possible de réutiliser ces fréquences porteuses sur de plus courtes distances. La zone intérieure dessert une forte concentration d'appels de mobiles dans un petit périmètre, avec une limite réduite de puissance maximale en sortie.

Dans une cellule non concentrique, toutes les fréquences desservent la totalité de la zone, ce qui pose des problèmes d'interférences du fait du grand nombre de fréquences utilisées. Les zones extérieures et intérieures font partie de la même cellule. La limite de la puissance maximale de la zone extérieure est la même que pour une zone normale. La zone intérieure quand à elle, est contrôlée par deux valeurs limites de puissance maximale : une valeur de puissance maximale pour le mobile est une valeur limite de puissance maximale pour la BTS.

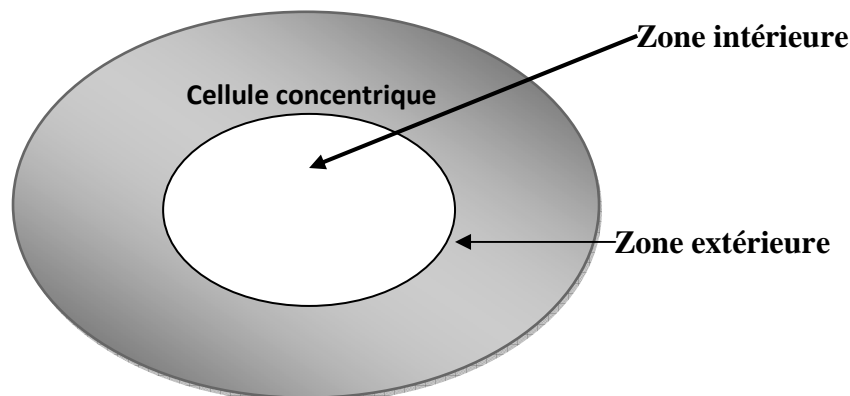


Figure I.11 : Cellule concentrique

I.5.1.3 Clusters (motifs) :

Le principe de réutilisation de fréquences a conduit à l'organisation des cellules en clusters (en anglais), ou motifs dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois. Les clusters typiques contiennent 4, 7, 12 ou 21 cellules. Le nombre de voies par cellule est d'autant plus grand que le nombre de cellules est petit dans un cluster, donc la capacité de la cellule est plus grande. Cependant, un équilibre doit être trouvé afin d'éviter l'interférence qui peut survenir entre les clusters voisins. Cette interférence découle de la petite taille des clusters qui elle est définie par le nombre de cellule qu'il contient. Le nombre total de voies par cellule dépend du nombre de voies disponibles et de type de cluster utilisé.

Les figures suivantes sont celles d'un cluster à 7 cellules et d'un ensemble de cellules utilisées dans le GSM dans le cadre de réutilisation de la fréquence.

Le nombre de communications simultanées que peut écouler une station de base est limité pour des questions matérielles, et surtout à cause du nombre de fréquences disponibles.

Le nombre de cellules dans un bloc doit être déterminé de manière à ce que le bloc puisse être reproduit continuellement sur le territoire à couvrir.

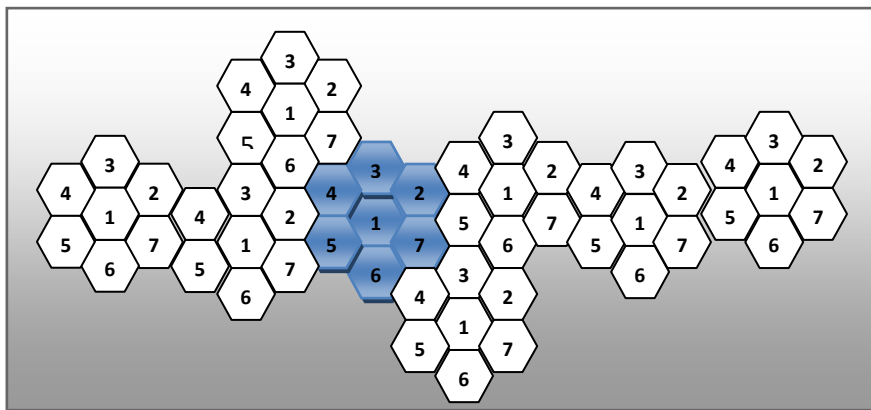
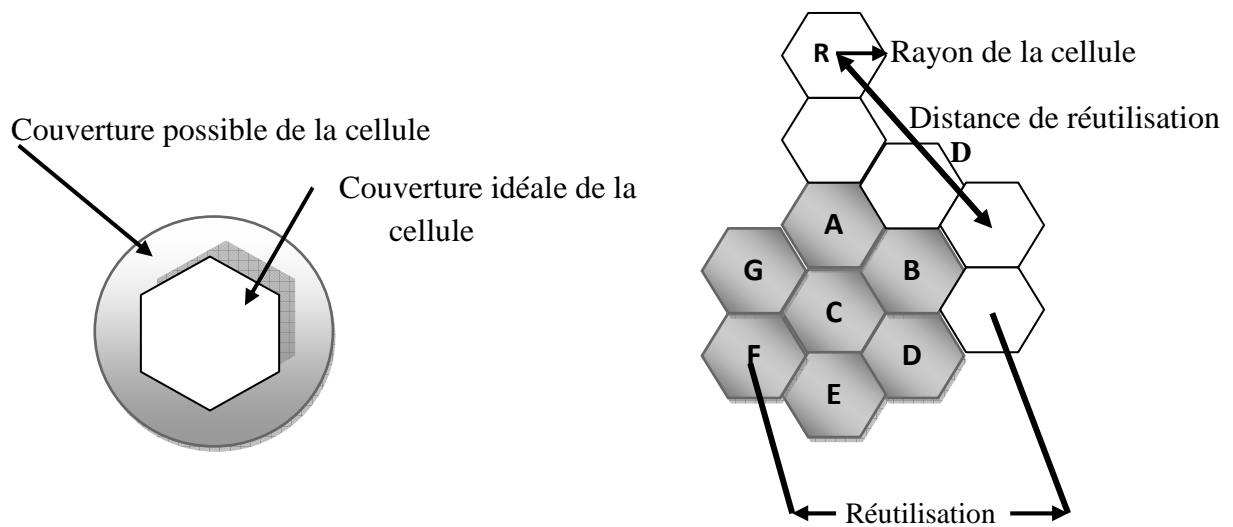


Figure I.12 : un cluster est un ensemble de cluster

I.6 La structure topologique du réseau GSM :

Chaque réseau téléphonique nécessite une certaine structure pour pouvoir acheminer les appels entrants au central adéquat puis à l'abonné appelé. Cette structure est particulièrement importante dans le cas d'un réseau mobile en raison de la mobilité de tous les abonnés.

I.6.1 La cellule :

Une zone de localisation est subdivisée en un certain nombre de cellules. Une cellule est une zone de couverture radio, identifiée par le réseau au moyen de l'identification globale de cellule (CGI : Cell Global Identity). La station mobile distingue entre des cellules utilisant les mêmes fréquences porteuses en utilisant le code d'identification de station de base BSIC (Base Station Identity Code).

I.6.2 La zone de localisation LA (Location Area) :

Chaque zone de service MSC/VLR est subdivisée en plusieurs zones de localisation. Une zone de localisation (LA) est une partie de la zone de service MSC/VLR dans laquelle une station mobile peut se déplacer librement sans devoir remettre à jour ses informations de localisation dans le centre MSC/VLR qui commande la zone de localisation.

Une zone de localisation est la zone pour un message de recherche est diffusé pour rechercher un abonné mobile appelé. Elle peut comporter plusieurs cellules et dépendre d'un ou plusieurs BSC.

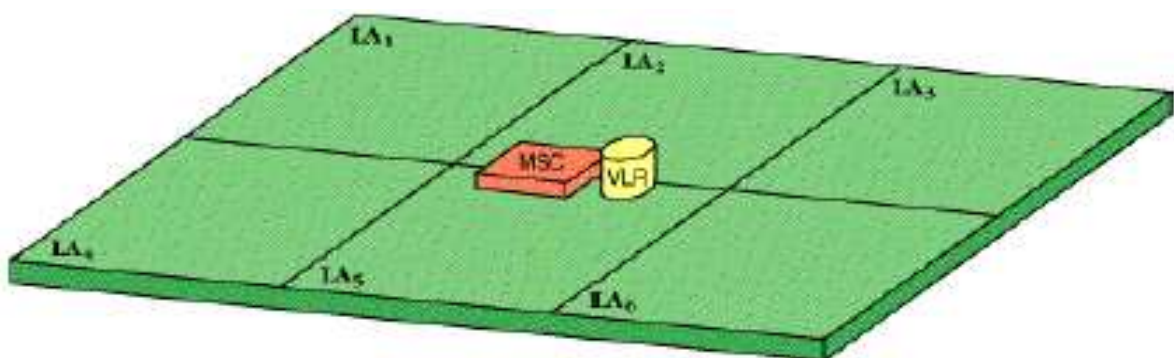


Figure I.13: subdivision en zones de localisation

I.6.3 La zone de service MSC/VLR :

Une zone MSC représente la partie du réseau couverte par un MSC. Pour acheminer un appel vers un abonné mobile, il est transmis au travers du réseau au MSC dans la zone dans laquelle se trouve l'abonné à ce moment.

Une zone de service est la partie du réseau définie comme une zone où une station mobile peut être jointe. Dans le réseau GSM, la zone MSC et la zone de service couvrent exactement la même partie du réseau, le MSC et le VLR étant toujours implantés dans le même nœud.

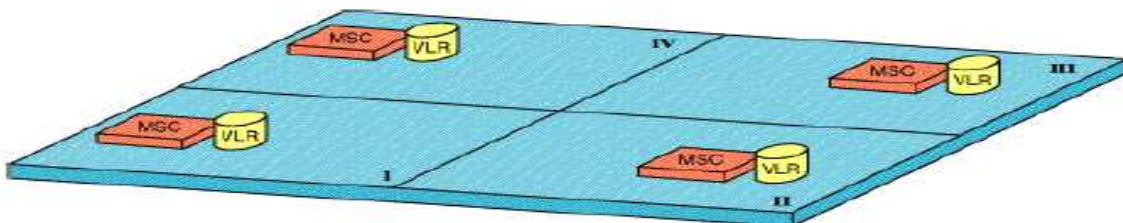


Figure I.14: zone de service MSC/VLR 1 à 4

I.6.4 La zone de service du GSM :

La zone de service GSM est le secteur géographique entier dans lequel un abonné peut accéder à un réseau de GSM.

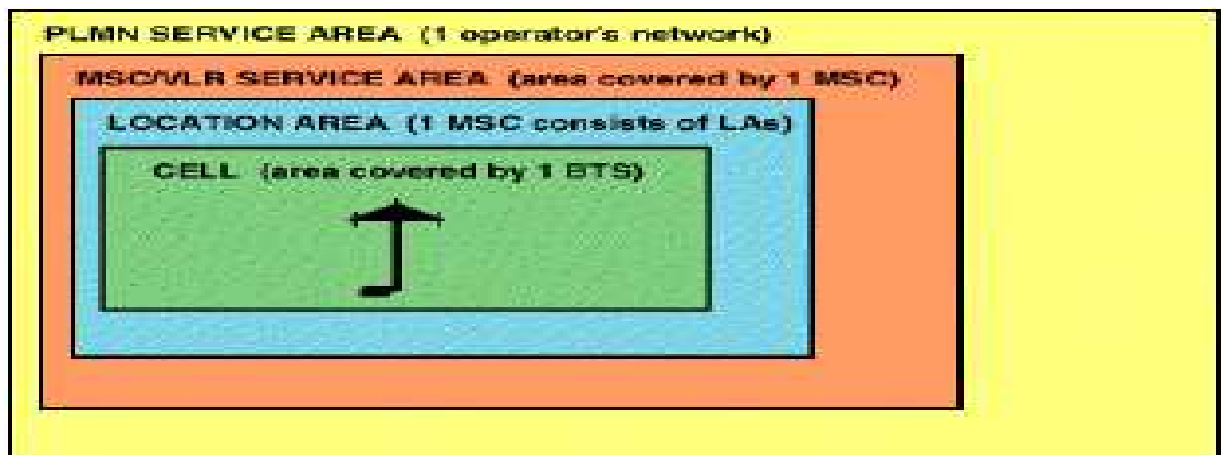


Figure I.15 : zone de service de GSM

I.7 Synthèse des principales caractéristiques du GSM :

La norme **GSM** prévoit que la téléphonie mobile par GSM occupe deux bandes de fréquences aux alentours des 900 [MHz] :

1. la bande de fréquence 890 - 915 [MHz] pour les communications montantes (du mobile vers la station de base).
2. la bande de fréquence 935 - 960 [MHz] pour les communications descendantes (de la station de base vers le mobile).

Comme chaque canal fréquentiel utilisé pour une communication a une largeur de bande de 200 [kHz], cela laisse la place pour 124 canaux fréquentiels à répartir entre les différents opérateurs. Mais, le nombre d'utilisateurs augmentant, il s'est avéré nécessaire d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours des 1800 [MHz]. On a donc porté la technologie GSM 900 [MHz] vers une bande ouverte à plus haute fréquence. C'est le système **DCS-1800** (*Digital Communication System*) dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de service. Les communications montantes se faisant alors entre 1710 et 1785 [MHz] et les communications descendantes entre 1805 et 1880 [MHz].

Connaissant les différents canaux disponibles, il est alors possible d'effectuer un multiplexage fréquentiel, appelé Frequency Division Multiple Access (**FDMA**), en attribuant un certain nombre de Fréquences porteuses par station de base. Un opérateur ne dédie pas pour autant une bande de fréquences par utilisateur, car cela conduirait à un gaspillage de ressources radio étant donné qu'un utilisateur émet par intermittence. De plus, avec un tel système, si une source parasite émet un bruit à une fréquence bien déterminée, le signal qui se trouve dans la bande de fréquence contenant le parasite sera perturbé. Pour résoudre ces problèmes, on combine le multiplexage en fréquence à un multiplexage temporel (appelé *Time Division Multiple Access* ou **TDMA**) consistant à diviser chaque canal de communication en trames de 8 intervalles de temps (dans le cas du GSM). Pour être complet, signalons qu'il existe encore une autre technique de multiplexage appelé

Code Division Multiple Access (**CDMA**), utilisée dans la norme américaine **IS-95** ou promue pour l'**UMTS**.

Ainsi, avec le TDMA, il est par exemple possible de faire parler huit utilisateurs l'un après l'autre dans le même canal. On multiplie donc le nombre de canaux disponibles par unité de temps par huit. Le tableau (I.3) montre les caractéristiques des réseaux à technologie GSM et il compare les normes. Tous les terminaux mobiles fabriqués actuellement sont compatibles avec les 2 normes ; ces terminaux sont appelés *bi-bandes* ou *dual-band*. Sur le territoire des États-Unis, aucune des bandes de fréquences précitées n'étaient encore disponibles. C'est pourquoi le réseau à technologie GSM américain utilise des bandes autour des 1900 [MHz]. Des terminaux capables d'opérer dans les trois bandes sont appelés *tri-bandes*.

	GSM	DCS-1800
Bande de fréquences montantes	890,2 – 915 [MHz]	1710 – 1785 [MHz]
Bande de fréquences descendantes	935,2 – 960 [MHz]	1805 – 1880 [MHz]
Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA	8	8
Débit total par canal	271 [Kb/s]	271 [Kb/s]
Débit de la parole	13 [Kb/s]	13 [Kb/s]
Débit maximal de données	12 [Kb/s]	12 [Kb/s]
Technique de multiplexage	Multiplexage fréquentiel et temporel	Multiplexage fréquentiel et temporel
Rayon de cellules	0,3 à 30 [Km]	0,1 à 4 [Km]
Puissance des terminaux	2 à 8 [W]	0,25 à 1 [W]
Sensibilité des terminaux	-102 [dB]	
Sensibilité des stations de base	-104 [dB]	
Espacement du duplex	45 MHz	95 MHz
Nombre de canaux radio	124	375
Largeur des canaux	200 MHz	200 MHz
Nombre de canaux logiques	992	2992

Tableau I.3 : Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800.

I.8 Méthode d'accès d'abonnés au réseau GSM :

Dans un réseau GSM, deux techniques de multiplexage sont mises en œuvre : le multiplexage *fréquentiel* (FDMA) et le multiplexage *temporel* (TDMA).

I.8.1 Multiplexage fréquentiel :

Dans sa version à 900 [MHz], la norme GSM occupe deux bandes de 25 [MHz] ; l'une est utilisée pour la voie montante (890; 2 - 915 [MHz]), l'autre pour la voie descendante (935, 2- 960 [MHz]). Il est également défini que chaque porteuse de cellule possède une densité spectrale confinée dans une bande de 200 kHz ce qui signifie que, théoriquement, on peut disposer de 124 canaux. Notons au passage que la bande de fréquences du DCS-1800 étant plus large, elle peut contenir 374 canaux.

Aussi, si on indique par F_M les fréquences porteuses montantes et par F_D les fréquences porteuses descendantes, les valeurs de fréquence porteuse valent :

$$F_u(n) = 890,2 + 0,2(n-1) \quad [\text{MHz}]$$

$$F_d(n) = 935,2 + 0,2(n-1) \quad [\text{MHz}]$$

Où $1 \leq n \leq 124$. Connaissant les canaux disponibles, il est alors possible d'effectuer un multiplexage fréquentiel en attribuant un certain ensemble de fréquences porteuses par opérateur GSM.

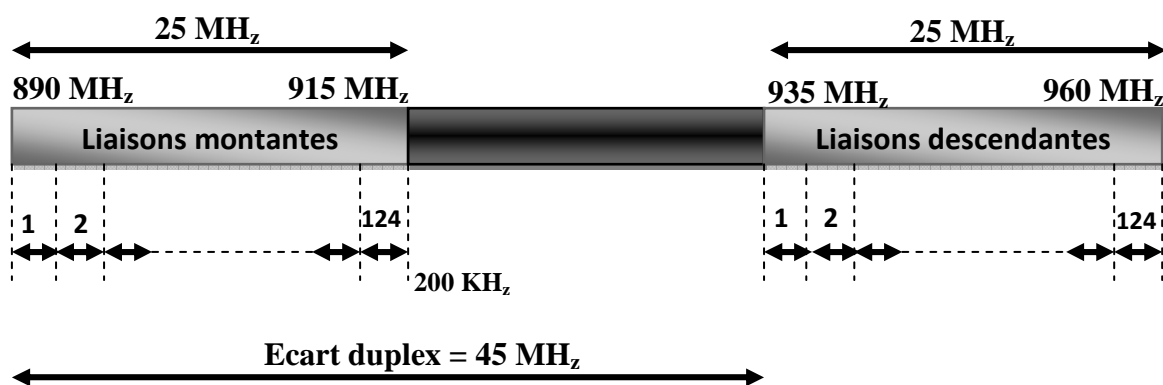


Figure I.16 : Multiplexage fréquentiel

I.8.2 Multiplexage temporel :

Tant pour des questions d'interférences électromagnétiques que pour des raisons d'augmentation de capacité, le multiplexage fréquentiel se double d'un multiplexage temporel. Le multiplexage temporel consiste à diviser chaque canal de communication en 8 intervalles de temps de 0,577 [ms] chacun.

Le partage en temps se fait par la méthode d'accès **TDMA**, il permet aux différents utilisateurs de partager la même porteuse. Ce partage se fait comme suit :

- Chaque porteuse est divisée en intervalles de temps appelés **slots**.
- Ces intervalles de temps (slots) ont chacun une durée égale à **0,577 ms**.
- Un slot est divisé en **156,25** périodes de bit et accueille un élément de signal radioélectrique appelé burst.
- Un burst est la période de la porteuse qui est modulée par un flux de données : il représente le contenu physique du slot.
- Un burst a une durée de **0,546 ms**, un peu plus petite que le slot à cause d'un temps de garde entre slots (= **8,25 bits**).
- Il y'a différents types de burst dans le système GSM. Le burst normal a une durée de **148 bits** et le burst court a une durée de **87 bits**.
- Sur une même porteuse, les slots sont regroupés par paquets de **8** et sont numérotés de **0** à **7**.
- Cette disposition de slots forme la trame **TDMA**.
- Chaque utilisateur utilise un slot par trame **TDMA**.
- La durée d'une trame **TDMA** est donc : $T_{TDMA} = 8 T_{SLOT} = 4,615 \text{ ms}$.

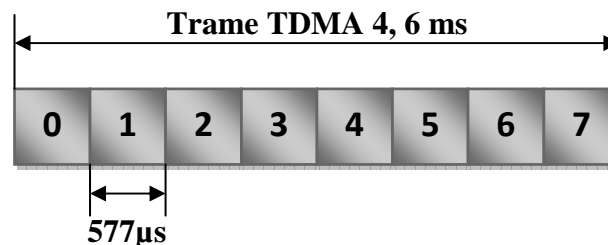


Figure I.17 : La Trame TDMA

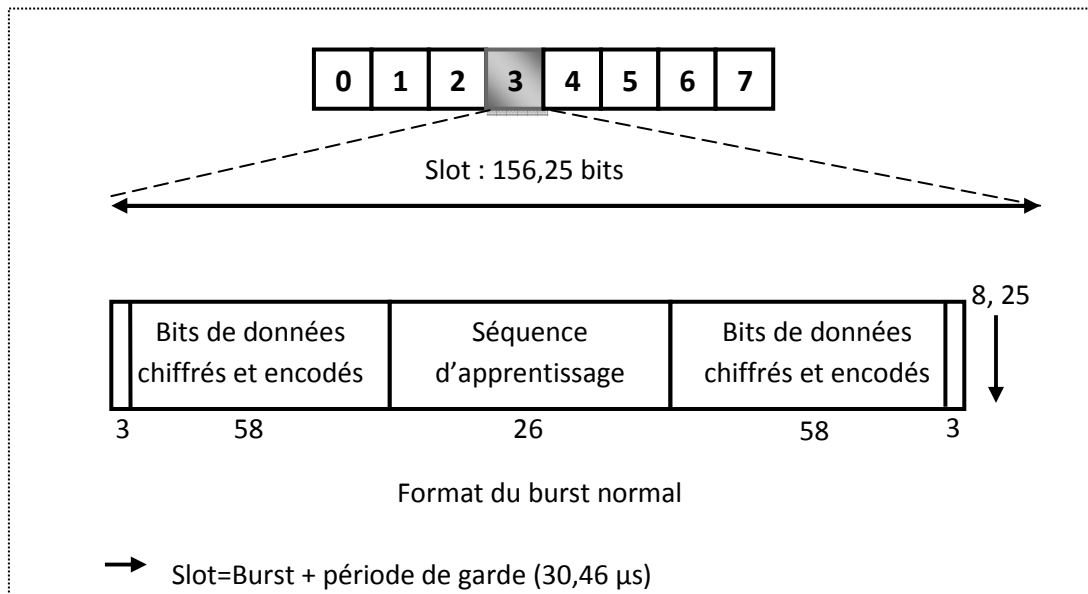


Figure I.18: Structure d'un time slot

Nous noterons que le GSM est un système mixte F/TDMA, puisque les ressources radio sont partagées en fréquence et en temps, mais dans le contexte radio mobile, il est d'usage de réserver le sigle FDMA aux systèmes où chaque porteuse est dédiée à un seul utilisateur (système analogique de première génération) et le système GSM est, ainsi répertorié comme un système TDMA.

Comme il est exclus de transmettre toutes les informations en une fois, il faut découper l'information et la transmettre au moyen de plusieurs trames consécutives. La norme GSM prévoit une organisation spécifique de structure hiérarchique de trames. Cette hiérarchie est dessinée à la figure (I.19). Les trames sont regroupées comme suit :

- Une multitrame de type 26 = 26 trames TDMA élémentaires et 1 multitrame de type 51 = 51 trames TDMA élémentaires,
- Une supertrame de type 26 = 26 multitrames et 1 supertrame de type 51 = 51 multitrames
- Une hypertrame = 2048 supertrames = 2 715 648 trames.

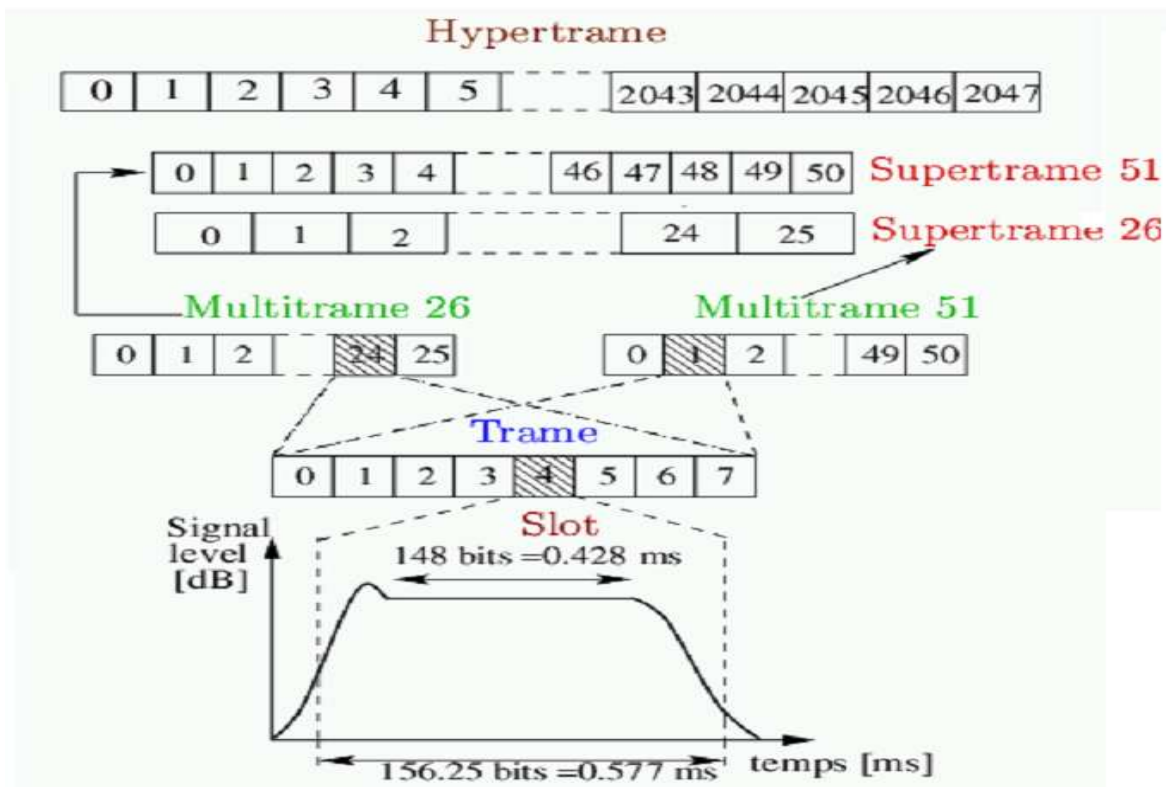


Figure I.19 : Organisation des multiples de trames

I.8.3 La modulation GMSK :

En raison de la forte variabilité de l'amplitude des signaux dans un environnement mobile, on préfère recourir à une technique de modulation angulaire pour ce type d'environnement. La technique de modulation utilisée pour porter le signal à haute fréquence est la modulation **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*). Comme le suggère son nom, il s'agit d'une variante d'une modulation **MSK** appartenant à la famille des modulations de fréquence (**FM**) numériques. On utilise la GMSK car, en raison de la transition rapide entre 2 fréquences ($f_c - 4f$ et $f_c + 4f$), la modulation par MSK aurait nécessité une trop large bande de fréquences.

La modulation GMSK consiste en une modulation de fréquence à deux états portant non pas sur la séquence originale mais sur une nouvelle séquence dont le bit n est produit comme le résultat de la fonction du OU exclusif (**XOR**) entre le bit courant et le bit précédent. Après application du XOR, le signal est filtré. La figure (I.20) montre la création d'un signal modulé par GMSK.

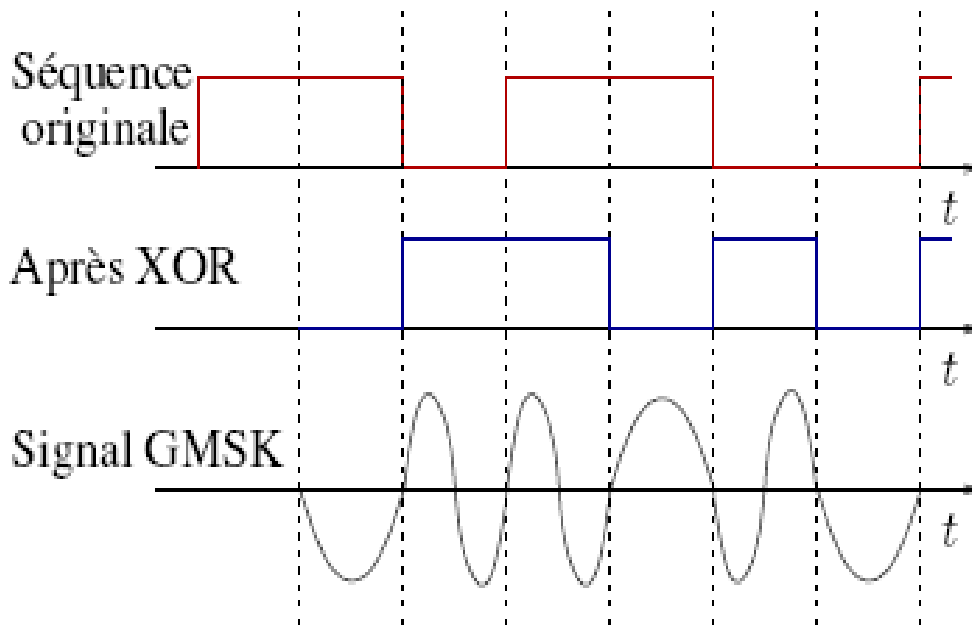


Figure I.20 : Création d'un signal modulé par GMSK au départ d'un train binaire.

Au bout du compte, il faut une largeur de 200 [kHz] par fréquence porteuse. Sachant que le débit atteint 270 [kb/s], on atteint un rapport du débit à largeur de bande, appelé efficacité spectrale, proche de 1. Cette valeur est typique pour des environnements mobiles, ce qui signifie que, pour doubler le débit, il n'y a d'autre solution que de doubler la largeur de bande.

I.9 Déroulement d'une communication :

I.9.1 Itinérance(le roaming) :

L'utilisateur d'un réseau de radiotéléphonie, qui se déplace en différents points du territoire couvert, doit pouvoir appeler et être appelé. C'est la notion d'itinérance ou de roaming (du verbe anglais to roam, errer).

- **Gestion de l'itinérance :**

Le rôle principal d'un mécanisme de gestion de la localisation ou de l'itinérance est de permettre au système de connaître à tout moment la position d'un mobile et /ou d'un abonné.

Cette fonction est nécessaire pour que le système puisse joindre un abonné. Dans la gestion de la localisation des mobiles, deux mécanismes de base interviennent :

- ✓ La localisation qui consiste à savoir où se trouve un mobile et ce à tout moment.
- ✓ La recherche d'abonné qui consiste à émettre des messages d'avis de recherche dans les cellules où le système a précédemment localisé l'abonné.

Dans certains systèmes cellulaires de première génération, dans les réseaux radio de couverture peu étendue et pratiquement dans tous les systèmes de radiomessagerie unidirectionnelle, aucune gestion de l'itinérance des usagers n'est assurée. Aucune poursuite des mobiles n'est réalisée et lorsqu'un utilisateur est appelé, le système lance des avis de recherche sur toute la couverture radio du système.

I.9.2 Le Handover (la mobilité):

Pendant une communication, le terminal est en liaison radio avec une station de base déterminée. Il est souhaitable d'assurer la continuation du service alors que l'utilisateur se déplace. Il peut être nécessaire de changer la station de base avec laquelle le terminal est relié tout en maintenant la communication : C'est le transfert intercellulaire ou Handover (encore appelé hand-off dans certains pays). Il existe aussi un type de Handover intracellulaire imposé par la qualité de service de la communication.

Handover intercellulaire :

- Se produit lorsque les mesures effectuées sur une cellule voisine présente une meilleure qualité que celle de la cellule active.
- Se produit quand une cellule voisine permet la communication avec un niveau de puissance du signal plus faible.
- Se produit lorsque le réseau souhaite transférer la charge du trafic sur des cellules adjacentes.

Handover intracellulaire :

Se produit lorsque les mesures montrent que la qualité du signal reçu est faible avec un niveau de champ du signal élevé dans la cellule active .Implique le BSC seul.

Pour définir si la communication est de bonne ou de mauvaise qualité, des paramètres ont été définis :

- ✓ Le niveau de puissance du signal de cellule RxLev. C'est un nombre entier.

RxLev= i correspond à $(-110+i)$, puissance en dBm.

- ✓ La qualité du signal de la cellule RxQual. C'est un nombre entier compris entre 0(bon) et 7 (mauvais) qui traduit le taux d'erreurs binaires(BER) dans les trames TDMA.
- ✓ La distance entre Mobile et BTS : le Timing Advance (TA).

I.9.2.1 Types de Handover (HO):

Trois cas sont à considérer :

- Le HO entre canaux radio d'une même BTS.
- Le HO entre BTS du même commutateur MSC en vue d'assurer la continuité de la communication quand un MS passe d'une cellule à une autre cellule.
- Le HO entre BTS de différents MSC du même PLMN.

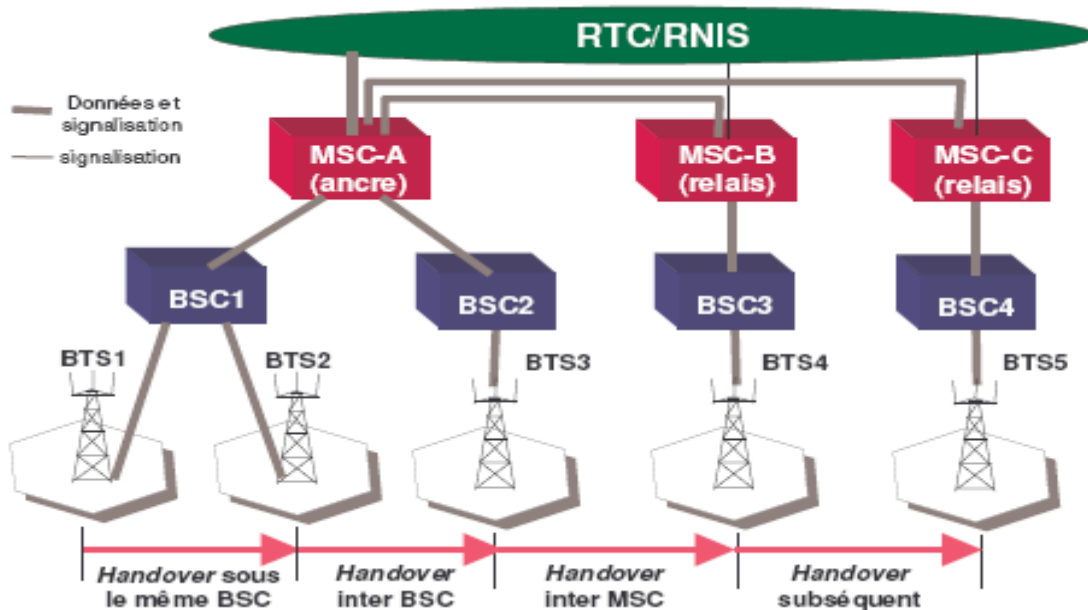


Figure I.21 : Les différents cas de Handover intercellulaire

I.9.2.2 Objectif et fonctions du Handover :

Le Handover a pour objectif de maintenir une qualité de communication suffisante entre le mobile et le réseau à travers un changement de fréquence ou de cellule.

Les principales fonctions du Handover sont :

- Permettre aux usagers de se déplacer en cours d'appel.
- Minimiser les interruptions (globales et par rapport au lien).
- Optimiser l'utilisation des ressources radio.
- Equilibrer la charge de trafic entre les cellules.
- Baisser la consommation d'énergie des mobiles.

I.9.2.3 Les phases du Handover :

Le mécanisme de transfert inter cellulaire ne s'exécute pas directement il doit passer par trois phases qui sont :

- Prise de mesure et supervision du lien.
- Choix de la cellule cible et déclenchement du Handover.
- Exécution du Handover (transfert effectif des liens).

I.9.3 La localisation (Location Update) :

La station mobile, du fait d'être mobile n'a pas de localisation fixe, ainsi pour ce joindre le système doit avoir l'information de sa localisation en permanence, pour cela quatre types de localisation sont générées :

- Normal LU : lorsque l'abonné allume son poste mobile.
- Périodique LU : pour permettre au système de savoir que la MS est toujours en veille.
- IMSI ATTACH : lorsque l'abonné met sous tension son mobile.
- IMSI DETACH : lorsque l'abonné éteint son poste mobile.

Le système a besoin de connaître à n'importe quel moment la localisation de l'abonné.

I.9.3.1 Le paging :

Le paging est un message qui recherche un éventuel établissement d'appel envoyé par le BSC aux BTS situées dans une zone de localisation. Ces BTS diffusent ce message sur l'interface air sur le canal PCH (paging Channel). La recherche du MS s'effectue en utilisant le numéro IMSI ou TMSI.

I.9.3.2 Etablissement d'un appel : Il existe trois cas de figures :

- Appel d'un MS vers un MS.
- Appel d'un MS vers un fixe.
- Appel d'un fixe vers un MS.

Ci-après, nous décrivons dans l'ordre ce qui survient lorsqu'un abonné désire établir une conversation téléphonique (MS vers fixe) :

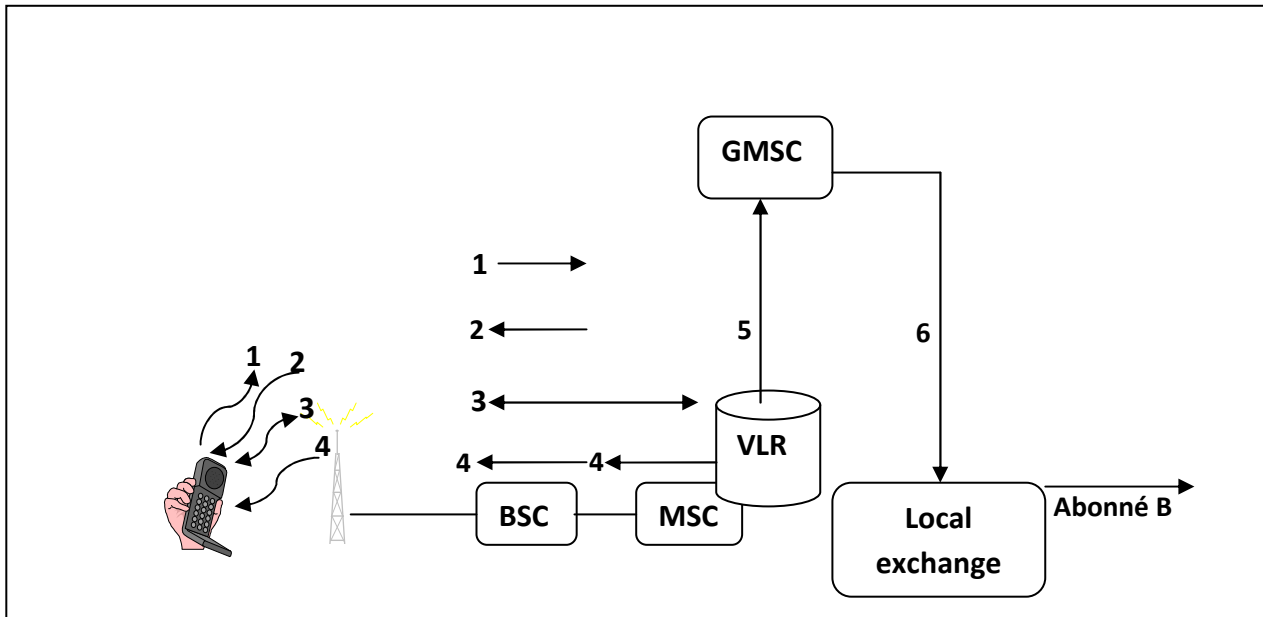


Figure I.22 : établissement d'un appel de MS vers PSTN

- a) Le mobile utilise le canal à accès aléatoire RACH, pour demander un canal de signalisation SDCCH pour établir une communication.
- b) Le contrôleur BSC attribue un canal de signalisation en utilisant le canal de concession d'accès AGCH.
- c) Le mobile envoie une demande d'établissement d'appel au MSC/VLR par l'intermédiaire du canal SDCCH, sur lequel a lieu toute la signalisation qui précède un appel. Ceci comprend le repérage « occupé » du mobile dans le MSC/VLR, la procédure d'authentification, l'envoi du numéro B et la vérification de l'activation éventuelle des services (exemple : interdiction des appels sortants (Baring of outgoing calls), renvoi d'appel) pour l'abonné.
- d) Le MSC/VLR demande au BSC d'attribuer un canal de trafic TCH libre. Ceci est transmis au BTS et au MS, qui reçoit l'ordre d'activer le TCH.
- e) Le MSC/VLR transmet le numéro B au GMSC où il y'aura le filtrage des appels.
- f) Le GMSC transmet à son tour le numéro au central du réseau téléphonique public commuté PSTN, qui établit la liaison avec l'abonné B dans le PSTN.
- g) B répond et la communication est établie.

I.10 Les canaux de transmission :

Le premier service offert par le GSM, est la transmission de la parole de type téléphonique. Cette transmission se fait par la réservation de « tuyaux » tout au long de la durée d'un appel téléphonique. Ces « tuyaux » sont, au fait, les canaux de transmission utilisés sur l'interface radio. Ces canaux, ont un aspect physique qui représente le médium de transmission, associé à un aspect logique qui représente l'information contenue de ce médium.

I.10.1 Les canaux physiques :

Un canal physique simplex est la répartition d'un slot dans chaque trame TDMA (canal physique plein débit). Un canal physique duplex (demi-débit) est formé d'une paire de canaux physiques simplex (les deux canaux sont séparés de l'écart duplex). La voie montante est décalée de trois slots par rapport à la voie descendante. Si la porteuse supportant la voie descendante est f_d , la voie montante est sur f_M :

$$f_M = f_d - \Delta\Psi \quad \text{avec } \Delta\Psi \text{ est l'écart duplex}$$

Sur chaque canal est définie une structure de multi trame permettant d'affecter régulièrement un intervalle de temps à la transmission d'un type d'information bien défini, et former ainsi des canaux logiques multiplexés sur un canal physique.

I.10.2 Les canaux logiques :

Pour supporter les différentes fonctions spécifiées par la norme, il faut prévoir plusieurs fonctions de contrôle de nature et de niveau varié sur l'interface radio. On peut diviser ces canaux en trois types :

a. Les canaux dédiés :

- Canal de contrôle dédié autonome SDCCH ;
- Canal de trafic TCH ;
- Canal de contrôle lent associé SACCH ;
- Canal de contrôle rapide associé FACCH.

b. Les canaux de diffusion :

- Canal de correction de fréquence FCCH ;
- Canal de synchronisation SCH ;
- Canal de contrôle de diffusion BCCH.

c. Les canaux de contrôle communs CCCH :

- Canal d'accès aléatoire RACH ;
- Canal de paging PCH ;
- Canal d'allocation de ressource AGCH ;
- Canal de transmission radio à partir d'une cellule CBCH.

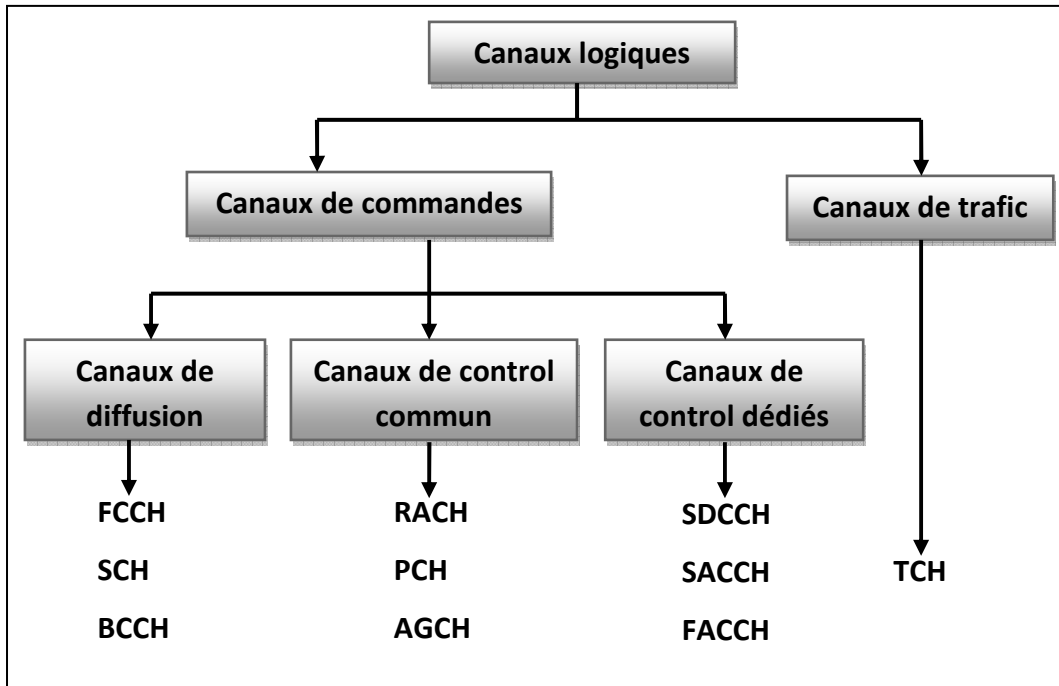


Figure I.23 : les canaux logiques

I.11 Multiplexage de trames :

I.11.1 Hiérarchie plésiochrone PDH :

Le principe du multiplexage plésiochrone est de construire le débit supérieur à partir du débit immédiatement inférieur en entrelaçant des bits. Les signaux multiplexés sont appelés affluents.

Les niveaux supérieurs multiplient à chaque fois le nombre de voies par 4 et ajoutent des bits supplémentaires de justification :

Ex : TN2 ou E2 à 8448 K bits/s = $2048 \times 4 + 256$ soit 120 voies téléphoniques.

Le caractère plésiochrone du multiplexage impose une opération de démultiplexage à chaque niveau pour accéder à un signal affluent. Ainsi, pour extraire un train à 2 M bit/s dans un multiplex à 140 M bit/s, trois démultiplexage sont nécessaires, 140 vers 4×34 , 34 vers 4×8 et enfin 8 vers 4×2 . Chaque opération comporte une récupération de rythme et une recherche de trame.

Ordre	Débit	Identification	Nombre de voies
1	2 M bits/s	Bloc primaire numérique(BPN) (En réalité 32 voies : 2 voies pour signalisation et synchronisation) appelé E1	30
2	8 M bits/s	4 BPN = bloc secondaire numérique (BSN)	120
3	34 M bits/s	4 BSN = bloc tertiaire (BTN)	480
4	140 M bits/s	4 BTN = bloc quaternaire numérique (BQN)	1920
5	565 M bits/s	4 BQN	7680

Tableau I.4 : Ordres de multiplexage PDH

I-11-2 Hiérarchie synchrone SDH :

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

Le SDH repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte du haut débit (plus élevé qu'en PDH). Le haut débit d'ordre N est obtenu par entrelacement d'octets des trames de base (STM-1 à 155 Mb/s), le débit résultant est donc de $N \times 155,520$ Mb/s. Il n'y a qu'un seul étage de multiplexage.

La hiérarchie de la norme SDH correspondante est représentée dans le tableau suivant :

SDH	Debits
STM-1	155 Mb/s
STM-3	466 Mb/s
STM-4	622 Mb/s
STM-6	933 Mb/s
STM-8	1244 Mb/s
STM-16	2 Gb/s
STM-64	10 Gb/s
STM-128	20 Gb/s
STM-256	40 Gb/s

Tableau I.5 Les différents niveaux de la hiérarchie SDH

Chapitre II

*Les différents supports de
transmission*

II. Introduction :

La transmission est la fonction qui transporte les signaux de parole et de données par le moyen de différents supports à savoir : câbles à paires torsadées, paires coaxiales, fibres optiques ou par voie hertzienne.

Elle fait appel à des liaisons point à point établies pour la durée des communications.

II.1 La Fibre optique :

II.1.1 Introduction :

Les fibres optiques sont de plus en plus utilisées comme support de transmission grâce à leurs propriétés exceptionnelles et particulièrement une bande passante très élevée et une atténuation très faible. L'utilisation de la fibre optique pour la transmission d'information sous entend que le signal transporté est une onde lumineuse. Le système de transmission doit donc inclure un dispositif assurant la conversion électrique/optique à l'émission, ce rôle est généralement assuré par une diode laser ou une diode électroluminescente. Un phototransistor permettra d'assurer la conversion inverse à la réception.

Les trois composants de la fibre optique sont :

1. Le cœur - en silice, quartz fondu, ou plastique - dans lequel se propagent les ondes optiques. Diamètre : $50\mu\text{m}$ ou $62.5\mu\text{m}$ pour la fibre multimode.
2. La gaine optique (cladding) - en général, dans les mêmes Matériaux que le cœur mais avec des additifs - qui confine les ondes optiques dans le cœur.
3. Le revêtement de protection (coating) - généralement en Plastique - qui assure la protection mécanique de la fibre.

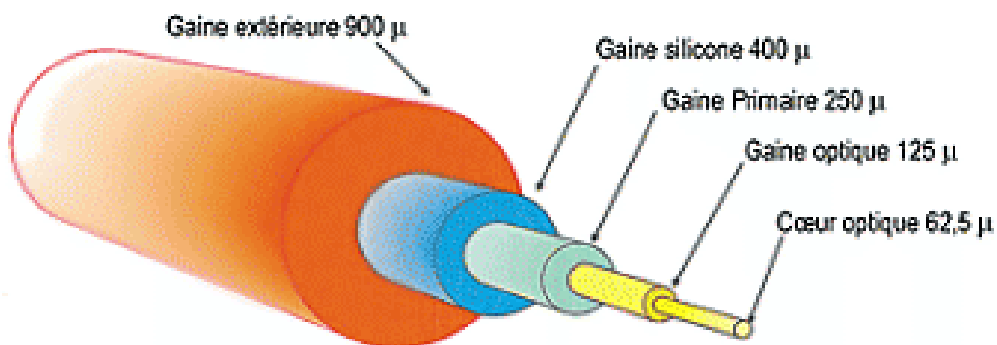


Figure II.1 : La structure d'une fibre optique

II.1.2 Classification des fibres optiques :

En fonction de la distribution radiale de l'indice de réfraction du cœur, nous pouvons classer les fibres en deux catégories :

- Les fibres à saut d'indice (FSI).
- Les fibres à gradient d'indice (FGI).

II.1.2.1 Fibres à saut d'indice :

Dans ce type de fibre, le cœur est homogène, son indice de réfraction est donné par :

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & \text{si } r < a \quad (\text{cœur}) \\ n_2 & \text{si } r \geq a \quad (\text{gaine}) \end{cases}$$

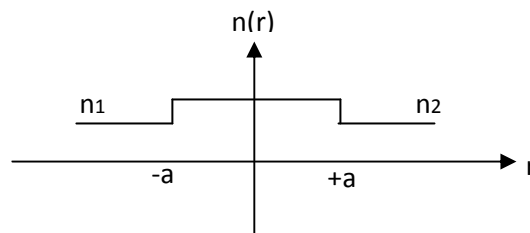


Figure II.2 : Distribution radiale de l'indice de réfraction dans une fibre à S-I

Les fibres utilisées en télécommunications sont constituées de silice qui est dopée différemment selon qu'il s'agisse du cœur ou de la gaine. En général, la différence relative d'indice est d'environ quelques pour-cent.

Pour une fibre à saut d'indice (n_1 , n_2 et a connus), le nombre de modes qui se propagent dépend du rapport entre le rayon du cœur (a) et la longueur d'onde de fonctionnement (λ).

Nous pouvons donc classer ce genre de fibres en deux types :

- Les fibres monomodes.
- Les fibres multimode.

a) Fibres monomodes : Ce sont des fibres dans lesquelles ne se propage que le mode fondamental ($V^{(SI)} < 2,405$). Ce type de fibres est très intéressant du point de vue de la dispersion et de la bande passante.

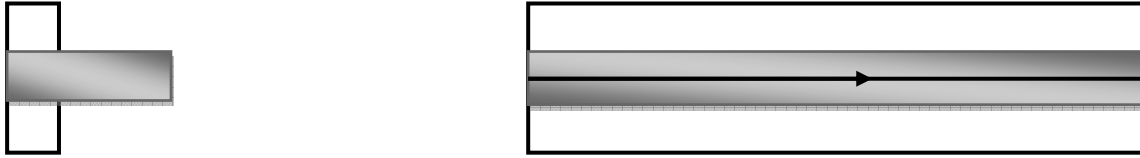


Figure II.3 : Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode à saut d'indice.

Une fibre à saut d'indice est monomode si le rayon du cœur (normalisé) vérifie la relation suivante :

$$\frac{a}{\lambda} < \frac{2,405}{2\pi \text{ON}} \quad (1)$$

Il est à remarquer qu'une fibre monomode peut ne plus l'être dans le cas où la longueur d'onde de fonctionnement diminue. En effet, si λ diminue $\Rightarrow a/\lambda$ augmente \Rightarrow La relation (1) peut ne plus être vérifiée.

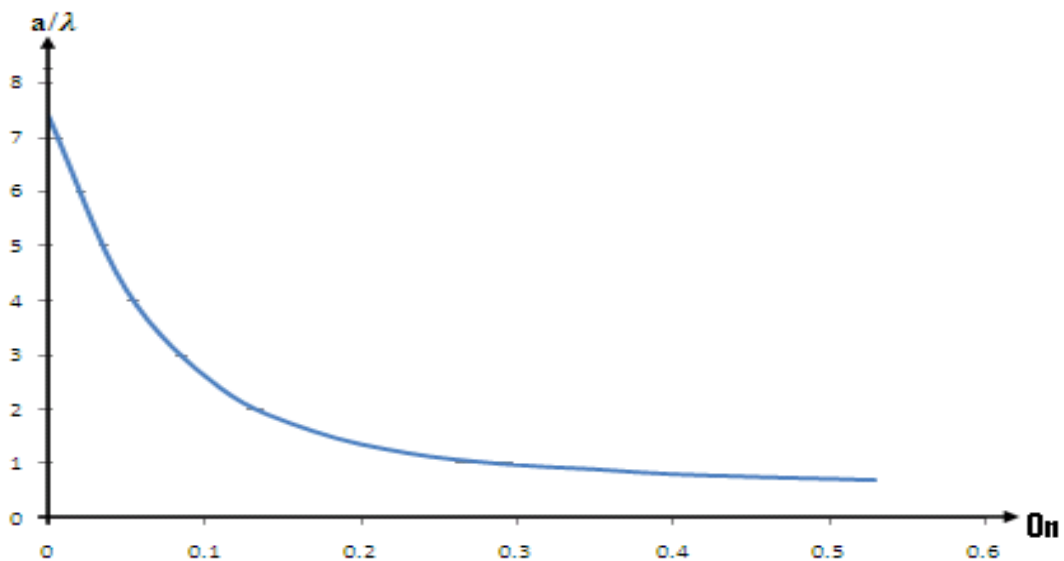


Figure II.4 : Courbe donnant pour chaque valeur de l'ouverture numérique la valeur maximum de (a/λ) pour que la fibre soit monomode.

Les fibres monomode sont caractérisées par leur longueur d'onde de coupure qui correspond à la longueur d'onde au dessous de laquelle la fibre n'est plus monomode.

b- Fibres multimode :

Dans le cas où la relation (1) n'est pas vérifiée, la fibre est alors multimode. Le nombre qui se propagent dans cette fibre est proportionnel au carré de la fréquence normalisée et est donné par la relation approximative suivante :

$$M_g^{(SI)} \approx (V^{SI})^2/2.$$

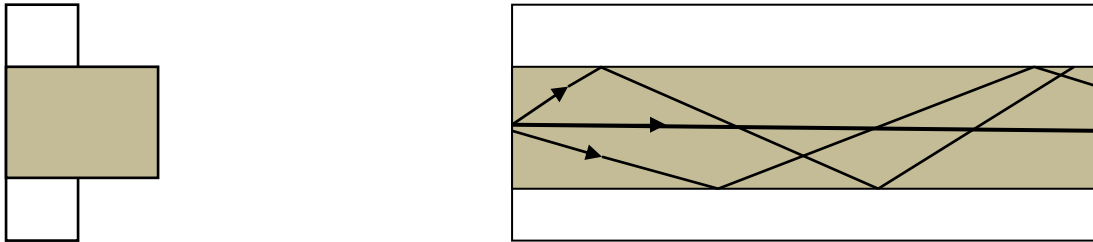


Figure II.5 : Propagation des ondes dans une fibre multimode à saut d'indice.

Il est à remarquer qu'à chaque mode de propagation correspond un rayon qui possède sa propre trajectoire.

Les modes qui se propagent dans ce type de fibres parcourent des trajectoires avec des vitesses identiques. Ils arrivent à l'extrémité de la fibre dans un ordre dispersé (celui qui parcourt la plus petite distance arrive le premier). Cette dispersion est responsable de la limitation de la bande passante du signal à transmettre.

Nous pouvons dire que pour des applications qui nécessitent une bande passante importante, il faut minimiser ce type de dispersion ce qui conduit tout naturellement à l'utilisation des fibres monomode. Par contre, pour des applications qui nécessitent moins de bande passante, la fibre multimode présente un certain nombre d'avantages, parmi lesquels nous citerons :

- La possibilité d'utiliser des sources peu directives (spatialement incohérente).
- La facilité de couplage avec la source (diamètre du cœur relativement grand par rapport à celui de la monomode).
- L'utilisation de connecteurs qui ne demandent pas une grande précision de fabrication.

II.1.2.2 Fibres à Gradient D'indice :

Les fibres multimode à saut d'indice ont l'inconvénient d'être très dispersives. A fin de réduire cette dispersion (modale) il est nécessaire de rechercher d'autres profils d'indice qui conduisent à une réduction de la différence des temps de groupe des modes qui se propagent.

Le principe de la fibre à gradient d'indice consiste à accélérer les rayons qui parcourent les plus grandes distances et à décélérer ceux qui parcourent les plus petites distances. Dans ce cas, tous les rayons arrivent en même temps à l'extrémité de la fibre.

Dans ce type de fibre, l'indice de réfraction du cœur diminue de l'axe jusqu'à la gaine, suivant une loi parabolique, il est donné par :

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \sqrt{1 - 2\Delta(r/a)^\alpha} & \text{Si } r \leq a \quad (\text{cœur}) \\ n_2 \sqrt{1 - 2\Delta} = n_2 & \text{Si } r \geq a \quad (\text{gaine}) \end{cases}$$

Où Δ représente la différence relative d'indice et α le paramètre de profil d'indice.

Paramètre α	Profil d'indice
$\alpha = 1$	Triangulaire
$\alpha = 2$	Parabolique
$\alpha = \infty$	Rectangulaire

C'est ce type de fibre qui est utilisé à l'intérieur des bâtiments des universités (62,5/125) et entre certains sites desservis par les Télécommunication (50/125).

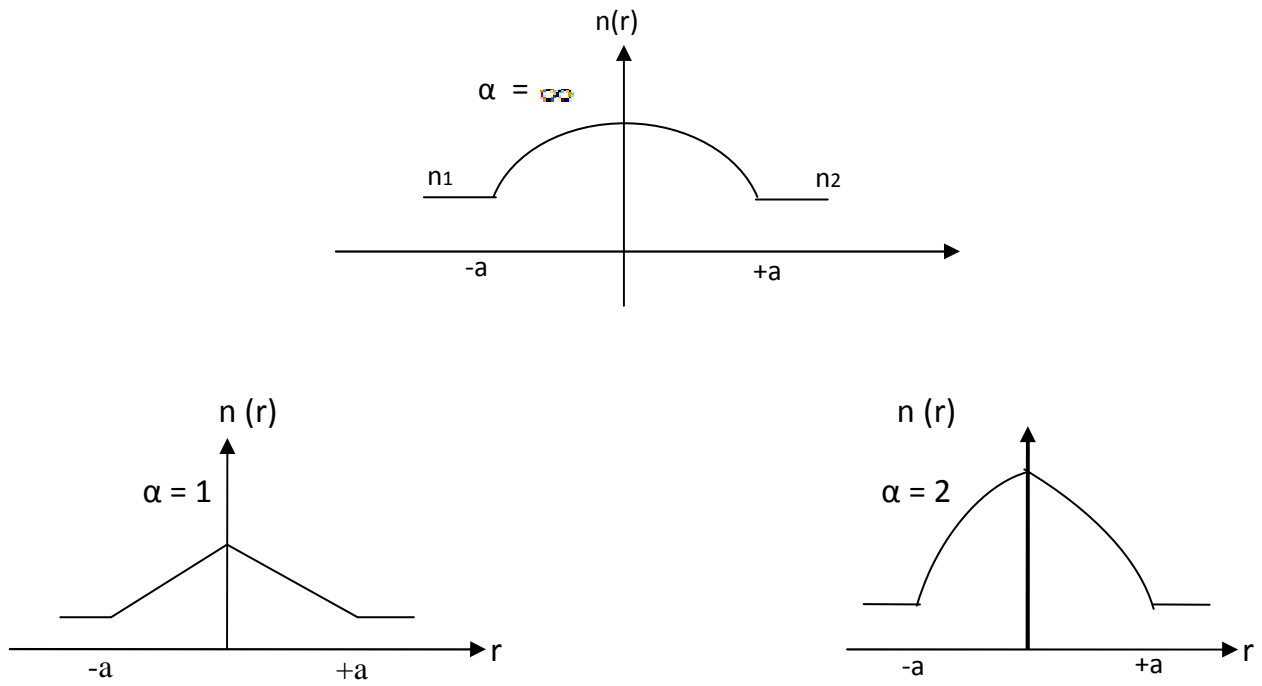


Figure II.6 : Distribution radiale de l'indice de réfraction dans une fibre à gradient d'indice.

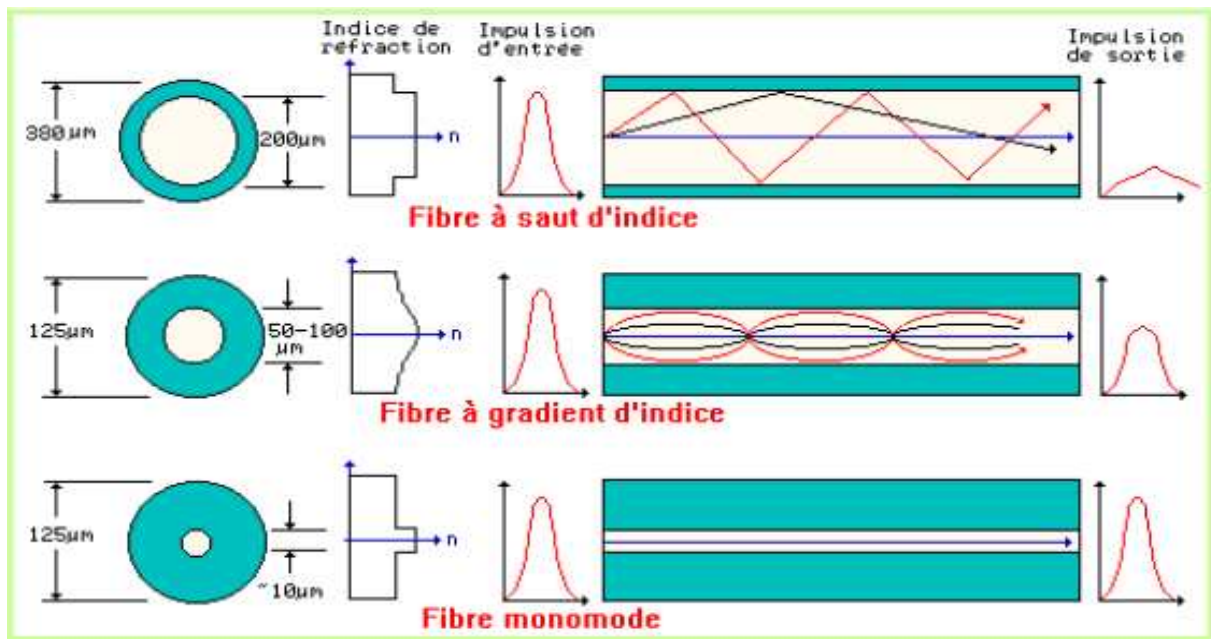


Figure II.7 : Les trois types de fibre optique

II.1.3 Caractéristiques principales :

II.1.3.1 Introduction :

L'objectif de tout système de transmission est de transmettre une information le plus loin possible (atténuation la plus faible possible) avec la plus grande bande passante possible.

L'atténuation est une caractéristique qui a une double origine intrinsèque et extrinsèque. L'atténuation intrinsèque est due principalement au matériau utilisé ainsi qu'aux impuretés qui s'y trouvent. Le deuxième type d'atténuation est essentiellement dû aux imperfections des techniques de fabrication ainsi qu'aux raccordements.

La bande passante est également un paramètre important. Elle est limitée par la dispersion totale du signal qui est essentiellement due au caractère intermodale de la fibre et à la dispersion du matériau (indice de la silice est fonction de la longueur d'onde).

II.1.3.2 Les inconvénients :

a. Atténuation : L'atténuation est un facteur qui nous permet de déterminer la puissance de sortie à partir de la puissance d'entrée injectée.

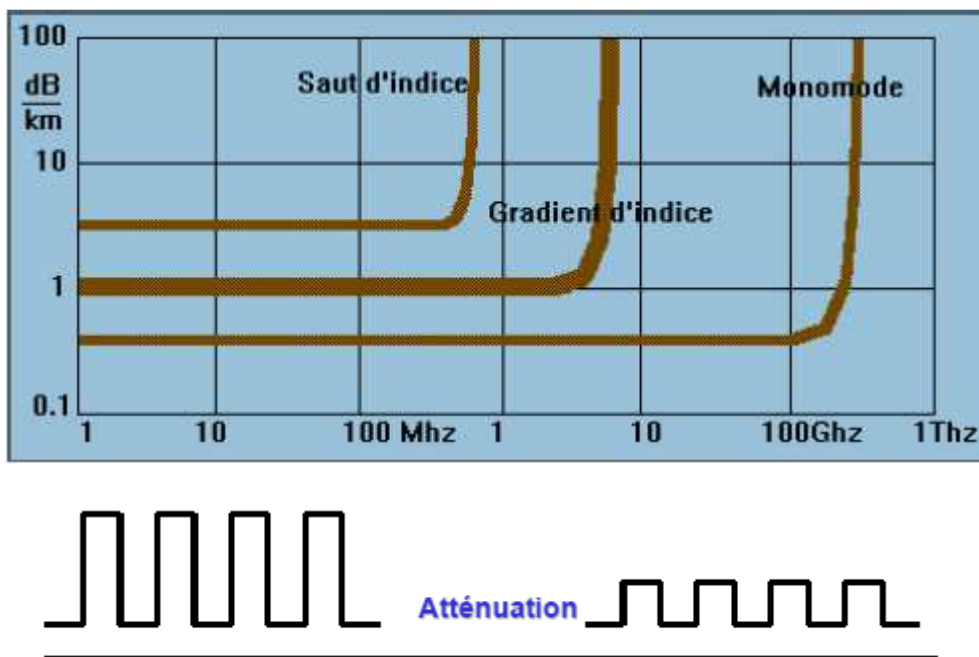


Figure II.8 : le signal qui se propage s'affaiblit

L'atténuation est souvent exprimée en décibel (dB) par la relation suivante :

$$\alpha_{Tot} (dB) = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

Elle peut aussi être exprimée par l'unité de longueur (dB/km).

$$\alpha (dB / km) = \frac{\alpha_{Tot} (dB)}{L(km)}$$

Dans le cas où la fibre présente un certain nombre d'épissures il faut tenir compte de leur atténuation pour calculer l'atténuation totale.

$$\alpha_{Tot}(dB) = \alpha(dB/km)L(km) + \alpha_{Ep}(dB)$$

b. Dispersion :

La dispersion du signal optique dans une fibre crée de la distorsion aussi bien en transmission analogique que numérique. Le phénomène de dispersion se traduit par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation. Cet élargissement limite de la bande passante du canal de transmission.

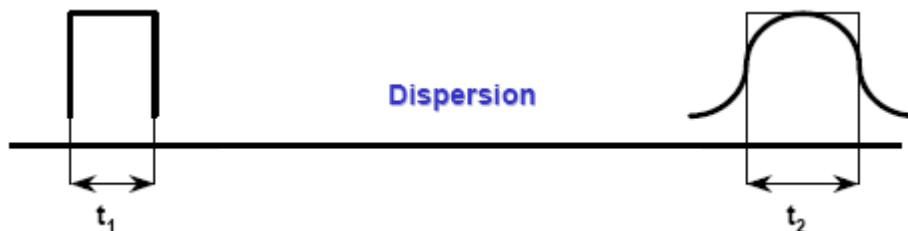


Figure II.9 : le signal qui se propage s'élargit

b.1 La dispersion chromatique :

Ce type de dispersion, provient la largeur spectrale non nulle des sources optiques et apparaît dans les fibres à base de silice (milieu dispersif).

La dispersion chromatique résulte de la différence de vitesse de groupe des différentes composantes spectrales du signal à transmettre. Le caractère dispersif est lié au fait que la silice possède un indice de réfraction qui est fonction de la longueur d'onde.

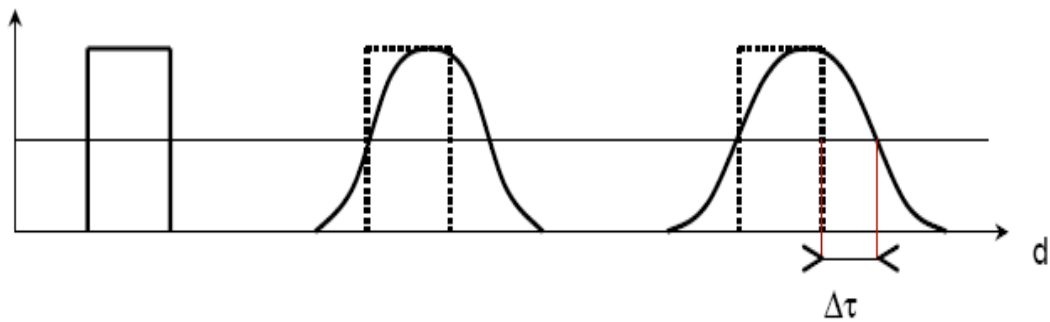


Figure II.10 : La fibre se comporte comme un filtre passe-bas.

- **Temps de groupe :**

Il sert à déterminer l'étalement des impulsions, il est obtenu à partir de la relation suivante :

$$t_g = \frac{L}{V_g}$$

Où L est la longueur parcourue par l'onde et v_g sa vitesse de groupe.

- **Vitesse de groupe :**

Chaque composante spectrale du signal se propage à une certaine vitesse de groupe qui est donnée par la relation suivante :

$$V_g = \frac{d\omega}{d\beta}$$

La vitesse de propagation moyenne d'une impulsion est égale à la vitesse de groupe du mode fondamental. Le problème vient de ce que le temps de propagation de groupe varie avec la longueur d'onde. Or les sources de rayonnement lumineux ne sont pas rigoureusement monochromatiques.

Il y a deux causes à prendre en compte :

- l'indice qui varie en fonction de la longueur d'onde (dispersion matériau)
- la vitesse de groupe qui varie avec la longueur d'onde (dispersion guide d'onde)

b.2 Dispersion modale :

L'élargissement de l'impulsion dû à la dispersion modale résulte de la différence des temps de propagation des différents modes qui se propagent dans une fibre multimode.

La largeur maximum de l'impulsion à la sortie d'une fibre à saut d'indice dépend de la différence des temps de propagation entre le mode qui parcourt la plus grande distance et celui qui parcourt la plus petite distance.

La dispersion modale dépend du profil d'indice, elle est maximum pour la fibre à saut d'indice ($\alpha=\infty$) et peut être réduite au minimum grâce à l'adoption d'un profil d'indice optimum ($\alpha=2$).

Dans les fibres monomodes, il n'y a pas de dispersion modale si bien que l'étalement total de l'impulsion est dû uniquement à la dispersion chromatique.

II.1.3.3 Les avantages :

Comparée aux autres supports de transmission, la fibre optique présente un certain nombre d'avantages.

- **Faibles pertes de transmission :** On sait actuellement fabriquer des fibres ayant une atténuation inférieure à 0,2 dB/Km. Cette faible atténuation permet de réaliser de très longues liaisons utilisant peu de répéteurs (régénérateurs) permettant ainsi de réduire le coût des systèmes et de leur entretien.
- **Bande passante énorme :** Elle dépend du type de fibre et de leur longueur.
 - *Câble coaxial : autour de 500 MHz.
 - *Espace libre : autour de 700 MHz.
 - *Fibre optique : quelques GHz sur quelques Km ou bien quelques 100 MHz sur quelques 10 Km.
- **Isolation électromagnétique :** Elle permet de protéger les équipements en cas de court-circuit. De plus, la fibre semble être bien indiquée dans des environnements électromagnétiques difficiles (foudre).
- **Immunité aux interférences et à la diaphonie :** Cette propriété permet d'assurer la sécurité de l'information dans tout environnement électro magnétiquement bruyant (lignes de haute tension, lignes de voie ferrée,...).

- **Sécurité du signal** : Le signal transmis est bien protégé (pas de rayonnement), ce qui permet d'utiliser la fibre pour des applications militaires, bancaires et en transmission de données.
- **Petites dimensions et faible poids** : La pose du câble est rendue plus facile et nécessite moins de personnel. De plus, le faible poids rend les fibres attrayantes dans certains domaines (avion, satellite, bateaux,...).
- **Flexibilité** : Permet de fabriquer la fibre sur de très grandes distances.
- Systèmes **fiables** et faciles à entretenir.
- Matière première **disponible** et faible cout.

II.1.4 Principe général de guidage dans les fibres optiques :

a. Réflexion totale :

Le guidage de la lumière dans les fibres optiques exploite le principe de la de la réflexion totale qui se produit à l'interface entre deux milieux d'indice de réfraction différent n_1 et n_2 lorsque la loi de réfraction de Descartes ne peut être satisfaite. Dans le cas où l'indice n_1 du milieu par lequel arrive un rayon lumineux est inférieur à celui du seconde milieu, la réfraction a toujours lieu (figure II.11). Selon la loi de Descartes les angles d'incidence θ_1 et de réfraction θ_2 au passage de l'interface sont reliés par la formule : $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

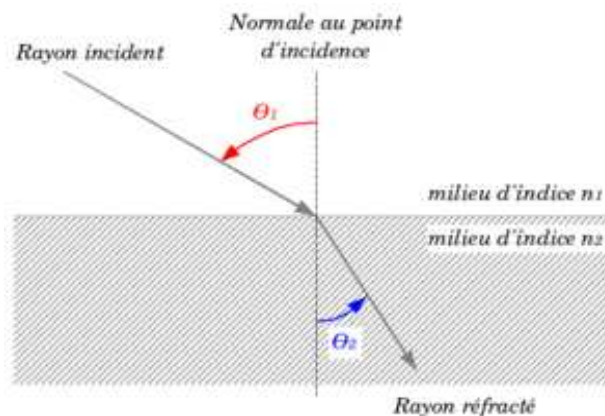


Figure II.11 : Réfraction

Par contre si l'indice du premier milieu est supérieur à celui du second la relation précédente ne peut être satisfaite lorsque l'angle d'incidence est supérieur à une valeur limite donnée par :

$$\theta_{\text{lim}} = \text{arc sin} (n_2/n_1)$$

Dans ce dernier cas le rayon lumineux n'est plus réfracté mais réfléchi dans le premier milieu (figure II.12) selon un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. Si les deux milieux sont parfaitement transparents et si la surface de séparation est plane, la réflexion se fait sans aucune réduction de puissance.

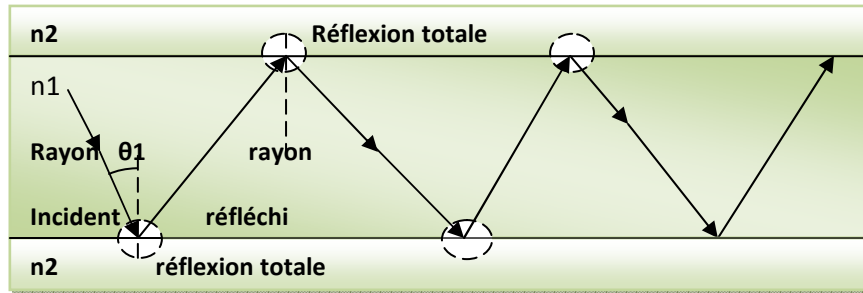


Figure II.12 : Réflexion totale

b.L'ouverture numérique ON :

Pour injecter de la lumière dans une fibre, il faut que le faisceau lumineux arrive dans un cône d'angle $\alpha_{0\text{limite}}$ sinon la lumière est transmise dans la fibre avec un angle trop petit sur les surfaces séparant n_1 et n_2 et il n'y a pas réflexion totale.

Chaque fibre est caractérisé par un angle qui définit le cône d'injection on parle d'ouverture numérique défini par :

$$ON = \sin \alpha_{0\text{lim}} = n_1 \sqrt{1 - (n_2/n_1)^2} = \sqrt{(n_1)^2 - (n_2)^2}$$

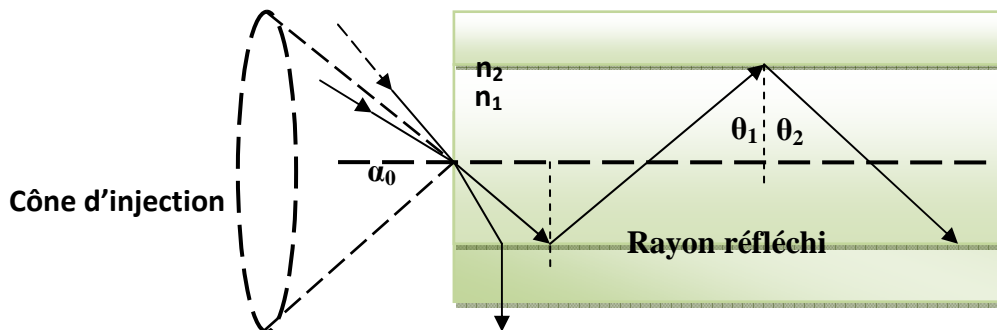


Figure II.13 : L'ouverture numérique

II.1.5 Liaison par fibre optique:

Les systèmes de communication à base de fibres optiques ont une conception similaire à n'importe quel système de communication classique.

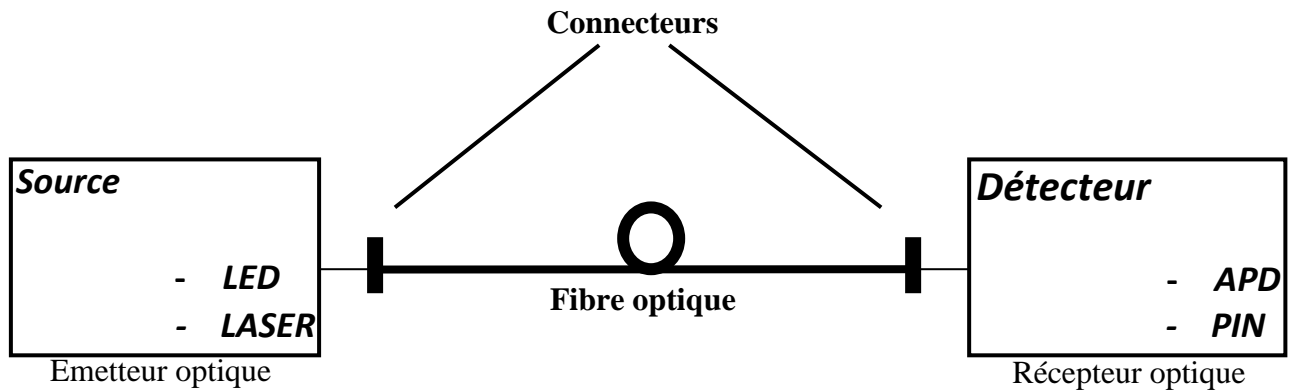


Figure II.14 : Schéma simplifié d'une liaison optique

L'information primaire que l'on veut transmettre à distance est convertie en un signal électrique qui, modulée (analogiquement ou numériquement) par un émetteur (Laser ou Diode Electroluminescente) est convertie en un signal optique.

Le signal émis par la source est ensuite injecté dans la fibre où il se propage avec une certaine atténuation et une certaine distorsion. Ces deux phénomènes se traduisent par une limitation de la longueur de la liaison au-delà de laquelle la qualité se détériore.

Le signal reçu est ensuite démodulé en un signal électrique par l'intermédiaire d'une photodiode (PIN ou à Avalanche).

Pour des liaisons assez longues, il est nécessaire d'installer des répéteurs (liaison analogique) ou des régénérateurs (liaison numérique) afin de conserver la qualité de l'information.

La liaison entre la fibre et les deux extrémités se fait à travers des connecteurs.

II.1.6 Transmission par fibre optique :

Le principe de toute transmission de donnée est de faire circuler des informations entre un émetteur et un récepteur en minimisant les risques de déformation du signal reçu, de façon à assurer une fiabilité maximum du transfert de l'information. Le signal est tout d'abord codé suivant la technique de modulation par impulsion codée (MIC), puis modulé et le signal obtenu est injecté dans la fibre optique par l'intermédiaire de l'émetteur.

A la sortie de la fibre, le signal est reçu sur une photodiode puis amplifié avant d'être décodé pour être remis sous sa forme initiale.

A fin d'avoir une transmission de haut débit sur la fibre, on utilise une technique de multiplexage WDM/DWDM.

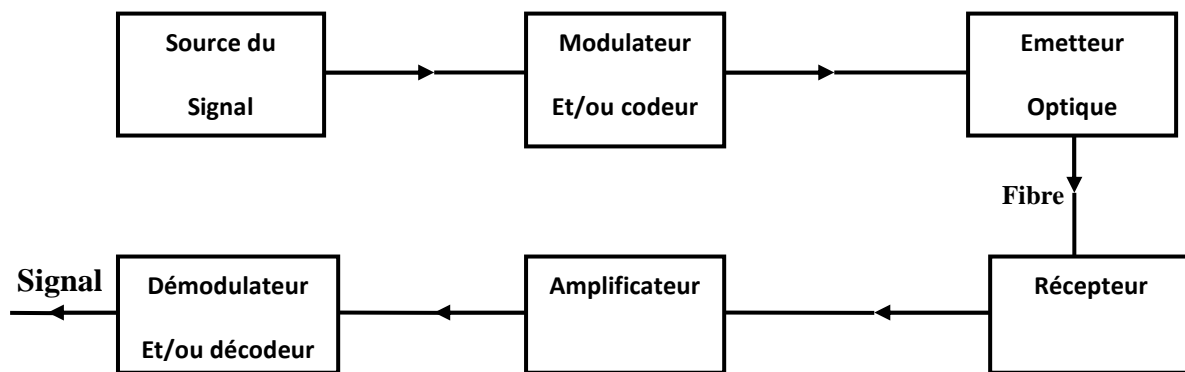


Figure II.15 : Chaîne de transmission par fibre optique

II.1.7 Les émetteurs : Leurs rôle est de convertir le signal d'entrée en signal optique et de l'injecter dans la fibre.

Les émetteurs utilisés sont de trois types :

- Les LED Light Emitting Diode qui fonctionnent dans le rouge visible (850).
- Les diodes à infrarouge qui émettent dans l'invisible à 1300 nm.
- Les Lasers, utilisés pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1300 ou 1550nm.

II.1.8 Les récepteurs : Les récepteurs sont également des diodes éclairées par le signal lumineux à détecter, elles fournissent un courant. Les détecteurs les plus utilisés sont :

- Les diodes PIN : elles ont une sensibilité faible, c'est pour cela elles doivent être suivies par des amplificateurs.
- Les diodes à avalanche : pour le même faisceau lumineux reçu par une diode PIN, la diode à avalanche délivre un courant beaucoup plus grand.
- Les phototransistors.

II.2 Les faisceaux hertziens :

II.2.1 : Présentation des faisceaux hertziens :

II.2.1.1 Définition :

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux, numériques ou analogiques, entre deux points fixes. Il utilise des ondes radioélectriques très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. 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. 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 remettent le signal modulé vers la station suivante. Le faisceau hertzien utilise des bandes de fréquences variables (6 GHz, 13 GHz, 26 GHz, ou 38 GHz) selon la distance à couvrir et le débit recherché. A l'exception de quelques systèmes fonctionnant dans les bandes 70-80 MHz et 400-470 MHz, les faisceaux hertziens utilisent des fréquences supérieures à 2 GHz environ.

II.2.1.2 Les usages des faisceaux hertziens :

Les faisceaux hertziens sont utilisés principalement pour raccorder des points dont la distance varie de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres. Par exemple un immeuble collectif à un point d'accès du réseau d'un opérateur, ou deux immeubles entre eux. A noter que les technologies FH sont également beaucoup utilisées dans le cadre du déploiement des réseaux de téléphonie mobile.

II.2.1.3 Les différentes catégories des faisceaux hertziens :

D'après leurs caractéristiques radioélectriques on peut classer les faisceaux hertziens en deux catégories :

➤ **les faisceaux hertziens fonctionnant en visibilité directe :**

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

➤ **les faisceaux hertziens transhorizon :**

Les faisceaux hertziens transhorizon utilisent la diffusion et la diffraction des ondes électromagnétiques dans les zones turbulentes de la troposphère pour établir la liaison entre les antennes, conformément au schéma suivant :

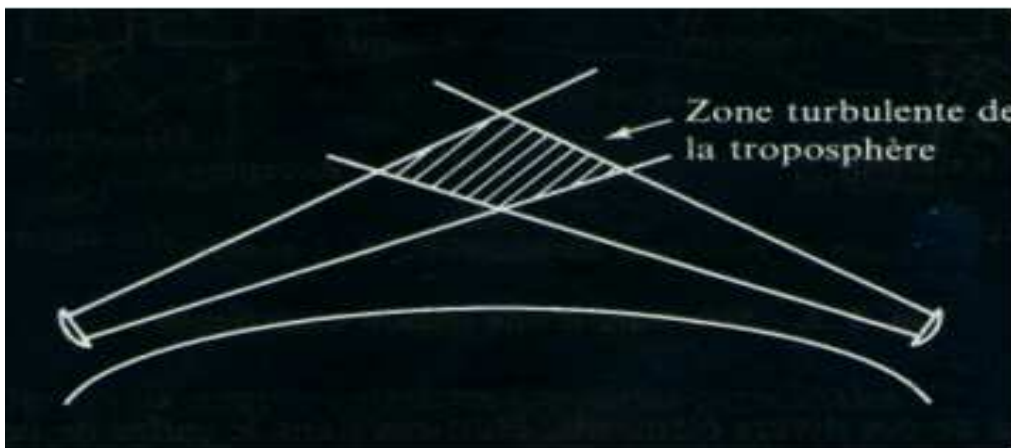


Figure II.16 : Liaison transhorizon

Si on examine le type de modulation on peut classer les faisceaux hertziens en deux catégories : les faisceaux hertziens analogiques et les faisceaux hertziens numériques.

Les faisceaux hertziens analogiques sont utilisés principalement pour transmettre :

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

Les faisceaux hertziens numériques acheminent principalement :

- Des multiplex numériques de téléphonie, dont le débit va de 2 Mbits/s à 140 Mbits/s (dans l'état actuel de la technique) ;
- Des transmissions de données à grande vitesse ;
- Du visioconférence et de la télévision codée.

II.2.2 Stations relais : La nécessité, pour les faisceaux en visibilité directe, d'avoir un dégagement suffisant du trajet radioélectrique implique que les antennes soient en général placées sur des points hauts, au sommet de tours ou pylônes. Une liaison hertzienne peut comporter un ou plusieurs bonds.

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

Si au contraire la distance entre les deux points à relier est trop grande ou si des obstacles empêchent les antennes situées en ces deux points d'être en visibilité l'une de l'autre, il faut établir une liaison en plusieurs bonds en utilisant des stations relais (comme le montre la figure suivante) :

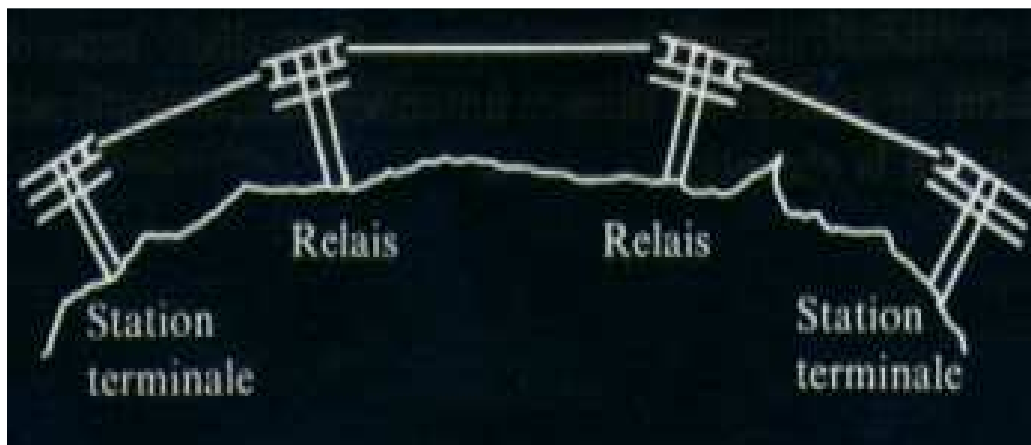


Figure II.17 : Liaison en plusieurs bonds

Les stations relais remplissent deux fonctions principales :

- ✓ Une fonction que l'on peut qualifier d'optique : les antennes de chaque station sont en visibilité de celles des deux stations qui l'encadrent ;
- ✓ Une fonction d'amplification : le signal reçu est amplifié avant d'être réémis. Il existe toutefois des stations relais passives, composées par exemple d'un miroir plan qui réfléchit les ondes (schéma c), dans lesquelles la fonction d'amplification n'est pas remplie.

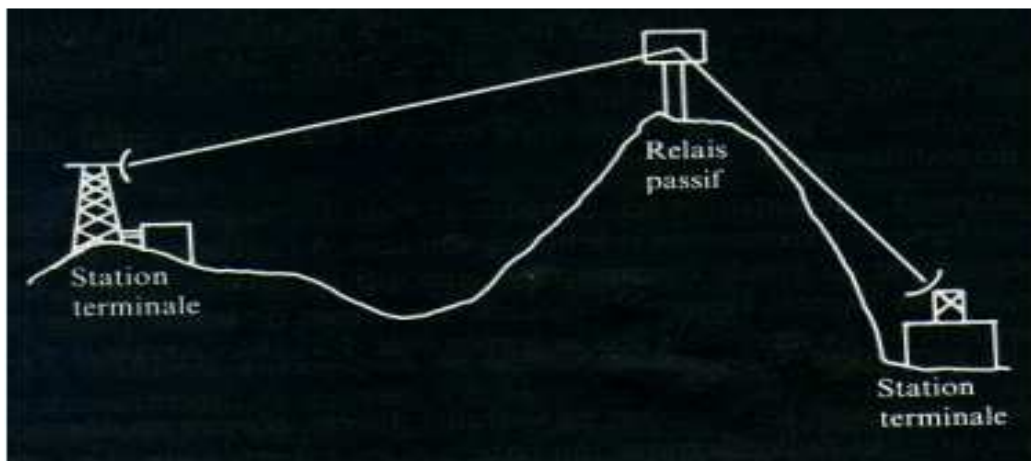


Figure II.18 : Relais passif

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

Une liaison peut être unilatérale ou bilatérale. Les liaisons unilatérales sont fréquentes en transmission de télévision, par exemple entre le studio et l'émetteur.

Les liaisons de téléphonie ou de télex sont bilatérales. Une liaison bilatérale se réalise tout simplement en associant sur les mêmes itinéraires deux liaisons mono latérales de sens inverse. Les deux sens d'une liaison bilatérale utilisent en général les mêmes antennes, lesquelles fonctionnent à la fois à l'émission et à la réception.

II.2.3 Structure d'une station terminale :

La structure d'une liaison est imposée par la nature même du système : utilisant des ondes radioélectriques, une liaison doit comporter dans chaque sens de transmission un émetteur, un récepteur, des antennes, ainsi qu'un modulateur et un démodulateur conformément au schéma suivant :

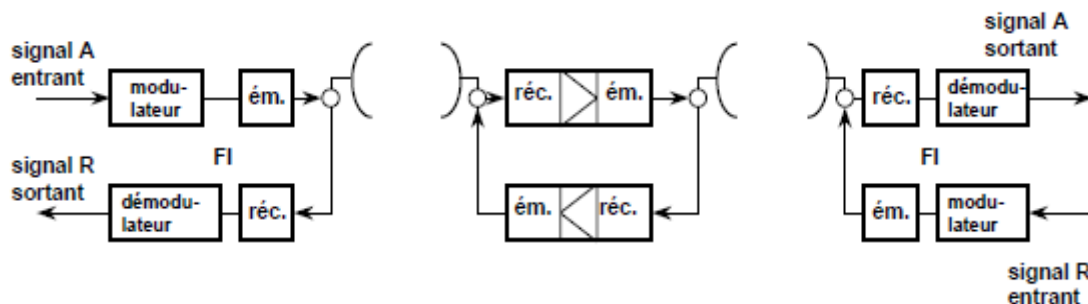


Figure II.19 : Structure d'une liaison FH

Les fonctions de ces divers éléments, sont les suivantes :

- **Modulateur/Démodulateur** : Le modulateur modifie les caractéristiques d'une onde électromagnétique pour lui faire porter l'information à transmettre. Le démodulateur effectue l'opération inverse : aux distorsions et au bruit près, il fournit un signal identique à celui qui a été appliqué au modulateur.
- **Emetteur** : à partir du signal fourni par le modulateur, il élabore une onde de puissance et de fréquence telle qu'elle puisse véhiculer l'information à travers l'atmosphère.
- **Récepteur** : à partir de l'onde qu'il reçoit, il élabore un signal utilisable par le démodulateur.
- **Antenne** : les antennes à faisceaux hertziens sont des dispositifs de couplage entre une ligne de transmission et le milieu ambiant. A l'émission, elles assurent le rayonnement de l'onde électromagnétique qui les alimente. Les lignes de transmission reliant les émetteurs ou les récepteurs aux antennes sont des câbles coaxiaux ou, plus souvent, des guides d'ondes.

Les antennes des faisceaux hertziens sont de type parabolique (figure II.20); le boîtier de forme cylindrique dans lequel elles sont contenues (et auquel elles doivent leur surnom de « Casserole ») leur donne un aspect très différent des antennes « satellites ».comme le montre la figure ci-dessous le montage d'une antenne à faisceaux hertziens, nécessite d'autres dispositifs qui sont indispensables pour assurer la bonne transmission, on peut citer entre autre : le câble coaxial, l'unité radio ; tout l'ensemble constitue la partie extérieure qu'on nomme pratiquement ODU (Outdoor unit).

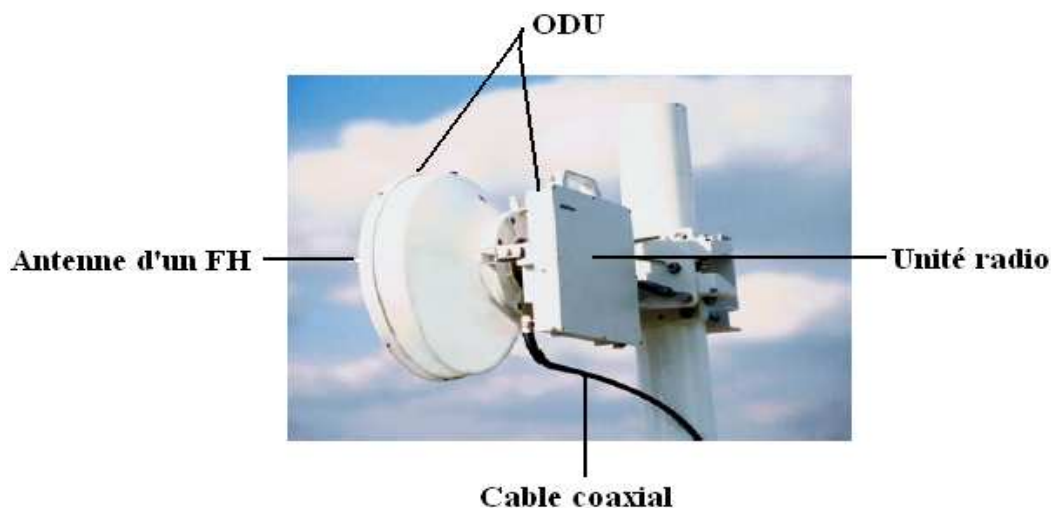


Figure II.20 : Antenne parabolique d'un faisceau hertzien

II.2.4 Principales fréquences des FH :

10k	160k	Radiotélégraphie
160k	1.6M	Radio Grandes Ondes, Petites ondes
1.6M	6M	Bande marine, radiotéléphone
6M	18M	Radio ondes courtes
27M		Radiocommande, C.B.
30M	41M	Radiotéléphone
72M		Radiocommande
156M	162M	VHF marine (bande A)
162M	216M	VHF télévision (bande III)
216M	470M	Radiotéléphone ...
470M	800M	UHF télévision (bande IV)
860M	900M	Faisceaux télécom
890M	960M	Téléphone GSM
1.37G	1.45G	Liaisons faibles débits privées
1.71G	1.88G	Téléphone DCS1800
1.88G	1.9G	Téléphone DECT
2.4G	2.5G	Réseaux locaux (RLAN)
3.5G		Boucle locale radio (télécom)
3.4G	8.4G	Satellites télécom
11G	12.6G	Satellites Télévision directe

23G	Faisceaux privés (maxi 12km)
26G	Boucle locale radio (télécom)
38G	Faisceaux privés (maxi 6km)

II.2.5 Les avantages et les inconvénients des FH :

II.2.5.1 Inconvénients des faisceaux hertziens :

- Problème de portée ;
- Absorption par les ions de l'atmosphère ;
- Obstacles dans la trajectoire (gouttes d'eau, poussière,...) ;
- Nécessite de ligne de vue directe ;
- Impact de la topologie de la zone concernée.

II.2.5.2 Avantages des faisceaux hertziens :

- Ils proposent des débits élevés : 140 Mbit/s ;
- Portée étendue et éventuellement extensible ;
- Gestion de la qualité de service ;
- Ils permettent d'atteindre des sites difficiles d'accès.

II.2.6 : Rôle du faisceau hertzien dans un réseau de téléphonie mobile :

La figure (II.21) décrit le principe de base d'un réseau de téléphonie mobile, et plus particulièrement Celui d'un réseau GSM dans lequel la transmission radio entre le téléphone portable et l'antenne-relais s'effectue dans une bande de fréquences proche de 900 MHz.

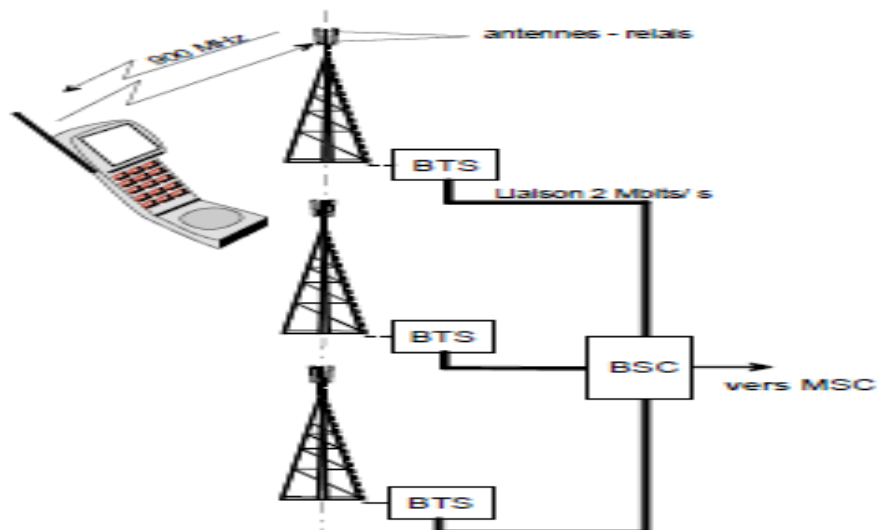


Figure II.21 : principe de base d'un réseau de téléphonie mobile

Les signaux émis par le portable sont captés par l'antenne-relais est sont « traités » par les équipements électroniques de la BTS (« Base Transmission System »). Chaque antenne-relais couvre une zone dont la taille dépend de la densité de trafic; en zone urbaine, le rayon peut être de quelques centaines de mètres (et même moins pour les microcellules); en zone peu peuplée, il est de quelques kilomètres.

L'ensemble des BTS d'une certaine zone géographique sont connectées à une « Base Station Contrôler » qui lui-même relié à un commutateur appelé MSC (« Mobile Switching Center »), lequel est connecté au réseau téléphonique, ainsi qu'aux réseaux de téléphonie mobile des opérateurs concurrents.

Seule la connexion entre la BTS et le BSC est concernée par la présente étude; il s'agit d'une liaison à haut débit (2 Mbits/s) qui peut être réalisée de deux manières :

- par un câble, c'est-à-dire une ligne louée au réseau.
- par un faisceau hertzien consistant en une transmission par onde radio à une fréquence très élevée (supérieure ou égale à 15 GHz dans le cas des opérateurs de téléphonie mobile)

Une transmission par câble représente un coût de location relativement important et nécessite la pose d'un câble, ce qui peut, dans certaines situations, impliquer un délai assez long. Un faisceau hertzien a un coût d'utilisation (maintenance et redevance) inférieur à celui d'une ligne louée.

Il faut toutefois signaler, qu'aux fréquences supérieures à quelques GHz, l'atténuation des obstacles est très importante (même le feuillage d'un arbre est suffisant pour perturber la transmission). Par conséquent, une liaison par faisceau hertzien ne peut être utilisée que si ses extrémités sont en vue directe l'une de l'autre; comme ceci n'est que très rarement le cas pour les BTS éloignées du BSC, la connexion peut être réalisée en plusieurs « sauts » comme illustré à la figure (II.22) sur laquelle les points A et B sont en vue directe, de même que B et C, ainsi que C et le BSC.

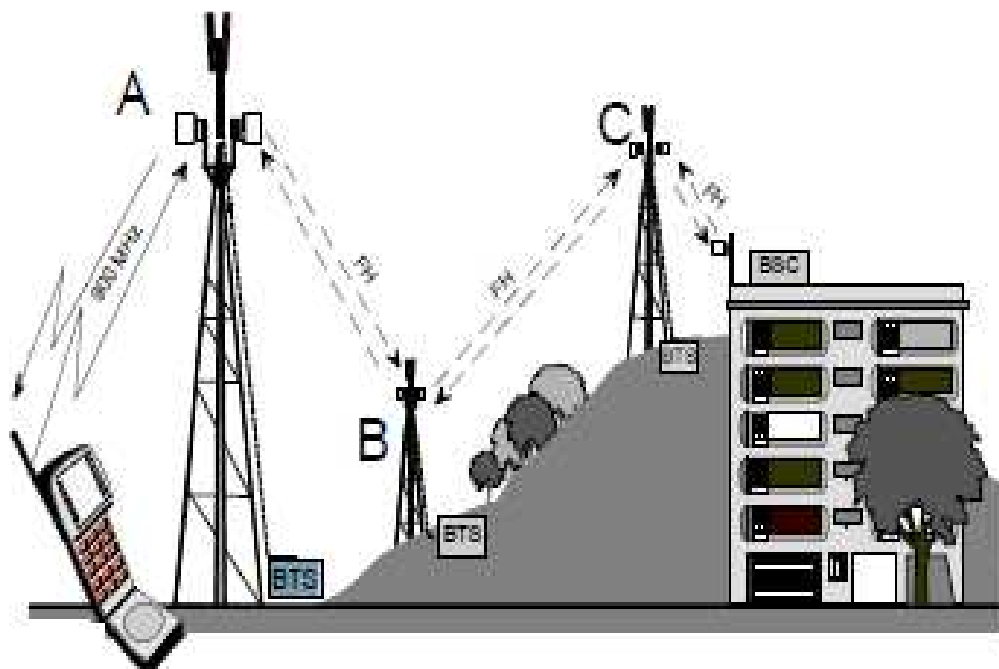


Figure II.22 : connexion en plusieurs bonds

II.2.7 Le câble coaxial :

Le câble coaxial est constitué de deux conducteurs concentriques. Le conducteur intérieur (Ame), qui est presque toujours en cuivre, est centré à l'aide d'un diélectrique assurant son isolation par rapport au conducteur extérieur. Ce dernier qui est relié à la masse peut être en cuivre ou en aluminium et se présente soit sous forme de tresse (figure ci-dessous) ou sous forme de ruban enroulé hélicoïdalement autour du diélectrique. Il sert comme une interconnexion entre l'émetteur/récepteur outdoor unit (ODU) et indoor unit (IDU).

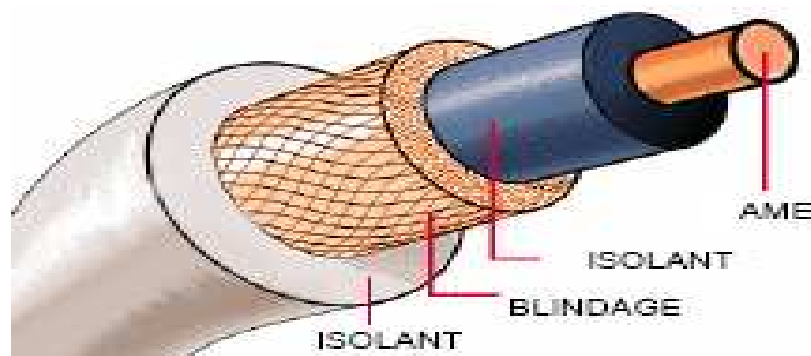


Figure II.23 : Structure d'un câble coaxial

II.2.7.1 Les différents Paramètres d'un câble coaxial :

En exploitant les symétries que présente le câble coaxial, il est possible de calculer ses paramètres. Ceux-ci sont donnés, en fonction de la géométrie du câble et des propriétés des matériaux qui le composent, par les expressions suivantes :



- **Impédance caractéristique :**

Terme représentant le rapport entre la tension et le courant dans un câble d'une longueur infinie ; dans le cas des câbles coaxiaux, on trouve trois classes principales d'impédances caractéristiques : 50 Ω, 75 Ω et 95 Ω.

$$Z_c = \frac{138,2}{\sqrt{\epsilon}} \log_{10} \frac{D}{d} \quad \text{en } \Omega$$

- **Capacité :**

Propriété du câble coaxial de stocker des charges électriques lorsqu'une différence de potentiel existe entre les deux conducteurs ; elle dépend de la géométrie du câble et de la nature de l'isolant.

$$C = \frac{24,12 \cdot \epsilon}{\log_{10} \frac{D}{d}} \quad \text{ou} \quad \frac{3326 \cdot \sqrt{\epsilon}}{Z_c} \quad \text{en PF/m}$$

- **Vitesse de propagation :**

C'est la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le diélectrique dont est constituée la ligne coaxiale ; cette vitesse dépend de la constante diélectrique et s'exprime par :

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \quad \text{en \% par rapport à la vitesse de la lumière.}$$

- **Atténuation :**

Ensemble de pertes qui apparaissent lors de la propagation d'un signal dans un câble coaxial. L'atténuation s'exprime de la façon suivante :

$$A = \frac{1,43 \cdot R}{Z_c} + 9,15 \cdot \sqrt{\epsilon} \cdot f \cdot F \quad \text{en dB/100 m}$$

Où :

$$\mathbf{R} = 25,4 \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \sqrt{f}$$

D : diamètre du diélectrique en mm.

d : diamètre du conducteur central en mm.

ε : constante diélectrique du matériau constituant le diélectrique.

Z_c : impédance caractéristique en Ω.

C : capacité en pF/m.

V_p : vitesse de propagation en % par rapport à la vitesse de la lumière.

A : atténuation en dB/100 m.

R : résistance équivalente du conducteur à la fréquence f.

F : facteur de pertes diélectriques.

f : fréquence en MHz.

II.2.7.2 Les différents types de câbles coaxiaux :

On distingue habituellement deux types de câbles coaxiaux :

a. Le 10Base2 – câble coaxial fin (appelé Thinnet) : est un câble de diamètre fin (6 mm).

Très flexible il peut être utilisé dans la majorité des réseaux. Il permet de transporter un signal sur une distance d'environ 185 mètre sans affaiblissement. Il fait partie de la famille des RG-58 dont l'impédance caractéristique est de 50 ohms. On distingue les différents types de câbles coaxiaux fins selon la partie centrale du câble (âme).

b. Le 10Base5 – câble coaxial épais (appelé Thick Ethernet) : est un câble blindé de plus gros diamètre (12 mm) et de 50 ohms d'impédance. Etant donné que son âme a un plus gros diamètre, la distance susceptible d'être parcourue par les signaux est grande, cela lui permet de transmettre sans affaiblissement des signaux sur une distance atteignant 500 mètre (sans réamplification du signal). Il peut faire circuler des débits allant jusqu'à 10 Mbit/s, il est donc employé très souvent comme câble principal pour relier des petits réseaux.

Les principaux types de câbles utilisés en téléphonie :

- Câble : 2,6/9,5 mm à 4 paires coaxiales, de bande passante maximale 12 MHz (2700 voies).
- Câble : 1,2/4,4 mm avec de 4 à 28 paires coaxiales, de bande passante maximale 12 MHz (2700 voies).

- Câble : 3,7/13,5 mm avec de 4 à 10 paires coaxiales, de bande passante maximale 60 MHz (10 800 voies).

II.2.7.3 Les différentes caractéristiques de la transmission du câble coaxial :

Bande passante	Elevée (centaine de MHz)
Atténuation	Faible, mais augmente avec la fréquence
Sensibilité à la diaphonie et aux brouillages	Faible
Confidentialité	Correcte
Cout du support	Elevé
Cout des interfaces	Faible
Cout des installations	Elevé

Tableau II.1 : représentation des caractéristiques de la transmission du câble coaxial

Chapitre III

*Etude et application du
logiciel de maintenance
Mini-Link*

III. Le Mini-Link :

Le MINI-LINK est un équipement de transmission utilisé dans le GSM pour le maintien, l'acheminement et la gestion du trafic des différents sites de la liaison radio en FH pour la transmission numérique. Il se compose de deux parties. L'une est matériel qui constitue l'équipement de transmission ; l'autre qui constitue le logiciel, qu'on peut installer sur un PC afin de configurer les éléments de la partie matériel. Le MINI-LINK peut être configuré pour répondre à toutes les exigences du réseau concernant la capacité et la gamme.

Il existe différents types de MINI-LINK et cela suivant leurs capacités de transmission et de leurs structures.

III.1 Le Mini-Link E :

Le MINI-LINK E est un équipement de transmission radio basé sur la technique PDH. Il est localisé dans des différents sites et connecté par des ondes radio ou par des lignes fixes, la figure suivante illustre la structure d'un réseau Mini-Link E :

III.1.1 Le terminal Mini-Link E : Un terminal Mini-Link E est une face d'une liaison FH entre deux sites, il peut être configuré selon deux cas : liaison protégée 1+1 ou liaison non protégée 1+0, il est composé de deux parties principale.



Figure III.1: exemple d'un terminal

➤ La partie extérieure (ODU : Outdoor unit) :

Elle est constituée d'une unité radio RAU (Radio Unit) et d'une antenne. L'unité radio se compose de l'émetteur et de récepteur radio. L'émetteur assure la modulation, la transposition en radiofréquence et l'amplification de puissance.

Le récepteur réalise la transposition de fréquence inverse, la conversion analogique numérique et le calcul de l'information d'intensité du signal reçu.

Le câble coaxial relie l'unité radio avec une antenne qui transmet l'information.

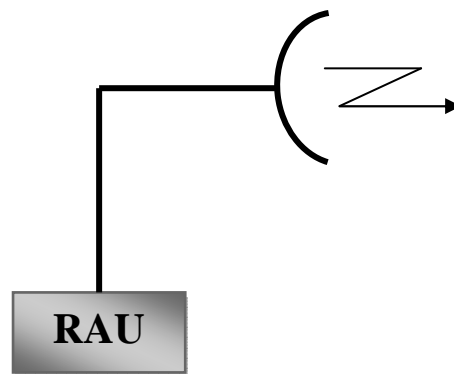


Figure III.2 : Structure de la partie extérieure (ODU)

➤ **La partie intérieure (IDU : Indoor unit) :**

La partie intérieure de MINI-LINK, on l'appelle AM (Access Module). Un AM peut contenir les unités suivantes :

a. MMU_s (Modem Unit) : représente la partie intérieure de l'interface radio RAU. Un MMU est Prescrit pour une RAU. L' MMU a quatre versions différentes du trafic:

1. MMU 2 x 2 : pour 2x2Mbps, il contient un modulateur/démodulateur pour deux signaux de 2 Mbits/s.

2. MMU 4 x 2/8 : L' MMU 4x2/8 contient un modulateur/démodulateur pour un signal de 8Mbps et un 2/8 multiplexeur/démultiplexeur lequel convertit quatre signaux de 2Mbps en un signal de 8Mbps et vice versa. Ce MMU peut transmettre/recevoir quatre signaux de 2Mbps ou un signal de 8Mbps.

3. MMU 2 x 8 : L' MMU 2x8 contient un modulateur/démodulateur pour deux signaux de 8Mbps, il peut être 2x8Mbps sans SMU ou 8x2Mbps avec SMU;

4. MMU 34 + 2 : L'MMU 34+2 module et démodule un signal à 34Mbps plus un signal additionnel de 2Mbps, il peut être 34Mbps et 2Mbps sans SMU ou 17x2Mbps avec SMU.

Les quatre versions de l'MMU sont représentées par les figures ci-après :

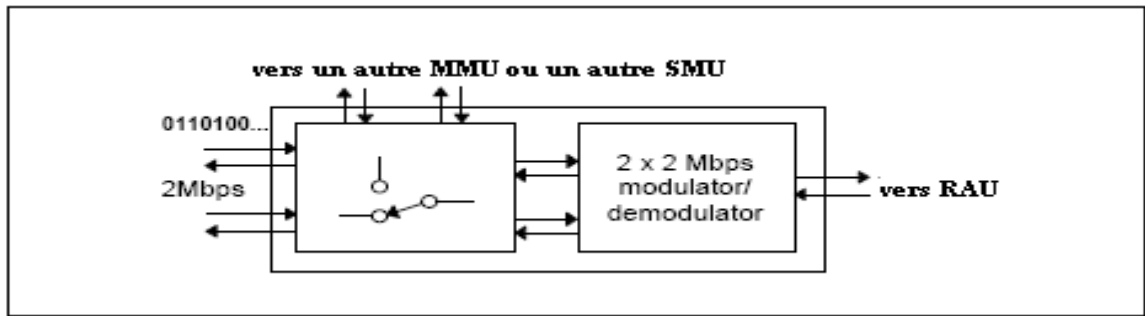


Figure III.3 : MMU 2x2

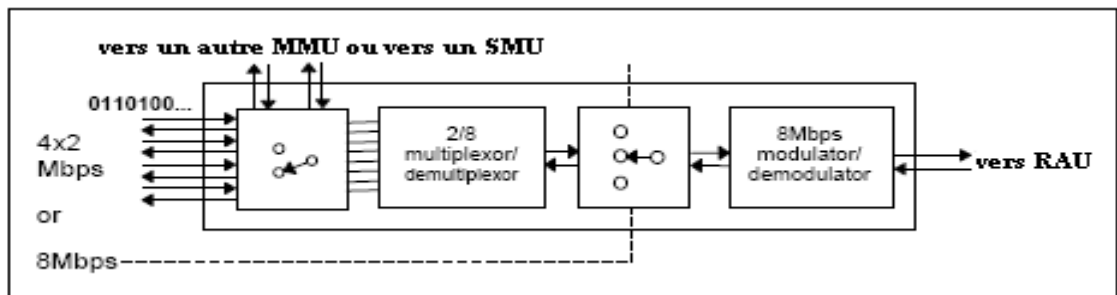


Figure III.4 : MMU 4x2

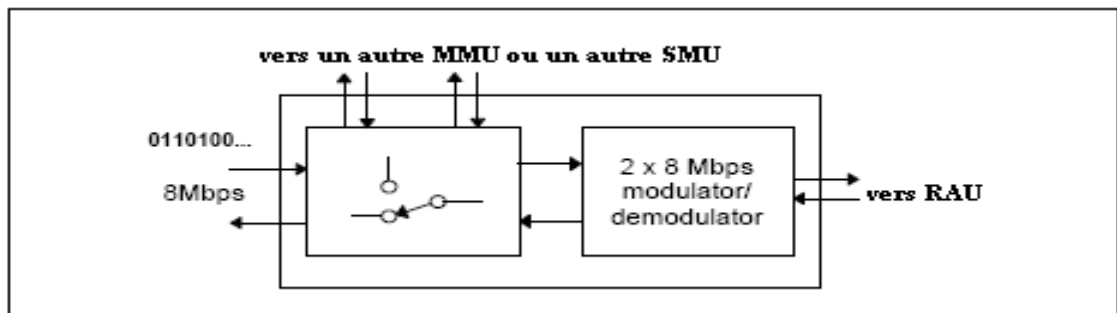


Figure III.5 : MMU 8x2

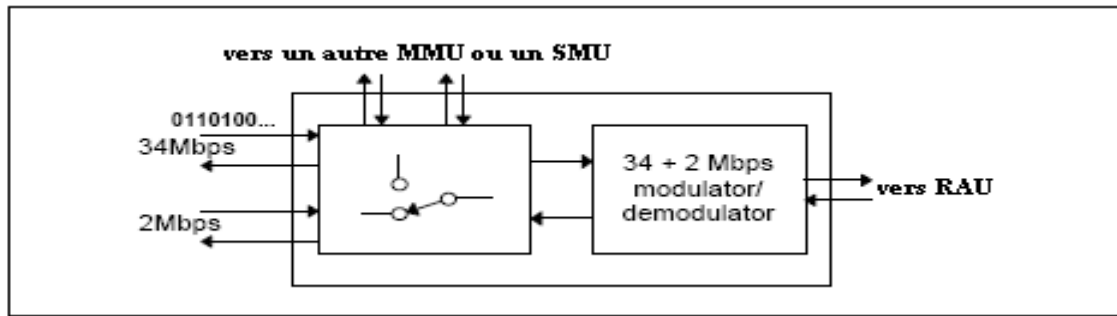


Figure III.6 : MMU 34+2

b. SMU (Switch Multiplexer Unit) : ce module a pour rôle :

- De faire la commutation dans une protection 1 + 1 entre deux modules MMU.
- Multiplexer ou démultiplexeur un signal en 2Mbit/s, par exemple pour le transmettre ou le recevoir à travers un module MMU. L'SMU a trois versions différentes :

1. SMU Switch (SW): L'SMU Switch contient le module sélection d'MMU (1+1). Il peut router Quatre affluents à 2Mbps, un à 8Mbps ou un à 34Mbps et un canal de trafic 2Mbps. Son schéma de principe est le suivant :

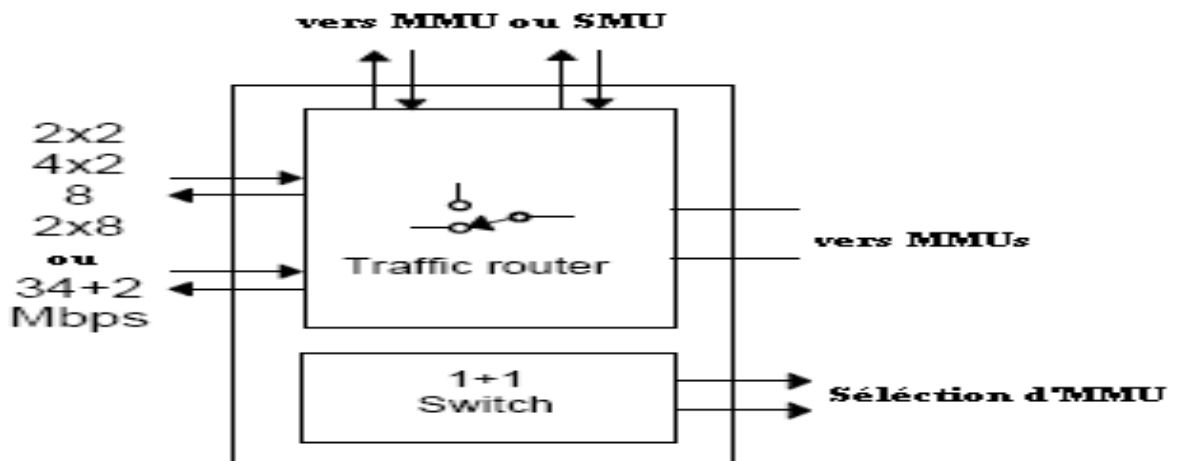


Figure III.7: SMU Switch (SW)

2. **SMU 8x2** : L' SMU 8x2 contient deux 2/8Mbps multiplexeurs/démultiplexeurs qui sont indépendants et le module de sélection d'MMU (1+1). Il peut router jusqu'à huit affluents à 2Mbps. Son schéma de principe est donné par la figure suivante :

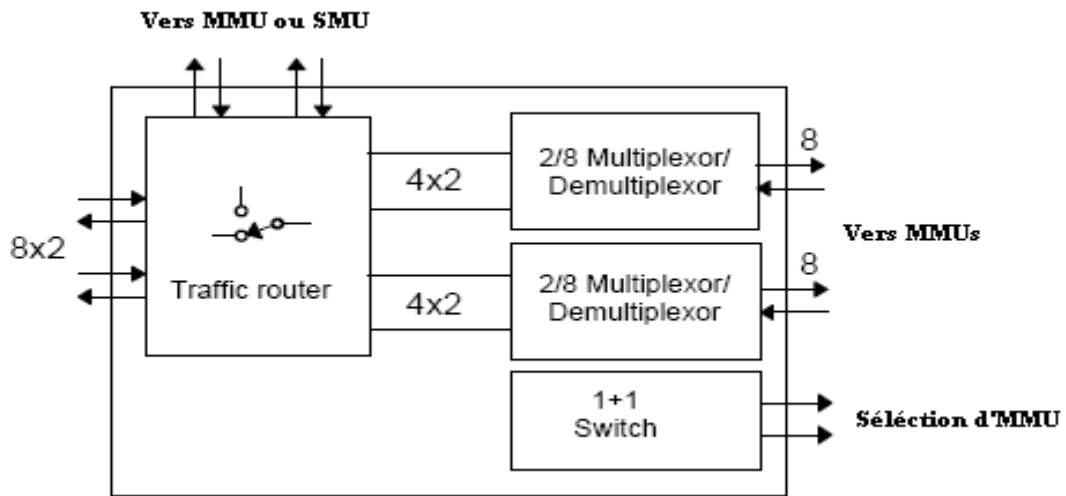


Figure III.8 : SMU 8x2

3. **SMU 16x2** : L' SMU 16x2 peut traiter jusqu'à seize affluents à 2Mbps. L'unité contient quatre 2/8Mbps multiplexeurs/démultiplexeurs qui sont indépendants, un 8/34Mbps multiplexeur/démultiplexeur et un module de sélection d'MMU (1+1). Il peut router seize affluents à 2Mbps. Son schéma de principe est donné par la figure(10) :

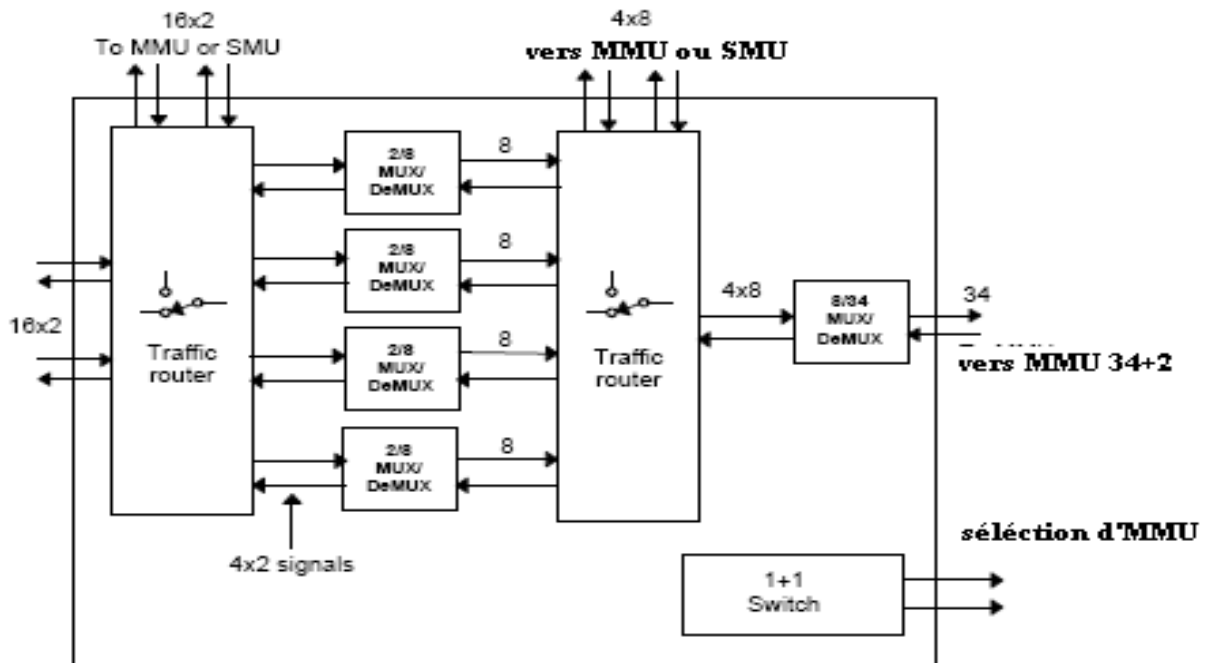


Figure III.9 : SMU 16x2

c. SAU (Service Access Unit) :

- Ce module fournit les canaux de services.
- Permet l'accès au **EAU** (External Alarme Channel) pour cascader les AM dans un même site afin de pouvoir les manager.
- Permet l'accès au **RAL** (Remote Alarme Channels) pour relier un site distant en 64Kbit/s à travers un lien E₁.
- Permet aussi l'interconnexion de Mini-Link E au système de management NETMAN via le port O&M.
- Fournit un canal de service analogique (ASC) permettant la communication entre deux Mini-Link E en utilisant le téléphone de service.

III.1.2 Les différentes liaisons du Mini-Link E :

- La liaison 1+0 (un MMU et une antenne par site) :

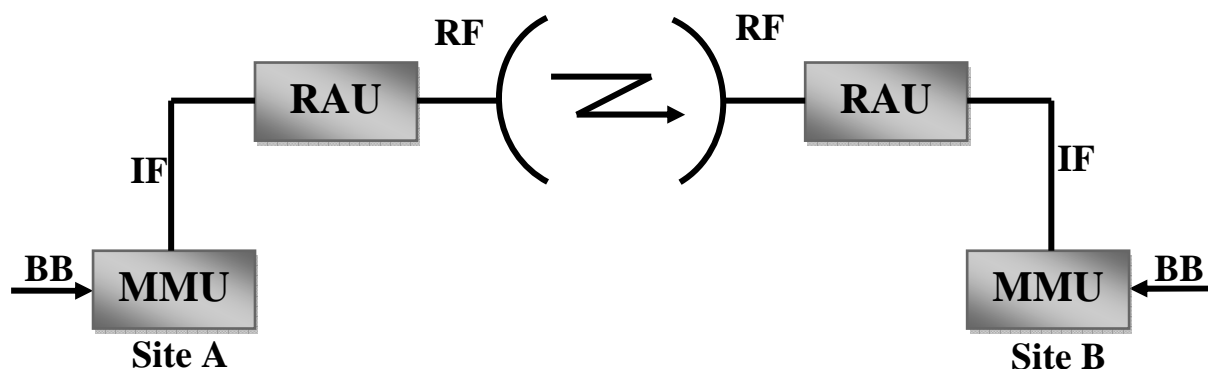


Figure III.10 : représentation d'une liaison 1+0

Il s'agit d'une liaison simple avec un équipement comportant un seul MMU, une RAU et une seule antenne, vu que la transmission se fait sur une seule voie, la liaison présente un inconvénient majeur car si on a une défaillance, l'équipe de maintenance est obligée de se rendre sur le site pour la réparer. C'est pour cela qu'elle est utilisée dans des zones urbaines facile à atteindre.

- La liaison secourue 1+1 (2 MMU et une antenne par site) :

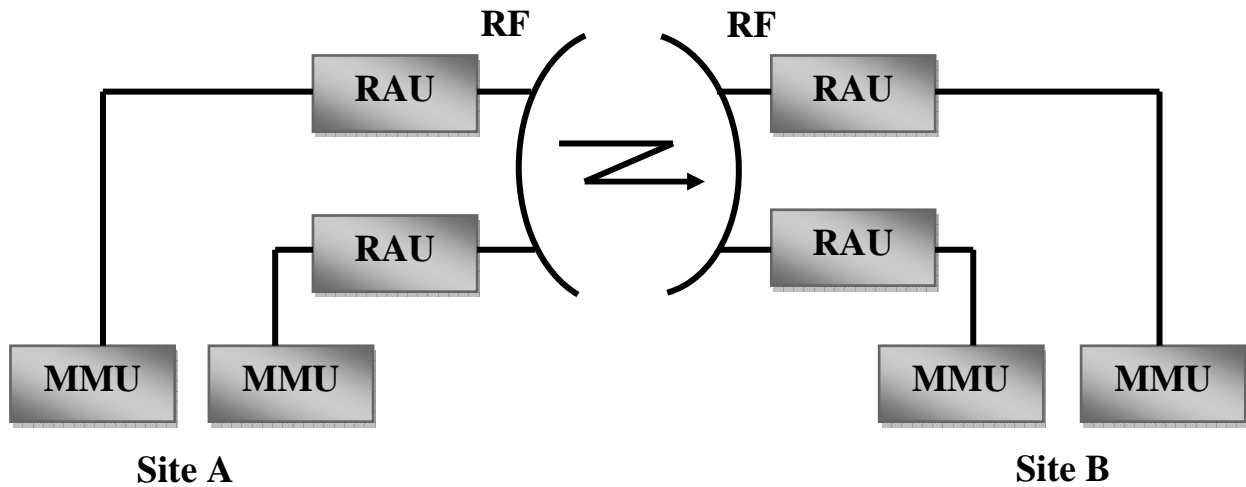


Figure III.11 : représentation d'une liaison secourue 1+1

Dans ce cas il s'agit d'un deuxième canal distinct à la liaison. En cas de panne, l'un des deux chemins reste toujours disponible et permet le dépannage sans interruption de la liaison. L'équipement choisit automatiquement la voie par laquelle le signal est meilleur, dans notre cas il choisit la voie alignement.

- La liaison secourue 1+1 (2 MMU_s et 2 Antennes par site) : WORK STBY

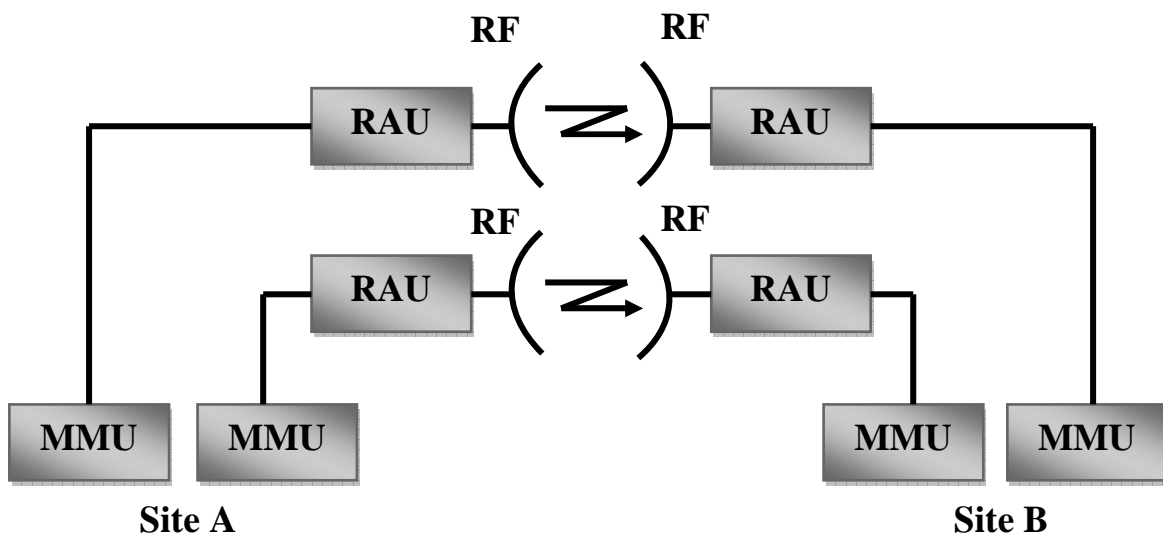


Figure III.12 : Représentation d'une liaison 1+1 WORK STBY

Il s'agit d'un deuxième canal distinct à la liaison. A l'émission en cas de défaillance de l'émetteur, on bascule automatiquement vers un deuxième émetteur de secours, celui-ci donc inactif la majorité du temps. A la réception, les deux récepteurs reçoivent. L'équipement choisit automatiquement la voie alignement, c'est la où le signal est meilleur. Toujours en cas de panne, l'un des deux chemins reste disponible et permet le dépannage sans interruption de la liaison.

➤ **La liaison 1+1 (2 MMU et 2 ANTENNES par site) : HOT Stand-by**

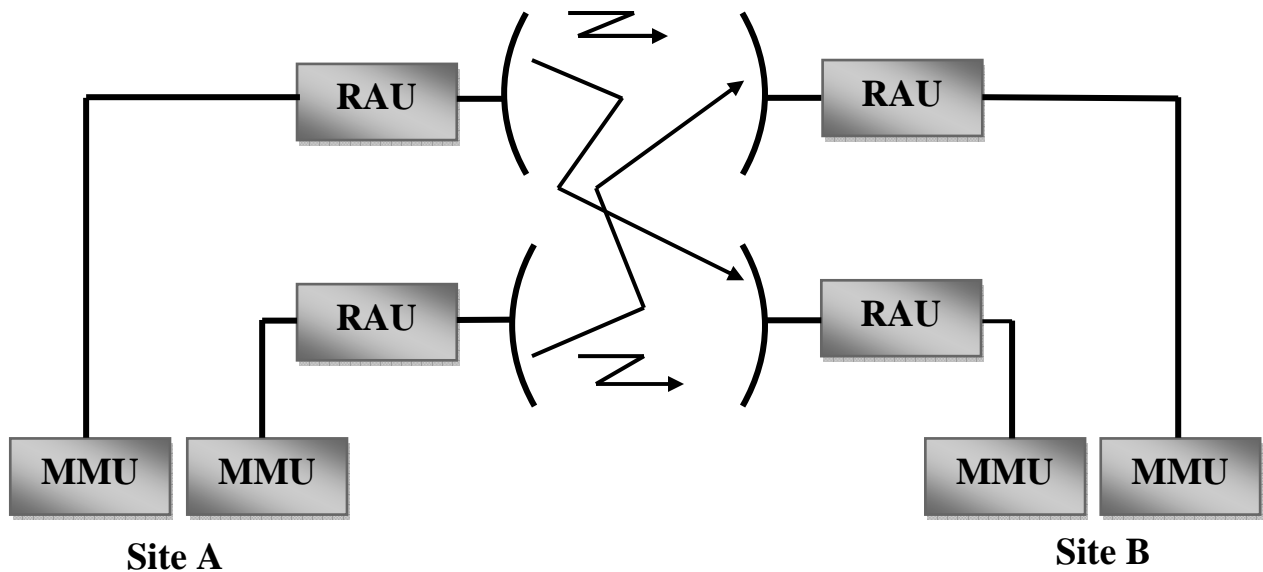


Figure III.13 : représentation d'une liaison 1+1 HOT Stand-by

Il est possible d'opter pour une configuration d'équipement dite de (Hot-Stand-by), afin de pallier les éventuelles défaillances de l'émetteur, on bascule automatiquement sur un 2^{ème} émetteur, de secours. Celui-ci est souvent inactif.

En réception les deux récepteurs reçoivent, l'équipement choisit automatiquement la voie par la quelle le signal est le meilleur. En cas de panne, l'un des deux chemins reste toujours disponible et permet le dépannage sans interruption de la liaison.

III.2 Le Mini-Link HC (High Capacity): Est un équipement radio pour la transmission de la voie et de donnée à de haute capacité (155Mb/s) baser sur la technique SDH.

❖ **Les différentes unités d'un AM dans un Mini-Link HC :**

Dans un Mini-Link HC on trouve généralement deux modules principaux :

1. Le MMU qui peut aller dans ce cas jusqu'à 155Mbit/s c.à.d. 63E₁
2. Le module TRU (Terminal Radio Unit) qui remplace le SMU.

III.3 Le Net Man : Est un logiciel qui nous permet après l'avoir installé sur PC de configurer les différents éléments du réseau, ce qui permet de faire la maintenance et la supervision du réseau avec l'option « control operator ».

III.4 La supervision et la maintenance de Mini-Link :

La supervision et la maintenance du réseau (Mini-Link) se fait à laide d'un système de management Net Man.

Pour la partie « supervision », le « control operator » nous donne toutes les informations qui concernent les éléments du réseau NE : état de NE normal ou en alarme, son type de protection 1+0 ou 1+1, le degré de gravite de l'alarme Major ou Minor, l'historique des alarmes ainsi qu'un **HELP** associée aux alarmes et qui donne leurs natures.

Pour ce qui concerne la maintenance, le « Control Operator » est doté de plusieurs commandes permettant le test de différents blocs des différentes liaisons tel que la commande « Loop ».

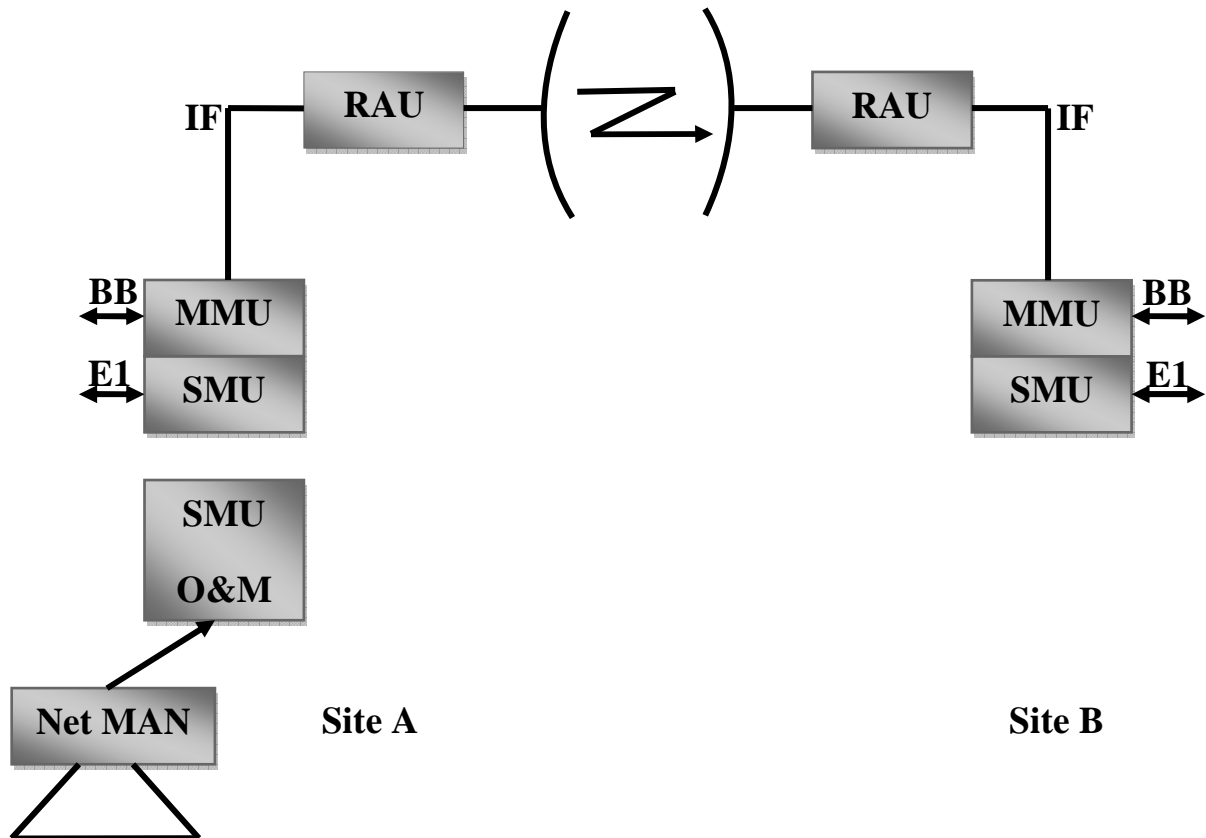


Figure III.14 : Représentation d'une liaison 1+0 reliée au Net Man

- ❖ On peut à partir du site A, là où il y a le Net MAN, faire plusieurs types de **LOOPS** afin de pouvoir localiser le problème dans une liaison.

Exemples :

- LOOP E_1 dans le site A, c.à.d. qu'on est entrain de tester la liaison jusqu'à l'entrée de module SMU.
- LOOP BB (Bonde Base) dans le site A, c.à.d. qu'on est entrain de tester la liaison jusqu'à l'entrée de module MMU.
- LOOP IF (intermediate frequency) dans le site A, c.à.d. qu'on est entrain de tester la liaison jusqu'à l'antenne.
- LOOP E_1 dans le site B, c.à.d. qu'on est entrain de tester toute la liaison.
- LOOP BB (Bande Base) dans le site B, c.à.d. qu'on est entrain de tester la liaison jusqu'au module MMU du site B.

Remarque : Toutes les boucles LOOPS peuvent se faire dans les deux sens à l'aide de la commande « Rev.LOOP » qui sert à inverser le sens de chaque LOOP.

❖ **Le control Operator :**

Dans ce qui suit, on va voir les différentes fenêtres de « Control Operator » qui nous aident à superviser le Mini-Link, visualiser ces alarmes et faire sa maintenance.

La fenêtre apparente quand on lance le « Control Operator », est représenté par la figure (Fig. III.15). Cette fenêtre nous montre un réseau en fonctionnement normal.

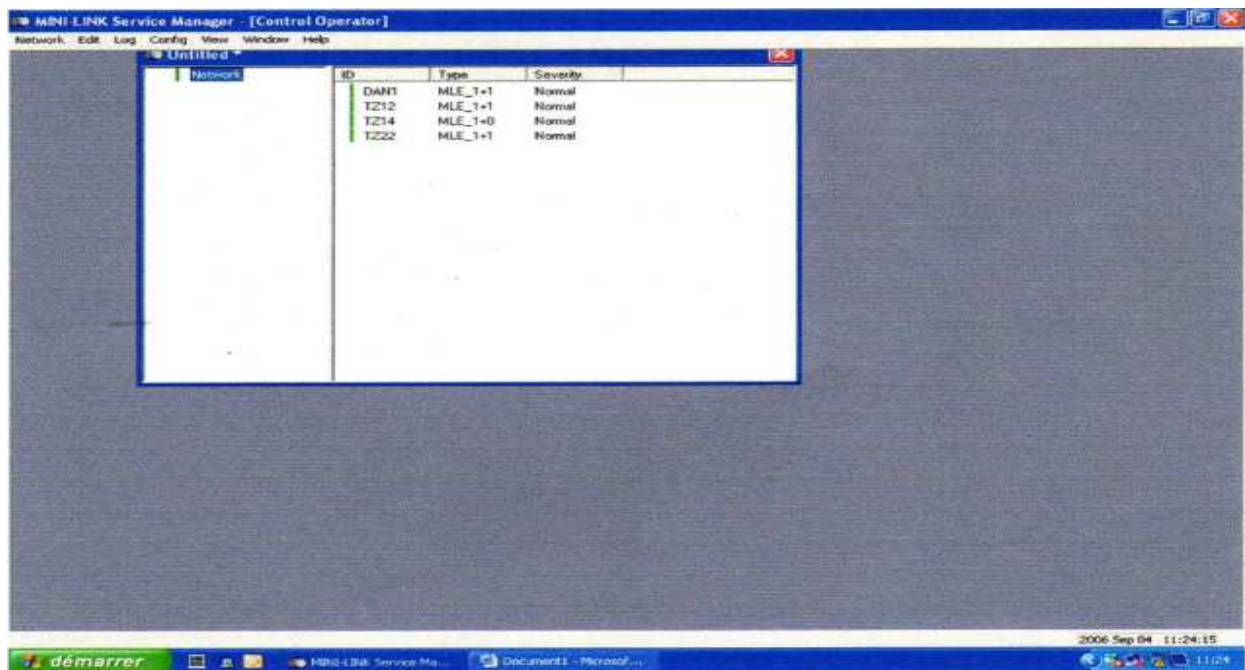


Figure III.15 : fenêtre de direction de Mini- Link

Quand on a :

Le signe (+) devant signifie qu'il y a d'autres sites qui sont raccordés à chacun de ces sites et si on clique dessus on peut les visualiser.

En cliquant sur le nom du site pour avoir plus d'information tel que le type du Mini-Link, l'état normal ou on alarme...etc.

Dans notre cas, on a une liaison 1+0 c.à.d. on a un seul module MMU connecté à un seul RAU, le rôle de l'SMU qui figure dans le schéma est de multiplexer sans switcher. Le site est à l'état normal.

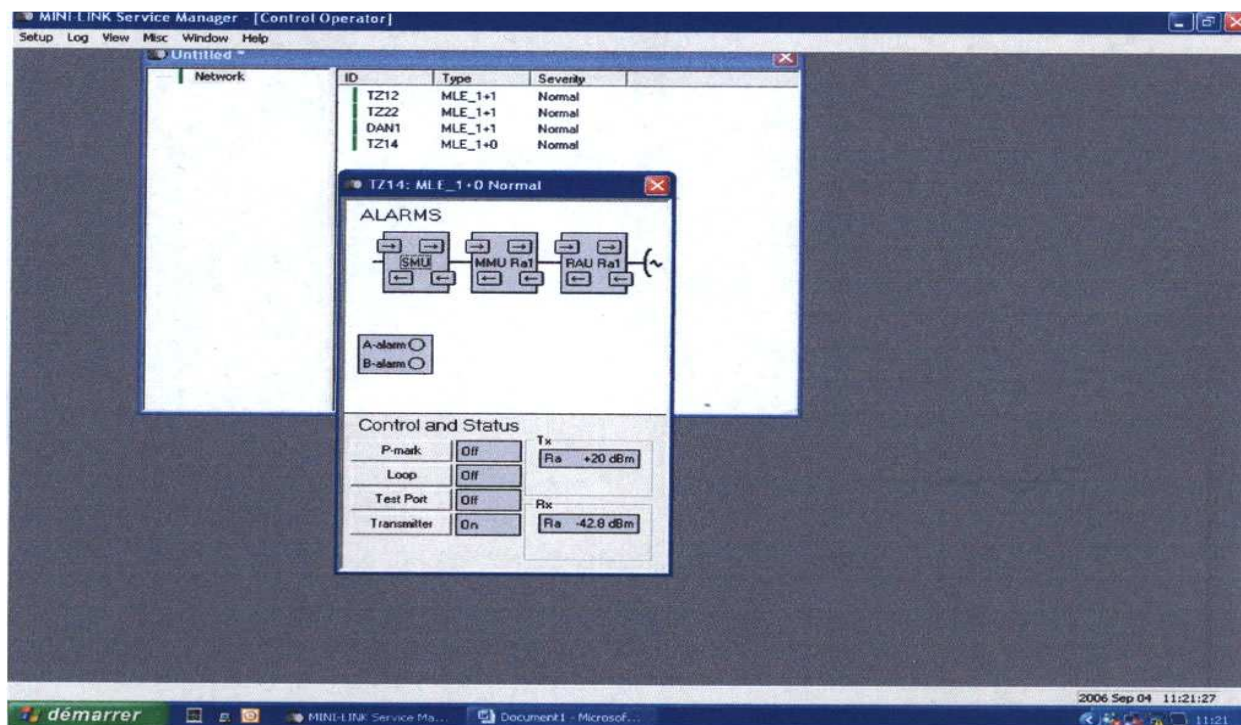


Figure III.16 : liaison 1+0

Exemple d'un autre site avec protection :

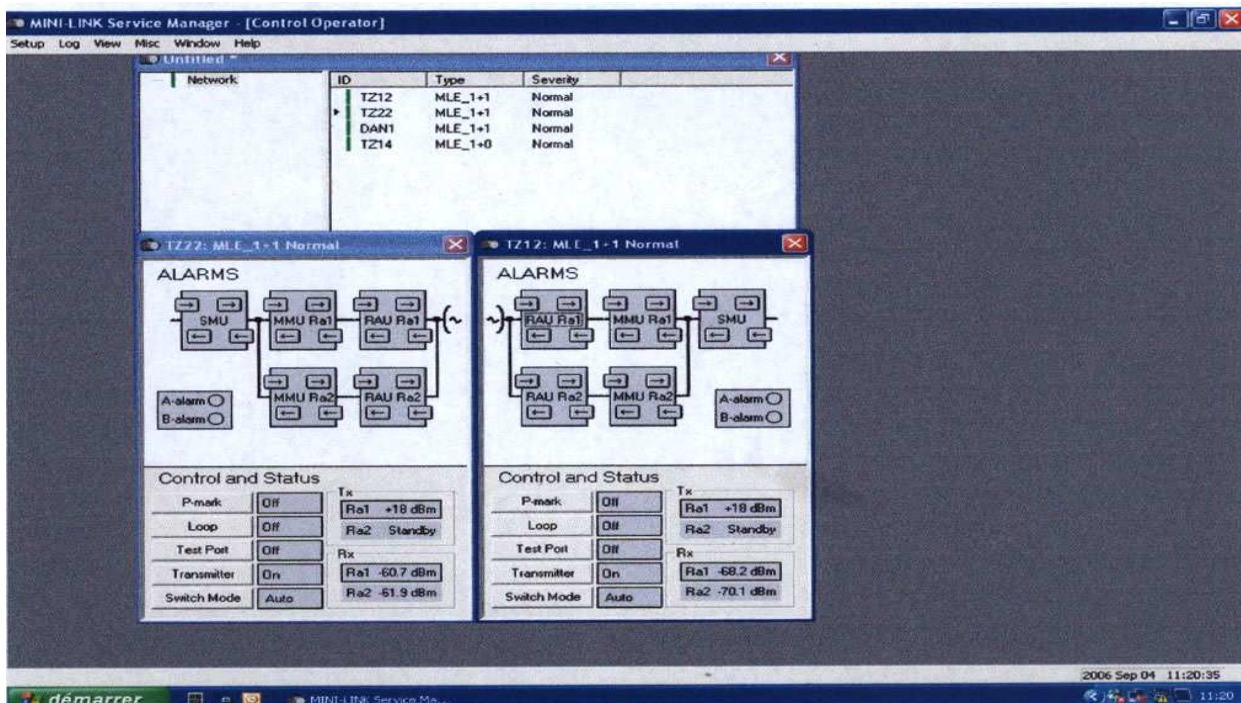


Figure III.17 : liaison 1+1

Signification des étiquettes de la fenêtre « Control and status » :

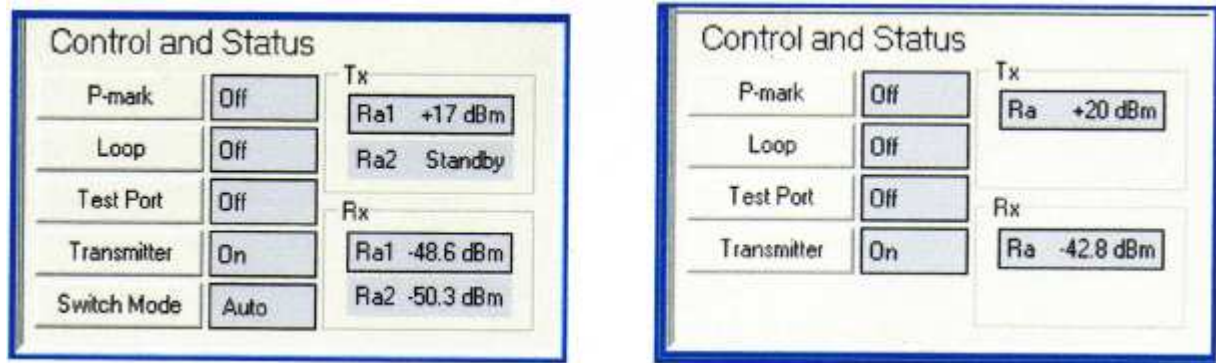


Figure III.18 : fenêtre de « control and status » du système secouru 1+1 et non secouru 1+0

- **LOOP (Boucle)** : si on clique sur loop une fenêtre s'ouvre, dans laquelle on peut choisir ou placer la boucle.
- **TX** : représente les niveaux de puissance de transmission des radios en dBm.
- **RX** : représente les niveaux de puissance de réception des radios en dBm.
- **Transmitter (émetteur)** : on peut le mettre à l'arrêt (off) ou en marche (on).
- **Switch mode (mode de commutation)** : on peut choisir le mode de commutation manuelle ou automatique. Ce commutateur est disponible seulement pour les systèmes secourus 1+1. On peut comparer à chaque fois le niveau d'émission et de réception de site par rapport à la valeur normale, en cliquant sur SETUP ——— HOP.

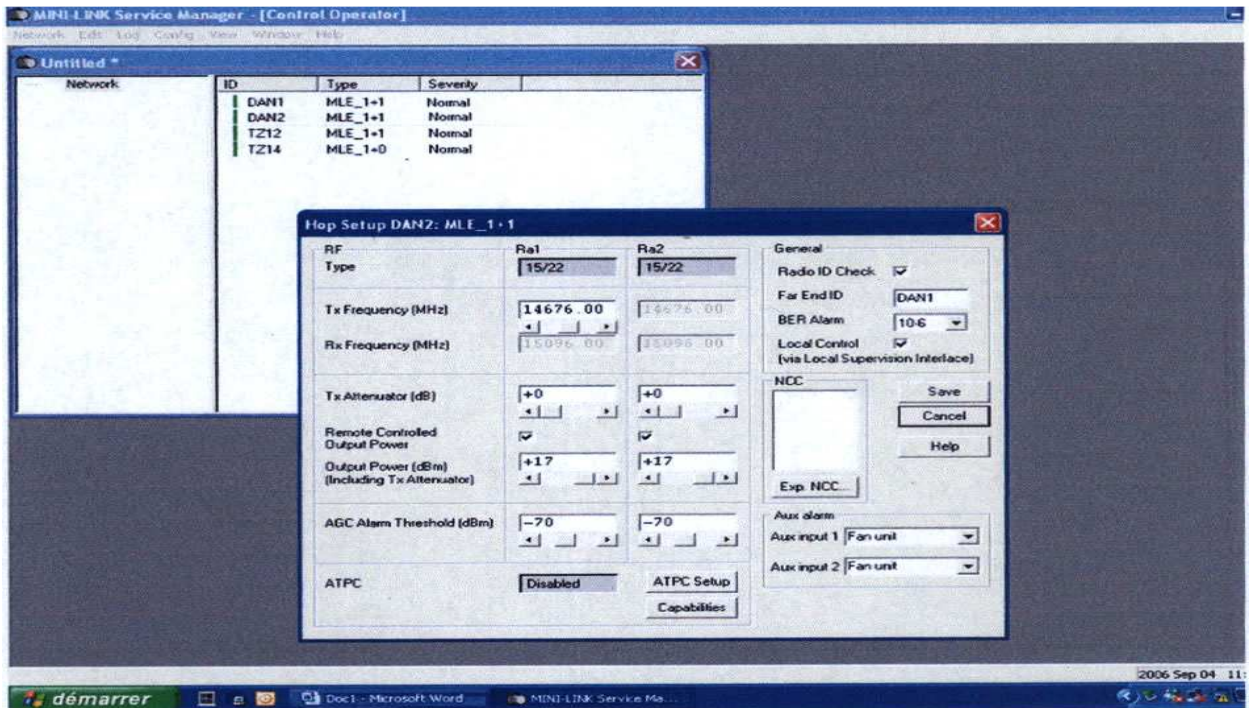


Figure III.19 : comparaison du niveau d'émission et de réception

Dans notre cas, on est dans les normes car on reçoit à -48,6 dbm et -50,3 dbm alors que le seuil est de -70 dbm.

Signalisation des étiquettes sur la fenêtre « Hop Setup »

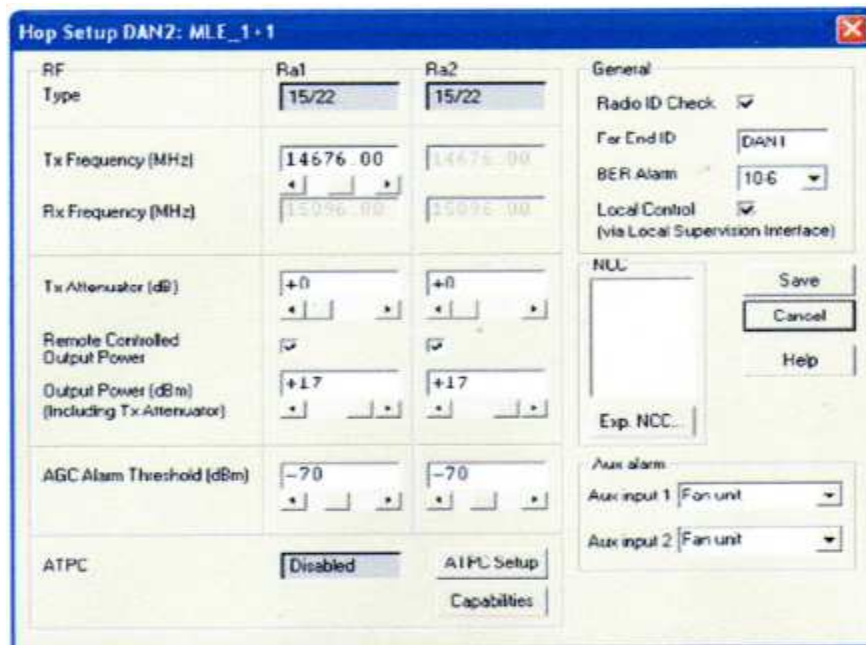


Figure III.20 : Signalisation des étiquettes

- **RF** (Radio Fréquence)
- **TX Frequency** (fréquence de TX) : indique la valeur de la fréquence à laquelle se fait la transmission.
- **RX Frequency** (Fréquence de TR) : indique la valeur de la fréquence à laquelle se fait la réception.
- **Out put power** (puissance de sortie) : indique la valeur de la puissance de sortie des radios.
- **AGC Alarm threshold** : indique le seuil de puissance pour lequel l'alarme est déclenchée. Ce seuil de puissance est de -70 dbm.
- **ATPC** (Automatic Transmit Power Control) : de la on peut choisir l'option automatique pour le contrôle de la puissance de transmission.
- **Far-end ID** : indique l'identité du site de l'autre extrémité de la liaison, qui est dans notre cas DAN1.
- **BER Alarm** : indique le seuil du nombre de bits en erreur par rapport au nombre total de bits reçus pour lequel l'alarme est active. Dans notre cas il est de 10^{-6} .
- Afin de superviser le trafic on clique sur le bouton droit de la souris sur le site puis sur Traffic Setup. Dans notre cas on a utilisé 16 MIC multiplexer en 34 Mbps.

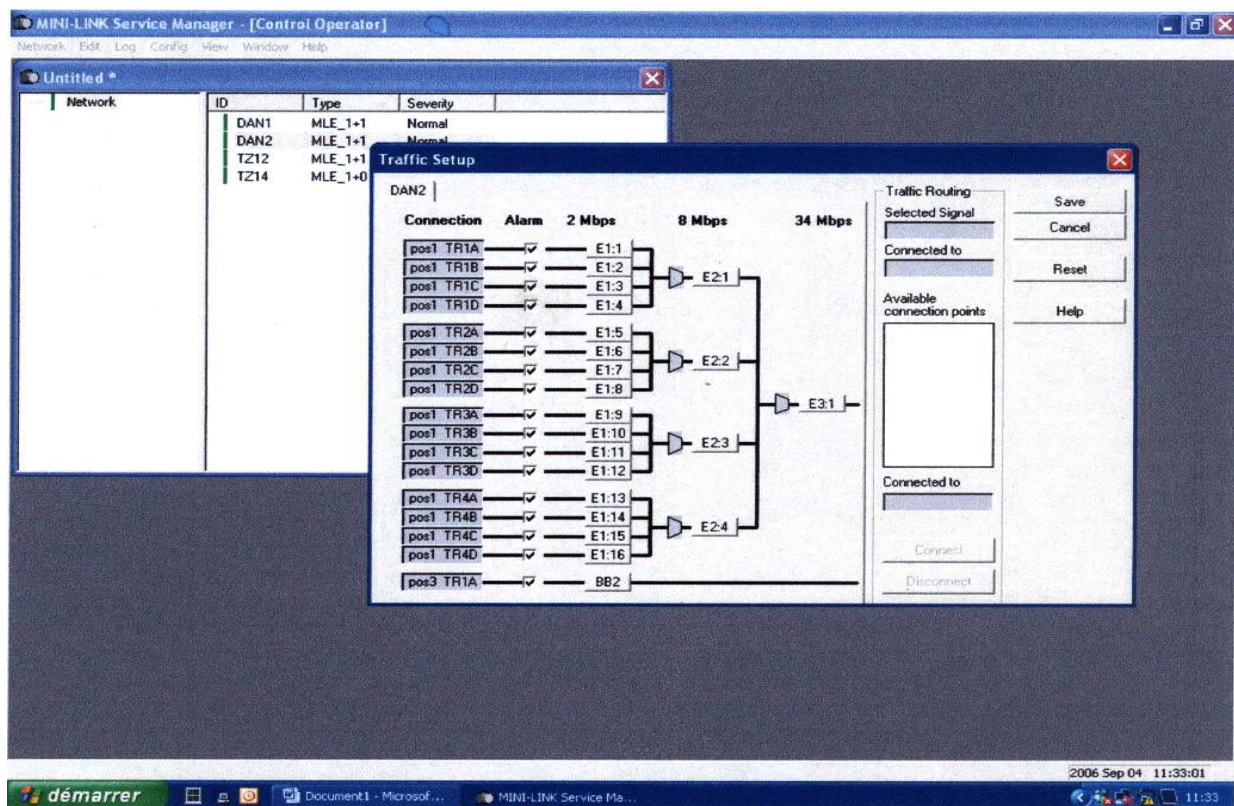


Figure III.21 : supervision du trafic

On peut aussi faire des boucles de test en cliquant sur la commande LOOP, on verra une fenêtre qui s'ouvre indiquant les différents types de boucles, tel que les boucles E₁, BB, IF, RF. Dans notre cas on a coché le MicE_{1.3} ce qui signifie qu'on teste la liaison jusqu'à l'entrée de module SMU.

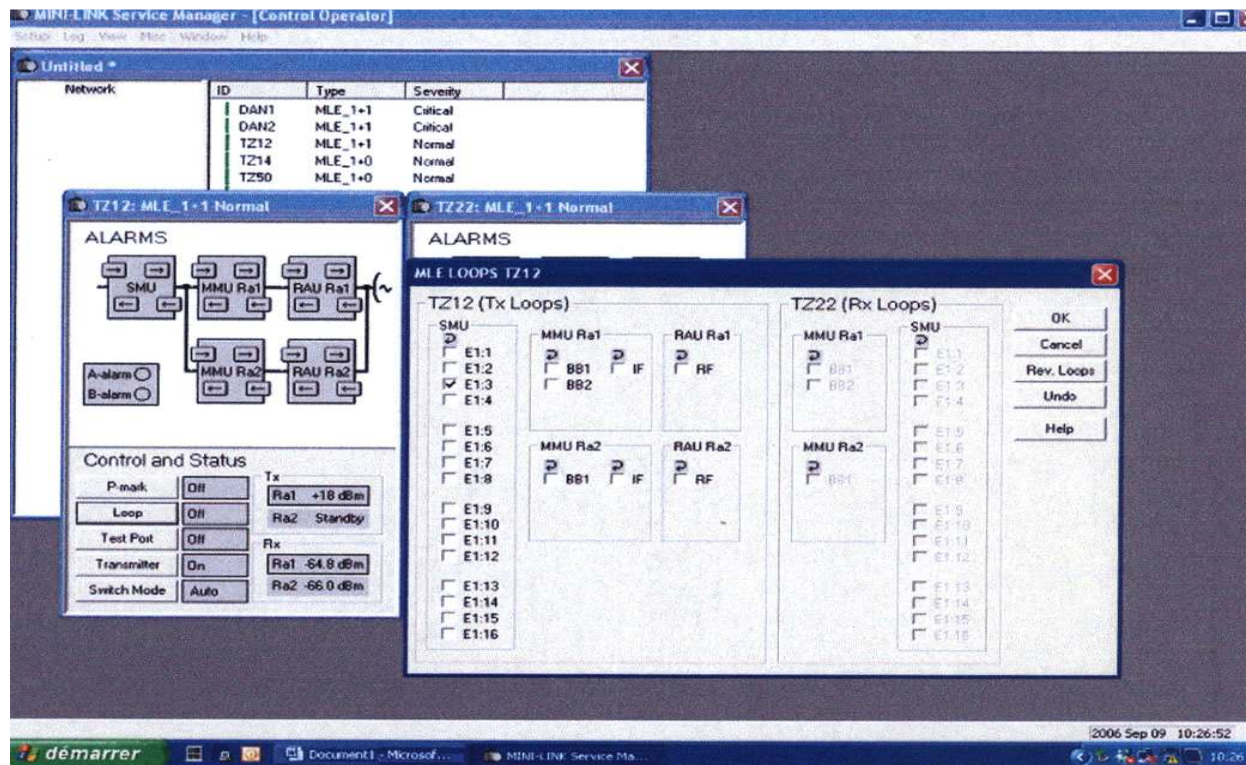


Figure III.22 : Test des liaisons

La gravité des alarmes :

Le tableau suivant décrit les symboles qui sont employés pour indiquer la gravité de l'alarme.

Symbole	Gravité	Description
	Minor	L'erreur n'affecte pas le trafic
	Major	L'erreur n'affecte pas le trafic actuel (par exemple, alarme dans une radio de secours)
	Critique	Le trafic est dérangé

Exemple d'un site (1+0) en alarme Major (voir TZ31) :

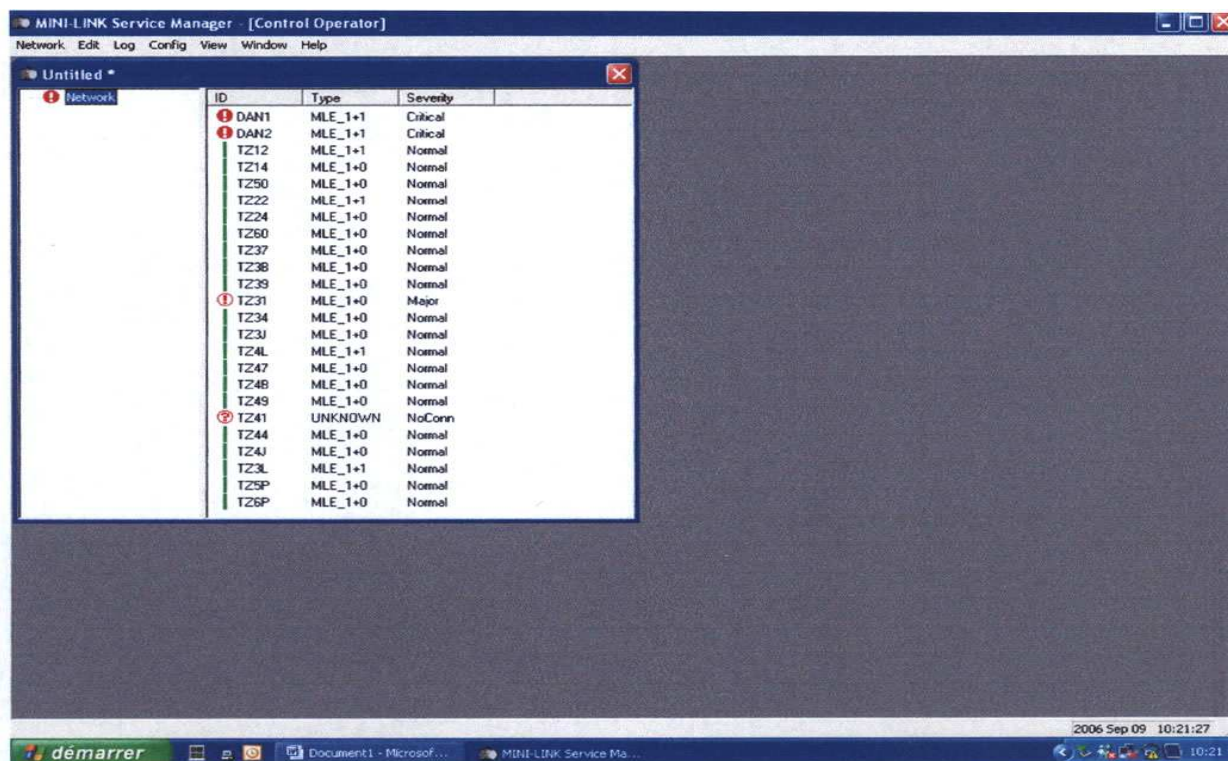


Figure III.23 : Exemple d'une alarme majeure

Le signe ? Sur le site TZ41 signifie qu'on ne voit pas le site. (La connexion physique n'est pas fonctionnelle).

On clique sur le nom du site (TZ31) pour voir l'élément qui est en alarme.

L'élément qui est en alarme est indiqué en rouge ; dans notre cas c'est le module MMU.

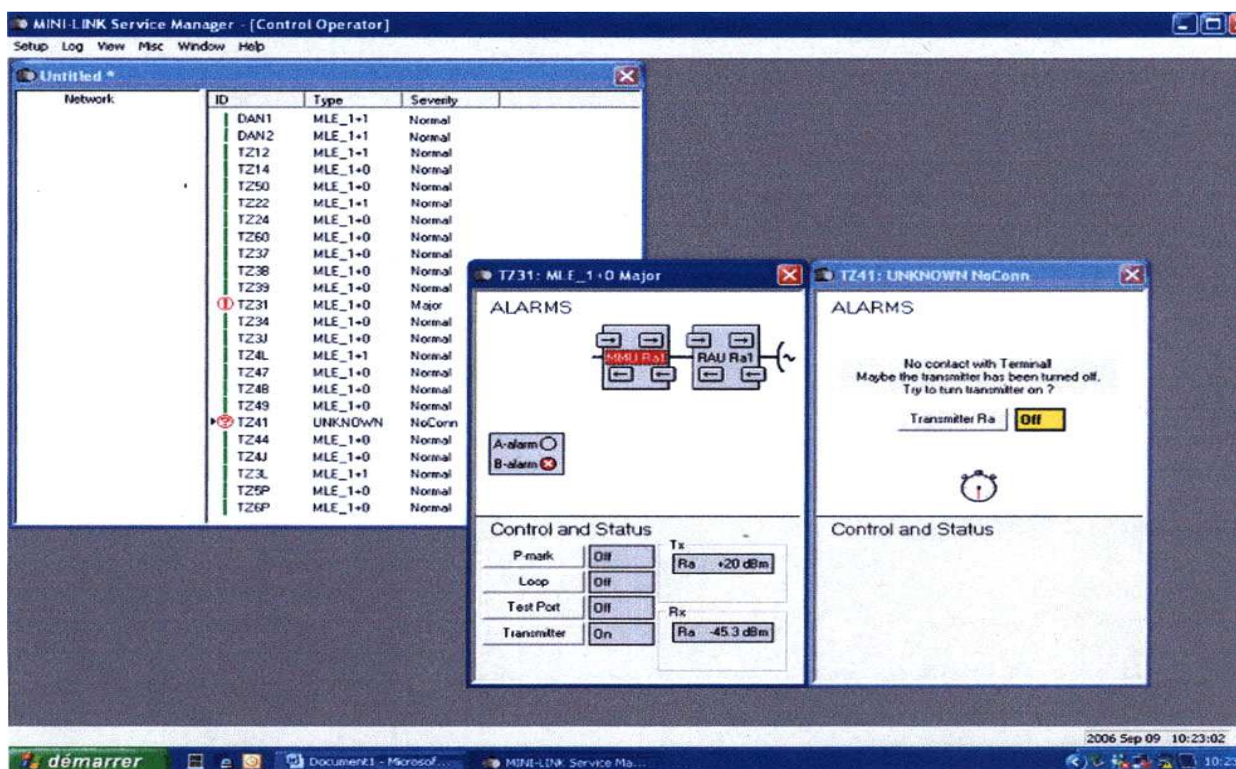


Figure III.24 : Indication de l’alarme

La visualisation de l’alarme se fait on double cliquant sur le module MMU :

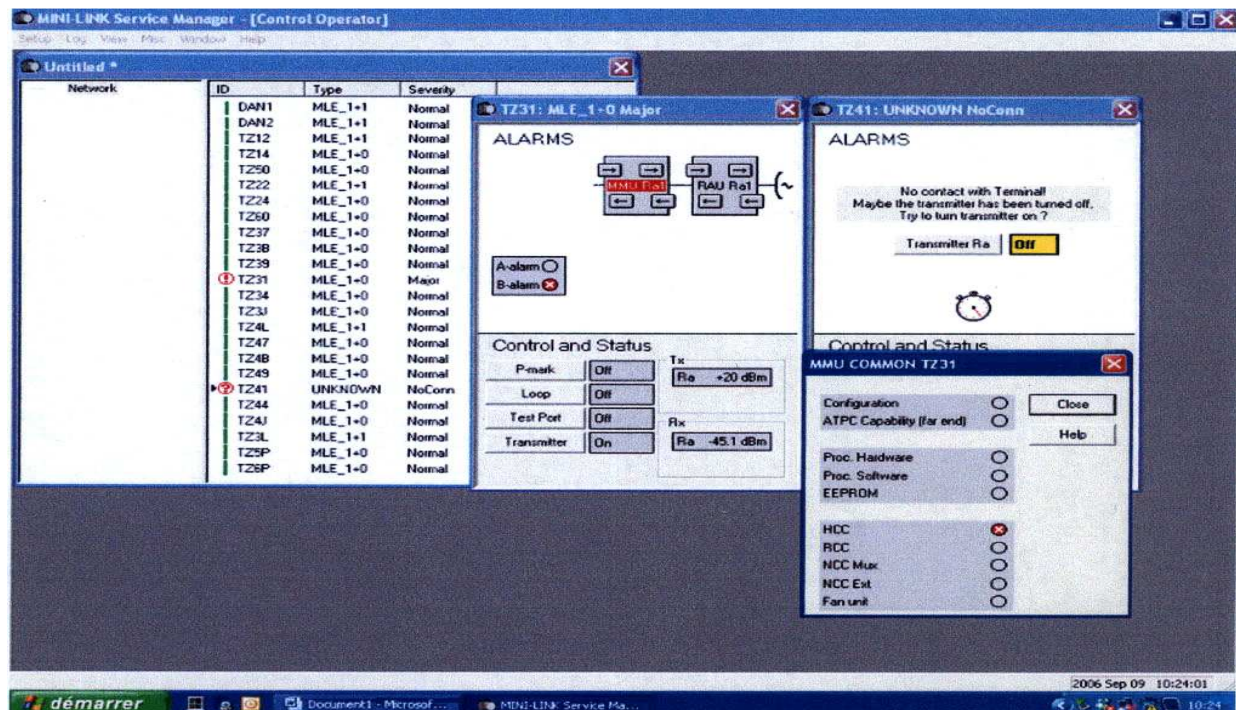


Figure III.25 : Visualisation de l’alarme

Le HELP nous donne plus de détails sur la norme de cette alarme ainsi que ce qu'on doit faire pour y remédier.

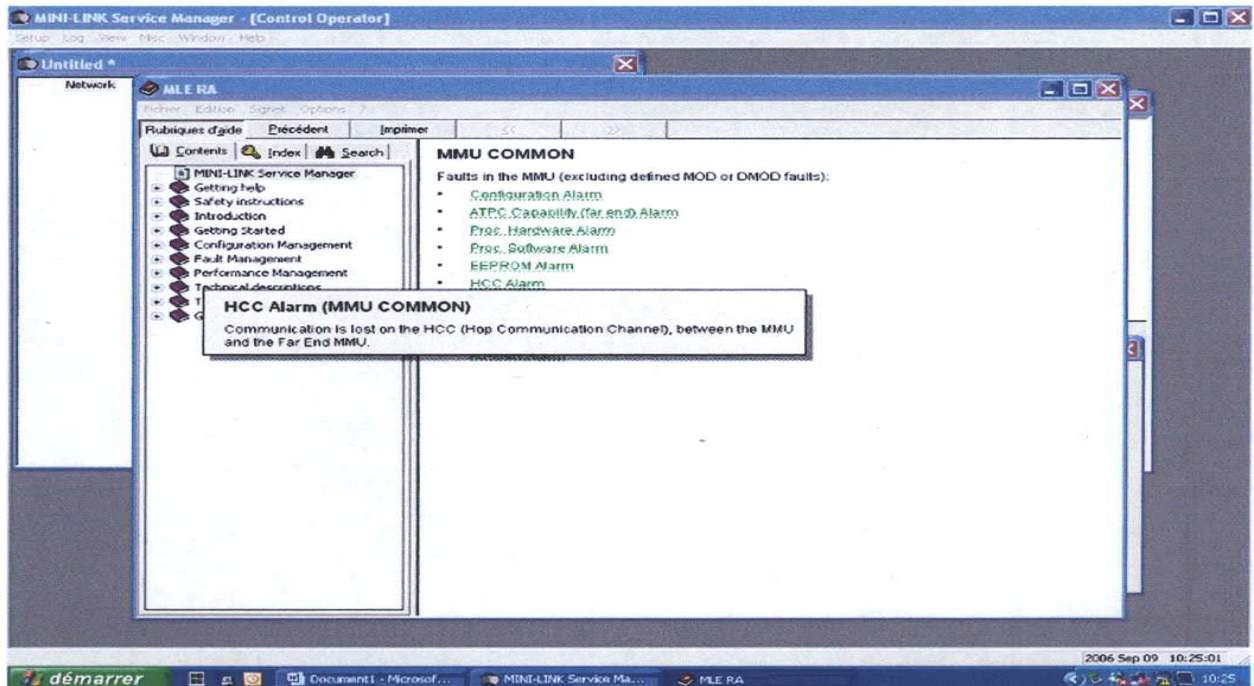


Figure III.26 : Fenêtre d'aide

Dans notre cas le HELP indique une coupure de transmission entre le MMU du site TZ31 et le MMU de TZ41 (Far-And).

Exemple d'une alarme critique (site Dan2).

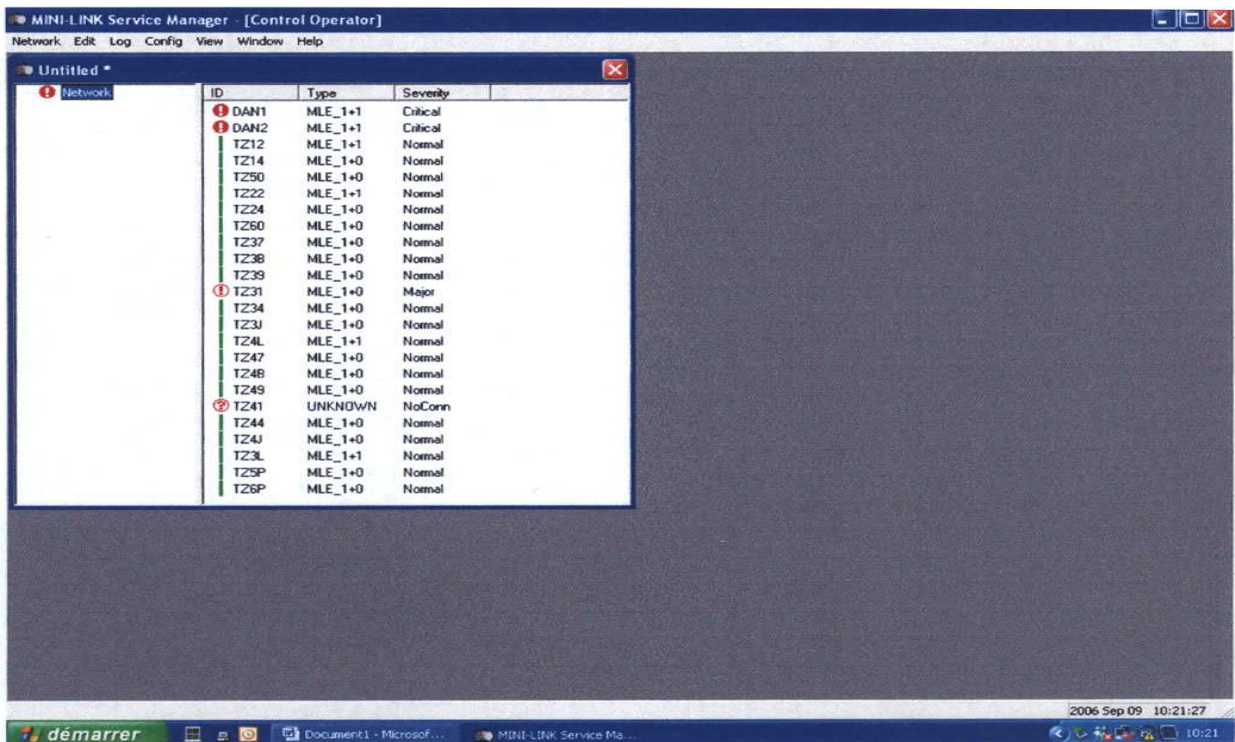


Figure III.27 : Exemple d'une alarme critique

La visualisation de l'alarme :

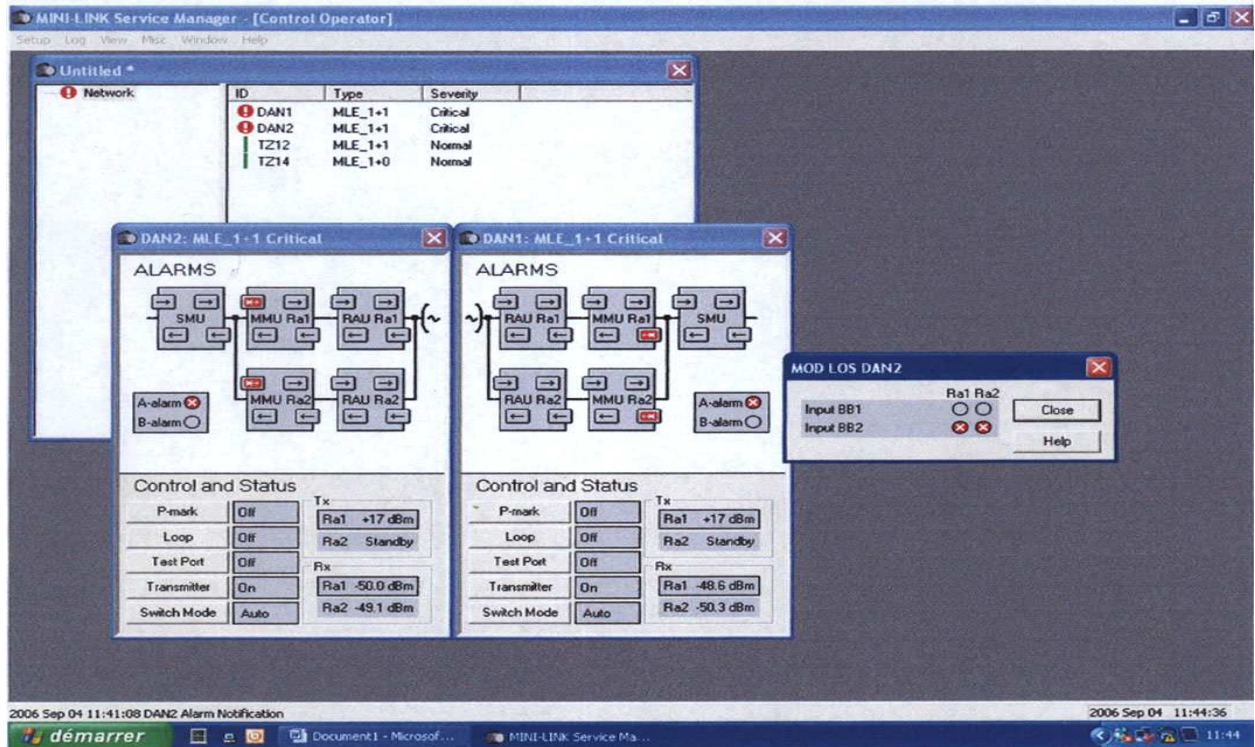


Figure III.28 : Visualisation de l'alarme

On clique sur HELP pour avoir plus d'information sur l'alarme :

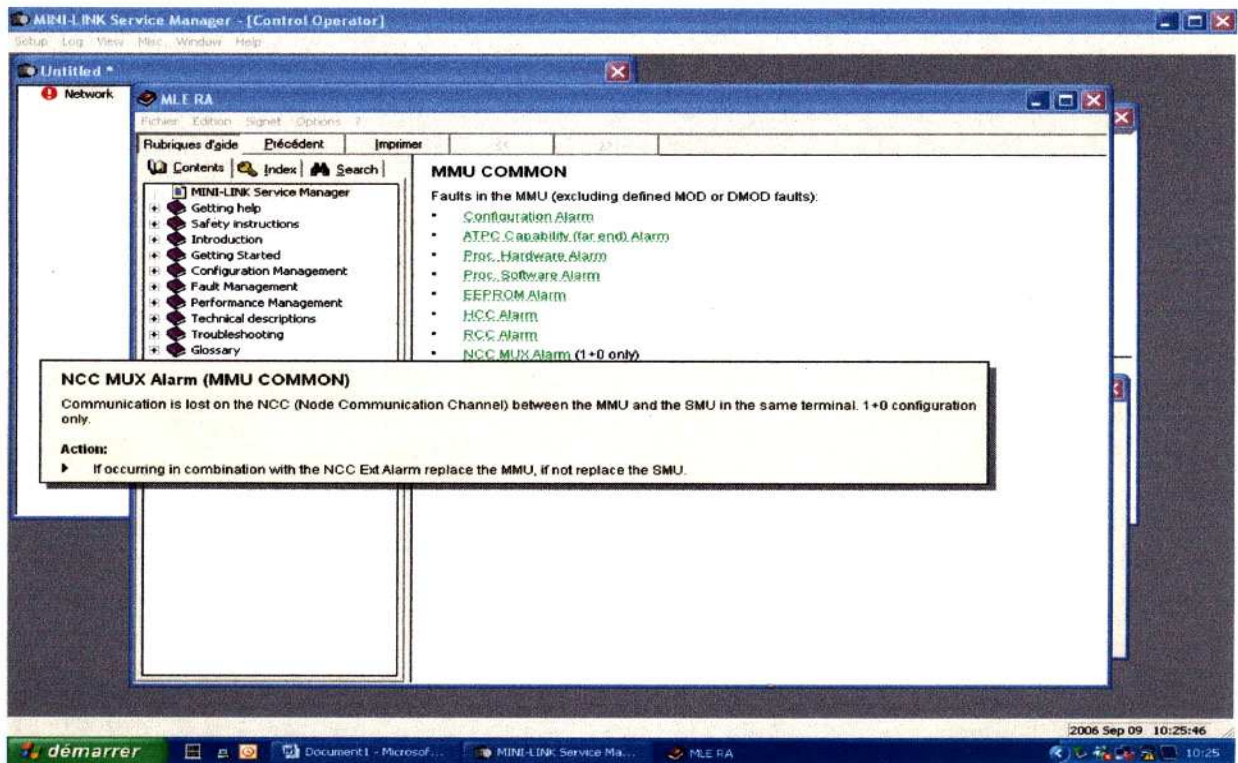


Figure III.29 : Fenêtre d'aide

Sur la fenêtre d'aide en voit que le problème indiqué par le l'alarme réside dans une coupure de trafic dans le sens de transmission. La solution proposée est de faire une boucle pour vérifier l'état du MMU et il est fonctionnel on change le SMU si non on change le MMU.

III.5 Exemple d'application du logiciel Mini-Link sur une liaison :

On lance le « control operator », une fenêtre nous montre un réseau en fonctionnement normal.

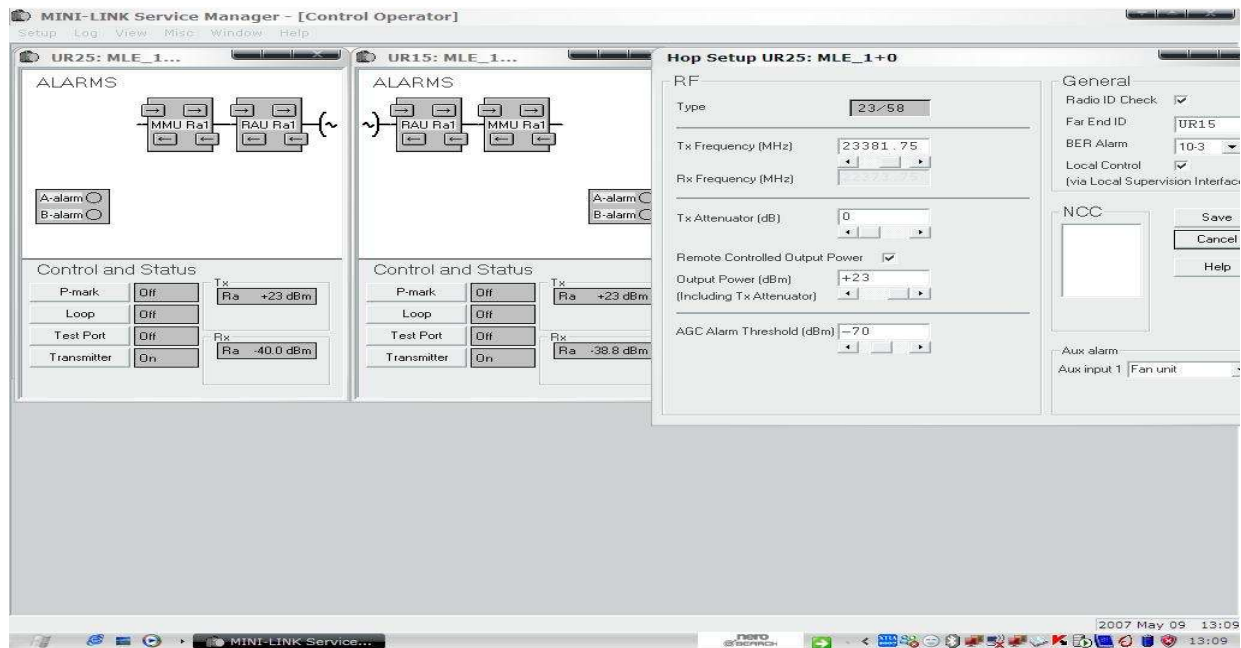


Figure III.30 : liaison 1+0 en fonctionnement

En cliquant sur le nom du site pour avoir plus d'information tel que du Mini-Link, l'état normal ou en alarme.

Dans notre exemple, on à une liaison 1+0 c'est-à-dire on a un seul module MMU connecté à un seul RAU. Le site est à l'état normal.

❖ Signification des étiquettes de la fenêtre « control and statuts » :

- ✓ **LOOP (Boucle)** : si on clique sur loop une fenêtre s'ouvre, dans laquelle on peut choisir ou placée la boucle.
- ✓ **TX** : représente les niveaux de puissance de transmission des radios en dBm. Dans notre cas est de +23 dBm.
- ✓ **RX** : représente les niveaux de puissance de transmission des radios en dBm. Dans notre cas est de -38,8 dBm.
- ✓ **Transmitter (émetteur)** : on peut le mettre à l'arrêt (off) ou en marche (on).

On peut comparer à chaque fois le niveau d'émission et de réception de site par rapport à la valeur normale, en cliquant sur SETUP puis sur HOP. Une fenêtre s'ouvre (Hop Setup UR₂₅ : MLE₋₁₊₀). Dans notre cas, on est dans les normes car on reçoit -40, 0 dBm et -38, 8 dBm, alors que le seuil est de -70 dBm.

❖ **Signification des étiquettes sur la fenêtre « Hop Stup » :**

- ✓ **RF** (Radio Fréquence) :
- ✓ **TX frequency** (fréquence de TX) : indique la valeur de la fréquence à laquelle se fait la transmission 23381,75MHz.
- ✓ **RX frequency** (fréquence de TR) : indique la valeur de la fréquence à laquelle se fait la réception 22377,75MHz.
- ✓ **Out put power** (puissance de sortie) : indique la valeur de la puissance de sortie des radios. Dans notre cas +23dBm.
- ✓ **AGC Alarm threshold** : indique le seuil de puissance pour lequel l'alarme est décrochée. Ce seuil de puissance est de -70dBm.
- ✓ **ATPC** (Automatic Transmit Power Control): de la on peut choisir l'option automatique pour le contrôle de la puissance de transmission.
- ✓ **Far-end ID** : indique l'identité du site de l'autre extrémité de la liaison, qui est dans notre cas UR₁₅.
- ✓ **BER Alarm** : indique le seuil du nombre de bite en erreur par rapport au nombre total de bit reçus pour lequel l'alarme est active. Dans notre cas il est de 10^{-6} .

En cliquant sur SETUP puis sur AM, une fenêtre s'ouvre (AM Setup UR₂₅), Cette fenêtre indique la position des MMU, SMU et RAU dans le Rack, et aussi il donne l'identification des ID de notre site.

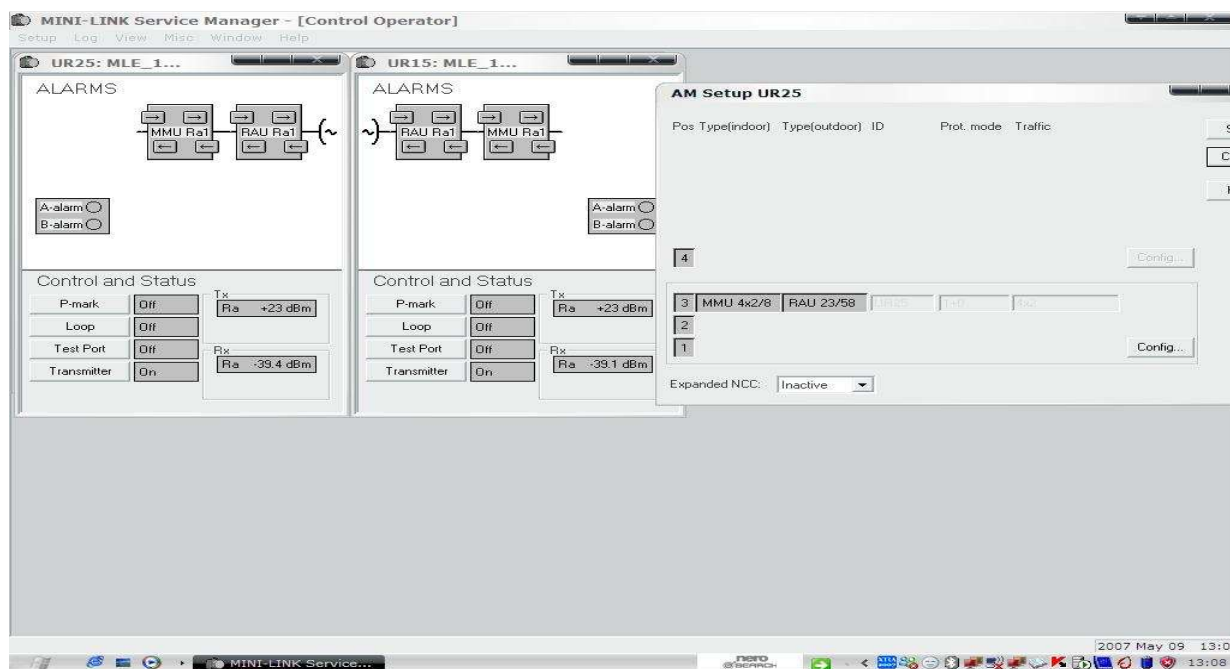


Figure III.31 : Indication de la position d'MMU, SMU et RAU dans le Rack

Chapitre IV

Etude de la transmission

Mobilis à Tizi-Ouzou

IV.1 Introduction :

Dans le cadre de notre stage effectué chez l'opérateur ATM Mobilis, nous avons mené notre étude sur le fonctionnement du réseau de transmission mobilis (Tizi- ousou).

Le déploiement des différents sites existants jusqu'à nos jours sur tout le territoire de la Wilaya de Tizi- ousou est donnée par le schéma synoptique montré sur la figure (réseau de transmission à T-O) ; notons bien que la Wilaya est couverte par environ 110 stations BTS qui sont gérées par deux BSC et un MSC.

IV.2 Interconnexion entre les différents sites du réseau :

Les transferts de données entre les différents éléments du réseau sont assurés par des liaisons MIC (Modulation par Impulsion Codées) à 2Mb/s. Lorsque deux éléments du réseau sont proches l'un de l'autre, les transmissions sont assurées par des liens physiques utilisant des paires de cuivre, des câbles coaxiaux, ou de la fibre optique. C'est le cas généralement des liaisons entre BSC-MSC-VLR-HLR qui se trouvent dans des centres communs.

La fibre optique est utilisée seulement pour deux liaisons, l'une reliant le BSC de N. ville à celui de Azzazga et l'autre pour relier le site de Boghni à celui même de la nouvelle ville. Comme la fibre optique présente des avantages importants tel que la faible atténuation du signal est une bande passante très élevée ... etc; mais aussi des inconvénients à prendre en compte tel que son coût élevé, le groupe ATM Mobilis de Tizi-Ouzou l'ont utilisé seulement pour ces deux liaisons à défaut de ne pas pouvoir utiliser les faisceaux hertziens.

L'ATM Mobilis de Tizi-Ouzou utilise en général les liaisons FH entre BTS et BSC. Ils ont opté pour ce genre de support de transmission car il est le plus pratique ; simple et présente des équipements moins chers et faciles pour pouvoir relier tous les sites entre eux. D'après le schéma synoptique de la figure (2) on peut constater facilement qu'il y a des sites très importants appelés couramment des sites hubs .

IV.2.1 Les sites Hubs :

On définit les sites hubs comme étant des relais GSM sur lesquels passent plusieurs BTS pour la liaison avec le BSC (voir figure 1), un site hub peut être relié à la BSC au minimum 3 sites, et au maximum 16 sites c'est-à-dire 16 MIC. Le réseau de transmission de Tizi-Ouzou contient neuf sites hubs (voir figure 2).

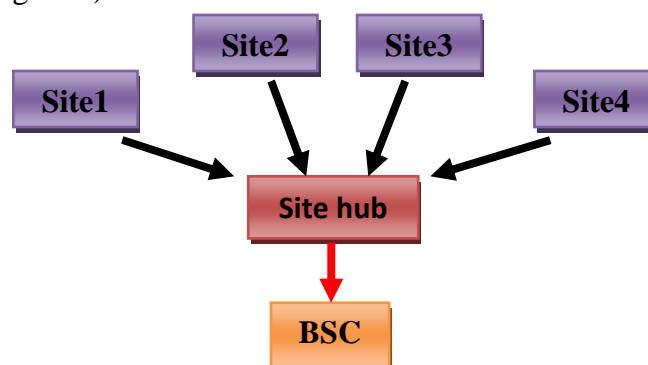
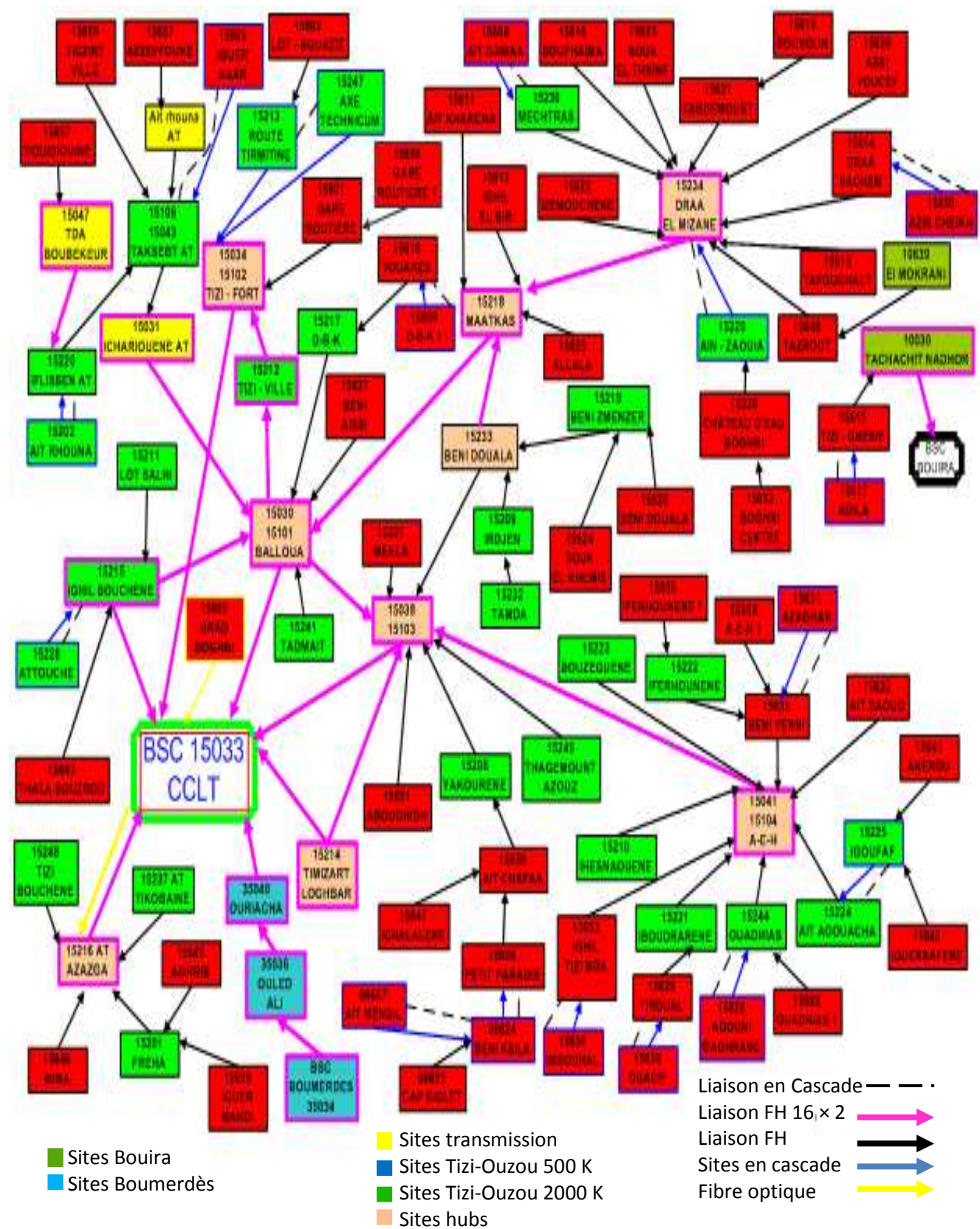


Figure IV.1: Exemple de Configuration d'un Site Hub.

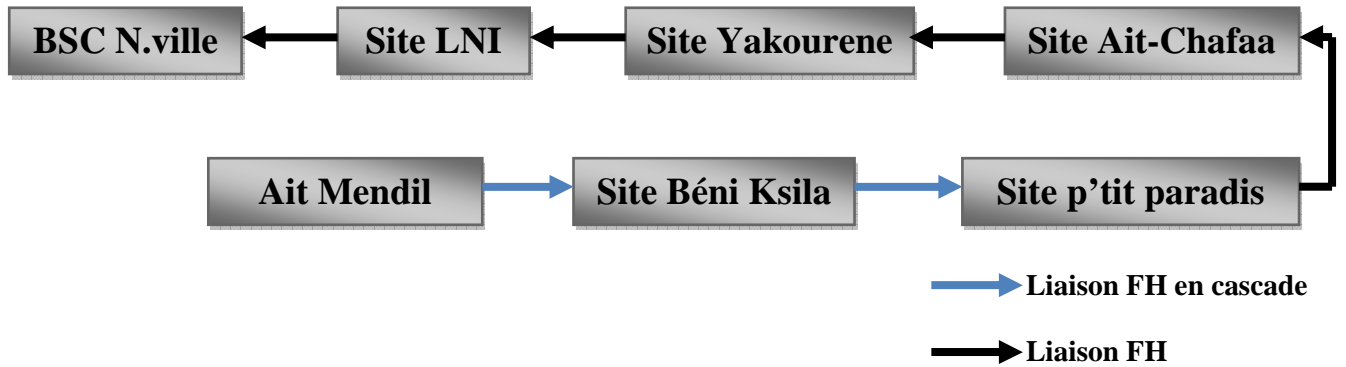


Reseau de transmission Tizi-Ouzou

IV.3 Etudes de la transmission sur un tronçon donné :

IV.3.1 Présentation du tronçon :

📊 Schéma synoptique :



IV-3-2 Type de liaison entre les différents sites :

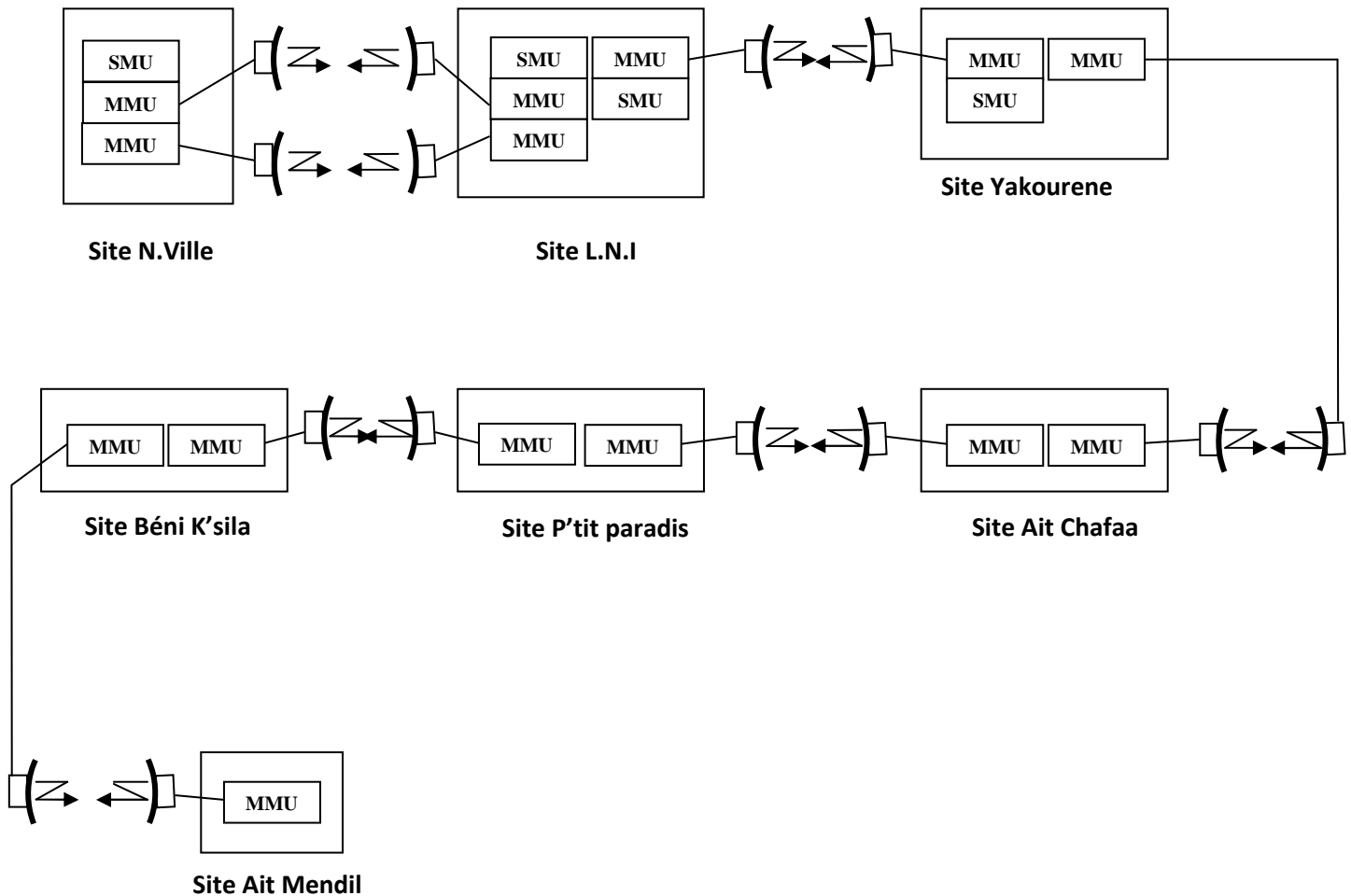


Figure IV.3 : liaisons entre les sites du tronçon

IV.3.2 Configuration des différentes liaisons :

IV.3.3.1 La liaison N.ville ←—L.N.I :

Il s’agit d’une liaison secourue (1+1) sans coupleur, elle contient un deuxième canal distinct, en cas de panne, l’un des deux chemins reste toujours disponible et permet le dépannage sans interruption de la liaison car elle relie des sites très importants dans le réseau ou tout simplement on les appelle des sites hubs. Les deux sites de la liaison sont de même configuration, autrement dit même équipement Mini-Link.

❖ Configuration de la partie intérieure (Indoor Unit) :

Sélection de l’MMU et SMU :

Le tableau ci-après indique les différents types d’ MMU et d’ SMU à utiliser dans le cas d’une liaison (1+1) secourue pour obtenir la capacité nécessaire du trafic. Dans ce cas la capacité nécessaire du trafic pour cette liaison est de 17×2 Mbit/s, cela se concrétise par un SMU 16×2 Mbit/s et deux MMU 2×2-34+2.

Terminal 1 Mbps	Pos3 MMU Type	Pos2 MMU Type	Pos1 SMU Type
2x2	2x2	2x2	Sw
4x2	4x2/8	4x2/8	Sw
8x2	2x8	2x8	8x2
17x2	34+2	34+2	16x2
8	4x2/8	4x2/8	Sw
2x8	2x8	2x8	Sw
34+2	34+2	34+2	Sw

Tableau IV.1 : Les cas possible de la sélection de l’MMU et l’SMU pour une liaison secourue (1+1).

❖ Configuration de la partie extérieure (Outdoor unit) :

Configuration	Sites	N.Ville	L.N.I
RAU		23/56 GHz	23/58 GHz
T _x Fréquence		23 416,80 MHz	22 408,80 MHz
R _x fréquence		22 408,80 MHz	23 416,80 MHz
Diamètre d’antenne		0,6 m	0,6 m
Polarisation		Verticale	Verticale

Tableau IV.2: Configuration de la partie extérieure

IV.3.3.2 La liaison LNI ←—Yakourene :

C'est une liaison simple (1+0) avec un équipement comportant un seul MMU, un seul SMU, une RAU et une seule antenne. La configuration des deux sites de la liaison est la suivante :

❖ Configuration de la partie intérieure (Indoor unit) :

Sélection de l'MMU et SMU :

Le tableau suivant indique les différents types d' MMU et d' SMU à utiliser dans le cas d'une liaison (1+0) pour obtenir la capacité nécessaire du trafic. Par exemple, la capacité nécessaire du trafic pour cette liaison est de 17x2 Mbit/s, cela se concrétise par un SMU 16x2 Mbit/s et un MMU 34+2.

Terminal 1 Mbps	Pos3 MMU * Type	Pos2 MMU Type	Pos1 SMU Type
2x2	2x2	-	-
4x2	4x2/8	-	-
8x2	2x8	-	8x2
17x2	34+2	-	16x2
8	4x2/8	-	-
2x8	2x8	-	-
34+2	34+2	-	-

Tableau IV.3 : les cas possible de la sélection de L'MMU et L'SMU pour une liaison simple (1+0).

Les schémas de principe de l'MMU et l'SMU utilisés sont donnés par les figures suivantes :

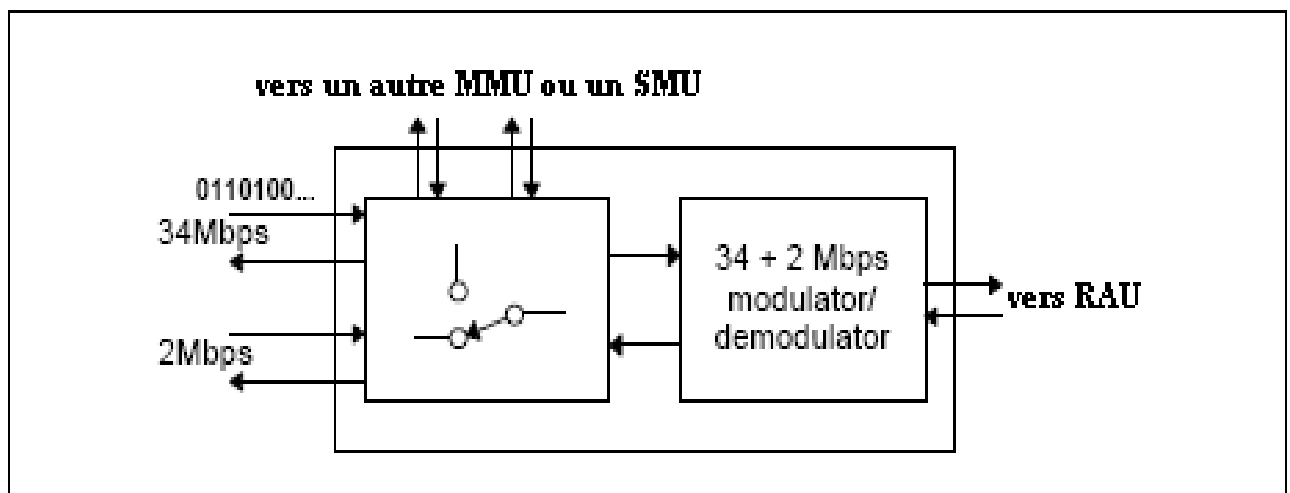


Figure IV.4 : MMU 34+2

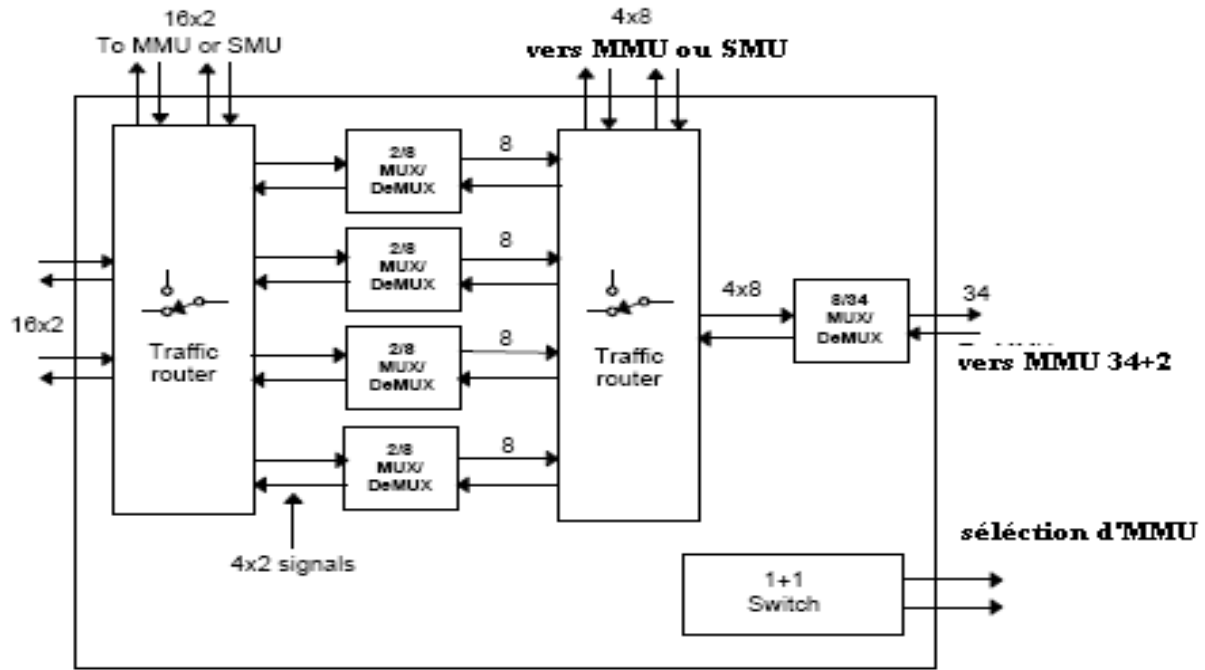


Figure IV.5 : SMU 16x2

❖ Configuration de la partie extérieure (Outdoor unit) :

Configuration	Sites	L.N.I	Yakourene
RAU		15/22 GHz _z	15/26 GHz _z
T _x Fréquence		14 646,25 MHz _z	15 066,25 MHz _z
R _x fréquence		15 066,25 MHz _z	14 646,25 MHz _z
Diamètre d'antenne		1,2 m	1,2 m
Polarisation		Verticale	Verticale

Tableau IV.4 : Configuration de la partie extérieure.

IV.3.3.3 La liaison Yakourene ←—Ait Chafaa :

Il s'agit d'une liaison simple (1+0), avec un équipement comportant un seul MMU, une RAU et une seule antenne. La configuration des deux sites de la liaison est la suivante :

❖ Configuration des parties intérieure et extérieure (indoor and Outdoor units) :

Configuration	Sites	Yakourene	Ait-Chafaa
RAU		23/56 GHz _z	23/58 GHz _z
T _x Fréquence		23 416,80 MHz _z	22 408,80 MHz _z
R _x fréquence		22 408,80 MHz _z	23 416,80 MHz _z
Diamètre d'antenne		0,6 m	0,6 m
Polarisation		Verticale	Verticale
MMU		2x2/34+2	2x2/34+2

Tableau IV.5 : Configuration des deux sites

IV.3.3.4 La liaison Ait-Chafaa ←P'tit paradis :

Dans ce cas on a une liaison simple (1+0), elle est constituée de deux terminaux Mini-Link identiques comportant chacun un seul MMU, une RAU et une seule antenne. La configuration des deux sites est la suivante :

❖ **Configuration des parties intérieure et extérieure (indoor and Outdoor units) :**

Configuration \ Sites	Ait-Chafaa	P'tit paradis
RAU	38/11 GHz _z	38/15 GHz _z
T _x Fréquence	37 075,50 MHz _z	38 335,50 MHz _z
R _x fréquence	38 335,50 MHz _z	37 075,50 MHz _z
Diamètre d'antenne	0,3 m	0,3 m
Polarisation	Verticale	Verticale
MMU	2×2/34+2	2×2/34+2

Tableau IV.6 : Configuration des parties intérieure et extérieure

IV.3.3.5 La liaison P'tit paradis ←Béni Ksila :

C'est une liaison simple (1+0), elle est assurée par deux terminaux Mini-Link identiques comportant chacun un seul MMU, une RAU et une antenne. La configuration des deux sites est donnée par le tableau suivant :

❖ **Configuration des parties intérieure et extérieure (Indoor and Outdoor units) :**

Configuration \ Sites	P'tit paradis	Béni Ksila
RAU	23/56 GHz _z	23/58 GHz _z
T _x Fréquence	23 416,80 MHz _z	22 408,80 MHz _z
R _x fréquence	22 408,80 MHz _z	23 416,80 MHz _z
Diamètre d'antenne	0,6 m	0,6 m
Polarisation	Verticale	Verticale
MMU	2×2/34+2	2×2/34+2

Tableau IV.7: Configuration des parties intérieure et extérieure

IV.3.3.6 La liaison Béni Ksila ←—Ait Mendil :

Il s'agit d'une liaison simple (1+0), comportant le même équipement Mini-Link de chaque coté Ce dernier est composé d'un MMU 2×2-34+2, d'une RAU et d'une antenne FH, la configuration de la liaison est donnée comme suit :

❖ Configuration des parties intérieure et extérieure (Indoor and Outdoor units) :

Configuration	Sites	P'tit paradis	Béni Ksila
RAU		23/56 GHz	23/58 GHz
T _x Fréquence		23 416,80 MHz	22 408,80 MHz
R _x fréquence		22 408,80 MHz	23 416,80 MHz
Diamètre d'antenne		0,6 m	0,6 m
Polarisation		Horizontale	Horizontale
MMU		2×2/34+2	2×2/34+2

Tableau IV.8: Configuration des parties intérieure et extérieure

Conclusion générale

Conclusion générale

Le réseau GSM est considéré par les spécialistes comme une grande révolution dans le domaine des télécommunications. Ce système a su se faire apprécier du grand public en proposant une bonne qualité de service à un tarif accessible grâce à son originalité principale qui réside dans la façon dont il gère les ressources radio qui lui sont allouées. Toutefois ce système recèle de grandes possibilités d'amélioration et d'extension au bénéfice de l'opérateur et de l'abonné, en apportant un confort d'écoute accru en diminuant ses temps d'accès au réseau et en garantissant la confidentialité de ses communications.

Comme toute révolution technologique dans le monde ; le réseau GSM commence à laisser apparaître ses limites, notamment la saturation du réseau, due à son succès.

D'autres normes se sont mises en place en parallèle, l'une annonçant très ouvertement sa farouche volonté de prendre le relais du GSM qui est le DCS-1800, l'autre quand appelle l'UMTS reste plus en retrait et se développe doucement pour préparer l'avenir de la téléphonie mobile.

En ce qui concerne notre projet, nous avons étudié les différents types de transmission du GSM ainsi que les différents supports qu'il utilise en se basant sur le principe de fonctionnement du logiciel de transmission en GSM (Mini- Link) qui joue un grand rôle dans le bon déroulement des communications. Ce qui nous a permis d'élargir nos connaissances dans ce domaine et d'acquérir une petite expérience dans le domaine pratique, ainsi que le travail du groupe et la chance de rencontrer des gens de grande expérience qui nous ont beaucoup appris, et de se familiariser avec le logiciel de gestion et de maintenance Mini- Link qui est le plus important.

L'étude que nous avons menée pourrait être complétée par les projets suivants :

- ✚ Une étude sur le trafic GSM.
- ✚ Une étude des problèmes de confidentialité.
- ✚ Une étude sur la partie commutation.

Enfin, nous souhaitons que notre mémoire puisse être d'un apport pour les promotions à venir, et de leur servir comme support de documentation.

Annexe

Sécurité GSM

Le système GSM est la première norme de téléphonie cellulaire de seconde génération. Il est pleinement numérique et il est maintenant opérationnel et largement utilisé. On remarque une importante croissance du marché de la communication mobile et de la nécessité de sécuriser les systèmes.

La confidentialité et la sécurité sont fragilisées par l'utilisation du canal radio pour transporter les informations. Les abonnés mobiles sont particulièrement vulnérables à la possibilité d'utilisation frauduleuse de leur compte par des personnes ayant substitué l'identité d'abonnés autorisés et à la possibilité d'avoir leurs communications écoutées lors du début de l'appel.

Les aspects de sécurité lesquelles sont nécessaires par la communication mobile sont :

- Authentification de la station mobile ou de l'abonné
- Authentification de la base de données laquelle le mobile est associé.
- Confidentialité des données transmises entre le mobile et la VLR.
- Confidentialité des données transmises entre le VLR et l'autre VLR ou HLR
- Confidentialité de la localisation de la station mobile ou de l'abonné.

Les fonctions de sécurité du GSM ne concernent que la protection des réseaux contre les accès non autorisés et la confidentialité des abonnés. Le système intègre ainsi les fonctions suivantes :

- Authentification d'un abonné
- Confidentialité de l'abonné
- Confidentialité des données et des informations de signalisation transportées pour la liaison radio.

1. Les systèmes cryptés

1.1. Généralités :

Un système crypté est défini par deux transformations principales. La première transformation correspond au cryptage qui est appliquée sur un item de données en clair et va générer un item correspondant (inintelligible) appelé texte crypté.

La seconde transformation appelée décryptage est appliquée au texte crypté et permet de retrouver le texte original. Une transformation de cryptage est définie par un algorithme qui va utiliser en entrée le texte original et une clé de décryptage pour retrouver le texte original à partir du texte crypté.

Il existe deux types de base de systèmes cryptographiques, les systèmes symétriques ou à clé privée et les systèmes asymétriques ou à clé publique.

GSM et GPRS sont des systèmes à clé privée.

1.2. Systèmes à clé secrète :

Les systèmes à clé secrète sont caractérisés par le fait que les clés utilisées pour le cryptage et le décryptage sont directement reliées (elles peuvent être identiques).

Le système fonctionne de la façon suivante :

Si deux systèmes A et B décident de communiquer de façon sécurisée. Ils commencent par obtenir chacun une clé ; les clés doivent être gardées secrètes à l'exception de A et B. cela permet à A et B de protéger leurs messages envoyés en les cryptant à l'aide de la clé adéquat. Seules les parties concernées possèdent la clé permettant de décrypter les messages.

1.3. Les algorithmes utilisés dans la sécurité GSM :

Trois types d'algorithmes sont utilisés dans les protocoles de sécurité et confidentialité des données GSM :

1.3.1. Algorithme A3 :

Cet algorithme est utilisé pour l'authentification d'un utilisateur du réseau. A3 fourni une réponse SRES à partir d'un nombre aléatoire envoyé par le réseau. Pour la détermination de SRES, A3 utilise aussi la clé d'authentification Ki.

Du coté mobile, l'algorithme A3 est enregistré dans la carte SIM.

Du coté du réseau, il est obtenu dans le centre d'authentification(AuC) qui correspond juste à une subdivision du HLR.

Les deux paramètres utilisés par l'algorithme A3 ont les formats suivants :

Longueur de Ki : 128bits.

Longueur du nombre aléatoire (RAND) :128 bits.

Le résultat de l'algorithme (SRES) à une longueur de 32 bits.

1.3.2. Algorithmes A5 :

Cet algorithme est implémenté dans le mobile, il est utilisé dans les processus de cryptage et de décryptage.

Dans les systèmes TDMA, l'information est organisée en bloc de 114 bits, chaque bloc est incorporé dans un burst et transmis durant un time slot. Les slots d'un canal physique sont séparés par la durée d'une trame.

Pour le cryptage, l'algorithme A5 produit toutes les 4.615ms une séquence de 114 bits de cryptage/décryptage (BLOCK) qui sont additionnés modulo 2 avec les 114 bits du texte en clair.

Le décryptage est accompli du côté du MS avec le premier bloc de 114 bits produit par l'algorithme A5 et l'encryptage est accompli avec le second bloc.

En conséquence, du côté du réseau le bloc1 est utilisé pour encrypter et le bloc2 pour décrypter. Ainsi A5 produit 2 fois 114bits toutes les 4.615ms.

Le cryptage démarre quand une réponse positive à l'authentification est reçue de la part du MS en utilisant la synchronisation pour le démarrage du cryptage qui a été sélectionnée dans le BSC.

La synchronisation est ainsi garantie par une variable de temps explicite COUNT qui est dérivée du numéro de trame ; chaque bloc de 114 bits qui est produit par l'algorithme A5 dépend du numéro de trame, de la clé de cryptage Kc et bien sûr de l'algorithme A5 utilisé.

Les deux paramètres d'entrée (COUNT, Kc) et les deux paramètres de sortie (bloc1, bloc2) de l'algorithme A5 doivent avoir le format suivant :

Longueur de Kc : 64 bits.

Longueur de COUNT : 22 bits.

Longueur du bloc1 : 114 bits.

Longueur du bloc2 : 114 bits.

L'algorithme A5 doit produire un bloc1 et bloc2 en un temps plus court que la durée d'une trame (4.615ms).

1.3.3. Algorithme A8 :

Du côté de la station mobile, l'algorithme A8 est contenu dans la carte SIM. Du côté du réseau, l'algorithme A8 est colocalisé avec A3.

Les deux paramètres en entrée (RAND, Ki) et le paramètre de sortie (Kc) d'A8 doivent avoir les formats suivants :

Longueur de Ki : 128 bits.

Longueur du paramètre RAND : 128 bits. Longueur de Kc : 64 bits.

1.4. Numérotation liée à la sécurité/mobilité :

Le système GSM utilise quatre types d'adressages lié à l'abonné :

L'**IMSI** : (identité invariante de l'abonné), elle n'est connue qu'à l'intérieur du réseau GSM ; cette identité doit rester secrète autant que possible.

Le **TMSI** : c'est une identité temporaire utilisée pour identifier le mobile lors des interactions station mobile-réseau.

Le **MSISDN** : c'est le numéro de l'abonné, c'est le seul identifiant de l'abonné mobile connu à l'extérieur du réseau GSM.

Le **MSRN** : c'est un numéro attribué lors d'un établissement d'appel. Sa principale fonction est de permettre l'acheminement des appels par les commutateurs (MSC et GMSC).

1.4.1. IMSI (International Mobile Subscriber Identity) :

Chaque abonné dispose d'une identité internationale IMSI, unique pour tous les réseaux GSM et qui ne varie pas dans le temps.

L'IMSI suit le plan d'identification E.212 de l'UIT. On le transporte aussi rarement que possible sur l'interface radio pour des questions de sécurité et de confidentialité.

L'IMSI sert également au réseau à rechercher l'abonné dans les cas où le TMSI n'est pas disponible.

L'IMSI est codé sur au plus 15 bits et comprend trois parties :

Mobile Country Code (MCC) : indicatif du pays domicile de l'abonné mobile.

Mobile Network Code (MNC) : indicatif du PLMN nominal de l'abonné mobile.

Mobile Subscriber Identification Number (MSIN) : numéro de l'abonné mobile à l'intérieur du réseau GSM.

Les deux champs MCC et MNC permettent de déterminer, de façon unique dans le monde, le PLMN de l'abonné. Les deux premiers chiffres du champ MSIN donnent l'indicatif du HLR de l'abonné au sein de son PLMN. Les MSC/VLR sont donc capables à partir d'un IMSI quelconque d'adresser le HLR de l'abonné correspondant.

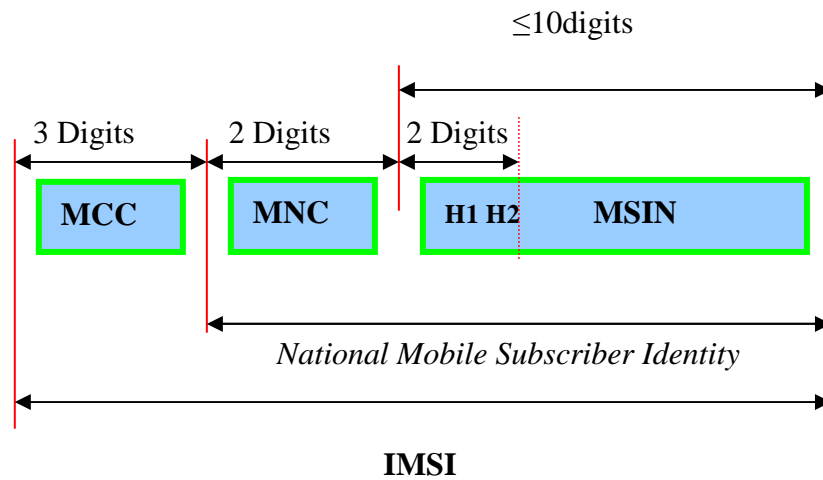


Figure 1 : Composition de l'IMSI.

1.4.2. TMSI (Temporary Mobile Station Identity) :

A l'intérieur d'une zone gérée par un VLR, un abonné dispose d'une identité temporaire, le TMSI attribuée au mobile de façon locale, c'est à dire uniquement pour la zone gérée par le VLR courant du mobile.

Le TMSI n'est connu que sur la partie MS-MSC/VLR et le HLR n'en a jamais connaissance.

Le TMSI est utilisé pour identifier le mobile appelé ou appelant lors d'un établissement de communication. Plusieurs mobiles dépendant de VLR différents peuvent avoir le même TMSI. A chaque changement de VLR, un nouveau TMSI doit être attribué.

L'utilisation du TMSI est optionnelle ; en effet, la norme GSM prévoit la possibilité pour l'opérateur de n'avoir recours qu'à l'IMSI. Cependant pour les raisons de sécurité évoquées précédemment, il est préférable d'utiliser le TMSI.

La structure du TMSI est laissée libre à l'opérateur. Il est codé sur 4 octets, sa structure plus courte que l'IMSI permet de réduire la taille des messages d'appel sur la voie radio.

1.4.3. MSISDN (Mobile Station ISDN Number):

Le MSISDN est le numéro que composera une personne désirant joindre un abonné GSM. Seul le HLR contient la table de correspondance entre le MSISDN et l'IMSI d'un abonné.

Il est conforme au plan de numérotation téléphonique international E.164. Il comprend les champs suivants :

Country Code (CC ou code pays) : indicatif du pays dans lequel l'abonné a souscrit son abonnement.

National Mobile Number : numéro national du mobile composé du National Destination Code(NDC) déterminant le PLMN particulier dans le pays et su Subscriber Number (SN) attribué par l'opérateur.

Comme pour l'IMSI, le MSISDN permet à un PLMN de connaître le HLR de l'abonné à partir des premiers chiffres du champ SN. La présence des champs CC et NDC permet aussi de l'utiliser comme appellation globale dans le SCCP pour le routage des messages entre un PLMN quelconque et le HLR nominal de l'abonné.

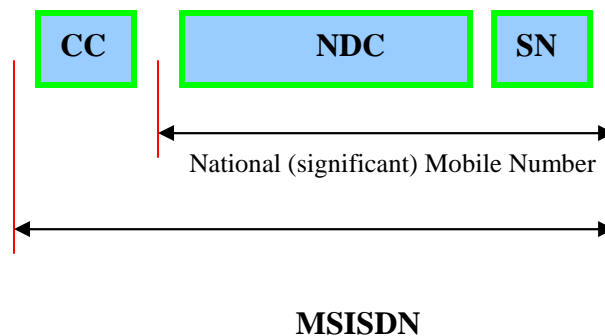


Figure 2 : Structure du MSISDN.

1.4.4. MSRN (Mobile Station Roaming Number):

Le MSRN a pour fonction de permettre le routage des appels entrants directement du commutateur passerelle (GMSC) vers le commutateur courant(MSC) de la station mobile.

Il est attribué par le VLR courant du mobile de façon temporaire et uniquement lors de l'établissement d'un appel à destination de la station mobile. Le MSRN a la même structure que le MSISDN conformément au format E.164.

1.4.5. IMEI (International Mobile Equipment Identity) :

Tout terminal est référencé de manière unique par l'IMEI, qui est codé sur au plus 15 digits.

Il est composé des champs suivants :

Type Approval Code(TAC) : champ codé sur 6 digits fourni au constructeur lorsque le matériel a passé l'agrément.

Final Assembly Code(FAC) : champ codé sur 2 digits qui identifie l'usine de fabrication.

Serial Number(SNR) : champ codé sur 6 digits librement affecté par le constructeur.

Spare : digit réservé pour l'instant.

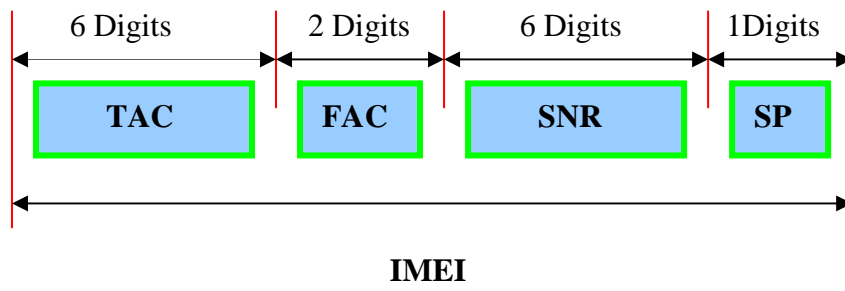


Figure 3 : Composition de l'IMEI.

Glossaire

Glossaire

A

AGCH: Access Grant Channel

ARFCN: Absolute Radio Frquency Channel Number.

ARPT: Agence de Régulation des Postes et Télécommunication.

AUC: Authentification Center.

B

BCCH: Broadcast Control Channel.

BSC: Base Station Controller.

BSS: Base Station Subsystem.

BTS: Base Transceiver Station.

C

CEPT: Conférence Européenne des Postes et Télécommunications.

CGI: Cell Global Identity.

D

DCS: Digital Cellular System.

E

EDGE: Enhanced Data for GSM Evolution.

EIR: Equipment Identity Register.

EGSM: Extend Global System for Mobile communications.

ETSI: European Telecommunication Standardization Institute

F

FACCH: Frequency Associated Control channel.

FCCH: Frequency Correction Channel.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FH: Faisceaux Hertiens.

FSK: Frequency Shift Keying.

G

GMSC: Gateway Mobile Switching Center.

GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying.

GP: Guard Period.

GPS: Global Positioning System.

GSM: Global System for Mobile communications.

GPRS: General Packet Radio Service.

H

HLR: Home Location Register.

I

IMEI: International Mobile Equipment Identity.

IMSI: International Mobile subscriber Identity.

IT: Intervalle de Temps.

L

LA: Localization Area.

LOS: Line Of Sight.

M

MIC: Modulation par Impulsions Codées.

MS: Mobile Station.

MSC: Mobile Switching Center.

MSISDN: Mobile Station Integrated Service Digital Number.

MSK: Minimum Shift Keying.

N

NLOS: No Line Of Sight.

NMC: Network Management Center.

NSS: Network SubSystem.

O

OMC: Operating and Maintenance Center.

OSS: Operating SubSystem.

P

PCH: Paging Channel.

PDF: Plan De Fréquences.

PIN: Personal Identification Number.

PLMN: Public Land Mobile Network.

R

RACH: Random Access Channel.

RBS: Radio Base Station.

RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Service.

SQI : Speech Quality.

RTC : Réseau Téléphonique Commuté.

S

SACCH: Slow Associated Control Channel.

SDCCH: Stand Alone Dedicated Control Channel.

SCH: Synchronisation Channel.

SIM: Subscriber Identity Module.

T

TA: Timing Advance.

TEMS: Test Mobile System.

TCH: Traffic Channel.

TDMA: Time Division Multiple Access.

TMA: Tower Mounted Amplifier.

TRX: Transceiver unit.

U

UIT : Union Internationale des Télécommunications.

UMTS : Universal Mobile Telecommunication System.

V

VCO: Voltage Controlled Oscillator.

VLR: Visitor Location Register.

Bibliographie

Bibliographie

I) Ouvrages :

- 📖 [1] X. Lagrange, P. Godlewski, et S. Tabbane. *Réseaux GSM-DCS*. Hermès, troisième édition, 1997.
- 📖 [2] J. Tisal. *Le réseau GSM. L'évolution GPRS : une étape vers l'UMTS*. Dunod, troisième édition 1999.
- 📖 [3] *GSM networks protocols, terminology and implementation*: Gunnar Hein Boston. London 2004.
- 📖 [4] B. Walke. *Mobile Radio Networks: networking, protocols and traffic performance*. John Wiley & Sons 2002.
- 📖 [5] G. Heine. *GSM networks: protocols, terminology, and implementation*. Artech House, 1999.
- 📖 [6] S. REDL, M. WEBER, M. OLIPHANT- *An Introduction to GSM* – Artech House publishers-1995.

II) Thèses de fin d'études :

- 📖 [1] prédiction des affaiblissements radio mobiles GSM à 900 MHz application sur la ville de Bejaia (thèses de fin d'études d'ingénieur promotion 2003-2004).
- 📖 [2] Etude et déploiement d'un nouveau site GSM (BTS) de Mobilis dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Thèse de fin d'études d'ingénieur, promotion 2008).
- 📖 [3] Planification et optimisation d'un réseau GSM (promotion 2005-2006, université de Bejaia).
- 📖 [4] Etude de la transmission GSM (promotion 2006).

II) Documents PDF :

- 📖 [1] Nokia NetMonitor Manual Version 0.95 11.11.2002
- 📖 [2] Rémy, J. G, Cueugnet, J. & Siben, C. "Systèmes de Radiocommunications avec les Mobiles" EYROLLES, 1992.
- 📖 [3] Mouly. M & Pautet. M. "The GSM System for Mobile Communications". &SYS, 1992.
- 📖 [4] Cours B11 - TRANSMISSION DES TELECOMMUNICATIONS - Partie 2 - Chapitre 8 CNAM
- 📖 [5] *Global System for Mobile Communication (GSM)*: Pierre Brisson; Peter Kropf Université de Montréal.
- 📖 [6] Sécurité des Systèmes d'Information Nadia BENNANI*- Didier DONSEZ** Université de Valenciennes *Institut des Sciences et Techniques de Valenciennes* IUT de Valenciennes
- 📖 [7] UMTS P.Lescuyer 04/Oct/2002
- 📖 [8] Réseaux mobiles et sans fil.

- ☞ [9] Performances des réseaux cellulaires X. Lagrange ENST 2000.
- ☞ [10] User description, IDLE mode behaviour: Michael Jonsson; Stefan Liddink 2000.

III) Sites web:

- [1] www.gsm.com
- [2] www.nobbi.com
- [3] www.marcin-wicek.topnet.pl
- [4] www.logomanager.co.uk
- [5] www.aschmidt.de
- [6] www.commentcamarche.net
- [7] www.ccnga.uwaterloo.ca/jscouria/GSM/gsmreport.html
- [8] www.gsmworld.com
- [9] www.webproforum.com/gsm/index.html
- [10] www.cellular.co.za/gsm-overviewpage.htm