

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU



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

## **Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention**

**Du Diplôme de Master en Electronique  
Option : Réseaux et Télécommunications**

***Thème :***

**Conception et Réalisation d'une application  
de supervision des équipements de  
transmission des liaisons hertziennes**

**Proposé par :  
M<sup>r</sup> M.TAHANOUT**

**Réalisé par :  
M<sup>elle</sup> Z.BESSAI**

**Dirigé par :  
M<sup>r</sup> M.TAHANOUT  
Mr M.ABRICHE**

**Encadré par :  
Mr T. LAHDIRI**

**2012/2013**

## *Remerciements*

A travers ce modeste travail, je tiens à remercier vivement promoteur Mr –TAHANOUT pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude de ce projet et pour la confiance qu'il a mis en moi pour la réalisation de ce projet.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi pour Une personne, sans lui ce travail n'aurai jamais vu le jour, je tiens à le remercier également pour tout les moyens qu'il a mis à ma disposition pour ma formation.

J'exprime également ma gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis mon premier cycle d'étude jusqu'à aujourd'hui.

Et enfin, je remercie ma familles et mes proche.

# Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes parents.

A ma sœur et mes deux frères.

A mes grands parents.

A tous mes ami(e)s et proches.

BESSAI ZAHOUA

## Table des matières

I.1) Téléphonie mobile et réseau cellulaire : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.1.1) RESEAU CELLULAIRE ET ORGANISATION DU RESEAU CELLULAIRE : ..	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.1.2) LES types de cellules : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.2) Caractéristiques d'un réseau cellulaire : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.2.1) LES CLUSTERS : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.2.2) Itinérance et handover: .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.2.2.1) Itinérance : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.2.2. 3) Roaming : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.2.2.4) Sectorisation : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.3) Avantages et inconvénients d'une structure cellulaire : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.4) Opération de réseau cellulaire : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.5) Evolution du réseau mobile : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.6) La technologie GSM : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.6.1) Historique : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.6.2) LES PERFORMANCES DE LA NORME : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.7) Architecture d'un réseau GSM : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.9) Canal duplex : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.10) Canaux de contrôle logique : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.11) Transmission du signal : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.12) Etude de la partie réseau du système GSM : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.12.1) La gestion réseau du système GSM : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.11.2) Protocoles : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
I.11.3) Fonctionnement de la liaison enter deux réseaux GSM .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.1) DEFINITION DE LA TRANSMISSION .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.2) Les supports courants de la transmission .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.3) Le modèle OSI dans la transmission.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.4) LES PROCEDES DE LA TRANSMISSION.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.4.1) LES TYPES DE TRANSMISSION .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.4.3) L'échantillonnage .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.4.4) Le multiplexage .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

- II.5) Les modèles de réseaux utilisés dans la transmission : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.5.1) Transmission asynchrone : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.6) Exemple d'un support de transmission : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.6.1) Les faisceaux hertziens : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.6.1.1) - Définition des faisceaux hertziens:..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.6.1.2) - Les liaisons radioélectriques : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.6.1.3) - CARACTERISTIQUES : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.6.1.5) Les modulations utilisées en FH : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- a)- Modulation pour faisceaux hertziens analogiques : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- b)- Modulation pour faisceaux hertziens numériques : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.6.1.6) - FONCTIONNEMENT : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- II.6.1.7) - Rôle des faisceaux hertziens dans un réseau de téléphonie mobile : ..**Erreur ! Signet non défini.**
- III. 2) Les réseaux synchrones étendus PDH : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.2.1) Synchronisation des réseaux : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.2.2) Phénomène de Gigue : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III. 2.3) Réalisation pratique du multiplexage plésiochrone : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.2.4) Multiplexage trames MIC- E1 ou TN1 à 2 Mbit/s : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.3) La hiérarchie SDH/SONET : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.3.1) La trame SDH : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.4) Le multiplexage SDH : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.5) Les trames de transport STM-n :(Synchronous Transport Module) du SDH :**Erreur ! Signet non défini.**
- III.6) Application : Insertion d'affluents dans une STM1 ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.6.1) Insertion d'un affluent de 140 Mbit/s dans une STM-1 : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III .6.4) Insertion d'affluent 2Mbit/s dans un STM1 : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.7) Les équipements mis en œuvre : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.8) Les topologies du réseau SDH : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.9) Protection du réseau SDH : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- III.10) Synchronisation d'un réseau SDH ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- IV.1) Présentation de l'architecture client/serveur : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- IV.1.1) Définition d'une architecture client/serveur : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- IV.1.2) Principe fonctionnement : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- IV .1.3) Avantages/inconvénients du modèle client/serveur [1] [5] : ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.1.3.1) Avantages :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.3.2) Inconvénients :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4) Typologie d'une architecture client/serveur :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4.1) L'architecture client/serveur à deux tier :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4.2) Architecture Client/serveur à trois tier:	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4) Le middleware :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4.1) Définition du middleware (médiateur) :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4.2) Objectifs du middleware :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4.3) Fonctions du middleware :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4.4) Architecture type d'un middleware :	Erreur ! Signet non défini.
IV.1.4.5) Typologies de middleware :	Erreur ! Signet non défini.
IV.2) Services rendus par un middleware	Erreur ! Signet non défini.
V.1) Installation et mise en oeuvre du site.....	Erreur ! Signet non défini.
V.2) Réalisation :	Erreur ! Signet non défini.
V.3) Différents types stations de base (BTS)	Erreur ! Signet non défini.
V.4) Composition et rôle des éléments d'une BTS	Erreur ! Signet non défini.
V.5) Configuration d'une BTS :	Erreur ! Signet non défini.
VI.6) Maintenance d'une BTS .....	Erreur ! Signet non défini.
VI.1) Simple Network Management Protocol	Erreur ! Signet non défini.
VI.2) Sauvegarde et affichage des données	Erreur ! Signet non défini.
VI.2.1) Traitement des données	Erreur ! Signet non défini.
VI.2.2) Base de données	Erreur ! Signet non défini.
VI.2.3) Implémentation de la base de données	Erreur ! Signet non défini.
VI.2.4) Implémentation de l'application	Erreur ! Signet non défini.

### **Introduction générale:**

L'histoire de la téléphonie mobile a débuté réellement en 1982. La première communication expérimentale par GSM a eu lieu en 1991. Depuis cette date, nous assistons à un véritable engouement pour le développement des réseaux mobiles. Ces réseaux ont un succès tel que leur nombre d'abonnés dépasse actuellement celui des réseaux fixes. Cet engouement est du, d'une part à un besoin de mobilité, et d'autre part, à la panoplie de nouveaux services offerts, comme l'accès internet à haute vitesse et le téléchargement de fichiers audio et vidéo. De tels services ne peuvent être disponibles sans une augmentation significative du débit.

La technologie GSM a connu une évolution à travers les années, elle est passée de la technologie fixe à la technologie mobile, UMTS et Wimax. Utilisant différents supports de transmission câble coaxiaux qui pouvant emmener jusqu'à 274 Mbits/s, faisceaux hertziens, fibre optique en mode TDM ou Ethernet utilisant des réseaux de transmissions soit plésochrone PDH synchrone SDH.

Lors d'une transmission de données sur un support hertziens il peut être confronté à un certain nombre de dégradation atmosphérique ou matériel aussi, le canal de transmission peut avoir plusieurs effets sur le signal transmis de l'émetteur au récepteur.

Pour parvenir à diminuer ou mettre fin à une panne ou anomalie, nous devons mettre en place un dispositif qui nous permettra de collecter les données de navigations, leur faire un traitement et une analyse, les diagnostiquer en tout c'est un dispositif de supervision et de décision.

Dans notre projet, nous avons voulu développé une application de supervision qui nous permettra de collecter les données de navigation des liaisons FH en temps réel. Un serveur aura pour fonction de faire la collecte de données, traitement et analyse, diagnostique et supervision et décision, il sera transporter sur un réseau et accessible au client soit par une connexion internet à distance ou connexion direct sur l'équipement.

Dans notre mémoire, nous présenterons quatre chapitres :

Le premier chapitre aura pour but une introduction à la téléphonie mobile et étude de la technologie GSM.

Le deuxième chapitre étudiera les différents supports de transmissions ainsi qu'un exemple des supports qui sera les liaisons hertziennes.

Le troisième chapitre englobera les différents réseaux de transmission ainsi que les technologies PDH et SDH.

Le quatrième chapitre comportera la partie application, qui sera un développement d'une application réseau de supervision sous un langage de programmation informatique intitulé JAVA.

### **Introduction :**

Au début des années 50 aux Etats-Unis, la compagnie Bell Téléphone propose des services de radiotéléphone à ses abonnés.

En 1964 on introduit la notion de partage des ressources dans les réseaux de radiocommunication pour satisfaire une demande grandissante qui avait fait planer une menace de saturation sur les réseaux.

1971 : Bell Téléphone fait apparaître la notion de cellule dans le réseau. Sa première mise en place se fera à Chicago en 1978 sur le système «Advanced Mobile Phone Service » qui y est toujours opérationnel. On a alors un changement de contrôle devenu dynamique, pour la prise en charge du récepteur par différents émetteurs, réalisable par zone, ou cellule.

En 1982 normalisation de l'« Advanced Mobile Phone Service » pour tout l'Amérique du Nord. (IS54/IS95)

En 1987 l'Europe adopte un standard européen pour mettre fin à la cacophonie qui règne en matière de réseau de radiotéléphone. LE GSM EST NE. Les options techniques fixés alors sont :

- transmission numérique
- multiplexage temporel des canaux radio
- cryptage des informations sur le canal radio
- une nouvelle loi sur le codage de la parole à débit réduit par rapport aux lois en vigueur dans les télécommunications ( loi m en Europe, loi A en Amérique du NORD).

Dans notre chapitre introductif nous allons essayer de faire une étude sur les réseaux mobile et leur évolution à travers les différentes génération. Ensuite nous étudierons la technologie GSM et présenterons ses structures ainsi que ses différentes caractéristiques.

### **I.1) Téléphonie mobile et réseau cellulaire :**

La téléphonie est un système de télécommunication qui a pour but la transmission du son et en particulier la transmission de la parole. On a deux types de téléphonie : la téléphonie fixe filaire et la radiotéléphonie qui englobe la téléphonie fixe sans fil et la téléphonie mobile.

La téléphonie mobile c'est l'infrastructure de la télécommunication permettant d'utiliser des téléphones mobiles, portable ou cellulaires.

La radiotéléphonie c'est l'ensemble des techniques qui utilisent les ondes radioélectriques pour la transmission de la voix humaines.

Un réseau téléphonique est composé de trois éléments : les terminaux, les centraux et liaisons entre les différents éléments du réseau.

La téléphonie mobile est fondée sur la radiotéléphonie, qui est la transmission de la voix grâce à des ondes radios, entre une base de relais qui couvre une zone de plusieurs dizaines de kilomètres de rayon et le téléphone mobile de l'utilisateur avec une fréquence dans la bande des 900 et 1800 MHz.

L'ancienne téléphonie mobile était basée sur un mode de fonctionnement analogique avec des terminaux de grande taille. Utilisable uniquement dans les véhicules automobiles, occupaient une partie du coffre et utilisaient l'alimentation électrique du véhicule.

La nouvelle téléphonie mobile quant à elle fonctionne en numérique où la voie est : échantillonnée, numérisée et transmise sous forme de bits. Grâce à la microélectronique un téléphone portable peut se mesurer au format poche.

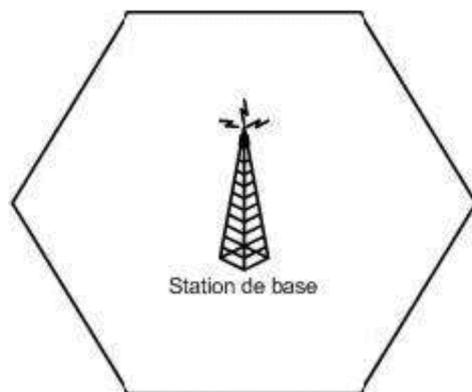
Une standardisation des systèmes mobiles est obligatoire pour une compatibilité entre les réseaux des différents pays et une interconnexion avec les réseaux de téléphonies fixe. Deux standards dominent le marché mondial : le standard IS41 américain avec une norme ANSI -41. Et le standard le plus utilisé, défini en Europe par l'ETSI.

Les bases de transmission sont réparties selon une architecture cellulaire, chaque base utilise un groupe de fréquences différent de celui de ses voisins, elles ne sont réutilisées qu'à une distance suffisante pour éviter toute interférence.

Des informations sous forme de messages de signalisation sont échangées entre le réseau mobile et les téléphones mobiles afin de déterminer la base sur laquelle diriger l'appel entrant.

### I.1.1) RESEAU CELLULAIRE ET ORGANISATION DU RESEAU CELLULAIRE :

Les réseaux de téléphonie mobile sont basés sur la notion de cellules ou bien zones cellulaires, c'est la base des communications mobiles et portables. Chaque cellule est réservée à une bande de base de fréquences et servie par une BASE STATION « BS » qui est constitué d'un émetteur récepteur et une unité de contrôle. La station de base utilise une seule antenne pour émettre et recevoir. Une cellule est illustrée sur fig .I.1.1

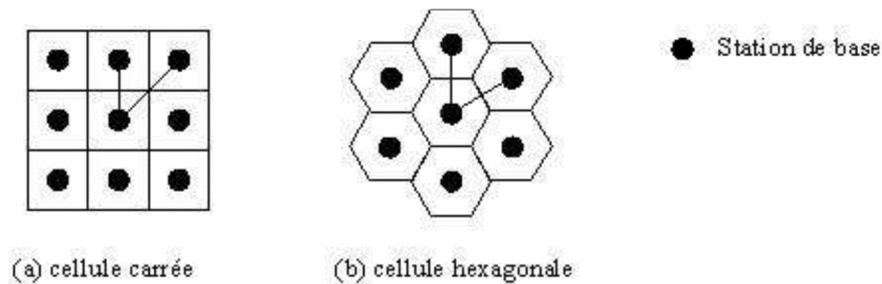


**Fig I.1.1 : Une cellule.**

Les cellules sont sous deux formes : une forme carrée avec ayant comme inconvénient la différence des distances d'une antenne par rapport aux autres antennes adjacentes.

La seconde forme est la forme hexagonale qui assure moins d'inconvénients que la forme carrée. le schéma ci-dessous illustre les deux formes.

Les types de cellules sont illustrés sur la fig.I.1.2.



**Fig I.1.2 :** Les types de cellule carrée et hexagonale

Dans un réseau cellulaire, chaque cellule est entourée de six (6) cellules voisines, c'est pour cette raison que la cellule est représentée la plus part du temps sous forme d'hexagone. On affecte aux cellules voisines des fréquences différentes pour diminuer les interférences. En pratique deux cellules qui possèdent deux gammes de fréquences doivent être à une distance allant de deux (2) à trois(3) fois le diamètre de la cellule.

Plus le rayon d'une cellule est petit, plus la bande passante disponible est élevée. Ainsi, dans une zone urbaine fortement peuplée, des cellules d'une taille pouvant avoisiner quelques centaines de mètres seront représentées, tandis que de vastes cellules d'une vaste cellule d'une trentaine de kilomètres permettront de couvrir les zones rurales.

Une telle structure fait appel à :

- A) Une infrastructure qui relie et supervise toutes les cellules.
- B) Une procédure de localisation pour déterminer la cellule dans laquelle se trouve le mobile.
- C) Une procédure de gestion automatique inter-cellules qui est un handover assurant la continuité de la communication lorsque le mobile change de cellules.
- D) Une signalisation entre le mobile et le réseau du à la procédure de localisation et de handover.

### I.1.2) LES types de cellules :

- **Picocellule:** désigne un espace de desserte de quelques mètres de diamètres.
- **Microcellule:** réfère à une surface géographique de quelques dizaines de mètres de diamètre.
- **Cellule:** correspond à une superficie dont le diamètre varie de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.
- **Macrocellule:** correspond à une étendue géographique de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres de diamètre.
- **Cellule parapluie:** définit une région de quelques centaines de kilomètres de diamètre.

### I.2) Caractéristiques d'un réseau cellulaire :

#### I.2.1) LES CLUSTERS :

Un cluster est la manière dont les cellules sont organisées en dépit de la réutilisation des fréquences, c'est un motif dans lequel chaque fréquence est utilisée une seule fois. Les clusters contiennent 4, 7, 12, 21 cellules. Pour une plus grande capacité de la cellule, le nombre de voies par cellule est d'autant plus grand que le nombre de cellules est petit dans un cluster. Un équilibre est obligatoire pour éviter toute interférence entre les clusters voisins. L'interférence découle de la petite taille des clusters qui est définie par le nombre de voies disponibles et du type de clusters utilisés.

Les fréquences disponibles limitent le nombre de communications simultanées que peut écouler une station en plus de certains problèmes matériels.

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.

La figure fig.I.2.3 illustre des réutilisations de fréquences.

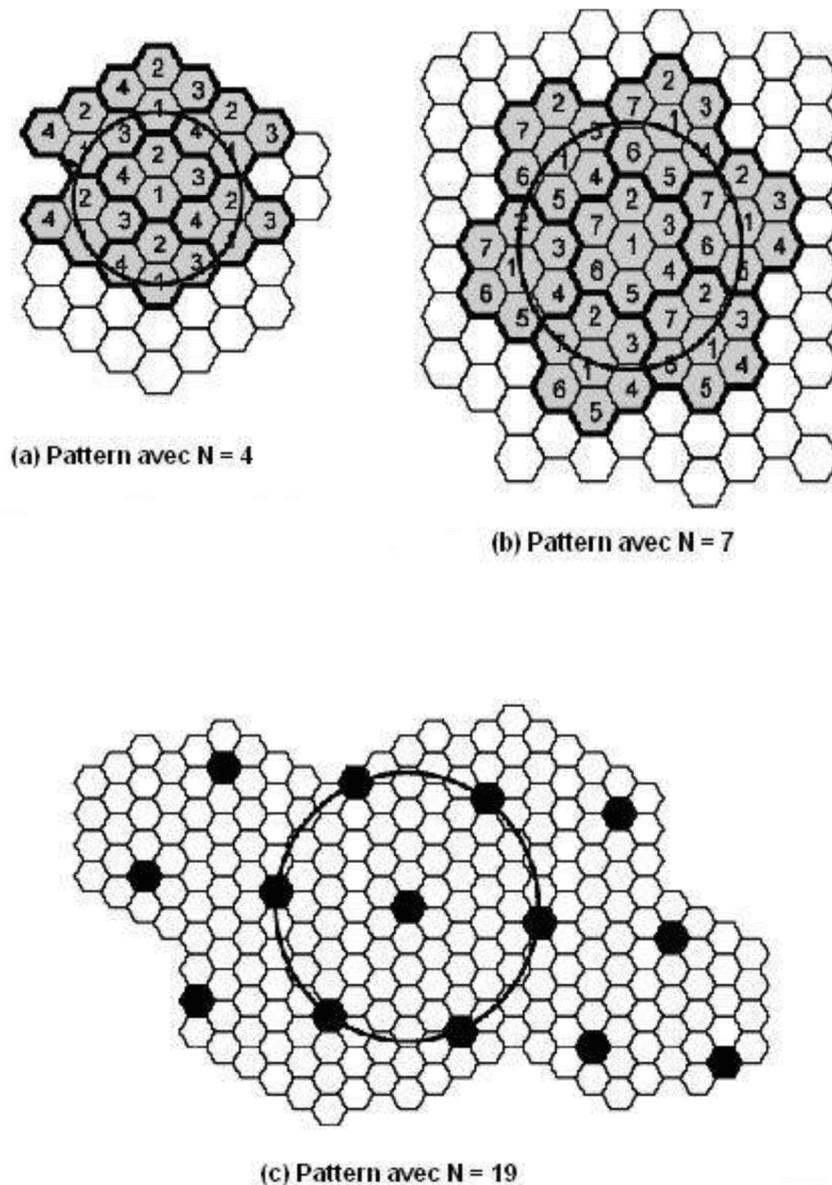


Fig I.2.3 : Exemple de réutilisation des fréquences

## I.2.2) Itinérance et handover:

### I.2.2.1) Itinérance :

L'utilisateur d'un réseau de radiotéléphonie se déplaçant en différents points du territoire couvert, a la possibilité d'appeler et d'être appelé, d'où la notion d'itinérance. Il a pour rôle la gestion de localisation ou d'itinérance.

Il permet ainsi au système la détermination de la position d'un mobile à tout moment et assure une communication entre le système et l'abonné d'où l'utilisation de deux mécanismes :

- a) La localisation d'abonné pour déterminer le positionnement du mobile et ce à tout moment.
- b) La recherche du mobile afin d'émettre des messages d'avis de recherche dans les cellules où le système a déjà localisé le mobile.

Aucune gestion de l'itinérance n'est assurée pour les systèmes première génération, réseaux radio peu étendus en plus des systèmes de radio messagerie unidirectionnelle. Sans aucune poursuite des mobiles lors de l'appel de l'utilisateur mais des avis de recherches sont lancés sur toute la couverture radio système.

Pour éviter les problèmes de la gestion de localisation, des zones de localisation sont définies et regroupent un certain nombre de cellules définies. Le système connaît la zone de localisation précise du mobile, c'est la dernière zone dans laquelle le mobile s'est signalé tout en ignorant la cellule exacte où se trouve le mobile à l'intérieur de la zone de localisation. Avec cette méthode, le système va rechercher l'utilisateur dans la zone de localisation courante en émettant un avis de recherche dans les cellules de cette zone et cela à chaque appel reçu par l'utilisateur. La consommation sera réduite à celle nécessaire à la recherche du mobile dans la zone de localisation concernée.

### **1.2.2.2) la mobilité : le handover :**

Le maintien de la communication du mobile lors de son déplacement est défini par la mobilité. Pour cela le réseau effectue la procédure de Handover (HO).

Un handover est le processus par lequel une communication établie est maintenue alors que le mobile se déplace à travers le réseau cellulaire. Ainsi la communication peut passer d'un canal physique à un autre canal physique avec un minimum d'interruptions. (< 100ms pour les communications voix dans le GSM).

Pour des cellules petites, les handovers peuvent se multiplier et entraîner une charge grandissante pour le réseau. Même si, les HO soient un transfert intercellulaire.

#### **1.2.2.2.1) Les types de handovers :**

### a) **handover intercellulaire** : il existe :

- . Dans le cas où le réseau transfère la charge du trafic sur des cellules adjacentes.
- . Une communication avec une cellule voisine avec un niveau de puissance de signal plus faible.
- . Dans le cas d'une meilleure mesure sur une cellule voisine que la mesure de la cellule active.

### b) **Handover intracellulaire** :

Se produit les mesures montrent que la qualité du signal reçu est faible avec un niveau de champs du signal élevé dans la cellule active.

### I.2.2. 3) Roaming :

Le réseau cellulaire est plus normalisé, ce qui permet à un abonné de téléphoner même s'il est en dehors de son pays « dans un pays étranger par exemple » sans changer son terminal, ni son abonnement ; et cela peut se faire avec accords entre les opérateurs de tous ces pays pour fournir les services voulus.

### I.2.2.4) Sectorisation :

Du fait que le réseau cellulaire est plus normalisé, ce qui permet à un abonné de téléphoner même s'il est en dehors de son pays (dans un pays étranger par exemple) sans changer son terminal, ni son abonnement ; et cela peut se faire avec accords entre les opérateurs de tous ces pays pour fournir les services voulus.

### I.3) Avantages et inconvénients d'une structure cellulaire :

Les avantages d'utiliser une telle structure sont :

A) Mieux exploiter les ressources fréquentielles allouées au système global grâce à la réutilisation fréquentielle ; une même fréquence peut être réutilisée dans des cellules non adjacentes avec un degré d'isolation, il y'a environ 10 à 50 fréquences assignées à chaque cellule.

B) Couverture du territoire désigné avec une puissance d'émission allant de 1 à 2watts.

C) Possibilité d'adaptation des cellules en fonction des densités locales de population.

- D) Une mobilité de l'abonné grâce à l'absence des câbles.
- E) L'utilisation des systèmes informatiques tels que les ordinateurs et leurs bases de données permettent un control rapide et automatique du réseau.
- F) Garder les mêmes propositions d'investissement des abonnées avec une adaptation rapide et efficace aux réseaux à forte ou faible densité de trafic.

Les inconvénients d'une telle structure sont :

Le problème principal à rencontrer c'est la disponibilité des fréquences limitées, en plus de la maintenance couteuse.

### **I.4) Opération de réseau cellulaire :**

Chaque station occupe une station de base au centre et qui inclut une antenne, un contrôleur et des émetteurs récepteurs .

Pour assurer des communications sur les Channels assignés à la station de base BS. Les processus de l'appel entre un terminal mobile et le reste du réseau sont traités par le contrôleur. Les terminaux communiquent avec la station de base mobile BS à chaque fois qu'ils sont activés dans une cellule.

Les stations de base BS sont toutes connectées au centre de communication des services mobiles MSC et qui servira plusieurs stations, la liaison entre ces deux peuvent être filaires ou sans fils.

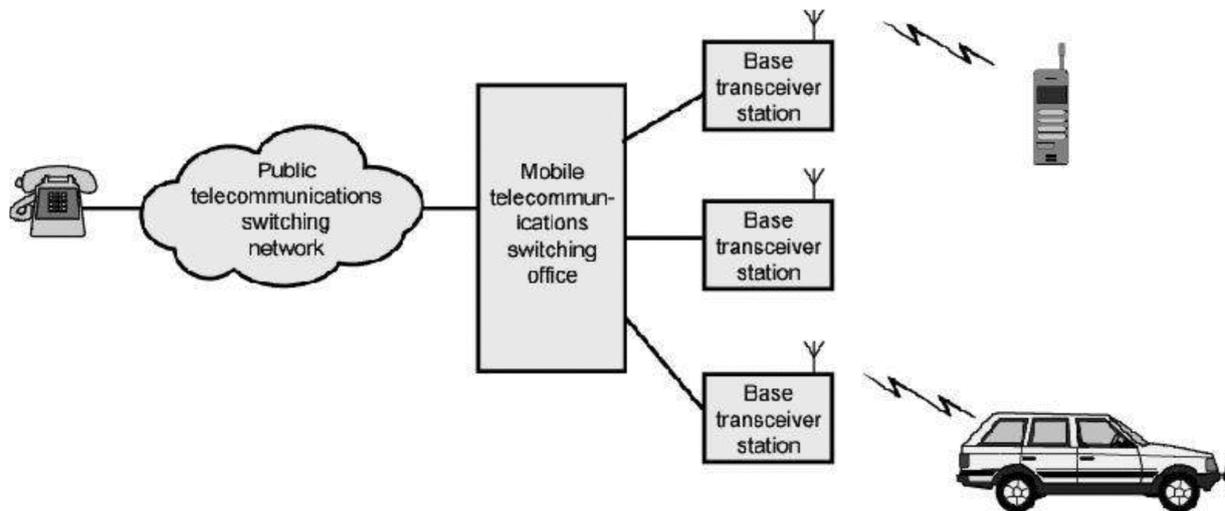
Un MSC a pour rôle la connexion des appels entre des terminaux mobiles ou entre terminaux mobiles et des téléphones fixes.

Les channels entre le terminal mobile et la station de base BS existent sous deux formes qui sont :

**-Les channels de control :** qui est établit une relation entre un terminal mobile et la BS la plus proche et assure des échanges d'informations de construction, maintenance des appels.

**-Les channels de trafic:** qui responsable de carrier une connexion de la voix ou des informations entre les utilisateurs.

Le figure fig 1.3.4 ci dessous illustre un aperçu d'un système cellulaire :



**Fig 1.3.4 : Système cellulaire.**

### **1.5) Evolution du réseau mobile :**

La téléphonie mobile a progressivement évolué des réseaux 1G analogiques et non cellulaires vers les réseaux 2G numériques et cellulaires, dont la mise en place s'est accélérée dans les années 90 grâce à des décisions communes établies par le groupe GSM.

Dans le réseau de transmission de services voix, un cadre technique s'est mis en place pour proposer aussi le transfert de données à des débits plus importants grâce à une gestion différente, par paquets, des informations échangées.

#### **. Première génération (1G):**

Les réseaux cellulaires de première génération (1G) ont été les premiers à permettre à un utilisateur mobile d'utiliser un téléphone de façon continue, n'importe où dans la zone de service d'un opérateur.

Leur fonctionnement était analogique et constitués d'appareils volumineux. Les systèmes 1G incluent :

L' AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) aux États-Unis en 1976 :est le premier standard de réseau cellulaire. Le principal problème avec cette norme était les mécanismes de sécurité ainsi il y'a risque de piratage d'une ligne téléphonique.

le TACS (*Total Access Communication System*), au Royaume-Uni : fonctionnant avec une bande de fréquence de 900MHz.

le NMT (*Nordic Mobile Téléphone*), utilisé dans les pays d'Europe du Nord, et Radiocom 2000, le standard français<sup>4</sup>,il fonctionne un plus grand nombre de canaux de communication.

Le réseau cellulaire est apparu dans les années 70 par les Bell Labs, pour une meilleure mobilité des terminaux de façon à garder la communication d'un utilisateur lors de son passage d'une cellule à une autre.

Les systèmes cellulaires ont été conçus pour augmenter la mobilité du terminal tel qu'un utilisateur est en mesure de passer d'une cellule à une autre sans coupure de la communication. Ce passage, appelé HANDOVER, permet au terminal de changer de cellule sans interruption et embarquer tous les composants nécessaires à la gestion de la communication.

La mise en fonctionnement des premiers réseaux cellulaires était chez l'AMPS, aux États-Unis à la fin des années 70. Ensuite en Europe du Nord, avec le NMT développé en Suède, en Norvège, au Danemark et en Finlande au début des années 80. En plus de TACS au Royaume-Uni ou des versions du NMT en France. France Télécom introduit Radiocom 2000 en 1985 et SFR met en place son service en 1989.

Avec un mode de fonctionnement basé sur une transmission de la voix analogique, avec un multiplexage FDMA pour transporter des canaux vocaux et une modulation de fréquence dans les bandes 450MHz et 900MHz et sans compatibilité entre ces systèmes, c'est ce qui limite leur efficacité et interdit ainsi le développement des services offerts au grand public. Les téléphones sont onéreux, lourds, encombrants, et le coût des communications tout aussi dissuasif. De ce fait, seuls les professionnels itinérants et les plus fortunés s'équipent. Les spécialistes des télécommunications ont voulu remédier à ces problèmes et ils ont développé cette technologie en une seconde génération.

### **. Deuxième génération(2G) :**

Les réseaux cellulaires de la deuxième génération ont un concept différent de celui de la (1G) ,basés sur une technologie digitale (numérique) ,avec deux méthodes d'accès le TDMA et le CDMA auxquelles sont attribuées deux standards :

**1) Le GSM pour le TDMA :** il est lancé en 2001 GSM ,il est beaucoup plus utilisé en l'Europe et en Asie. Le GSM est opérationnel sur des fréquences de 900 MHz et 1800 Mhz. Ce réseaux fournissent non seulement le service de la voix téléphonique, mais encore la transmission de données avec le débit 9.6 kbps. Il existe un service de message dans le GSM, c'est le service de message court textuel son contenu est de 160 caractères. Le GSM permet : une augmentation de la réutilisation de fréquences, baisser la distorsion (meilleure qualité) et la transmission de données plus rapide.

**2) Le standard IS95A pour le CDMA1 :** lancé au Japon et aux États-Unis. L'IS95A permet des services de la voix téléphonique et la transmission de données avec le débit 14.4 kbps.

La (2G) a permis l'accès au grand public à la téléphonie mobile et a assurer une meilleure qualité d'écoute, des terminaux portables et une confidentialité des communications.

### **Génération 2.5 :**

Les réseaux mobiles de 2.5G sont sortis l'année 1999, il est développé jusqu'à maintenant. Tous les réseaux mobiles à 2.5G supportent les services de la voix et données (texte, fax et SMS). De plus, à l'aide de ses caractéristiques avancées, ils supportent aussi de nouveaux services comme le service de message multimédia, WAP. C'est la que le standard GPRS a connu son début, il est basé sur le GSM, le GPRS utilise la technologie de commutation de paquets et permet un accès à internet à bas débits à partir d'un terminal mobile.

Le débit théorique de transmission de données est de 144 kbps et un débit réel de 50Kbps.

L'architecture mixte GSM et GPRS assure, la voix continue sur le GSM et la disponibilité d'internet via le réseau GPRS.

### **. Génération 2.75 :**

La nouvelle phase qu'a voulu atteindre les spécialistes des réseaux mobiles était la capacité de transmission de données continues. De la, un nouveau standard a connu le jour c'est l'EDGE.

L'EDGE est basé sur une modulation 8PSK (8 Phase Shift Keying) qui permet d'augmenter le débit de transmission 3 fois plus, qui atteint les 384 kbps.

### **. Troisième génération (3G) :**

La troisième génération (3G) a développé la technologie de la (2G) vers la technologie portable des téléphones et des ordinateurs tout en gardant les normes du GSM ou EDGE. Elle permet d'atteindre le haut débit et offre des services tels que la réception de la télévision sur téléphone, message vidéo, visiophonie, internet sans fil.

Un nouveau standard est attribué à la 3G c'est l'UMTS (universal mobile for Telecommunications system) de l'ETSI. Dans la version américaine, elle correspond au CDMA 2000 alors qu'au Japon on parle de FOMA (Freedom of Mobile Multimedia Access), l'UIT (union international des télécommunications a définie les normes de la (3G) IMT-2000 pour : une meilleure croissance, augmenter le débit, plus d'applications variées et une meilleure sécurité.

Le GSM offre à l'UMTS le WCDMA( Wideband Code Division Multiple Access): il est utilisé pour les bandes de fréquences appariées. Quant au CDMA développe les services 1xRTT (One time Radio Transmission Technology) devient TD/CDMA (Time Division/Code Division Multiple Access), il est utilisé pour : les fréquences non appariées en cas de téléphone sans cordon, débits fortement asymétriques et pour des applications à faible portée .

Le débit atteint dépend de l'environnement d'utilisation :

- a) une zone rurale : au moins 144 kbit/s, l'objectif étant de 384 kbit/s.
- b) Dans un espace urbain : au moins 384 kbit/s, l'objectif étant de 512 kbit/s.
- c) Dans un immeuble : au moins 2 Mbit/s.

Les applications de la 3 G sont la télévision mobile, la vidéoconférence, les services de localisation, la vidéo à la demande et la télémédecine.

L'UMTS est caractérisé par ses performances radio liées à la nouvelle technologie radio utilisée « l'UTRAN », un réseau de services mobiles complexes et une architecture flexible et modulaire permettant l'évolutivité de la technologie et aussi par compatibilité avec les différents systèmes de deuxième et troisième générations. Le système UMTS est modélisé à partir de deux points de vue, l'un physique et l'autre fonctionnel. L'architecture de ce système est composée essentiellement d'un réseau terrestre d'accès radio, l'UTRAN (Universal terrestrial Radion Access Network) et d'un réseau cœur dérivé de celui spécifié pour la phase 2+ du GSM.

. **l'UTRAN/FDD ( universal terrestrial Radion Access/ Frequency Duplex Division) :** n Duplex fréquentiel FDD : 1 920,00 à 1 980,00 MHz (uplink de 60 MHz).

. **L'UTRAN/TDD( universal terrestrial radionaccess/F requency Duplex Division) :** n Duplex temporel TDD : 1 885,00 à 1 920,00 MHz (bande de 35 MHz).

Pour accroître encore les débits, FDD et TDD peuvent effectuer l'exploitation des canaux duplex en données seules (**EV-DO**, "data only") ou en utilisation plusieurs voix et données (EV-DV). L'**EV-DV** (*Evolution Data and Voice*), norme complexe, englobe à la fois les capacités de la commutation de circuits vocaux et l'efficacité des données par paquet à haut débit (débits de 420 kbit/s et 1,7 Mbit/s).

- **Architecture générale du réseau UMTS :**

La mise en place de l'UMTS avait pour but le développement de la 2G et 2.5G ce qui fait qu'il ne remplacera pas les technologies et ces éléments de réseau mais étend l'architecture du réseau.

Le sous-système radio RNS (Radio Network Subsystem) comprend les Nodes B, et leurs contrôleurs RNC (Radio Network Controller). Cette architecture hiérarchique, dans laquelle une entité contrôle et plusieurs entités de niveau inférieur, est similaire à celle du réseau GSM. Une grande différence avec le système GSM est que l'UMTS introduit l'interface  $I_{ur}$  entre les entités RNC. La gestion de la macrodiversité dans le réseau est une des raisons qui a poussé à définir cette interface. L'interface  $I_{ur}$  sera normalisée à l'ETSI.

L'architecture fonctionnelle du réseau d'accès UMTS est présentée sur la figure fig 1.5.5 ci dessous :

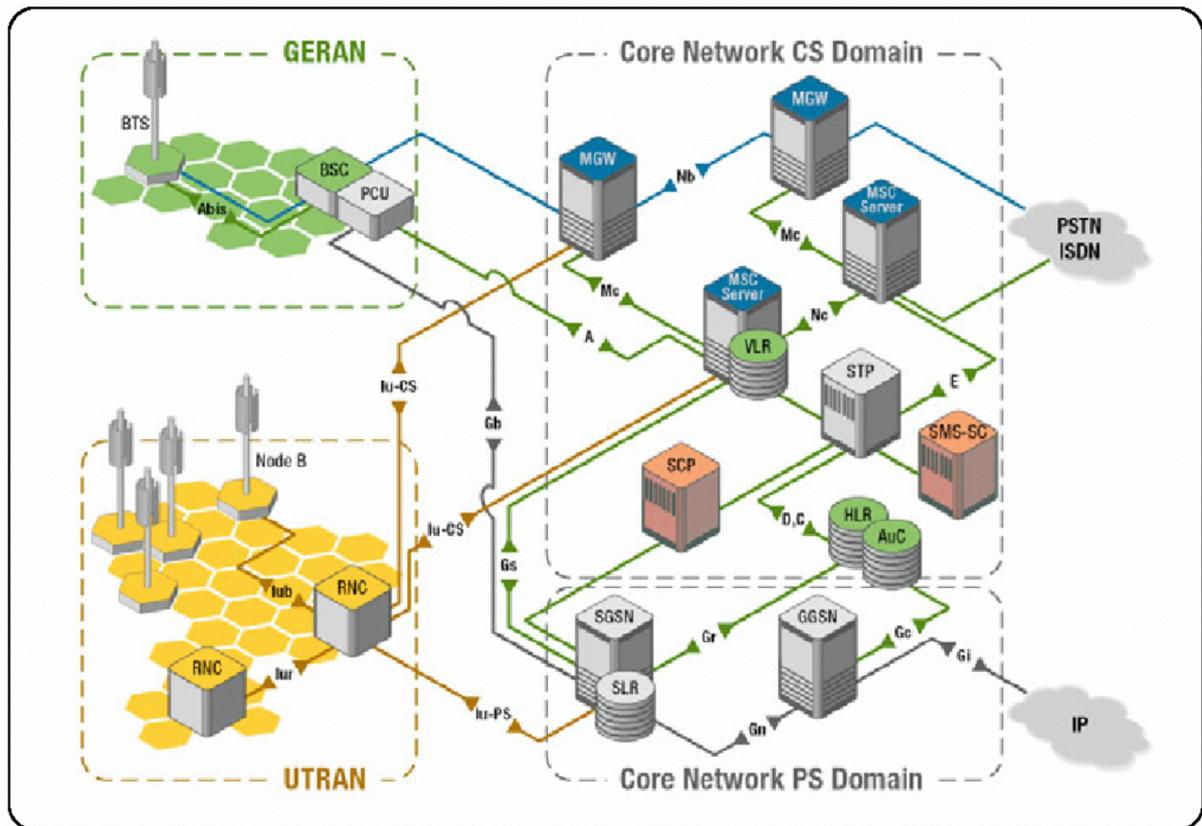


FIG I.5.5 : Architecture du réseau UMTS

Les objectifs à réaliser avec l'UMTS sont :

- a) Capacités multimédia et mobilité sur une très grande étendue géographique.
- b) Accès efficace à Internet, aux intranets et aux autres services de bases sur le protocole IP.
- c) Transmission vocale de grande qualité, comparable à celle des réseaux fixes.
- d) Portabilité des services dans les environnements UMTS différents.
- e) Fonctionnement en mode GSM / UMTS a l'intérieur, a l'extérieurs et dans des endroits extérieurs éloignés, sans solution de continuité, permettant une itinérance totale entre les réseaux GSM et entre les éléments terrestres et satellitaires des réseaux UMTS.
  
- f) Terminaux GSM / UMTS bimodaux et a deux bandes, si appropriée.
- g) Terminaux UMTS bimodaux terrestres / satellite, si appropriée.

### **. Génération 3.5 :**

HSDPA (High – Speed Downlink Packet Access) est un protocole de téléphonie mobile d'une technologie basée sur la communication WCDMA ( Wideband – Code Multiple Division Access).

Le HSDPA est l'évolution logicielle de la 3G(UMTS R'99) ainsi il offre des performances dix fois supérieure que la 3G. Cette évolution permet d'approcher les performances des réseaux DSL (Digital Subscriber Line).

Le HSDPA offre des débits en mode paquets de 1,8 ou à 3,6 ou à 7,2 ou à 14,4 ou à 42 Mbit/s. La faisabilité de ces débits doit compter avec l'encombrement du réseau, la diminution de la taille des cellules occasionnée par les pointes de trafic et les capacités des terminaux. Le HSDPA est bien adapté aux téléchargements de fichiers vidéo.

### **Génération 3.75 :**

La génération 3.75 est basée sur le protocole HSUPA ( high sped uplink packet access) et permet des débits descendants de l'ordre de 5,8 Mbit/s en W-CDMA dans le sens montant et permet de réduire la latence . Un intervalle de temps de transmission (TTI) de longueur réduite est utilisé. Le protocole H-ARQ assure la redondance incrémentale. Un ordonnanceur de paquets gère la transmission des paquets selon l'état des files d'attente, la qualité des canaux et la présence des paquets prioritaires (non-scheduled packet).

### **Quatrième génération (4G) et le WIMAX:**

La quatrième génération a été développée pour une meilleure qualité de service et de débits exigés par les applications 3 G existantes. La 4 G peut fournir un débit de téléchargement de 100 Mb/s pour les communications de haute mobilité à partir des trains et des voitures et un débit de 1 Gb/s pour les communications de basse mobilité pour les piétons et utilisateurs fixes.

Le système 4 G doit fournir une solution à large bande tout IP sécurisée aux modems sans fil des laptops, aux smartphones et autres dispositifs mobiles. D'autres services

seront offerts aux utilisateurs tels que : Accès à Internet à haut débit, téléphonie IP, les services de jeux et autres services multimédias en temps réel.

. **LTE** (Long Term Evolution, 3.9 G) développé au sein de **3GPP**. par est une technologies proches de la 4 G et devrait offrir des débits de l'ordre de 1Gb/s.

Le standard LTE stipule les caractéristiques suivantes :

· Un débit antenne vers client (descendant) maximum de 326.4 Mbits/sec en utilisant 4 antennes (MIMO) et 172.8 Mbits/sec. Avec 2 antennes pour chaque tranche de 20 MHz de spectre .

· Un débit client vers antenne (ascendant) maximum de 86.4 Mbits/sec. Pour chaque tranche de 20 MHz de spectre .

· Le support de 200 clients actifs par cellule et par tranche de 5 MHz de spectre.

· Une latence inférieure à 5 millisecondes pour les paquets IP de petit format.

· Une flexibilité dans l'attribution du spectre de fréquence (1,4 MHz jusqu'à 20 MHz), contrairement aux systèmes actuels où l'allocation se fait par tranche fixe de 5 MHz créant de nombreux problèmes de coexistence entre systèmes concurrents.

· Taille des cellules de 5 km avec performances optimales, 30 km avec performances raisonnables et 100 km avec performances acceptables.

· Coexistence avec les standards actuels, les clients pouvant passer d'un standard à un autre sans interruption de la communication ni intervention manuelle et ce d'une manière tout à fait transparent.

### . Le WIMAX

Le terme **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) est une famille de normes (IEEE 802.16) . Elles définissent les transmissions de données à haut-débit, par voie hertzienne. Le **WiMAX Forum** regroupe tous les plus grands utilisateurs qu'ils soient (industriels, opérateurs, exploitants, diffuseurs...) impliqués dans cette série de normes.

WiMAX regroupe des normes et standards de réseaux sans fil précédemment indépendants comme:

. HiperMAN développé en Europe par l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*)

. 802.16 développé par l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

WiMAX utilise plusieurs technologies de diffusion hertziennes destinées principalement à une architecture "point-multipoint" : un ou plusieurs émetteurs/récepteurs centralisés couvrent une zone où se situent de multiples terminaux.

Le WiMAX procure des débits de plusieurs dizaines de mégabits/seconde sur une zone de couverture portant sur quelques dizaines de kilomètres au maximum. Le WiMAX s'adresse notamment au marché des réseaux métropolitains, le MAN (*metropolitan area network*) de HiperMAN mais également aux secteurs péri-urbains voire ruraux qui n'ont pas d'infrastructure téléphonique filaire exploitable.

Plusieurs normes et standards relèvent de l'acronyme WiMAX : les plus avancés concernent les usages en situation fixe : l'utilisateur est équipé d'une station domestique et d'une antenne extérieure ; les autres concernent une version mobile : connexion à haut-débit en situation de mobilité dont la norme est en cours d'homologation internationale.

### **Les objectifs de la quatrième génération sont :**

- a) Canal de largeur de bande flexible, entre 5 et 20 MHz, optionnellement jusqu'à 40 MHz.
- b) Efficacité spectrale, réseau de grande capacité, débit nominal de 100 Mb/s, débit minimal entre deux points dans le monde : 100 Mb/s.
- c) Transfert intercellulaire imperceptible à travers des réseaux hétérogènes.
- d) Connectivité sans faille et roaming global à travers des réseaux multiples.
- e) Qualité de service élevée (pour audio en temps réel).
- f) Transmission de données à haut débit, télévision à haute définition, télévision mobile, etc).

g) Interopérabilité avec les normes sans fil existantes, réseau à commutation de paquet IP.

### **I.6) La technologie GSM :**

Le Global System for Mobile Communications ou GSM (historiquement Groupe Spécial Mobile) est une norme numérique de seconde génération pour la téléphonie mobile. Elle fut établie en 1982 par le CEPT (Conférence des Administrations Européennes des Postes et Télécommunications). Elle a été mise au point par l'ETSI sur la gamme de fréquence des 900 MHz. Une variante appelée Digital Communication System (DCS) utilise la gamme des 1800 MHz. Cette norme est particulièrement utilisée en Europe, en Afrique, au Moyen-Orient et en Asie. Il existe aussi deux autres variantes en 850 MHz et en 1900 MHz (PCS). La protection des données est assurée par les algorithmes de chiffrement A5/1 et A5/2. Tel qu'il a été conçu, le réseau GSM est idéal pour les communications de type 'voix'. Le réseau étant commuté, les ressources ne sont allouées que pour la durée de la conversation, comme lors de l'utilisation de lignes téléphoniques fixes. Les clients peuvent soit acheter une carte prépayée, soit souscrire un abonnement.

#### **I.6.1) Historique :**

Les premiers systèmes de radiocommunications mobiles, dit de première génération, se reposent sur une technologie analogique assez ancienne. La bande de fréquence utilisée est comprise entre 80 Mhz et 900 Mhz. Les opérateurs ont été souvent confrontés à une saturation de leurs réseaux. L'ensemble du spectre disponible n'est plus assez important pour répondre à la demande croissante des communications mobiles. Les services offerts par ces systèmes sont limités à : l'appel de personnes, le téléphone de voiture, la radio messagerie unilatérale et le téléphone sans fil. Les principaux systèmes analogiques sont : Eurosignal, Radiocom 2000, AMPS, NMT etc.

Devant ces insuffisances, il fallait penser à un système plus amélioré ainsi une norme GSM est arrivée sur le marché. La Conférence Administrative Mondiale de la Radio a décidé en 1979 d'attribuer la bande 900 Mhz aux services mobiles terrestres en Europe.

En 1982, la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT) projette l'étude d'un téléphone cellulaire Européen utilisant deux bandes de fréquences comprenant 124 canaux radio :

- 890-915 Mhz pour le sens montant,
- 935 - 960 Mhz pour le sens descendant.

La norme GSM a prévu une extension de 8Mhz placée sous la bande précédente. Le Groupe Spécial Mobile, au sein de la CEPT est chargé d'élaborer des recommandations en vue d'une normalisation pour un système cellulaire public Pan Européen de radiocommunication avec les mobiles.

Les objectifs à réaliser avec la norme GSM se résument en deux points principaux :

- Accès à une gamme cohérente de services mobiles dans toute l'Europe et ensuite celle de tous ceux qui ont adaptés la norme GSM.
- Standardisation des terminaux et infrastructures.

Entre 1984 et 1986, il y a eu coopération Franco-Allemande pour le développement de prototypes.

En 1986, il a eu un programme d'expérimentation au CNET (centre national étude des télécommunications) ;

En 1988, L'ETSI (European Telecommunication Standardisation Institute) a repris les recommandations de la CEPT pour établir des normes ou spécifications techniques.

En 1991, il y a eu la mise en place par France Télécom à Genève, d'un réseau de démonstration en collaboration avec les PTT suisses.

En 1992, on assiste aux premières mises en service des réseaux GSM.

En 1994, la norme s'étend à 1800Mhz (DCS1800) et à 1900Mhz (PCS1900).

Depuis 1998, la norme GSM continue à évoluer, offrant de nouveaux services à la clientèle en maintenant sa compétitivité face à la concurrence américaine. Ces évolutions lui permettent de s'affirmer comme un support des systèmes dit de 3<sup>iem</sup> génération (UMTS Universal Mobile Telephone System).

### I.6.2) LES PERFORMANCES DE LA NORME :

Jusqu'en 1992, chaque pays, doté du système GSM, exploitait son ou ses propres systèmes de radiotéléphone. Tous ces systèmes étaient incompatibles entre eux.

L'architecture du GSM basée sur le numérique cellulaire, assure une compatibilité permettant aux clients une itinérance (roaming) dans tous les pays utilisateurs, sous réserve d'accords entre opérateurs.

La continuité des communications est assurée à l'intérieur des frontières d'un pays, la couverture radio d'un territoire est découpée en cellules de tailles variables. Une communication ne doit être interrompue lors d'un changement de cellule occasionné par le déplacement du mobile. Grâce au contrôle permanent de la qualité de la communication, le système analyse les déplacements du mobile et décide d'effectuer un handover, un transfert de la communication d'un relais à l'autre. Pour cela, à chaque instant de la communication et parallèlement à celle-ci, le mobile examine les cellules environnantes qu'il reçoit le mieux et en rend compte au système qui transfère la communication vers la cellule la plus appropriée.

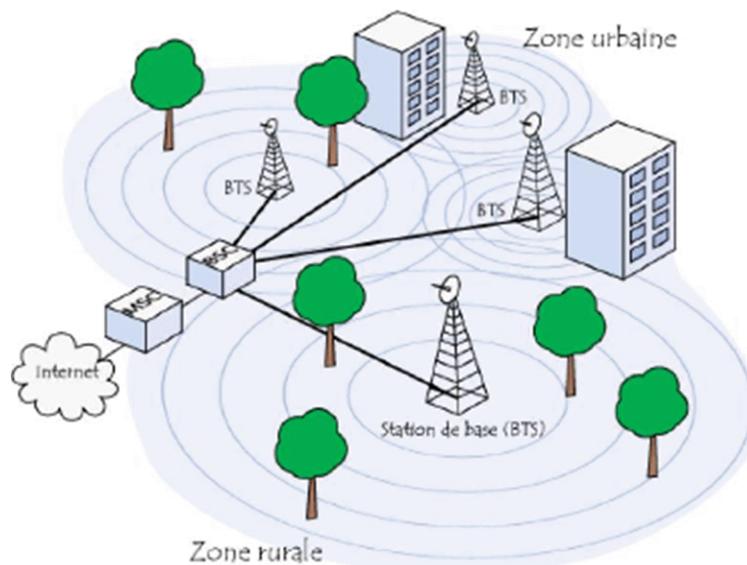


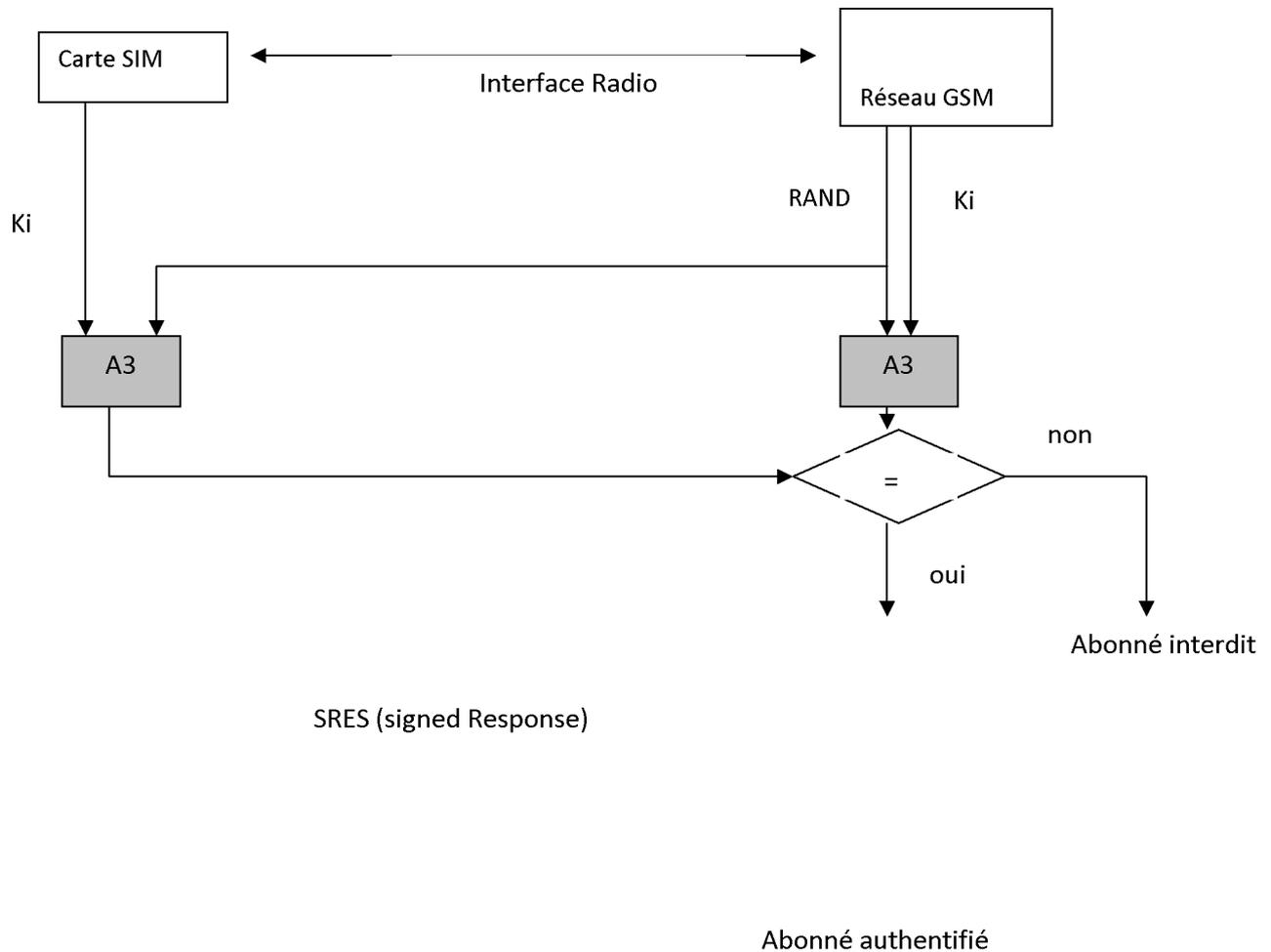
Fig I.6.6 : exemple d'une distribution du réseau GSM

Tout abonné à un réseau GSM possède un numéro d'abonné RNIS international de station mobile (MSISDN). Le numéro d'abonné RNIS est communiqué par le client à ses correspondants. Pour les échanges dans le réseau GSM, ce numéro s'associe à un numéro interne (IMSI). Le réseau entretient dans ses bases de données, la correspondance.

Du côté mobile, les données identifiant l'abonnement sont stockées dans une carte à puce insérée dans l'appareil: (SIM). Cette carte SIM contient entre autres, l'IMSI, la clé d'authentification individuelle. Son usage est protégé par un code personnel d'identité (PIN).

La norme GSM identifie l'équipement mobile au travers de l'identité nationale d'équipement mobile IMEI qui est stockée dans l'appareil et également inscrite sur étiquette code barre. La norme a prévu une protection des abonnements de sorte qu'à chaque requête, la station mobile est authentifiée à l'aide d'une signature SRES qui ne servira que pour cette requête. Cette signature est calculée côté réseau ainsi que dans la station mobile à partir de données constantes, constituées de la clé d'authentification Ki, une séquence aléatoire RAND et d'un algorithme de calcul A3, stockés côté réseau et transmise à la station mobile.

L'authentification de l'abonnement est assurée dans le réseau par la comparaison des SRES calculés de part et d'autre. La figure fig 1.6.7 ci-dessous est un schéma descriptif d'une authentification d'un abonné.

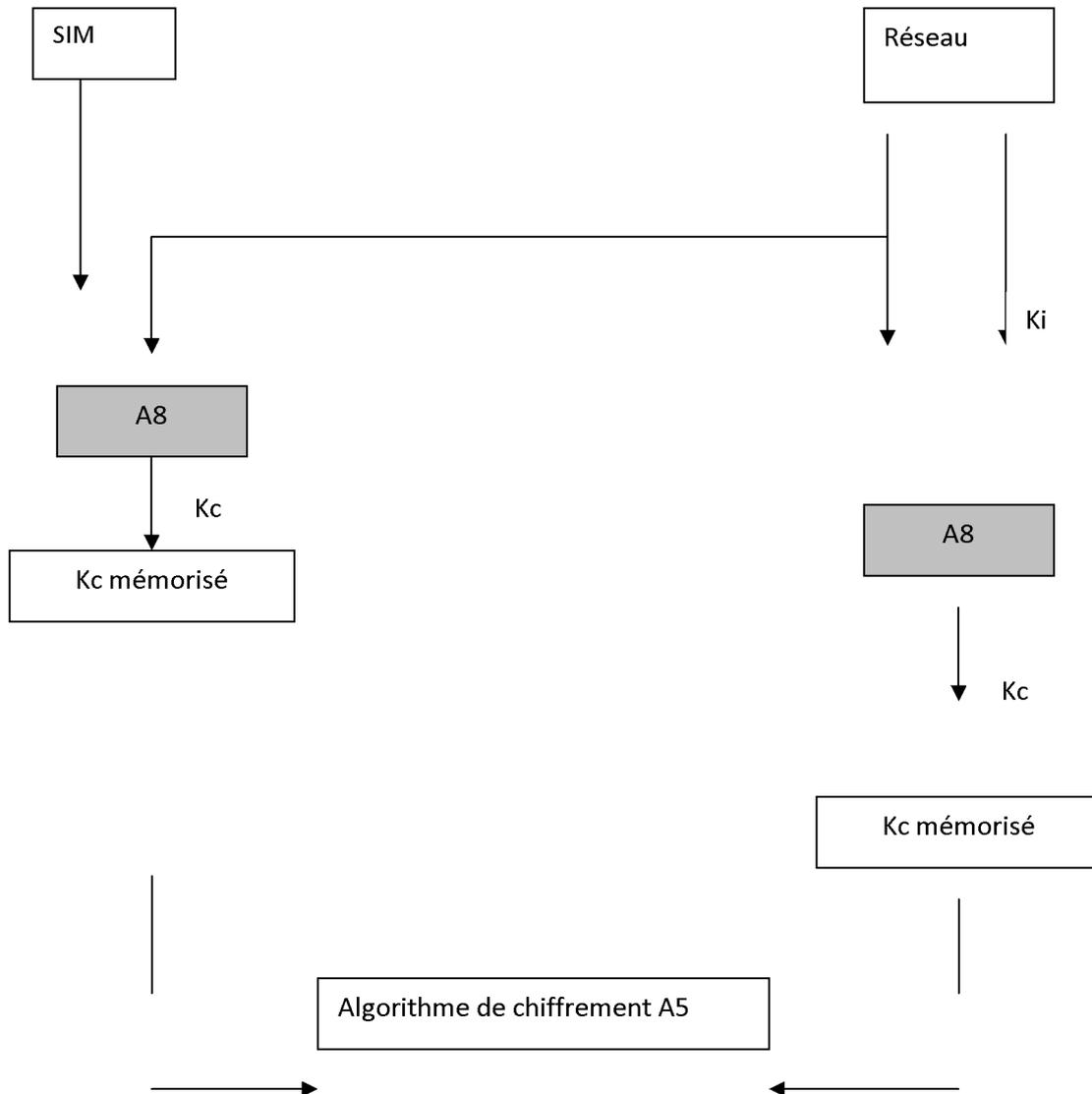


**Fig I.6.7** : Schéma descriptif de l'authentification d'un abonné

La norme GSM a prévu la protection de chaque communication contre toute écoute sur le segment radioélectrique. Pour cela faire, la procédure après authentification à un chiffrement/déchiffrement du signal numérique.

Les différentes combinaisons de chiffrement sont fonction d'une clé de chiffrement  $K_c$  et d'un algorithme de chiffrement A5. Ces deux informations sont présentes de chaque côté du segment radio électrique. La clé  $K_c$  est calculée avec la clé  $K_i$ , un algorithme A8 stocké dans le réseau et au sein du module SIM, et une donnée RAND (RANDOM number) déjà utilisée lors de l'authentification.

La figure fig I.6.8 ci-dessous est un schéma descriptif de l'algorithme de chiffrement A5.



**Fig I.6.8** : algorithme de chiffrement A5.

La structure cellulaire, permet de répartir de façon rigoureuse l'ensemble des fréquences, définies par un plan de fréquence, sur plusieurs zones appelées cellules. Chaque cellule dispose d'un groupe de fréquence. L'ensemble des cellules forme un motif cellulaire qui peut être reproduit à l'infini afin d'assurer la couverture radio de grandes étendues.

Ainsi, la distance à laquelle sera réutilisée une fréquence est directement liée aux dimensions du motif.

La technique numérique autorise l'utilisation de cellules de faibles dimensions, sans perturbations importantes liées à la réutilisation des fréquences.

Dans le système GSM, la cellule est de taille variable en fonction du trafic évalué sur une zone géographique donnée.

Le nombre de cellules de petites tailles sont multipliées pour un trafic important, augmentant ainsi la capacité de circuits pour cette zone. Dans les zones à faible trafic, les cellules sont de grandes dimensions (10 à 15 km de rayon) et desservie par des antennes omnidirectionnelles. Dans les agglomérations urbaines, elles seront de dimensions réduites (400m de rayon), desservies par des antennes sectorielles. Pour des raisons techniques de synchronisation, le rayon maximum d'une cellule ne peut excéder 35 km dans la version phase 2 de la norme GSM.

Dans la version phase 2+ de la même norme, ce rayon peut aller à 110 km. Dans la norme GSM, le signal de parole est numérisé par un codage source à 13 kbit/s. Le codage à 6,5 kbit/s est aussi possible et ceci pour doubler la capacité du réseau mais la qualité audio en souffrira. Il est utilisé seulement lorsqu'on est confronté à une pénurie de fréquences.

Dans le cas du codage à 13 kbit/s, il existe deux versions :

- le codeur d'origine assurant une qualité correcte mais inférieure à celle du réseau fixe,
- Le codeur amélioré, apparu en 1997, (EFR Enhanced Full Rate); DHR (Digitale Haute Résolution), offrant une qualité audio similaire à celle du réseau fixe.

Pour assurer l'inter-fonctionnement du système cellulaire avec le RTCP (Réseau Téléphonique Commuté Public) ou le RNIS (Réseau Numérique avec Intégration de Services), la nécessité d'un transcodeur côté réseau s'impose. Ce transcodeur est souvent très proche du MSC. Sur le canal radioélectrique, les fadings et les interférences provoquent des erreurs de transmission qui se manifestent en majorité par paquets, alors que la correction d'erreur est surtout opérante sur les erreurs isolées. La norme a prévu donc une procédure d'entrelacement des données transmises, de sorte qu'à la réception, au cours du désentrelacement, les erreurs commises lors de l'émission vont être espacées permettant ainsi leur correction. L'insertion d'un annuleur d'écho côté RTCP s'impose donc pour compenser le temps de traitement important dû au processus de correction d'erreurs ci-dessus décrit.

Dans la norme GSM, les tâches de gestion de la signalisation ont été dissociées des tâches de gestion des appels afin de réduire le temps d'établissement des communications. Ce principe permet de traiter simultanément les procédures, mais nécessite l'existence d'un réseau dédié à la signalisation appelé réseau sémaphore.

Le protocole utilisé sur ce réseau est le CCITT n° 7. Ainsi, le réseau GSM est rattaché d'une part au commutateur RTCP pour l'acheminement des communications et d'autre part aux points d'accès du réseau sémaphore pour les échanges de signalisations.

Par ailleurs, pour le réseau GSM, la localisation des mobiles a été centralisée dans une base de donnée accessible par des liens spécifiques exploités en code CCITTn°7.

### **I.7) Architecture d'un réseau GSM :**

Un réseau de radiotéléphonie permet des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique (RTC) d'une part et entre mobile et mobile d'autre part. Il est caractérisé par un accès très spécifique : la liaison radio. Ce réseau doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance.

Un système radio téléphonique peut se décomposer en quatre ensembles :

- a) la station base MS (terminal mobile).
- b) Le sous système radio BSS (base Station Sub- System) \_ (réseau d'accès radio).
- c) Le sous système d'acheminement NSS (Network Sub-System) \_ (réseau cœur).
- d) Le sous système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation Sub-System) \_ ( operation Sub-System).

La figure fig I.7.9 est un structure simplifié d'un réseau GSM.

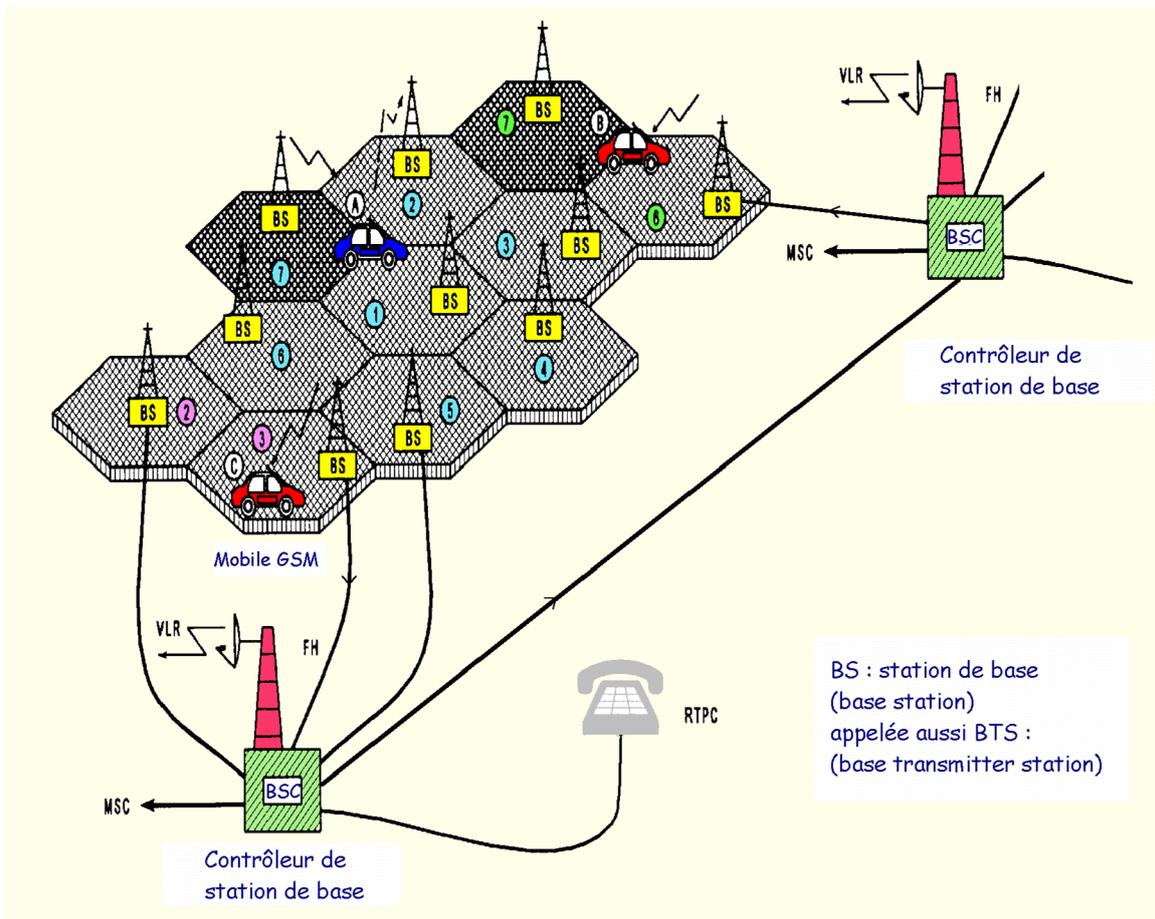


Fig I.7.9 : Structure simplifiée d'un réseau GSM.

### - **La station mobile MS ( Mobile Station ) :**

Dans un réseau GSM, le terminal de l'utilisateur est appelé **station mobile**, composée d'une carte **SIM** (*Subscriber Identity Module*), permettant d'identifier l'utilisateur de façon unique et d'un terminal mobile, c'est-à-dire l'appareil de l'utilisateur par exemple téléphone portable.

Les terminaux sont prescrits par la norme en fonction de leur application. Ils sont identifiés par un numéro d'identification unique de 15 chiffres appelé **IMEI** (*International Mobile Equipment Identity*) et permet la détection et l'interdiction des terminaux volés.

La carte SIM possède un numéro d'identification unique (et secret) appelé **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*). Ce code peut être protégé à l'aide d'une clé de 4 chiffres appelés *code PIN* de ce fait, la carte SIM permet d'identifier chaque utilisateur, indépendamment du terminal utilisé lors de la communication avec une station de base. La communication entre une station mobile et la station de base se fait par l'intermédiaire d'un lien radio, généralement appelé **interface air** (ou plus rarement *interface Um*).

### - **Le sous système radio (BSS) :**

La station de base BSS est constituée par un ou plusieurs stations de base et du contrôleur de station associé. Le BSS assure la transmission radioélectrique et gère la ressource radio. Le BSS est constitué de :

### - **La station de base BTS( base transceiver station) :**

Les BTS sont installées dans les cellules pour permettre le raccordement radio de tous les mobiles au sein de cette cellule vers le NSS via BSC. Une BTS est un ensemble d'émetteurs récepteurs appelés TRX. Elle s'occupe de la transmission radio: modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreurs. Elle gère le multiplexage TDMA, les sauts de fréquence lents, le chiffrement. Elle réalise aussi l'ensemble des mesures nécessaires pour vérifier si une communication en cours se déroule correctement. Ces mesures ne sont pas exploitées par la BTS, mais directement transmises au BSC. La BTS gère la liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure (LAP Dm), et la liaison de données avec le BSC afin d'assurer la fiabilité du dialogue (LAP D). la liaison est une liaison MIC

(modulation par impulsions codées) avec un débit de 2Mbps sur la ligne cuivre classique et 2,4 ou 8 Mbps. Plusieurs types de BTS ont été conçus parmi elles :

- **LA STATION DE BASE RAYONNEMENT** : 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 macros cellules. On en trouve en abondance au bord des autoroutes. Ces BTS ne peuvent pas être utilisées dans les zones de forte densité de trafic car elles émettent et occupent la bande passante du réseau sous une grande distance.

- **LA STATION DE BASE CIBLEE** : Elles sont le plus souvent placées dans des zones à plus forte densité d'abonnés que les BTS rayonnantes. On les trouve en ville par exemple. Elles sont de formes relativement allongées 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.

- **LES MICROS BTS** : Les micros BTS sont des stations de base qui présentent une puissance de transmission et une sensibilité faible par rapport aux BTS conventionnelles, ceci permet de mettre en place des micros cellules qui s'intègrent dans le réseau existant. Ces micros cellules ont comme caractéristique fondamentale une taille très réduite (un rayon de l'ordre de 400 m) et un faible coût d'installation (les antennes peuvent être installées en dessous du niveau de bâtiment). La multiplication de ces cellules permet une répartition plus efficace des fréquences disponibles sur des zones très densément peuplées. Les micros BTS offrent aussi la possibilité d'utilisation à l'intérieur d'un bâtiment, par exemple dans des usines ou dans des aéroports.

- **Le contrôleur de station de base BSC( Base station controller) :**

Les BSC sont les organes intelligents du BSS. Leur fonction principale est de gérer la ressource radio. Ils commandent l'allocation des canaux, utilisent les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile et de la BTS, prennent la décision de l'exécution d'un handover et réalisent une concentration des circuits vers le MSC.

Le BSC est relié par une ou plusieurs liaisons MIC avec la BTS et le MSC et gère une liaison de données avec ceux-ci.

La liaison de BTS-BSC est en partie similaire à un accès RNIS et fait appel au LAPD, la liaison BSC-MSC utilise le code CCITT n°7 avec ses différentes couches. Certains constructeurs d'infrastructures ont conçu des BSC de capacité faible estimant préférable de multiplier leur nombre pour minimiser les distances BTS-BSC et réduire les coûts d'exploitation des opérateurs. Il existe aussi des BSC de forte capacité. Les BSC de faible capacité conviennent aux zones rurales faiblement peuplées et où plusieurs BTS partagent un même MIC sur un anneau. Les BSC de forte capacité conviennent pour les zones urbaines où la forte densité par unité de surface nécessite des BSC capables d'écouler un trafic important et où les BTS sont reliées au BSC suivant une topologie étoile.

### - **Le sous système d'acheminement NSS ( Network Sub System) :**

Le NSS a pour fonctions d'assurer la commutation et le routage des communications réseau. Il permet d'établir les communications entre mobile d'un même mobile terrestre public PLMN (Public Land Mobile Network) ou de PLMN différent et entre mobile et PSTN. IL assure aussi les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM. Le NSS est constitué de :

#### ✓ **L'Enregistreur de localisation nominal (HLR) :**

Il représente la base de données qui gère les abonnés d'un PLNM donné. Il possède l'IMSI (identité internationale) de l'abonné utilisé par le réseau, le numéro d'annuaire de l'abonné, le profil de l'abonnement (services supplémentaires autorisés, autorisation d'appel international,...). Ces données sont rentrées par l'opérateur à partir de son système d'administration.

Le HLR est aussi une base de données de localisation. Il mémorise pour chaque abonné le numéro du VLR où il est enregistré, même si l'abonné se connecterait à un PLMN étranger. La localisation est effectuée à partir des informations émises par le terminal à travers le réseau.

### ✓ **Equipement Identity Register (EIR) :**

C'est une base de données annexe appelée EIR, elle contient les identités des terminaux (IMEI) et elle est consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier que le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau.

### ✓ **Le Mobile Services Switching Center (MSC) :**

Le MSC est un commutateur du service mobile. Il gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre situé dans le même MSC ou un autre MSC, ou un commutateur d'un autre réseau et la transmission des messages courts et l'exécution des handovers lorsqu'il est impliqué.

Il dialogue avec le VLR (Visitors located registrar) pour gérer la mobilité des usagers: vérification des caractéristiques des abonnés visiteurs, transfert d'informations de localisation. Il peut contenir aussi une fonction passerelle, GMSC (Gateway MSC), qui est activée au début de chaque appel d'un fixe vers un mobile.

### ✓ **Le VLR (Visitor Located Registrar) :**

C'est est une base de données associée à chaque MSC et contient une partie des informations des HLR des abonnés des mobiles présents dans une BSS contrôlée par un ou plusieurs MSC. Il enregistre aussi les informations de localisation des mobiles et détermine les numéros de réacheminement MSRN (mobile station roaming number) pour les communications à destination des mobiles et toute information est effacée dès que le mobile quitte la zone de localisation.

### ✓ **Le centre d'authentification l'AUC ( authentication Center) :**

C'est la base de données qui contient les paramètres utilisés pour la gestion de la sécurité de l'accès au système, il mémorise pour chaque abonné une clé secrète pour authentifier les demandes et services et pour chiffrer les communications. Il y'a trois niveaux de protection :

- la carte SIM qui interdit à un utilisateur non enregistré d'avoir accès au réseau.
- Le chiffrement des communications destinées à empêcher l'écoute de celles-ci.
- La protection de l'identité de l'abonné.

Il est associé chaque HLR, ils peuvent être intégrés dans un même équipement sans faire partie du même sous système.

- **Le transducteur (TRC):**

Le TRC a pour but principal le transcodage « codage et décodage » de la parole et l'adaptation du débit pour les transmissions des données utilisées dans le réseau fixe (PCM) spécifié par la norme GSM. Le transcodage de la parole est réalisé entre 64Kbps arrivant du commutateur MSC et 16Kbps transmis vers le contrôleur BSC (13 kbps de téléphonie et 3 Kbps de signalisation de la bande.

- **LE SOUS SYSTEME EXPLOITATION ET MAINTENANCE OSS (Operations Sub-System) :**

L'OSS permet à l'opérateur d'administrer le réseau en niveau sécurité, coûts, erreurs. Les centres qui constituent 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 regroupant la gestion administrative qui s'intéresse aux abonnements en termes de création, modification, factorisation ce qui suppose une interaction avec la base de données HLR. Et la gestion technique des équipements, elle garantit 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 plateforme et de la sécurité.

L'OMC est décomposé en deux parties :

- 1) **OMC-S** : (Opération and Maintenance Centre Switching part) supervise, détecte et corrige les anomalies du NSS.
- 2) **OMC-R** : (Opération and Maintenance Centre Radio part) exploite et maintient le sous-système radio (BSC).
- 3) **OMC-M** : contrôle les OMC-S et OMC-R.

### - **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, ils sont traités par le NMC.

L'OMC en général assure les fonctions suivantes :

- Optimisation et planification du réseau.
- Statistiques.
- Investigation en cas de problème sur le réseau.
- Analyse en temps réel.

La figure fig I.7.10 est un schéma d'une architecture d'un réseau GSM.

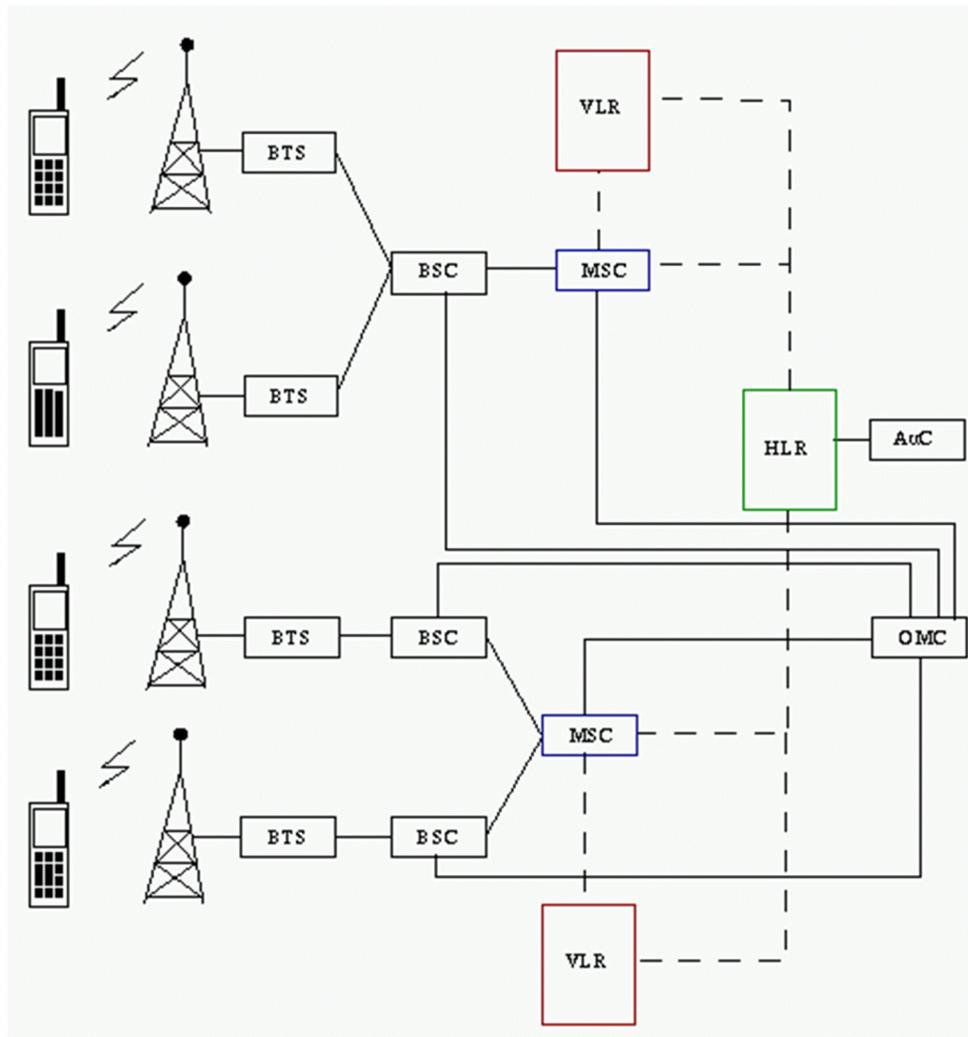


Fig I.7.10 : Architecture du réseau GSM.

### I.8) La trame du GSM :

La trame du GSM est caractérisée par certains paramètres, son organisation est basée sur des techniques de multiplexages et cela au niveau des différentes interfaces.

Au niveau de l'interface Um, deux techniques de multiplexage sont utilisées, un multiplexage fréquentiel FDMA - accès multiple à répartition en fréquence – et un Multiplexage temporel TDMA – accès multiple à répartition dans le temps.

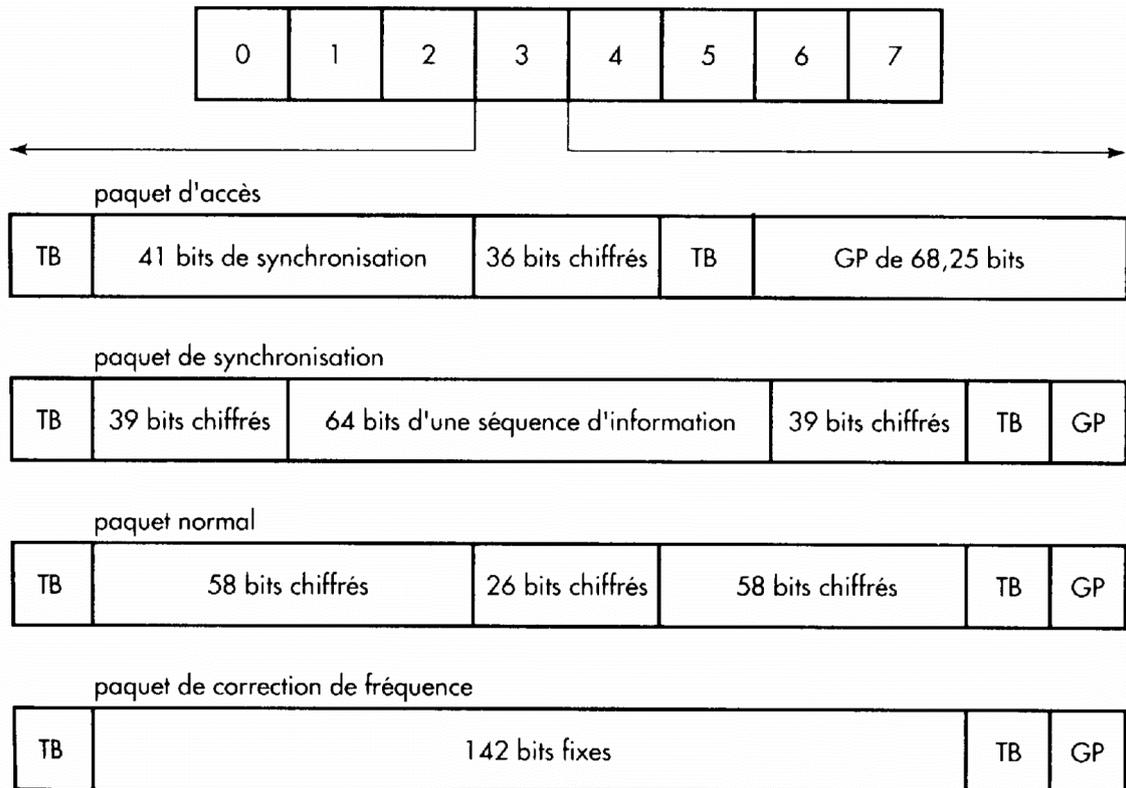
- **Le multiplexage fréquentiel FDMA** : la norme GSM occupe deux bandes de 25 MHz, l'une pour la voie montante (890-915MHz) l'autre pour la voie descendante terminal vers station de base. ( 935-960MHz) station de base vers terminal et chaque porteuse de cellule possède une densité spectrale confinée dans une bande de 200MHz ce qui donne 124 canaux de communication duplex en parallèle.
- **Le multiplexage temporel TDMA** : optimise l'utilisation de la capacité de transmission d'une voie. Le TDMA partage l'usage d'une voie de transmission et divise chaque canal de communication en 8 intervalles de temps de 0,577 ms. Un canal de transmission radio offre un débit D par unité de temps, ce débit est divisé en huit pour transmettre successivement les huit communications avec pour chacune un débit  $d = D/8$ . La somme des 8 IT constitue une trame, qui est l'unité temporelle de base. Une trame dure 4.615 ms dans le GSM.

En téléphonie, le débit moyen est faible, car d'une part les silences sont nombreux dans une conversation d'autre part un seul locuteur est actif à un instant donné. Pour une conversation, deux messages successifs de données voyagent dans deux trames successives, ces messages sont séparés par une durée de 4.615 ms, mais la synthèse vocale restitue la continuité de la parole.

La norme GSM fixe une organisation précise pour les multiples des trames que sont la multi trame, la super trame et l'hyper trame. Une trame se divise en 8 intervalles temporels de 577 ms c'est le time slot. Chaque intervalle constitue un canal de communication dans lequel un message élémentaire appelé paquet est transmis périodiquement. Ce paquet est un ensemble structuré de bits, c'est le **burst**.

Le burst comprend :

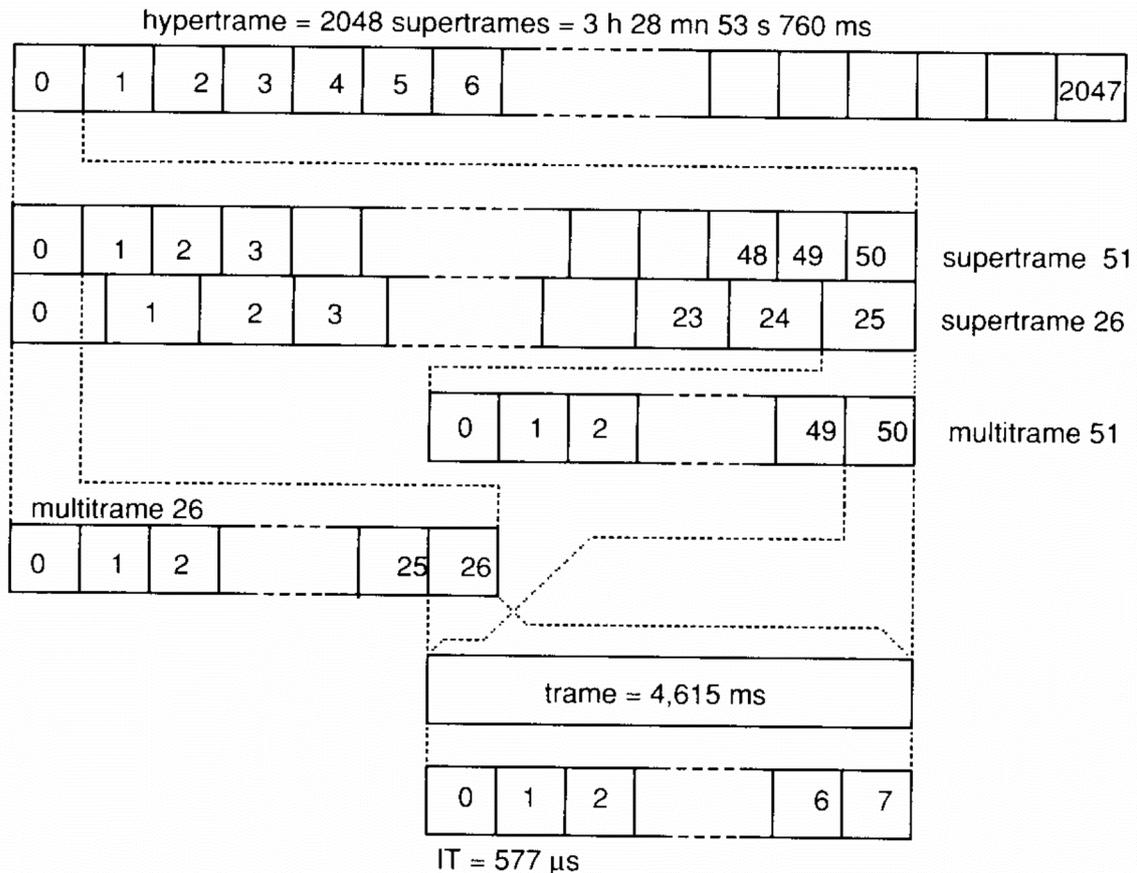
- 2 séries de 58 bits qui contiennent l'information utile.
- 2séries de 3 BITS de synchronisation au début et à la fin de « time slot ».
- 1séquence de 26bits fixes, pour la correction de l'altération des signaux causée par les trajets multiples. Le train de 148 bits est suivi d'une interruption de la transmission « guard period », de durée de 29,4us. Le guard period a pour but la séparation de 2 time slots successifs. La figure fig I.8.10 est un schéma de la typologie des paquets GSM.



**TB** (Tail Bit) 3 bits d'extrémités des paquets, sauf pour le début du paquet d'accès où l'on trouve 8 bits.

**GP** (Guard Period) 8,25 bits de terminaison des paquets, sauf pour le paquet d'accès où l'on trouve 68,25 bits. Cette durée sert à compenser les temps de transmission entre le mobile et la station de base.

**Fig I.8.10** : Typologie des paquets GSM



**Fig I.8.11** :Description de la hiérarchie des trames GSM.

## 6) la modulation :

Lors de la transmission d'une onde électromagnétique de forme sinusoïdale, elle ne permet pas la transmission d'informations sur le signal. Un signal sinusoïdal est caractérisé par des paramètres comme la fréquence, l'amplitude, la phase du signal...Pour mieux approcher les informations du signal, les paramètres seront variés ainsi la sinusoïde devient FREQUENCE PORTEUSE ou PORTEUSE, cette variation définit la technique de modulation.

La technique utilisée est la modulation GMSK, qui est une version développée de la modulation MSK, c'est la famille de modulation des fréquences numériques.

La GMSK est utilisée à cause de la transition rapide entre 2 fréquences ( $f_c - 4f$  et  $f_c + 4f$ ), avec la modulation MSK il faudrait une large bande de fréquence.

La modulation GMSK est une modulation en fréquence à deux états qui se base sur une nouvelle séquence ou le bit  $n$  est produit comme le résultat de la fonction du ou EXCLUSIF (XOR) entre le bit courant et le bit précédent et non de la séquence originale.

La largeur de fréquence doit être de 200KHz par fréquence porteuse et un débit de 270 Kbps. L'efficacité spectrale est proche de 1, elle est représentée par rapport du débit par rapport à la largeur de bande. Pour obtenir un débit doublé, la largeur doit être doublée.

### I.9) Canal duplex :

Un canal de transmission représente la ligne physique de transmission à travers le médium et le modèle théorique. Il correspond à la ressource radio qu'il faut utiliser pour supporter une communication téléphonique. Il est dit simplex lorsqu'il se rapporte à un slot de trame sur une porteuse et duplex lorsqu'il correspond à deux canaux simplex. Un canal fréquentiel correspond à une porteuse modulée qui occupe nominalelement 0,2 MHz si on note par :  $f_d(i)$  : la porteuse supportant la voie descendante ou la fréquence descendante ; et  $f_u(i)$  : la porteuse supportant la voie montante ou la fréquence montante ; d'où la formule suivante :

$$F_u(i) = f_d(i) - DW_{\text{duplex}}$$

Dans le GSM, au niveau du mobile, l'émission et la réception sont décalées dans le même temps d'une durée de 3 slots. Pour conserver la même numérotation  $T_n$  de slot 0 au slot 7, la synchronisation de la trame TDMA montante est décalée aussi de  $3 \times T$  slot. Ce décalage permet de simplifier le filtrage duplex présent dans chaque mobile et son rôle se réduit à rejeter le signal provenant d'une phase de réception du mobile. La transmission radio est assurée par l'interface radio (air interface :  $U_m$ ). C'est une des parties les plus sophistiquées du système ; car elle est très riche et complexe avec des fonctions variées et de nature différente. Ses caractéristiques de base sont :

- La méthode d'accès ;
- Les techniques de transmission utilisées pour transmettre le signal de parole sur cette interface.

### I.9) Canaux de contrôle logique :

Sur une paire de fréquence, un slot parmi 8 est alloué à une communication avec un mobile donné. Cette paire de slot forme un canal physique duplex et qui forme la base de deux canaux logiques, d'abord le TCH (Trafic Channel) qui porte la voie numérisée, mais aussi un petit canal de contrôle, le SACCH (Slow Associated Control Channel) qui permet principalement le contrôle des paramètres physiques de la liaison. Les différentes fonctions de contrôle sont :

- contrôler les paramètres physiques avant et pendant les phases actives de transmission (FACCH, SCH et SACCH) ;
- fournir des supports pour la transmission de signalisation téléphonique (SDCCH).

Le tableau ci-dessous présente la classification et les caractéristiques des différents canaux logiques sur la fig I.9.12

TYPE	NOM	FONCTION	DEBIT
Broadcast Control Chanel  BCCH	Frequency Correction Chanel : FCCH	Calage sur la fréquence porteuse	148 bits toutes les 50 ms
	Synchronisation Chanel : SCH	Synchronisation (un temps) + identification	148 bits toutes les 50 ms
	Broadcast Control Chanel : BCCH	Information système	782 bits/s
Common Control Chanel : CCCH	Paging Chanel : PCH	Appel du mobile	456 bits par communication
	Access Grant Chanel : AGCH	Allocation des ressources	456 bits par message d'allocation
	Cell Broadcast Chanel : CBCH	Message court (SMS) diffusé (informations routières, météo...)	Débit variable
Dedicated Control	Stand-Alome Dedicated Control	Signalisation	782 bits/s

Chanel	Chanel : SDCCH		
	Slow Associated control Chanel: SACCH	Supervision de la ligne	382 bits/s pour la parole et 39 bits/s pour la signalisation
	Fast Associated Control Chanel : FACCH	Execution du hand over	9,2 Kbits/s ou 4,6 Kbits/s
Traphic Chanel: TCH	Traphic Chanel for Coded speech: TCH	Voix plein/demi-débit	13 Kbits/s (plein debit) 5,6 Kbits/s (demi-débit)
	Traphic Chanel for data	Données utilisateurs	9,6 Kbits/s 4,8 Kbits/s ou 2,4 Kbits/s

**Fig I.9.12 : Les faisceaux hertziens.**

Un faisceau hertzien est un système de transmission des signaux entre deux points fixes. Les supports utilisés sont les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1GHz à 40 GHz pour des micro-ondes, très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. Ils ont une sensibilité aux masquages comme les trajets multiples par exemple comme les bâtiments, la végétation, ou les précipitations et les phénomènes de réflexion.

Les faisceaux hertziens sont classés en deux catégories :

- **Les faisceaux hertziens fonctionnant en visibilité directe :**

Dans une liaison en visibilité le trajet entre une 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.

### **I.10) Transmission du signal :**

Deux fréquences sont attribuées selon le sens de transmission ; pour chaque liaison hertzienne.

Le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est découpé en plusieurs tronçons appelés *bonds* reliés par des stations relais pour une meilleure distance et de visibilité. Le support radioélectrique utilisé est commun à tout le monde. Les bandes de fréquence représentent une ressource rare et elles sont soumises à une réglementation des organismes officiels nationaux et internationaux. Dans le cas d'un réseau composé de plusieurs liaisons proches géographiquement et voir la structure cellulaire du système, des problèmes d'interférences peuvent apparaître et peuvent influencer la qualité de transmission. La modulation du signal joue un rôle dans la forme du spectre qui sera à l'intérieur de la bande passante du canal et qui sera plus étroite. Deux types de modulations sont utilisées :

- 16 états (QPSK, 4QAM, 16QAM...) pour les signaux PDH.
- 128 états (64QAM, 128 QAM...) pour les signaux SDH.

### **I.11) Etude de la partie réseau du système GSM :**

#### **I.11.1) La gestion réseau du système GSM :**

Un réseau de télécommunication se compose des équipements physiques, des logiciels associés, qui assurent les fonctions constituant les éléments logiques de base. Les éléments logiques servent à bâtir les couches du réseau de transmission, qui sont des produits (analogiques, numériques). Ces produits permettent d'offrir des services réseaux. La structure d'un réseau se modélise avec trois niveaux logiques :

- entités réseaux (équipement et le logiciel).
- le réseau de transmission (radio, numérique et commuté).
- services (téléservices, services supports).

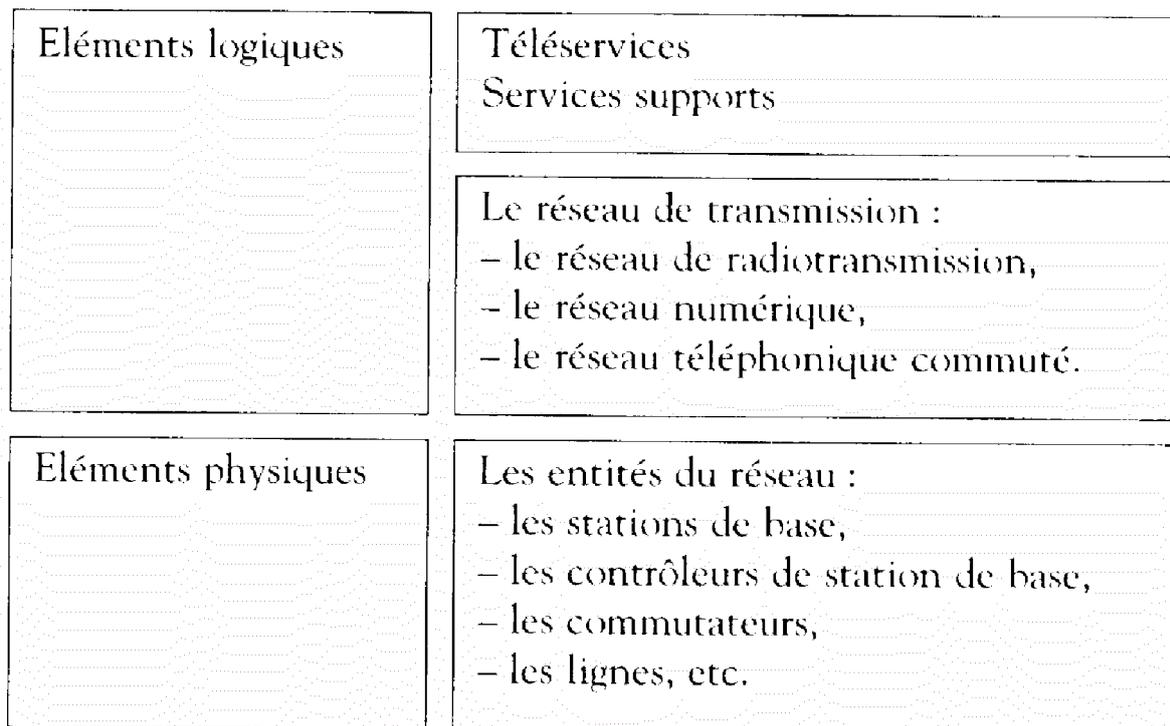
Le réseau de gestion s'appuie sur des règles de dialogue (logique) et des interfaces physiques définies par les organismes internationaux afin de permettre l'interconnexion de matériels de fabricants différents et de les gérer à partir d'interfaces standard. Les équipements possèdent des logiciels pour leur fonctionnement et leur exploitation, des canaux intégrés d'exploitation pour une connexion pour le transport de données vers un centre de gestion de réseau.

Le CCITT a développé le concept de TMN dans la recommandation M30. Les fonctions et les opérations administratives ou techniques de gestion et d'exploitation du réseau GSM s'inscrivent dans ce cadre.

Les interfaces entre les équipements et le centre de gestion sont conformes au profil de la pile

logicielle Q3 définie par le CCITT.

La figure Fig I.11.13 est un schéma descriptif de la gestion réseau.



**Fig I.11.13** : Schéma descriptif de la gestion du réseau.

### I.11.2) Protocoles :

#### a) Les interfaces A-BIS, A et X25 :

Les interfaces sont des protocoles permettant de communiquer entre chaque structure du réseau GSM. Elles sont un élément essentiel défini dans la norme GSM, elles déterminent les interconnexions réseaux au niveau international. La normalisation des interfaces garantit l'interopérabilité des équipements hétérogènes. Trois types d'interfaces relient le BSC à la station de base (interface A-BIS), au commutateur (interface A) et au centre d'exploitation et de maintenance (interface X25).

#### b) L'interface A-bis :

La couche physique est définie par une liaison PCM à 2Mbps, la couche liaison de données est composée du protocole *LINK ACCESS PROTOCOL D-CHANNEL(LAPD)*. Pour adapter le débit entre le débit du canal liaison PCM qui est de 64kbps et le débit du canal radio GSM qui est de 13Kbps, une opération de transcodage est effectuée. Elle est réalisée dans une unité appelée TRANSCODING RATE AND ADAPTATION UNIT (TRAU). Les résultats de l'opération sont :

- Multiplexer quatre canaux à 13 Kbps pour produire un canal à 64Kbps afin de diminuer le débit entre la station de base et le BSC en raison du trafic concentré.
- Faire passer le débit de chaque canal à 64kbps afin d'obtenir un débit de 64Kbps au niveau des équipements, elle est utilisée au niveau des commutateurs.

#### c) L'interface A :

Le protocole CCITT n°7 est utilisé pour la couche liaison de données même le débit de la couche physique est définie par une liaison à PCM à 2Mbps.

La figure fig I.11.14 est un descriptif des piles logicielles A-bis et A.

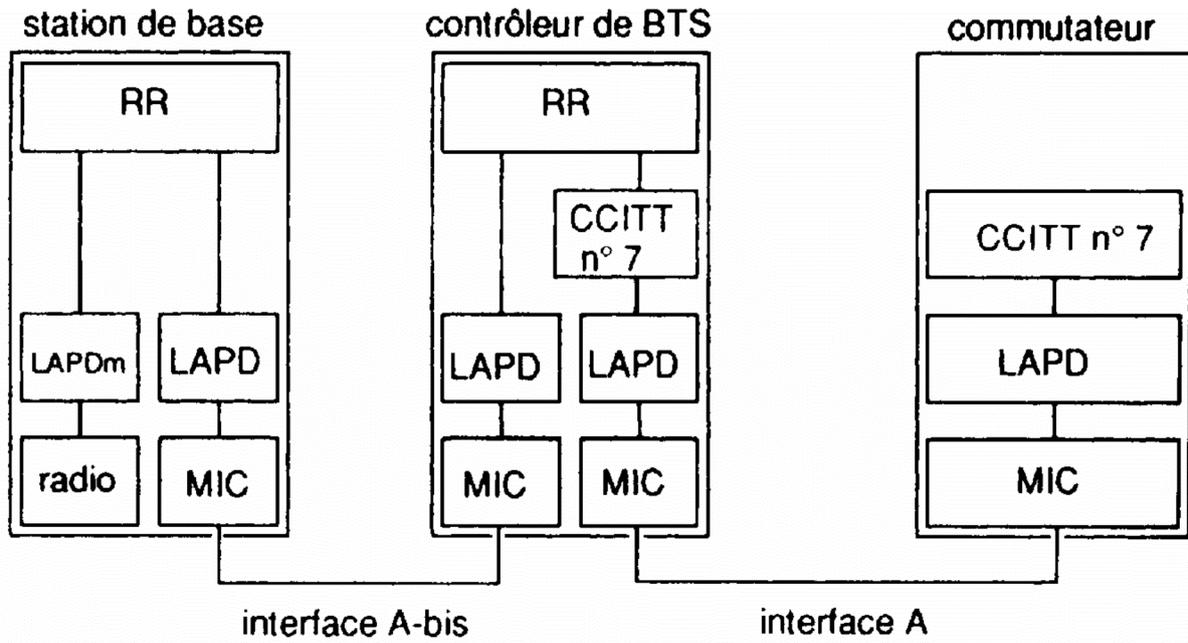


Fig I.11.14 : Les piles logicielles des A-BIS et A

d) L'interface X25 :

Possède la structure en 7couche du modèle OSI et relie le BSC au centre d'exploitation et de maintenance OMC.

La figure **Fig I.11.15** est un descriptif de l'Interface Q3 de la gestion du réseau.

Modèle ISO	Pile logicielle Q3
Application	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Application d'exploitation et de maintenance</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">CMISE Q.941 et Q.942</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">FTAM ISO 8571</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">ROSE X.219 et X.229</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">ACSE X.217 et X.227</div> </div>
Présentation	Présentation X.216, X.226 ISO (8822,8823)
Session	Session X.215, X.225 ISO (8826,8827)
Transport	Transport X.214, X.224
Réseau	Réseau X.25.3
Liaison	Liaison X.25.2
Physique	Physique

**Fig I.11.15 :** Interface Q3 de la gestion du réseau.

Le tableau illustré par la fig I.11.16 ci-dessous représente les interfaces du GSM.

<b>Noms</b>	<b>Localisation</b>	<b>Utilisation</b>
<b>Um</b>	<b>Terminal – BTS</b>	<b>Interface radio</b>
<b>Abis</b>	<b>BTS – BSC</b>	<b>Divers (transfert des communications)</b>
<b>A</b>	<b>BSC – MSC</b>	<b>Divers (transfert des données)</b>
<b>B</b>	<b>MSC – VLR</b>	<b>Divers transfert des données</b>
<b>C</b>	<b>GMSC – HLR</b>	<b>Interrogation HLR pour appel entrant</b>
<b>D(1)</b>	<b>VLR – HLR</b>	<b>Services supplémentaires</b>
<b>D(2)</b>	<b>VLR – HLR</b>	<b>Services supplémentaires</b>
<b>E</b>	<b>MSC – MSC</b>	<b>Exécution du hand over</b>
<b>G</b>	<b>VLR – VLR</b>	<b>Gestion des informations des abonnés</b>
<b>H</b>	<b>HLR – AUC</b>	<b>Echange des données d'authentification</b>

**Fig I.11.16** : tableau représentant les interfaces du GSM.

### e) Les protocoles :

- **le protocole Call Control (CC)** : il s'occupe du traitement des appels, 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 limitée à 160 caractères de 7bits.
- **Le protocole Supplementary Services (SS)** : il prend en charge les compléments de services comme le Calling Line Identification Presentation (CLIP), Calling Restriction(CLIR) et le Call Forwarding Unconditional (CFU).
- **Le protocole Mobility Management (MM)** : l'application se trouve dans le sous réseau de communication (NSS) et dans le mobile pour déterminer la position du mobile dans le réseau. Et s'occupe de l'identification, l'authentification sur le réseau et la localisation d'un terminal.
- **Le protocole Radio Ressource Management (RR)** : il assure la liaison radio. Le RR interconnecte un BTS et un BSC qui gère l'attribution des fréquences radio dans une zone.

### I.11.3) Fonctionnement de la liaison entre deux réseaux GSM :

Pour une liaison entre deux réseaux cellulaires de norme GSM différents impose la disponibilité des faisceaux hertziens et qui transporteront la fréquence du premier réseau GSM à la fréquence du deuxième réseau et refaire la même opération du deuxième en fonction du premier. Le premier abonné mobile compose le numéro de son correspondant à partir de son terminal, le signal quitte son terminal et parcourt tout le sous-système radio (entité qui gère les ressources radio dans un réseau cellulaire GSM) et sera ensuite transmis au sous-système réseau pour la vérification de ses droits d'usages.

Après vérification du signal, il sera à nouveau commuté vers le MSC qui sera comme un GMSC parce que c'est un commutateur par où sortent et entrent les

appels d'interconnexion, et qui fait aussi office de commutateur qui sert de liaison entre le sous-système radio et le sous-système réseau d'un réseau GSM. Le signal sort par le commutateur pour aller vers le réseau demandé passant par l'équipement d'interconnexion ce qui est traduit par un appel sortant.

A la réception, le signal sera reçu d'abord par l'équipement d'interconnexion pour la transposition en fréquence et sera routé vers le commutateur MSC qui jouera le rôle de GMSC pour entrer dans le sous-système réseau afin de vérifier des droits d'usages avant de passer au sous-système radio pour atteindre le correspondant demandé.

Cela se fait dans les deux sens en suivant la même procédure pour permettre une communication entre les deux abonnés des deux réseaux GSM différents et cette interconnexion se fait par faisceau hertzien.

### **CONCLUSION :**

La téléphonie mobile a connu une évolution à travers les années chaque apparition d'une nouvelle génération apportait une amélioration pour la génération précédente en terme de communication, transmission prenons exemple du GSM vers l'UMTS ou la node B a pris son apparition, . Pour que cette communication soit établie un réseau téléphonique utilise certains supports de transmission pour assurer ses liaisons. Dans le chapitre suivant nous étudierons les différents supports et techniques de transmission.

### INTRODUCTION :

Les faisceaux hertziens, initialement conçus pour transmettre des multiplex téléphoniques ou des images analogiques, connaissent une évolution constante liée à la numérisation des supports de transmission ainsi qu'au traitement de l'information.

Un faisceau hertzien est une liaison radioélectrique point à point, bilatérale et permanente (full duplex), à ondes directives, offrant une liaison de bonne qualité et sûre permettant la transmission d'informations en mode multiplex à plus ou moins grande capacité, de 3 à 60 voies. Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux permettant l'interconnexion de sites distants utilisant les ondes radioélectriques. De nos jours ce type de liaisons radio point à point est principalement numérique et utilisé pour des liaisons voix et données.

Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1 GHz à 40 GHz très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. Ces ondes sont sensibles aux masquages (relief, végétation, bâtiments...), aux précipitations, aux conditions de réfractivité de l'atmosphère et présentent une sensibilité assez forte aux phénomènes de réflexion.

Les faisceaux hertziens sont destinés à la mise en œuvre des réseaux de télécommunications.

Les faisceaux hertziens numériques offrent de grandes capacités de débit et sont évolutifs en fonction des besoins de l'utilisateur, ils sont souvent complémentaires de réseaux de fibre optique pour assurer la continuité de certains points de raccordement où sont utilisés pour redonder certaines liaisons cuivre tout en optimisant les coûts notamment par rapport à des liaisons louées. Le faisceau hertzien dispose de point d'accès à la norme G703 et Ethernet.

Les débits vont de 2 à 155 Mbps. C'est le développement de la téléphonie, et en particulier l'incroyable phénomène "téléphone mobile" qui a permis un grand développement aux faisceaux hertziens. Ce procédé permet de transmettre des signaux d'information soient téléphonie, télévision et d'autres, d'un point à un autre du territoire.

Les antennes utilisées dans les faisceaux hertziens sont des antennes suffisamment directives pour faire l'analogie entre propagation des ondes et celle d'un faisceau lumineux, et des bandes de fréquences élevées. Un faisceau hertzien transmet selon les cas :

- Des conversations téléphoniques groupées en un multiplex fréquentiel ou temporel ;
- Des programmes de télévision ;
- Des données.

### II.) - Les liaisons radioélectriques :

## Chapitre II : les supports de transmission.

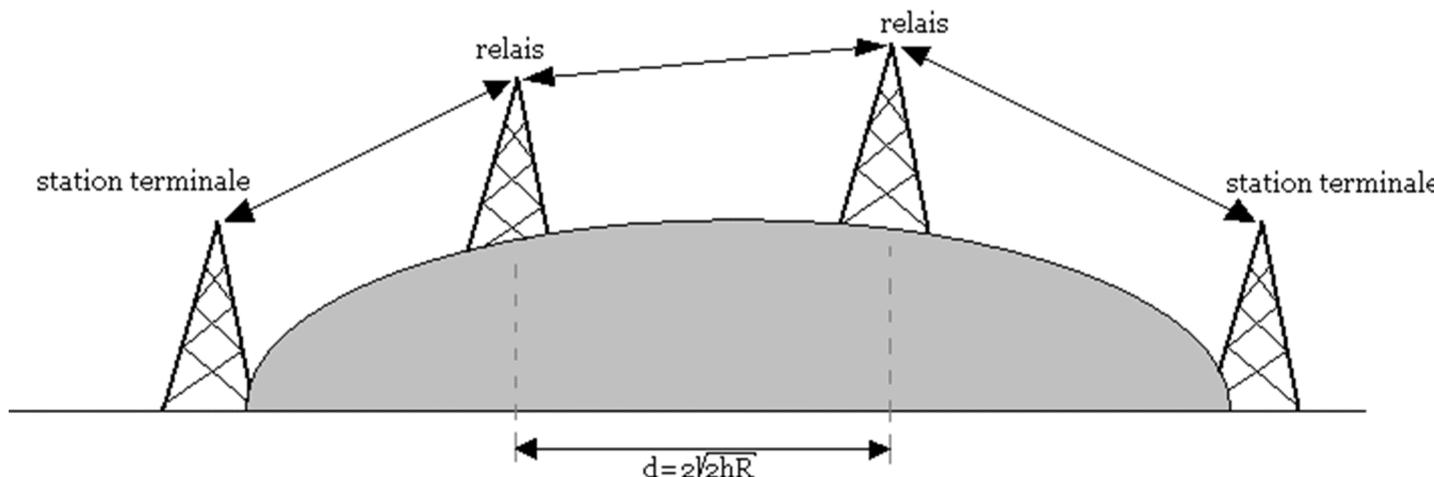
Le faisceau hertzien est un système de type pseudo-4-fils fréquentiel car les deux sens de transmission sont portés par des fréquences différentes. Les antennes sont généralement communes aux deux sens. Comme le montre la figure suivante :

Une liaison hertzienne comprend deux stations terminales et des stations relais ; elle est composée d'un ou plusieurs bonds. Une station terminale, est toute station située à la fin d'une liaison hertzienne. Une station relais est située entre les stations terminales. Le bond hertzien, la distance séparant deux stations consécutives.

Les conditions de propagation qui concerne la distance ainsi que la visibilité, obligent souvent à diviser une liaison en plusieurs bonds séparés des stations relais qui reçoivent le signal hyper fréquence; l'amplifient et le remettent, généralement avec une autre porteuse, en direction de la station suivante.

Dans des cas exceptionnels, des relais passifs (plan réflecteur) peuvent permettre de contourner un obstacle.

La figure Fig III.6.1.2.4 : positionnement d'une station terminale et des stations relais.



avec h: hauteur des antennes

R: rayon de la terre

d = 50km

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

**Fig II.6.1.2.4** : positionnement d'une station terminale et des stations relais.

d = distance en (Km) kilomètres.

$H_e$  = hauteur de l'antenne d'émission en (m) mètres.

$H_r$  = hauteur de réception en (m) en mètres.

- a) **Station relais** : la nécessité, pour les faisceaux hertziens 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 s'il est possible de trouver des emplacements tels que les antennes soient en visibilité l'une de l'autre, la liaison est établie en un seul bond.

Si la distance entre les deux points à relier est trop grande ou si des obstacles empêchent les antennes situées en ces deux points d'être en visibilité l'une de l'autre, il faut établir une liaison en plusieurs bonds en utilisant des stations relais.

Les fonctions assurées par les stations relais sont citées en deux points :

- **Une fonction d'optique** : le signal reçu est amplifié avant d'être émis. Il existe toutefois des stations relais passives, composées par exemple d'un miroir plan qui réfléchit les ondes, ou la fonction d'amplificateur n'est pas remplie.

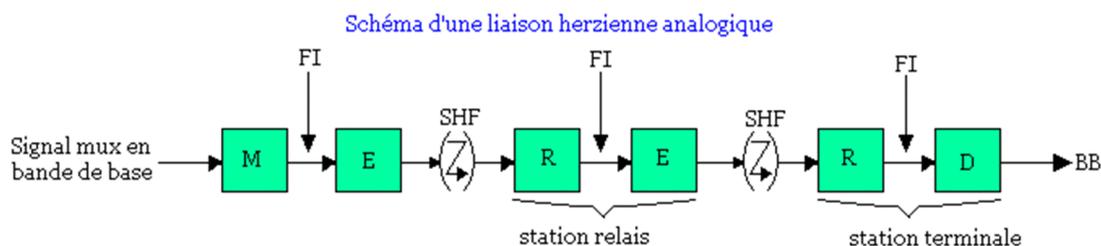
Lorsque les points entre lesquels doit être établie la liaison sont mal situés du point de vue géographique les stations peuvent être construites sur une hauteur avoisinante, elles sont reliées par câble souterrain aux extrémités de la liaison.

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.

- b) **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 à la figure



Les équipements sont conçus pour respecter les objectifs de qualité du CCIR.

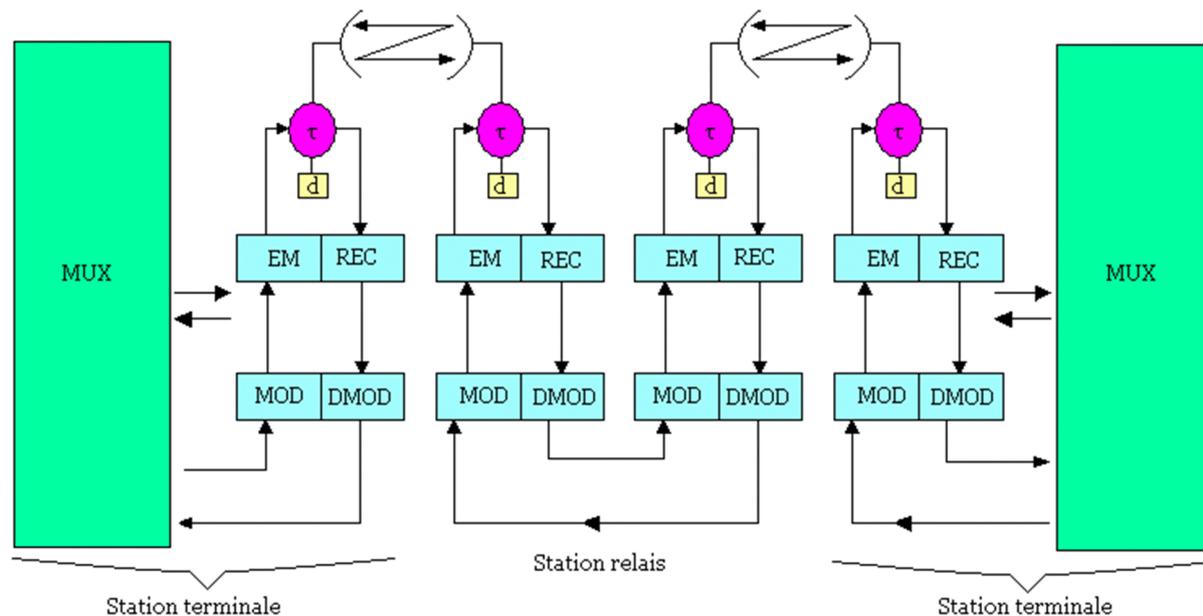
Les bonds ont en moyenne une longueur de 50 km

M: modulation

E: émetteur

R: récepteur

D: démodulation



Structure d'une liaison hertzienne

**Fig III.6.1.2.5** : structure d'une station terminale.

- **MODULATEUR / DEMODULATEUR** : 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** : grâce au signal fourni par le modulateur, l'émetteur élabore une onde de puissance et de fréquence telle qu'elle puisse véhiculer l'information à travers l'atmosphère.
- **RECEPTEUR** : grâce à l'onde reçue, le récepteur élabore un signal utilisable par le démodulateur.

## Chapitre II : les supports de transmission.

---

- **ANTENNE** : les antennes à faisceaux hertziens sont des dispositifs de couplages entre une ligne de transmission et le milieu ambiant. A l'émission, elles assurent le rayonnement de l'onde électromagnétique qui les alimente. Les lignes de transmission reliant les émetteurs ou les récepteurs aux antennes sont des câbles coaxiaux ou plus souvent des guides d'ondes.

Les antennes des faisceaux hertziens sont de type parabolique, le boîtier de forme cylindrique dans lequel, elles sont contenues, cela leur donne un aspect très différent des antennes « satellites ». Le montage d'une antenne à faisceaux hertziens, nécessite d'autres dispositifs qui sont indispensables pour assurer la bonne transmission comme le câble coaxial, l'unité radio. Tout l'ensemble constitue la partie extérieure nommée **OUTDOOR UNIT** « **ODU** ».

- **INDOOR UNIT (IDU)** :

### II.6.1.3) - CARACTERISTIQUES :

- **Utilisation** :

Ce procédé permet de transmettre des signaux d'information téléphonique, télévision et bien d'autres d'un point à un autre du territoire: Liaison point à point. Ils sont utilisés dans :

- Les réseaux d'infrastructure ;
- La Téléphonie ;
- La Diffusion d'émission de télévision ;
- Les réseaux de desserte ;
- Les Liaisons BTS - BSC en GSM ;
- La Boucle Locale Radio.

Sur de grandes distances, allant jusqu'à 50 km en liaison directe « Infrastructure téléphonique » qui nécessite de relais :

- passifs là où le relief est important (simples réflecteurs).
- actifs le signal recueilli est remis en forme, amplifié, puis retransmis.
- Courtes distances (liaisons "à vue") : Infrastructure GSM, LS.

- **Débit théorique** : Peut atteindre les 155 Mbits/s.

- **Portée** : A débit donné, la portée se réduit lorsque la fréquence du FH augmente. En général, les bandes de fréquences de 23 et 38 GHz sont utilisées pour des liaisons courtes distances 4 à 5 km. Les bandes de fréquences de 4 et 13 GHz permettent d'atteindre des portées de quelques dizaines de kilomètres, voire 50 km en utilisant des antennes de grands diamètres.

- **Bande de fréquences** : De 1.5 GHz à 38 GHz. Pour les opérateurs de téléphonie mobile, 5 bandes de fréquences sont allouées pour leurs faisceaux hertziens : 6, 13, 18, 23 et 38 GHz.
- **Les catégories des faisceaux hertziens** : les faisceaux hertziens sont classés en deux catégories suivant leurs caractéristiques radioélectriques.

**a) Les faisceaux hertziens fonctionnant en visibilité directe** : on appelle liaison en visibilité une liaison dans laquelle le trajet entre antenne d'émission et antenne de réception est suffisamment dégagé de tout obstacle pour que les phénomènes de diffraction sur le sol soient négligeables.

**b) 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.

Les types de faisceaux hertziens sont classés suivant le type modulation :

A) Les FH analogiques utilisés principalement pour:

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

B) Les FH numériques qui acheminent principalement:

- ✓ Des multiplex numériques dont les débits vont de 2 Mbits/s à 140 Mbits/s ;
- ✓ Des données à grande vitesse ;
- ✓ Le visiophone ;
- ✓ La télévision codée.

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

### II.6.1.4) Les fréquences porteuses :

## Chapitre II : les supports de transmission.

---

A l'exception de quelques systèmes fonctionnant dans les bandes 70-80 MHz (FH à bande étroites) et 400-470 MHz (FH à petite capacités), les faisceaux hertziens utilisent des fréquences supérieures à 1,5 GHz « ondes centimétriques », sauf pour les systèmes fonctionnant dans les bandes 70-80 MHz pour les FH à bande étroite et 400-470 MHz pour les FH à petite capacité.

Entre 2 et 11 GHz, l'établissement des liaisons ne pose pas de problèmes majeurs, conditions de propagation mais au delà de 11 GHz, il faut tenir compte de l'absorption par les hydrométéores. Cette absorption croît avec la fréquence et devient très importante aux alentours de 22 GHz.

Ce qui limite les fréquences porteuses à 21 GHz mais certaines bandes de fréquence généralement comprise entre 2 et 1,5 GHz. Cette large gamme de fréquence est subdivisée en plusieurs parties appelées bande de fréquence.

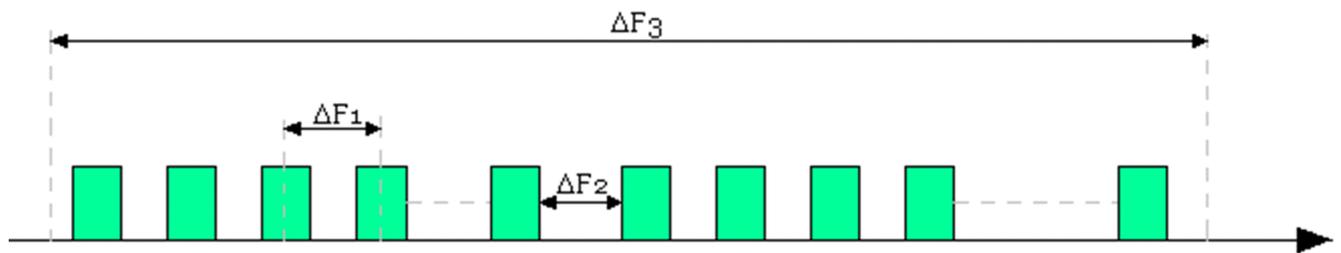
Chacune de cette bande étant décomposée en canaux dont la disposition est normalisée internationalement CCIR « Comité consultatif International des Radiocommunications ».

- Chaque bande peut être divisée en deux spots bandes espacées par un intervalle de garde.
- Le choix des sous bandes à utiliser pour l'émission de celle à utiliser pour la réception dépend de l'utilisateur.
- Les sous bandes sont à leur tour subdivisées en canaux de 14 à 140 MHz de largeur (pour les FH de grande capacité) ou 7 MHz (capacité inférieure ou égale à 300 voies).
- La disposition des canaux est normalisée par le CCIR.
- Chaque canal a une capacité en fonction de sa largeur, qui peut aller jusqu'à un débit de 140 Mbits/s.

Les Faisceaux hertziens à moyenne et forte capacité : bande 7,4 à 7,7 GHz (utilisée également par les FHA).

Les faisceaux hertziens à faible débit ( 2 et 8 Mbits):

- Bande 2,1 à 2,3 GHz (subdivisée en six canaux espacés de 14 MHz)
- Bande des 15 GHz (2 sous bandes de : 14,4 à 14,5 GHz et 15,25 à 15,35 GHz) possible de les subdiviser en 4 canaux de 10 MHz chacune.



$F_3, F_2, \dots, F_n$  } : fréquences centrales des canaux  
 $F'_1, F'_2, \dots, F'_n$  } : fréquences centrales des canaux  
 $\Delta F_1$  : écart de fréquence entre 2 canaux  
 $\Delta F_2$  : écart de fréquence entre 2 sous-bandes  
 $\Delta F_1$  : largeur de la bande FH

**Fig II.6.1.4.6** : Schéma descriptif des fréquences porteuses.

### II.6.1.5) Les modulations utilisées en FH :

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

#### a)- Modulation pour faisceaux hertziens analogiques :

En modulation d'amplitude, l'information utile est véhiculée par l'amplitude du signal porteur. Alors qu'en réception, les éléments traversés par le signal présentent parfois des non linéarités en amplitude, ce qui altère la qualité du signal après démodulation. En plus cet inconvénient, en modulation d'amplitude, la propagation de la porteuse dans l'atmosphère entraîne des variations du niveau de réception d'où après la démodulation, le signal présente des parasites.

En tenant compte de ces phénomènes, le choix s'est porté sur la modulation de fréquence pour les FHA car cette modulation ne présente pas les défauts ci-dessus cités et en plus les modulations et démodulations de fréquence sont de réalisations plus faciles.

### **b)- Modulation pour faisceaux hertziens numériques :**

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

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

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

#### **II.6.1.6) - FONCTIONNEMENT :**

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.

#### **II.6.1.7) - Rôle des faisceaux hertziens dans un réseau de téléphonie mobile :**

Dans un réseau GSM la transmission radio entre le téléphone portable et l'antenne-relais s'effectue dans une bande de fréquence proche de 900MHz.

Les signaux émis par le portable sont captés par l'antenne-relais et sont « traités » par les équipements électroniques de la BTS. 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 moins pour les microcellules, dans une zone peu peuplée il est de quelques kilomètres.

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

Seule la connexion entre la BTS et le BSC est concernée par l'exemple présenté, c'est une liaison à haut débit 2Mbits/s qui possède deux types de réalisations :

- Par un câble : une ligne louée à un réseau.
- Par un faisceau hertzien consistant en une transmission par onde radio à une fréquence très élevée supérieure ou égale à 15GHz pour les opérateurs de téléphonie mobile, une transmission par câble représente un cout 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 cout d'utilisation en maintenance et redevance inférieur à celui d'une ligne louée. Il faut toute fois signaler, qu'aux fréquences supérieures à quelques Giga Hertz « GHz », l'atténuation des obstacles est très importante, de la, une liaison par faisceau hertzien ne peut être utilisé 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 ».

### **II.6.1.8)- Les avantages et les inconvénients des faisceaux hertziens :**

#### **II.6.1.8.1) Les inconvénients des faisceaux hertziens :**

- impact de la topologie de la zone concernée,
- absorption par les ions de l'atmosphère,
- problèmes de portée,
- obstacle dans la trajectoire »goutte d'eau, poussière et d'autres »,
- nécessite des lignes de vue.

#### **II.6.1.8.2) Les avantages des faisceaux hertziens :**

- un haut débit de 140Mbits /s,
- gestion de la qualité de service,
- ils permettent d'atteindre des sites difficiles d'accès,
- portée étendu et éventuellement extensible.

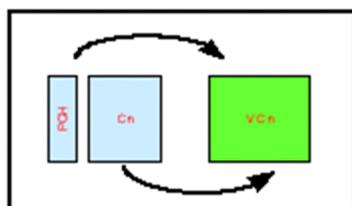
### **Technique de transmission Synchrone :**

Le conteneur **Cn** est une entité dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des débits définis par le CCITT. Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plésiochrone de départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants. Le " n "

## Chapitre II : les supports de transmission.

de  $C_n$  dépend du débit entrant, par exemple  $C_4$  correspond à 139264 kbit/s, le  $C_3$  pour 44736 ou 34368 Kbit/s (selon continent), le  $C_{12}$  pour 2048 kbit/s, le  $C_{11}$  pour 1544 Kbit/s.

Le conteneur virtuel  $VC_n$  est obtenu à partir du conteneur en lui ajoutant un Sur débit de Conduit **POH** (*Path OverHead*) utilisé pour la gestion du conteneur. C'est le conteneur virtuel VC qui est l'entité gérée par le réseau SDH.

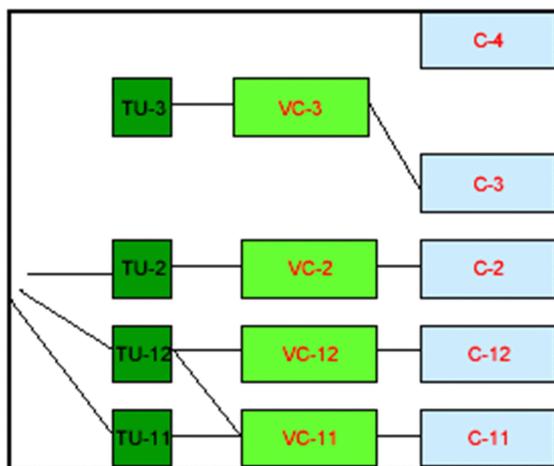


Conteneur virtuel



**Le VC est l'entité gérée par le réseau SDH**

L'unité d'affluent **TUn** (*Tributary Unit*) est composée du  $VC_n$  et d'un pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du  $VC_n$  dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport.

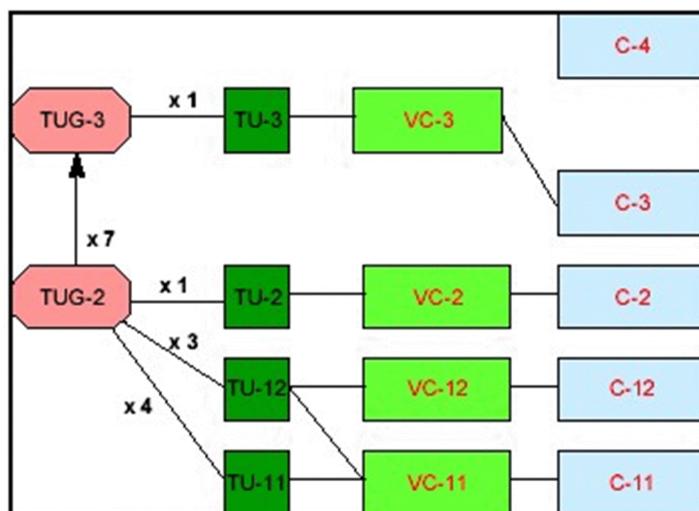


**L'unité'affluent**

Le Groupe d'Unité d'Affluent **TUG<sub>n</sub>** (*Tributary Unit Group*) représente une structure virtuelle de la trame permettant le multiplexage de TUn, ce n'est pas une nouvelle entité physique. Il constitue un regroupement de TUn dans un espace réservé d'une entité supérieure, TUG supérieur ou VC4. On peut considérer que le TUG définit des règles de rangement des TUn dans cette entité supérieure, et à travers elle, dans la trame de transport, on peut ainsi avoir :

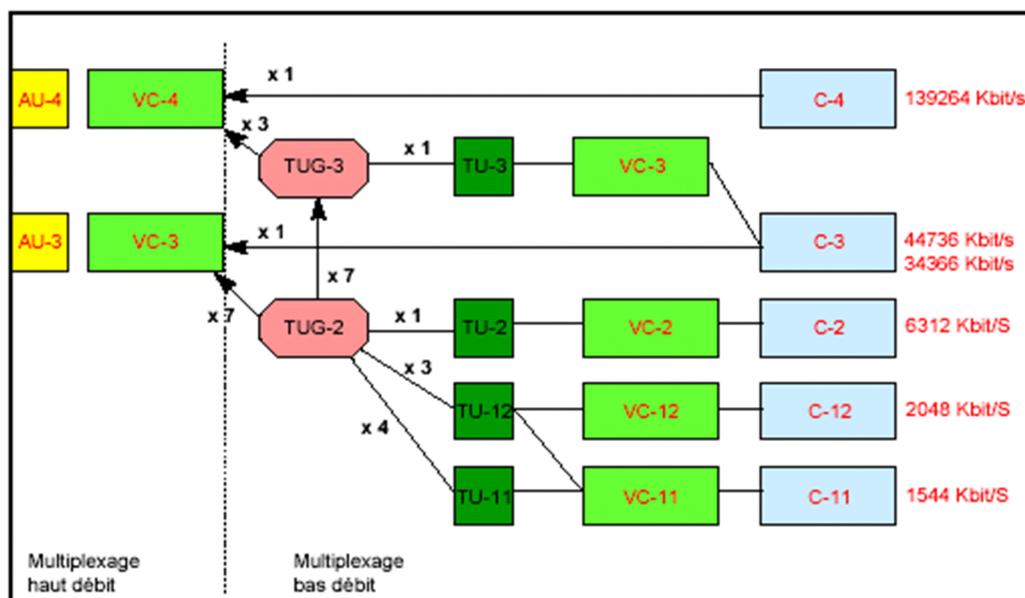
- Le TUG 2 regroupant 3 TU12 ou 1 TU2.
- Le TUG 3 regroupant 7 TUG 2 ou 1 TU3.

L'unité administrative (*Administrative Unit*), AU4, est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du VC4 dans la trame transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4 dans la trame.



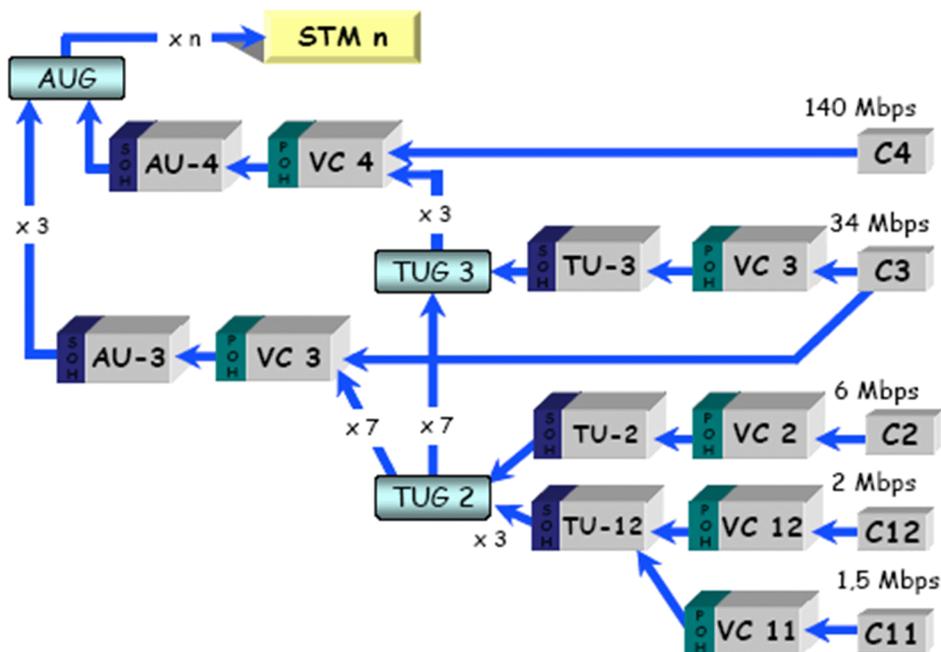
**Groupe d'unité d'affluent.**

Le Groupe d'Unité Administrative, AUG, représente une structure virtuelle de la trame et pas une nouvelle entité physique. AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport utilisée.



Unité administrative.

Les trames de transport **STM<sub>n</sub>** (*Synchronous Transport Module*) sont obtenues en multiplexant  $n$  AUG (et non  $n$  STM1) et en rajoutant un sur débit dit Sur débit de Section **SOH** (*Section OverHead*). La trame de Base STM1 (155,520Mbit/s) contient 1 AUG et son SOH, la trame STM4 (622,080Mbit/s) contenant 4 AUG et son SOH, la trame STM16 (2488,320Mbit/s) contenant 16 AUG et son SOH.



### Structure de la SDH.

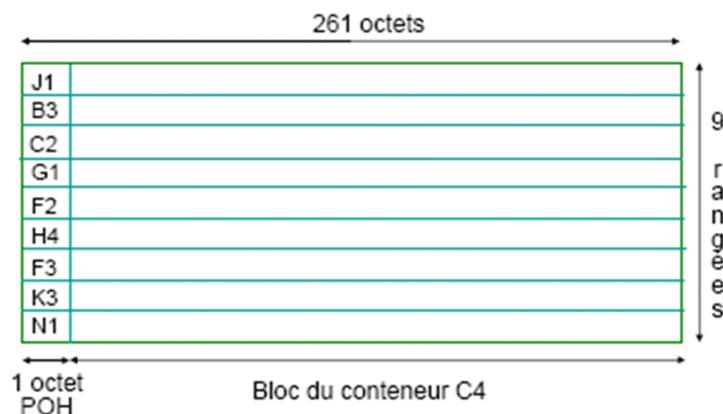
Cette hiérarchie pose aussi le problème du débit qui varie de plus ou moins  $Dx$  bit/s par rapport au débit nominal  $X$  bit/s du signal entrant. Or une trame de transport a un débit fixe, c'est pour cela que l'on utilise une opération qui permet de transporter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe, cette opération s'appelle la Justification. On parle de Justification positive, nulle, négative. Il suffit pour cela de prévoir dans la trame de transport une place allouée à chacun des affluents suffisante pour permettre de transporter leur plus grand débit possible. Puis grâce à des bits de remplissage (bourrage) on obtient le débit désiré.

A partir de ces connaissances on va insérer un affluent à 140Mbit/s dans un STM1.

#### **a) Insertion d'affluent 140Mbit/s dans un STM1**

Tout d'abord, il faut élaborer le conteneur C4 comme le montre la structure du multiplexage synchrone après récupération d'horloge et la régénération de l'affluent. Le Conteneur C4 comprend 180 blocs de 13 octets chacun, soit au total 2340 octets ou 18720 bits, répartis en 9 lignes de 20 blocs. Sachant que la périodicité est de 125ms, on a un débit de 149,760 Mbit/s. Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de 139,264 Mbit/s (voir Structure), tous les bits ne seront donc pas utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc, il y a 13 octets répartis comme suit : 1 octet pour les bits d'indications tels que le bit de remplissage, de justification ou de sur débit, et 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Ceci permet de voir qu'il y a en fait 17406 bits d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mbit/s. Comme le débit de l'affluent est supérieur au débit d'information du C4, c'est une justification de type négative de 16Kbit/s.

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



### Conteneur virtuel VC4

Les octets du POH sont utilisés pour déterminer différentes informations sur le conteneur tel que la trace du conduit (J1) qui permet une identification du point d'accès pour vérifier la continuité de la chaîne de connexion depuis l'émetteur, la surveillance des erreurs par contrôle de bit du VC4 (B3), étiquette du signal de conduit (C2) qui permet de connaître la composition du conteneur tel que le tableau suivant, l'état du conduit (G1) qui sert à renvoyer les informations de défauts de l'extrémité distante, le contrôle de qualité (F3), la voie de service (F2) pour les besoins de communication de l'utilisateur sur le VC4.

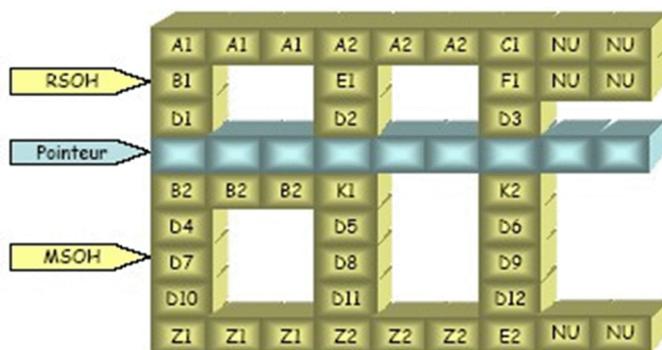
MSB	LSB	HEX	Composition du conteneur
0 0 0 0	0 0 0 0	0 0	Faisceau non équipé
0 0 0 0	0 0 0 1	0 1	Faisceau équipé non spécifique
0 0 0 0	0 0 1 0	0 2	Structure de TUG
0 0 0 0	0 0 1 1	0 3	TU verrouillé
0 0 0 0	0 1 0 0	0 4	Projection Asynchrone de trains à 34 ou 45 Mbps dans un C3
0 0 0 1	0 0 1 0	1 2	Projection Asynchrone de trains à 140 Mbps dans un C4
0 0 0 1	0 0 1 1	1 3	Projection de cellules ATM
0 0 0 1	0 1 0 0	1 4	Projection de MAN DQDB (MAN utilisant le mode Dual Queue Double Bus)
0 0 0 1	0 1 0 1	1 5	Projection de réseau local sur fibre optique FDDI

### Etiquette signal de conduit.

L'unité Administrative AU4 est constituée de l'ensemble VC4 et d'un pointeur associé, placé dans la trame de base STM1. Le VC4 ne coïncide pas toujours avec la capacité utile de la trame STM et se trouve en général à cheval sur 2 trames. Le Pointeur indique le nombre d'octet entre la fin de son dernier octet et le premier octet POH (J1) du VC4. Le pointeur peut aussi indiquer le début du VC4 modifier par une justification dans le cas où l'horloge du STM est différente de l'horloge du VC4 (débits différents) car le ralentissement ou l'accélération du débit du VC4 se fait en reculant ou en avançant le début du VC4. On dit que le VC « flotte » dans la trame.

## Chapitre II : les supports de transmission.

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



**Trame STM-1.**

Dans le RSOH, les octets A1/A2 permettront de constituer le mot de verrouillage de trame, J0/C1 identifie AUG avant le multiplexage au niveau STM-N, B1 permet la surveillance des erreurs sur les bits de la section élémentaire régénérée, E1 est une voie de service pour des communications vocales entre régénérateurs et l'octet F1 est une voie de donnée entre régénérateurs réservés aux besoins particuliers de l'utilisateur.

Dans le MSOH, l'octet B2 permet la surveillance des erreurs sur les bits de la section de multiplexage, K1 et K2 sont affectés à la commande de commutation de protection automatique APS (Automatic Protection Switching 1+1 ou 1:n), les octets D4 à D12 forment un canal de communication de données DCC pour une section de multiplexage. L'octet S1 contient des bits pour la description de l'état de la synchronisation, c'est-à-dire les quatre niveaux de synchronisation adoptés par le CCITT. L'octet E2 est une voie de service pour les communications vocales entre multiplexeurs.

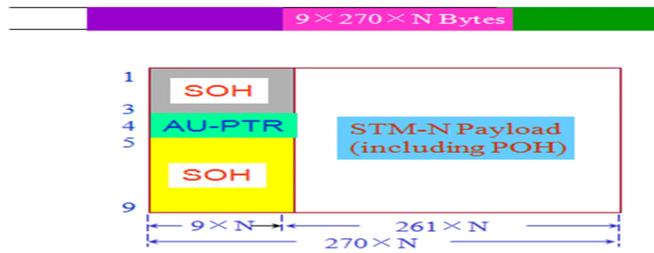
Pour certaines applications telles qu'une interface de section (jonction), on peut utiliser une interface à fonction de sur débit réduite qui dépend du type de support physique (optique ou électrique) car on n'utilise pas tous les octets décrits ci dessous.

### **La trame STM-n :**

Une trame STM n est composée d'une capacité utile obtenue par multiplexage de nAUG, et d'un SOH. La trame n'est donc pas le résultat d'un multiplexage de n STM-1. Voir figure ci contre.

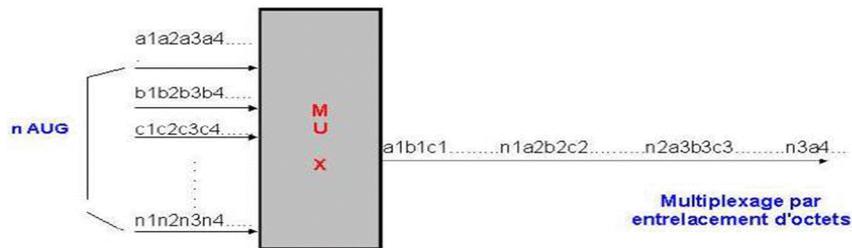
La capacité utile d'un STM-n est obtenue par multiplexage de n VC4 qui composent les n AUG. Le multiplexage est réalisé en effectuant un entrelacement des octets de n VC4. La capacité utile est donc composée de n fois 261 colonnes afin de pouvoir loger (résider) les n VC4. Les pointeurs d'AU sont placés dans la ligne 4 des n fois 9 premières colonnes de la

trame (Entre le RSOH et le MSOH).



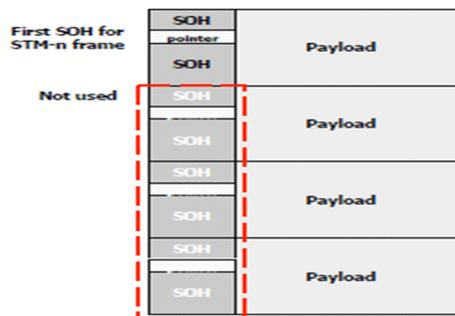
**Structure de la trame STM-n.**

Dans ce cas, le multiplexage des pointeurs se fait par entrelacement des octets de ces n pointeurs. Les n VC4 seuls se trouvent donc dans la capacité utile.



**Multiplexage par entrelacement d'octets.**

Dans un STM-n, le SOH du premier STM est utilisé pour tous les STM. Les autres SOH ne sont pas utilisés.



**Le SOH dans un STM-n.**

Les octets du RSOH, rafraîchis à chaque point de régénération, apparaissent une seule fois dans le SOH de la trame STM n. Pour les octets du MSOH, rafraîchis à chaque point de multiplexage, seul B2 (erreur), S1 et M1 (octets de réserve) figurent autant de fois que d'AUG; les autres octets, traitant la section de multiplexage figurent une seule fois.

Pour le STM-4, le SOH est formé de 4 fois 9 colonnes soit 36 colonnes. Les octets significatifs qui le composent ont les mêmes fonctions que les octets du SOH de STM-1, pour chacun des AUG qui composent le STM4.

Pour le STM-16, le SOH est formé de 16 fois 9 colonnes soit 144 colonnes. Les octets significatifs qui le composent ont les mêmes fonctions que les octets du SOH de STM-1 et STM-4.

### II.2.2.2 Topologies du réseau SDH

L'architecture d'un réseau SDH est déterminée à partir d'un certain nombre de considérations fondamentales telles que :

- Respect du débit et du synchronisme
- Assurer le transport dans un temps minimum du réseau à palier automatiquement à ses défaillances au moins partiellement pour assurer le transport des données vitales.

Les architectures peuvent être réalisées en bus, en anneau, et en étoile. Tel que L'architecture en anneau est celle qui répond le mieux à ces considérations.

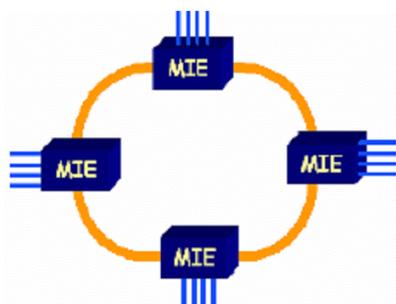


Figure II.20. Topologie en anneau.

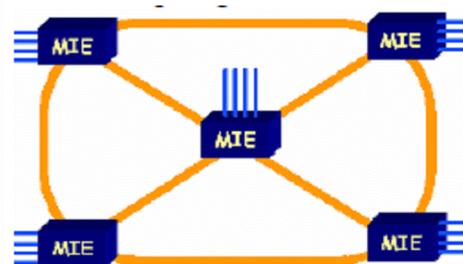


Figure II.21. Topologie en étoile.



Figure II.22. Topologie en bus.

## II.2.2.3. Infrastructure du réseau SDH

Les réseaux SDH font intervenir quatre types de composants :

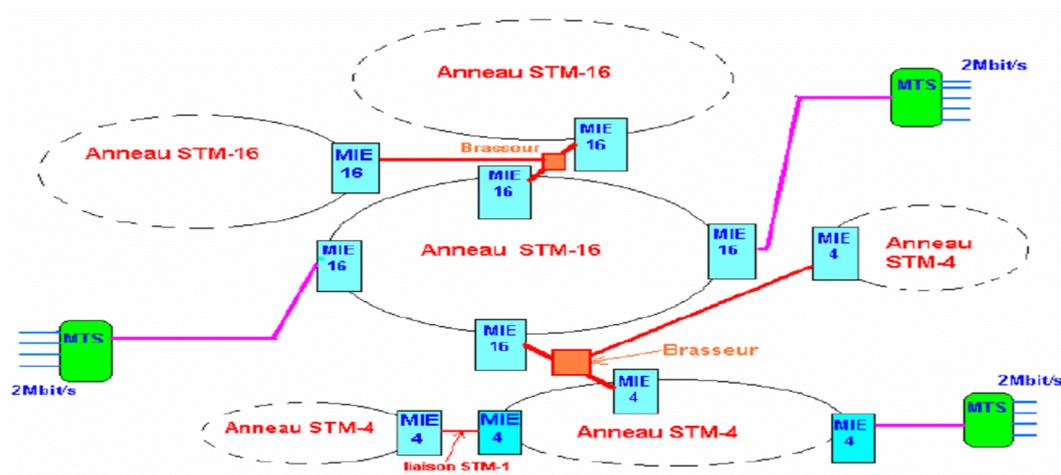


Figure II.23. Infrastructure du réseau SDH. [12]

### II.2.2.3.1. Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS) [14]

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant. On ne parle plus de configuration en anneau mais de configuration en point à point. Il existe deux configurations en point à point possible. La première reliant deux MTS et la seconde reliant un MTS à un MIE qui est lui en anneau.

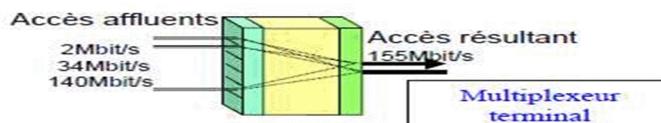
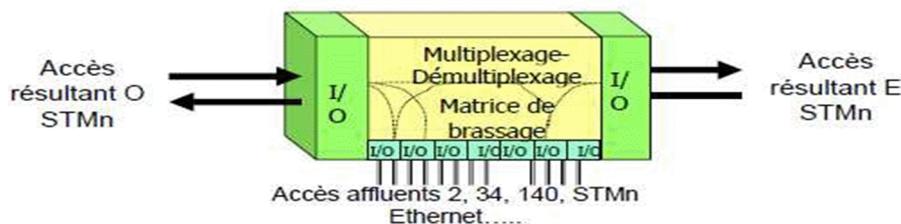


Figure II.24. Multiplexeur terminal.

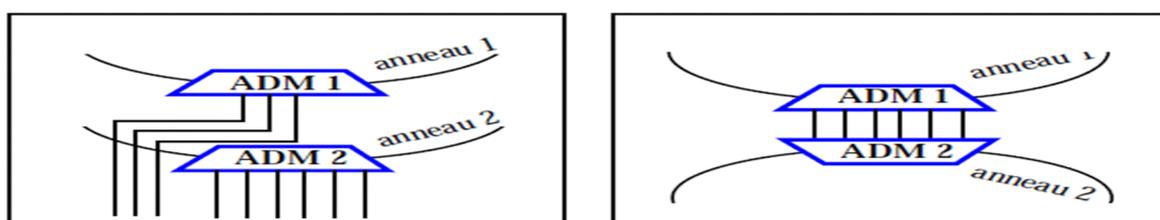
### II.2.2.3.2. Multiplexeurs insertion/extraction (MIE)

Les multiplexeurs insertion/extraction ou ADM (add-drop) sont utilisés pour multiplexer des signaux plésiochrones ou SDH dans des structures SDH de plus haut niveau.



**Figure II.25.** Multiplexeur insertion/extraction (MIE/ADM).

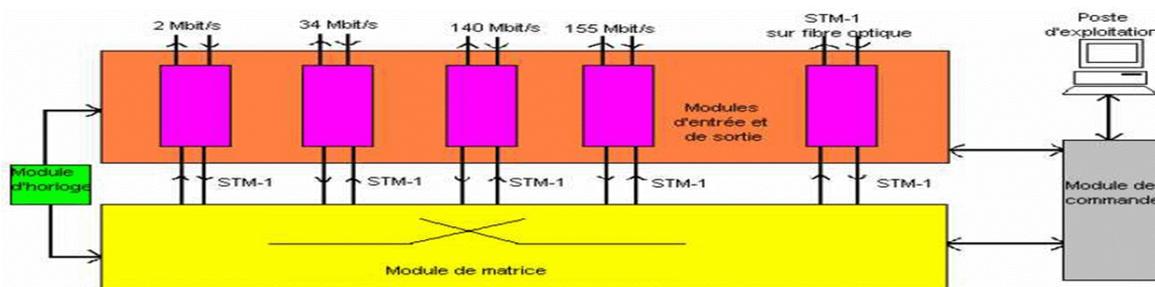
Dans le cas d'un double ou triple anneau (parallèle), les lignes rentrent directement dans les ADM de l'anneau qui est choisi pour transmettre un flux. L'interconnexion entre anneaux se fait par l'intermédiaire de deux ADM.



**Figure II.26.** Interconnexion d'ADM.

### II.2.2.3.3. Brasseur (DXC : Digital Cross-Connect) [12]

Les brasseurs numériques **S-DXC** (Synchronous Digital Cross Connect) permettent de réarranger les affluents dans les trames STM-n et de commuter (c'est-à-dire brasser) des VC's dans des multiplex d'entrées avec des multiplex de sortie.



**Figure III.27.** Sous-systèmes fonctionnels d'un brasseur.

### II.2.2.4. Les interfaces utilisés dans le réseau SDH

Il existe deux types d'interfaces :

## Chapitre II : les supports de transmission.

---

Electriques : STM-1 codé selon la norme G.703. Pour des courtes distances <90m (intracentre) et pour le STM1 uniquement.

Optiques sur fibre type G.652 ou G.653.

### II.2.2.5. La synchronisation du réseau SDH [13]

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

La qualité de fonctionnement du réseau SDH dépend de sa synchronisation, Il existe 4 types de source de synchronisation pour l'équipement SDH :

T0 : L'oscillateur interne (mode HOLOVER, en cas de perte de synchronisation)

T1 : Un signal STM entrant (entrée STM-n, en priorité 3, SSU-2)

T2 : Un affluent (2Mbit/34Mbit/45Mbit/140Mbit, en priorité 2, SSU-1)

T3 : Une horloge externe à 2,048 MHz (fiable et placée en priorité 1, PRC)

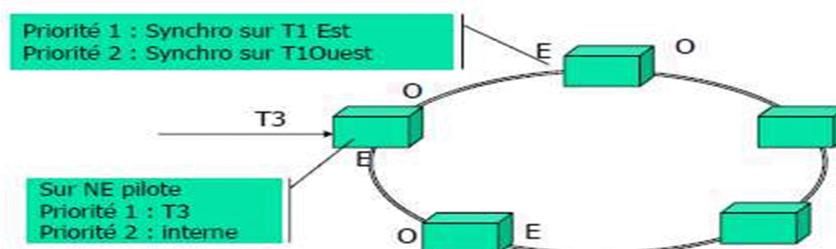


Figure II.28. Synchronisation.

Il existe trois niveaux principaux de SSU (Synchronisation Source Unit)

- Primary Reference Clock PRC (pris de depuis la source d'horloge)
- Secondary SSU (prise de la source d'horloge Priorité 2)
- HoldOver HO (horloge interne à l'équipement).
- 

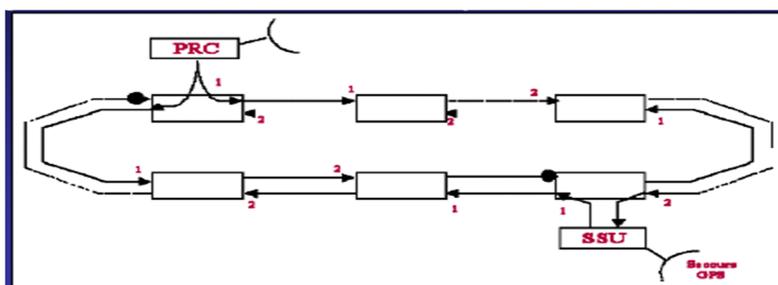


Figure II.29. Priorité de source de synchronisation dans une boucle.

### II.2.2.5.1. La sécurisation de la synchronisation

Un basculement sans précaution de la source d'horloge en cas de défaillance entraînerait l'apparition d'une boucle d'horloge (Timing Loop)

Exemple d'un Timing Loop :

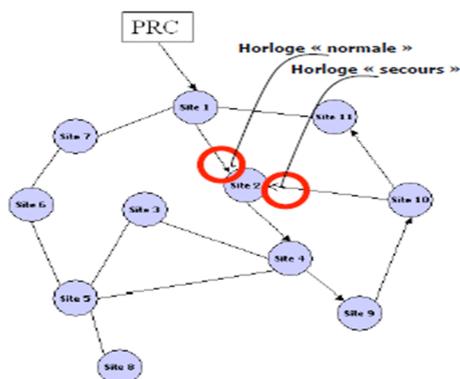


Figure II.30. Cas nominale.

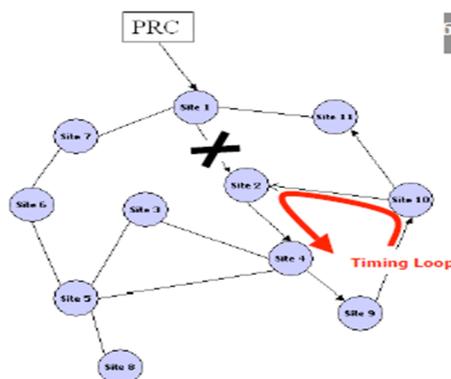


Figure II.31. Cas d'un défaut.

### II.2.2.6. Insertion d'affluents dans un STM1 [5]

#### II.2.2.6.1. Insertion d'un affluent de 140 Mbit/s dans une STM-1 :

Tout d'abord, il faut élaborer le conteneur C4 comme le montre la structure du multiplexage synchrone après récupération d'horloge et la régénération de l'affluent. Ce conteneur de périodicité  $125\mu s$  est formé de 180 blocs chacun constitué de 13 octets, soit au total 2340 octets ou 18720 bits, donc le débit est  $18720/125=149.760$  Mbit/s.

Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de 139,264 Mbit/s, tous les bits ne seront donc utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc, il y a 13 octets réparti comme suit : un octet pour les bits d'indication tels que le bit de remplissage, de justification ou de sur débit, et 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Il y a en fait 17406 bits d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mbit/s.

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

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

L'unité Administrative A est constituée de l'ensemble VC4 et d'un pointeur associé.

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

### II.2.2.6.2. Insertion d'affluent 34Mbit/s dans un STM1

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 34 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C3 : de périodicité 125µs .

-Formé de 9 lignes comportant chacune 84 octet, soit 756 octets ou 6048 bits.

-Débit de 48,384 Mbit/s.

Comme il n'y a pas assez d'octets de données on ajoute des bits de remplissage, donc le débit nominal de l'information dans du C3 passe à 34,344 Mbit/s.

Le conteneur virtuel VC3 est obtenu en rajoutant à C3 un Sur débit de Conduit POH identique au POH du VC4. Le TU3 est constitué de l'ensemble du VC3 et d'un pointeur associé placé dans la capacité utile de la trame STM1. Le VC4 formé de 3 TUG3 est obtenue en effectuant un multiplexage par entrelacement de colonnes des TUG3 A/B/C après avoir placé en tête du VC4 la colonne contenant le POH de VC4 et deux colonnes de remplissage.

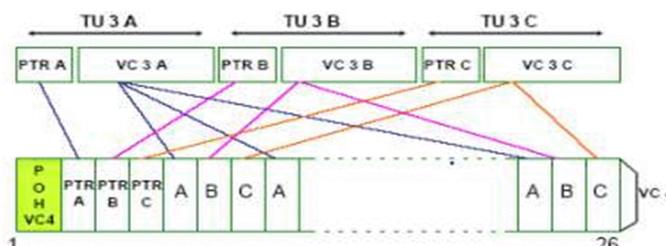


Figure II.32. Mise en place d'un VC3 et intégration dans un VC4.

Comme dans le cas d'un affluent à 140Mbit/s, l'AUG est obtenue en associant un pointeur au VC4. L'AUG représente l'entité contenant l'AUG et il sera placé dans le STM1 qui est obtenue en rajoutant le SOH à l'AUG. On obtient un STM1 formé d'un AUG contenant un VC4 composé de trois TUG3 élaborés à partir de trois VC3 transportant trois affluents à 34Mbit/s.

### II.2.2.6.3. Insertion d'affluent 2Mbit/s dans un STM1

Le C12 est constitué d'un ensemble de 139 octets en 4 fois 125µs, soit 500µs et non pas 125µs comme pour les C3 ou C4. Ceci permet de réduire la taille relative du sur débit par rapport au signal utile transmis.

## ChapitreII : les supports de transmission.

---

En mode TU flottant, le VC12 est obtenue en rajoutant, dans la période de 500 $\mu$ s, le POH de VC12 constitué d'octets nommés V5 (surveillance des erreurs), J2(identification du point

d'accès), N2 (surveillance des connexions en cascade), K4 (octet réservé pour un complément d'étude). Le TU12 est élaboré en associant au VC12, dans la période de 500 $\mu$ s, 4 octets nommés V1, V2, V3 et V4. V1 et V2 constituent le pointeur de VC12, V3 est l'opportunité de justification négative et V4 n'est actuellement pas utilisé (application future). Le TU12 est ainsi constitué de 144 octets. Pour obtenir un TUG2 il faut multiplexer 3 TU12, puis pour obtenir TUG3, il faut multiplexer 7 TUG2, puis pour obtenir un VC4 il faut ajouter un POH à un multiplexage de 3 TUG3 comme pour le cas de l'insertion du 34Mbit/s. Ainsi on obtient pour l'AU4 un multiplexage de 63 trains à 2Mbit/s.

### II.2.2.7. La protection de fonctionnement dans les réseaux SDH [13]

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission.

Le choix parmi les mécanismes permet d'obtenir une solution adaptée aux :

- Type de défaut
- Type de trafic à sécuriser
- Flexibilité
- coûts

#### Les principaux défauts

Dans un réseau SDH on peut avoir des défauts dus :

- A une défaillance dans le réseau
- A un défaut de composant électronique
- A une mauvaise commande

On fait face à ces problèmes soit par la protection ou par la restauration

**Protection :** la route de secours est établie dès l'origine.

**Restauration :** la route de secours est établie après le défaut.

On trouve plusieurs types principaux de protection qui peuvent être utilisés :

#### II.2.2.7.1. La protection de carte

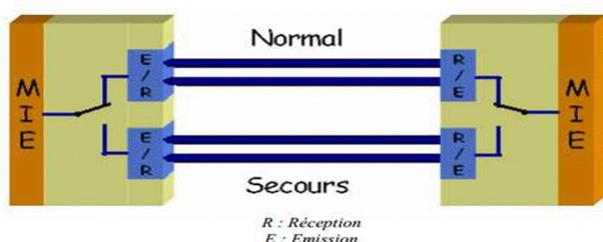
Agit en cas de défaillance d'une carte. Il peut s'agir d'une protection 1+1 ou 1:N.

1+1 : 1 carte est l'unique secours de l'autre

1:1 ou 1:N : 1 carte peut venir en secours de l'une des N cartes défaillantes

**La protection 1+1 :** Ce type de protection offre deux accès optiques pour le trafic normal (working). Le secours (protect) ne peut pas être utilisé pour le réseau de réserve.

**La protection 1 : 1 ou 1 : N :** Dans cette configuration, le secours peut être utilisé pour secourir la liaison normale ou pour réacheminer du trafic (extra-traffic) d'autres artères.



**Figure III.35.** La protection 1+1.

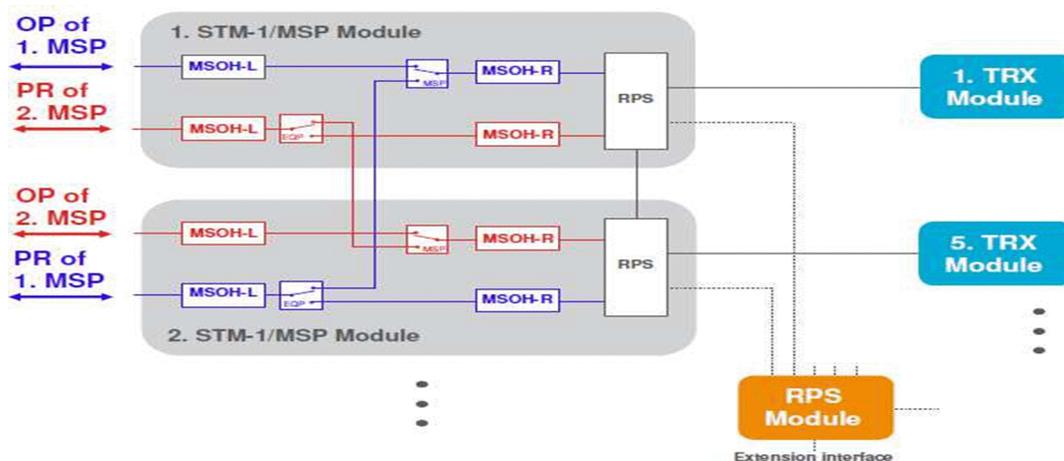


**Figure III.36.** La protection 1 : N.

### II.2.2.7.2. La protection de la section de multiplexage MSP

#### La protection linéaire

Appelé Multiplex Section Protection (MSP) ou Automatic Protection Switching (APS). Il s'agit d'une protection n+1, elle utilise les octets K1, K2 du MSOH



**Figure II.37.** La protection MSP.

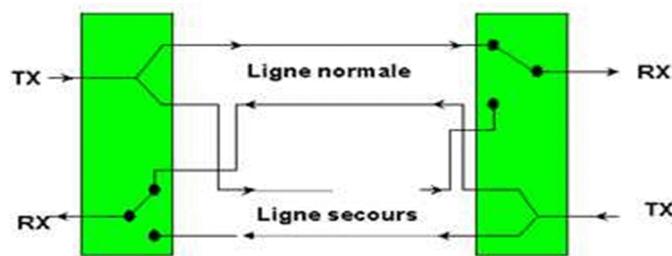
La plupart du temps c'est une protection 1+1, les cartes d'interfaces et les câbles sont doublés.

#### Protection 1+1

APS 1+1 (Automatic Protection Switching)

MSP (Multiplex Section Protection) sur réseau linéaire : traite des dérangements à l'intérieur d'une section de multiplexage

Le protocole K1 K2 n'est pas utilisé :



**Figure II.38.** La protection 1+1.

Lorsqu'une ligne coupe, par exemple celle du haut, le récepteur de droite n'est plus éclairé. Il détecte donc une panne et commande à l'émetteur de droite de s'éteindre et de passer sur le secours de droite (deuxième paire). L'émetteur s'éteignant, l'autre récepteur (à gauche) ne reçoit rien. Il commande donc à son émetteur (gauche) de couper et bascule sur le secours.

### **La protection en anneau ou MS-SPRING (MS-Shared Protection Ring)**

Dans ce type de protection il faut que tout le trafic véhiculé par l'arc en panne puisse être véhiculé par tous les autres arcs. En fait le pire des cas est la panne du lien le plus chargé puisque c'est dans ce cas que le reste de l'anneau prendra la plus grande surcharge due à la protection. Pour limiter la bande passante nécessaire, ce mécanisme de protection peut être limité au trafic sécurisé.

### **II.2.2.7.3. Protection SNCP**

Dans le mécanisme de protection SNCP (Sub-Network Connection Protection) qui porte aussi le nom de PPS (Path Protection System), le trafic entre un nœud source et un nœud destination est envoyé par le chemin direct ainsi que par le chemin rétrograde. Au nœud destination il y a un vote entre les deux signaux.

Cette technique, illustrée sur la Figure (III.39), duplique la totalité du trafic. Pour limiter la bande passante nécessaire, le trafic peut être réparti en deux composantes : une sécurisée et une non-sécurisée, la protection SNCP ne s'appliquant qu'à la composante sécurisée. En conséquence, si X est la quantité de trafic sécurisé à faire passer entre deux nœuds quelconques de l'anneau, il faut réserver X unités de capacité sur tous les arcs de l'anneau.

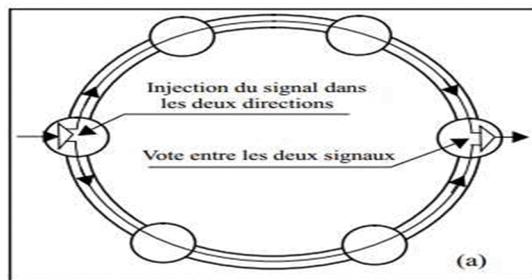


Figure II.39. SNCP sur une topologie en anneau.

### II.3. Cas de transport de la capacité Ethernet (IP) [15]

La technologie Ethernet s'est imposée ces dernières années face à ses concurrents, en offrant des débits de 100 Mb/s, 1 Gb/s et 10 Gb/s. Aujourd'hui seul ATM paraît en mesure encore de résister. Mais ceux qui prédisaient le tout ATM semblent s'être trompés, le marché des réseaux locaux se fonde, certainement durablement, sur Ethernet.

Cependant, l'accroissement du débit s'est accompagné d'un changement sur les structures d'interconnexion.

Ce n'est pas la première fois. L'histoire d'Ethernet est riche en versions: 10base5, 10base2, 10 Base T, etc... Ces changements n'ont jamais affecté ni la structure de la trame (Ethernet II ou 802.3) ni la méthode d'accès (CDMA).

#### II.3.1. La trame Ethernet

La trame Ethernet a une capacité de 64 à 1518 octets qui sont divisés en différents champs. Celle-ci est toujours précédée de deux champs permettant la synchronisation avec le réseau. Ces champs ne sont pas enregistrés lors d'une capture de la trame.

Voici les différents champs qui composent une trame Ethernet

#### II.3.2. Les champs de la trame Ethernet

Les champs adressent destination & adresse source (6 octets)

Ces deux champs indiquent l'adresse de la destination de la source. Il s'agit des adresses physiques des cartes réseau. Ces adresses sont codées sur 48 bits (6 Octets). Le premier bit permet de spécifier s'il s'agit d'une adresse individuelle (0) ou de groupe (1). Le deuxième bit précise si l'adresse de groupe est multicast (0, à destination d'un groupe

de station) ou broadcast (1, à diffusion générale).

Le champ de données (informations)

Le champ de données est souvent nommé champ informations.

Le champ de bourrage

Le champ de bourrage permet de compléter le champ de données dans le cas où celui-ci contient moins de 46 octets.

Le champ FCS

Le champ FCS (Frame Check Sequence) permet un contrôle à la réception de la trame. L'émetteur effectue un calcul sur les champs 'destination', 'source', 'longueur' et 'information'. Il en inscrit le résultat dans les 4 octets du FCS.

Adresse destination	Adresse source	Longueur des données	Champs de données	Bourrage	FCS
6 octets	6 octets	2 octets	46 à 1500 octets		4 octets

**Figure II.40.** La trame Ethernet.

### II.3.3. Types de réseaux Ethernet

#### II.3.3.1. Fast Ethernet

Le terme Fast Ethernet fait référence à un réseau Ethernet capable de transférer des données à une vitesse de 100 Mbits/s

#### II.3.3.2. Gigabit Ethernet

Les réseaux Gigabit Ethernet, qui peuvent également être basés sur un câble à paires torsadées ou en fibre optique, délivrent un débit de 1 000 Mbits/s (1 Gbit/s) et sont de plus en plus populaires.

#### II.3.3.3. 10 Gigabit Ethernet

10 Gigabit Ethernet est la norme de dernière génération ; elle est capable de délivrer un débit de 10 Gbits/s (10 000 Mbits/s).

### II.4. les VLAN (virtual local area network)

Le Réseau Local Virtuel est un réseau local regroupant un ensemble de machines de façon logique et non physique.

Un réseau local virtuel est un regroupement virtuel d'au moins deux périphériques. Ce regroupement virtuel peut s'étendre au-delà de plusieurs commutateurs. Les périphériques

## ChapitreII : les supports de transmission.

---

sont regroupés sur la base d'un certain nombre de facteurs suivant la configuration du réseau.

Un VLAN permet de créer des domaines de diffusion (domaines de *broadcast*) gérés par les commutateurs indépendamment de l'emplacement où se situent les noeuds, ce sont des domaines de diffusion gérés logiquement.

En effet dans un réseau local la communication entre les différentes machines est régie par l'architecture physique. Grâce aux réseaux virtuels (VLANs) il est possible de s'affranchir des limitations de l'architecture physique (contraintes géographiques, contraintes d'adressage, ...) en définissant une segmentation logique (logicielle) basée sur un regroupement de machines grâce à des critères (adresses MAC, numéros de port, protocole, etc.).

### **II.4.1. Les avantages des VLANs sont les suivants**

La réduction des messages de diffusion (notamment les requêtes ARP) limités à l'intérieur d'un VLAN.

Ainsi les diffusions d'un serveur peuvent être limitées aux clients de ce serveur.

La création de groupes de travail indépendants de l'infrastructure physique ; possibilité de déplacer la station sans changer de réseau virtuel.

L'augmentation de la sécurité par le contrôle des échanges inter-VLAN utilisant des routeurs (filtrage possible du trafic échangé entre les VLANs).

L'indépendance entre infrastructure physique et groupe de travail implique qu'un commutateur puisse gérer plusieurs Vlan et qu'un même Vlan puisse être réparti sur plusieurs commutateurs. En conséquence, une trame qui circule dans un commutateur et

entre les commutateurs doit pouvoir être associée à un Vlan.

Pour répondre aux objectifs des Vlan la règle suivante doit être impérativement respectée : une trame doit être associée à un Vlan et un seul et ne peut pas sortir du Vlan, sinon l'étanchéité du niveau 2 n'est plus respectée.

Les méthodes de construction d'un Vlan doivent donc déterminer la façon dont le commutateur va associer la trame à un Vlan. Usuellement on présente trois méthodes pour créer des VLAN : les vlan par port (niveau 1), les Vlan par adresses MAC (niveau 2), les Vlan par adresses IP (niveau 3) ainsi que des méthodes dérivées.[4]



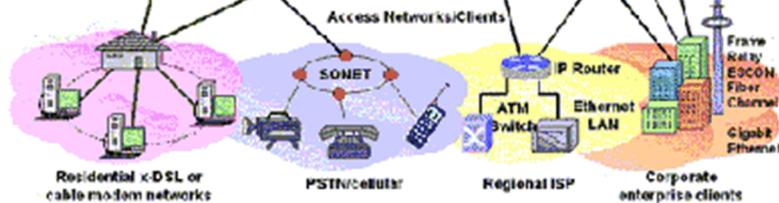
### Introduction :

Le réseau déployé en télécommunication est segmenté en fonction des différents besoins en débit, en bande passante, en distance de transmission, ... On distingue trois grandes catégories :

-Les réseaux longues distances (ou les WAN, Wide Area Network). Ce sont les réseaux déployés à l'échelle d'un pays ou d'un continent et dont les noeuds sont de très grands centres urbains.

-Les réseaux métropolitains (Metropolitan Area Network = MAN) qui correspondent aux réseaux mis en oeuvre dans une grande ville ou une agglomération et qui permettent de relier entre eux par exemple différents arrondissements.

-Les réseaux locaux (Local Area Network = LAN) encore appelés réseaux de distribution ou réseaux d'accès. Ils représentent le dernier maillon et finissent d'acheminer les informations à l'abonné. Ils sont donc plus courts et moins gourmands en capacité. Voir sur la fig III.1.



**Fig III .1 : Architecture typique d'un réseau de télécommunication.**

En ce qui concerne le réseau téléphonique, on rappelle que c'est un réseau maillé structuré autour de commutateurs centraux (CL, CAA, CTS ou CTP) reliés entre eux par des supports physiques partagés (câble, fibre optique, ...). Les divers supports physiques ont des qualités intrinsèques en terme de débit, de bruit, de protection aux bruits, d'atténuations, mais représentent un coût non négligeable : Les réseaux longues et semi-longues distances (WAN et MAN) se caractérisent par l'importance des coûts de réalisation des supports physiques de transport alors que dans un réseau local (LAN) les lignes utilisées sont assez courtes (quelques kms) mais les travaux de voirie sont de couts non négligeable. Les prix de revient de l'exploitation d'une ligne sont répartis entre :

- voirie (terrains particuliers, différentiel de température élevé, villes anciennes)
- câbles très robustes dans les emplacements les moins exposés aux agressions
- placement de répéteurs, de régénérateurs.

Ainsi, pour économiser le coût du réseau de transmission, plusieurs communications se partagent le même support physique et les utilisateurs sont connectés en mode point à point via des multiplexeurs. Les communications analogiques sont en général multiplexées en fréquence (FDM) alors que les communications numériques sont multiplexées dans le temps TDM. L'arrivée de la fibre optique a permis d'atteindre des performances de plusieurs centaines de Mbits/s jusqu'à des dizaines de Gbits/s par un multiplexage en longueur d'onde (WDM).

La numérisation du réseau téléphonique par la technique MIC (à titre d'exemple RNIS ou des réseaux spécialisés comme transpac) a permis de définir et de normaliser plusieurs niveaux de multiplexage. Le premier niveau de la hiérarchie est appelé débit primaire (E1 en Europe ou DS1 en Amérique). Ensuite, le multiplexage dans le réseau de transport de haut débit consiste à associer ou regrouper des débits incidents ou primaires au niveau des commutateurs centraux pour former un débit supérieur qui soit plus facile à transmettre et à gérer dans le plan de transmission. Le regroupement s'effectue dès que possible avec comme objectif de partager au moindre coût les supports physiques de transmission.

La fonction de multiplexage s'introduit donc naturellement au sein du réseau

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

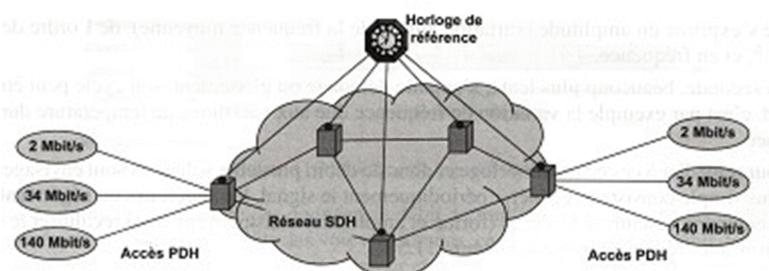
téléphonique pour réaliser cet objectif. Il existe deux hiérarchies de multiplexages numériques :

- Le PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy
- Le SDH : Synchronous Digital Hierarchy.

Le PDH a constitué la base de tous les réseaux de transport jusqu'aux années 1990. La hiérarchie numérique plésiochrone (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH / DS<sub>n</sub>) a été mise en place en parallèle à la numérisation du réseau RTC (POTS en Amérique) pour répondre principalement à la demande de la téléphonie. Les réseaux PDH/DS<sub>n</sub> ont été développés à une époque où les transmissions point par point représentaient l'essentiel des besoins. L'évolution du réseau de transport haut débit est marquée par l'introduction des techniques synchrones (SDH).

Fondée sur un réseau de distribution d'horloge, la hiérarchie synchrone garantit la délivrance de bits en synchronisme avec une horloge de référence. Elle autorise de plus des débits plus élevés et répond à un besoin de normalisation des fibres optiques.

Cependant, la hiérarchie PDH reste malgré tout aujourd'hui la technologie dominante sur la plupart des réseaux de télécommunications du monde, même si 60synchrone (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) en Europe ou la technologie SONET (Synchronous Optical NETWORK) en Amérique. En effet, si les cœurs de réseaux sont aujourd'hui SDH, la distribution des débits chez l'utilisateur repose sur la hiérarchie plésiochrone. La figure ci-dessous illustre la cohabitation de techniques PDH/SDH, voir sur la Fig.II.2.



**Fig III .2 : Cohabitation des techniques PDH/SDH.**

Le PDH et SDH assurent le synchronisme temporel et un retard minimum sur les données transmises. Le XDH est donc dévolus aux applications à débits constants. Une autre procédure d'acheminement de données à été établis au CNET de Lannion, qui présente la particularité d'être modulable en temps réel entre les flux de données synchrones , à débits constant et sans régulation de flux, et les flux de données à débits variables pourvus de la régulation de flux. Il s'agit de l'ATM.

Le SDH n'est pas adapté à des débits variables, ce n'est pas un réseau en mode paquet comme Internet. La SDH fourni une bande passante attribuée pour la voix ou la donnée. Pour modifier le débit, il est nécessaire de disposer d'une commande extérieure qui alloue dynamiquement les canaux de transmission aux besoins de chacun ; il y a soit un opérateur à chaque nœud de réseau, soit un réseau complémentaire de commande et de contrôle.

### **III .1) Les réseaux de transport :**

#### **- Le réseau long distance WAN :**

Cette partie du réseau, parfois également appelée réseau structurant, représente la couche supérieure du réseau de télécommunications. Elle est comprise entre deux autocommutateurs à autonomie d'acheminement, qui ont pour rôle d'aiguiller les informations d'une région à une autre, de la zone de l'expéditeur vers celle du destinataire. La transmission de ces informations se fait désormais sur fibre optique à une longueur d'onde de  $1,55\mu\text{m}$  et à un débit élevé qui ne cesse de s'accroître (les débits 2,5 Gbits/s et 10 Gbits/s sont déjà installés et le 40 Gbits/s le sera très prochainement).

Cette capacité ne pourrait être atteinte sans l'introduction des fibres optiques dans la chaîne. Elles ont permis de gagner en débit et en espacement entre répéteurs par rapport aux systèmes existants, à savoir le câble coaxial (la distance

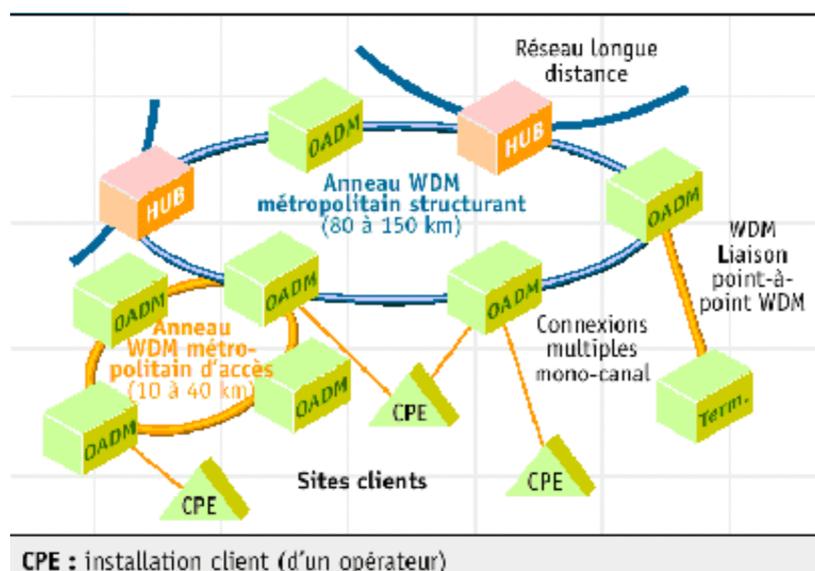
passer typiquement de 2 à 100 km). De plus, l'abandon des régénérateurs électro-optiques (photodétection, amplification électrique, reversion optique) au profit des amplificateurs optiques, déployés environ tous les cent kilomètres, a permis de faire un bond en terme de capacité des liaisons.

Dès le début des années 1990, l'amplification optique a permis de démontrer la possibilité de transmettre, sans répéteur, des signaux à 5 et 10 Gbits/s sur des distances transocéaniques. La liaison du réseau longue distance est désormais tout optique.

### **- Le réseau moyen distance MAN :**

Encore appelé réseau intermédiaire, le réseau métropolitain connaît en ce moment un véritable essor. Déployé entre le dernier autocommutateur à autonomie d'acheminement du réseau longue distance et une zone plus précise (arrondissement, campus, petite ville, ...), il possède un environnement souvent très complexe et divers. Fondamentalement, on peut distinguer les réseaux métropolitains structurants et métropolitains d'accès (Figure I- 2).

Les réseaux métropolitains structurants sont généralement constitués d'anneaux de 80 à 150 km de circonférence avec six à huit noeuds. En revanche, les réseaux métropolitains d'accès sont des anneaux de 10 à 40 km de circonférence dotés de trois ou quatre noeuds avec des embranchements vers des sites distants. Suivant les réseaux ou les pays, ces chiffres peuvent varier considérablement. En particulier, il existe des différences notables entre les zones très peuplées d'Europe et d'Asie, où les distances seront inférieures, et les Etats-Unis où les applications métropolitaines s'apparentent à de véritables réseaux régionaux. Voir sur la figure suivante un réseau métropolitain structurant et le réseau métropolitain d'accès.



**Fig .II.3 : Réseau métropolitain structurant et réseau métropolitain d'accès.**

Les topologies logiques (profils de trafic) des réseaux métropolitains diffèrent radicalement de celles des réseaux longue distance. Ces derniers correspondent pour l'essentiel à des lignes interurbaines point à point avec tout au plus un ou deux multiplexeurs d'insertion-extraction optiques (OADM) pour insérer et extraire le trafic en des points intermédiaires. Les réseaux métropolitains introduisent une infrastructure optique à haut degré de connectivité. Les anneaux métropolitains se caractérisent généralement par un trafic maillé avec un certain degré de concentration lié à l'interconnexion avec le réseau longue distance. Les anneaux d'accès, à la différence, collectent en général le trafic de plusieurs nœuds pour le concentrer vers un nœud partagé avec un réseau métropolitain structurant.

La complexité de ce réseau ne se traduit pas uniquement par le haut degré de connectivité. A la différence des réseaux longue distance, les réseaux métropolitains doivent prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers, mêlant les trafics de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou du réseau optique synchrone (SONET) ou autres encore.

Pour supporter cette diversité, ces réseaux sont souvent équipés de cartes transpondeurs multidébits universelles, acceptant n'importe quel débit de 100 Mbits à 2,5 Gbits/s, pouvant assurer ultérieurement le trafic à 10 Gbits/s sans modification (exemple du récent réseau Alcatel 1696 Metro Span), et dans une transparence totale

vis-à-vis de tous les formats et protocoles.

Dans ces réseaux intrinsèquement ouverts à n'importe quel type de signal, le multiplexage en longueur d'onde (WDM), dont une description ultérieure sera faite, trouve une application importante en luttant contre l'encombrement que cela peut procurer tout en réduisant le coût par service apporté. De la même manière, les amplificateurs optiques sont essentiels pour les applications de réseaux métropolitains structurants. Les pertes élevées dans la fibre (dues à l'interconnexion de courts tronçons de fibre) et le cumul des pertes associées aux transits tout optiques dans des nœuds successifs peuvent imposer en effet d'amplifier le signal optique. L'amplificateur optique peut représenter dans bien des cas une solution à moindre coût comparée à la régénération optique-électrique-optique.

### **-Le réseau local LAN :**

Il est également nommé réseau de distribution ou d'accès. C'est la dernière partie du réseau de télécommunication, celle qui relie l'abonné et le dernier autocommutateur. Sa longueur varie de 2 à 50 km et sa capacité est au plus du même ordre de grandeur que celle du réseau métropolitain.

Il est toujours constitué par une partie en fibre optique entre l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Cependant, il est de plus en plus envisagé dans l'avenir de réduire la contribution de l'électrique pour aller vers le tout optique dans le but d'augmenter le débit disponible chez l'abonné.

Selon la localisation de la terminaison optique, différentes configurations sont envisageables :

- FTTH/FTTO (Fiber To The Home / Fiber To The Office) : la terminaison de réseau optique, qui est propre à un abonné donné, est implantée dans ses locaux.

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

La fibre va donc jusqu'à son domicile ou son bureau, et la partie terminale en cuivre est très courte.

- FTTB (Fiber To The Building) : la terminaison de réseau optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique généralement situé en sous-sol, soit dans une armoire ou un conduit de palier. Elle est partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.

- FTTC/FTTCab (Fiber To The Curb / Fiber To The Cabinet) : la terminaison de réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau. Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en oeuvre une distribution terminale par voie radioélectrique. La figure suivante illustre un réseau local, voir sur la Fig II.4.

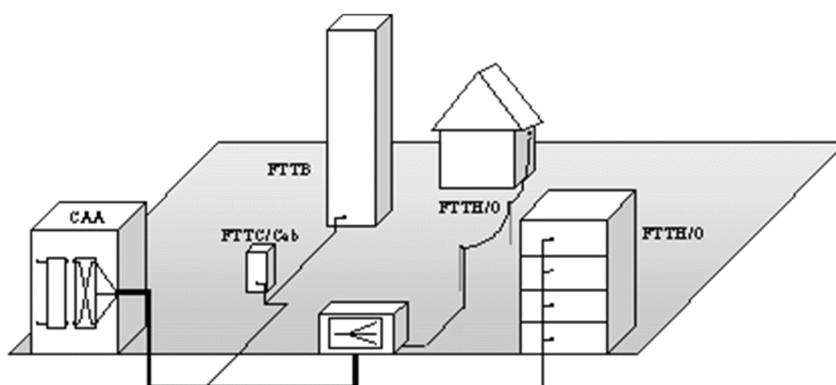


Figure III.4 : Le réseau local.

### III. 2) Les réseaux synchrones étendus PDH :

### III.2.1) Synchronisation des réseaux :

Le cas suivant illustré sur la figure peut être considéré comme un cas idéal dans le sens où l'on suppose que le débit affecté à chaque voie incidente est strictement identique et que les données sont parfaitement synchronisées.

Or, chaque voie est référencée vis-à-vis d'une horloge interne qui est soit fournie par un oscillateur soit asservie sur une horloge de référence. Que ce soit au niveau trame ou affluent, chaque information est véhiculée à un débit fixé par la fréquence de fonctionnement de l'horloge de la voie incidente. Les affluents sont alors dits plésiochrones (du grec plésio presque) puisque les horloges sont proches mais non identiques.

De plus, même lorsque les différentes horloges du réseau (c'est-à-dire les horloges de chaque voie incidente) sont asservies par une horloge de référence, des écarts d'horloge subsistent et sont aujourd'hui la principale source d'erreur dans le réseau (saut de bits). Il est par conséquent nécessaire avant de multiplexer les données, de corriger les horloges de chaque voie. La figure fig III.2.1.5 est une structure d'une trame E1-MIC.

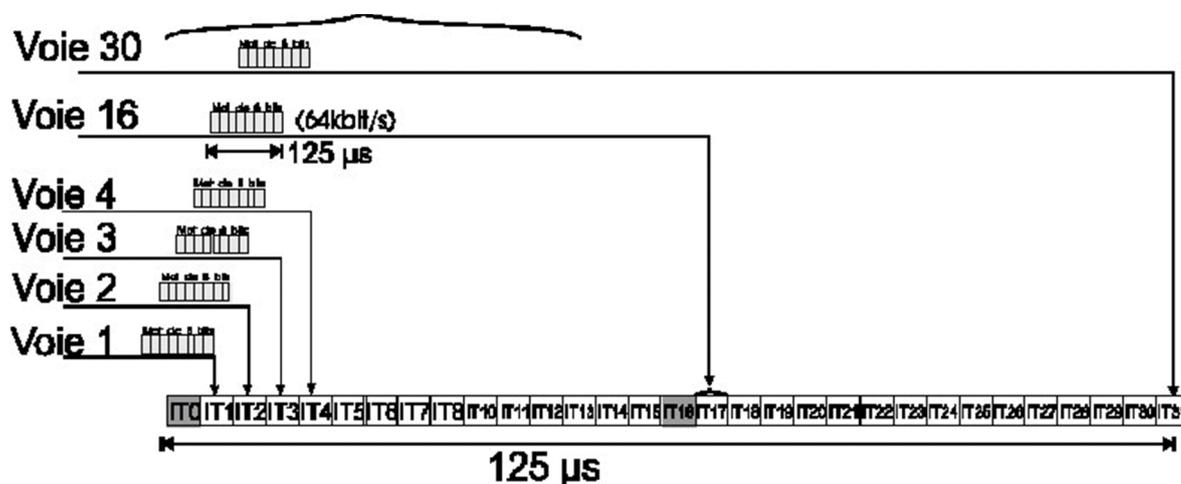


Fig III.2.1.5 : Structure de la trame E1-MIC.

### III.2.2) Phénomène de Gigue :

Il existe deux altérations qui ont pour conséquences de modifier la fréquence d'horloge autour de sa valeur moyenne et donc d'apporter des variations de phase autour d'une valeur moyenne : la gigue ("jitter") est une variation rapide de la fréquence autour de la fréquence moyenne et le dérapage ("wander") représente une variation lente (ex : due au changement de température).

La gigue de fréquence est une variation de la fréquence autour d'une fréquence moyenne. La gigue est due aux techniques mises en œuvre dans les équipements de multiplexages/démultiplexage, elle représente une faible fluctuation de la phase. Elle est définie comme les variations des impulsions électriques du signal codé par rapport à sa position idéale dans le temps. Les impulsions ne sont plus à leur place et les intervalles de temps entre impulsions varient également. A voir sur la figure fig III.2.2.5 la gigue du signal.

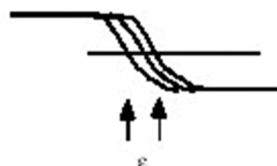
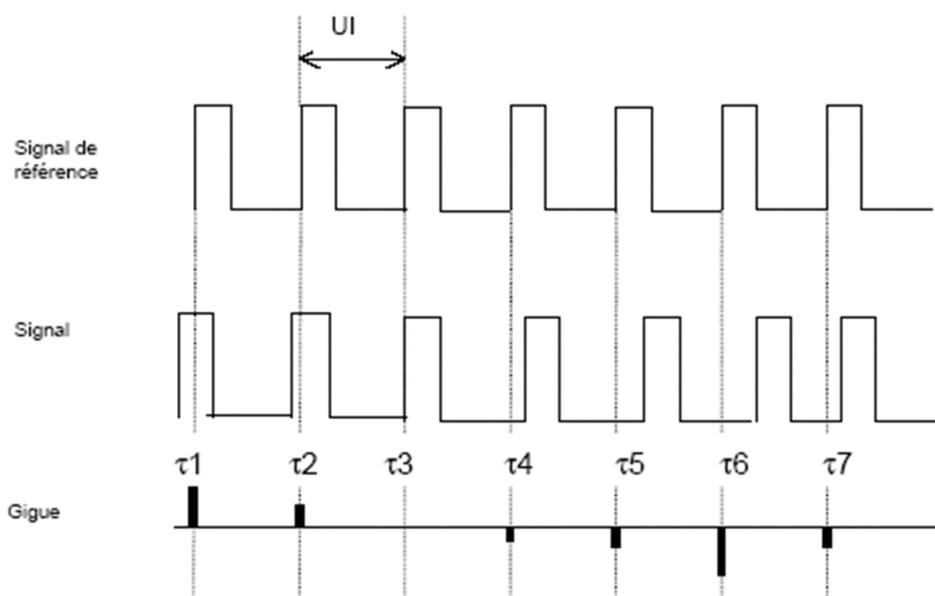


Fig III.2.2.5 : Gigue du signal.

L'écart de positionnement est mesuré par l'amplitude de gigue ou une variation de phase. L'amplitude est spécifiée par rapport à l'intervalle unitaire (UI = Unit Interval) qui est l'intervalle de temps  $T$  entre 2 impulsions d'un signal de référence sans gigue (dans le cas du système 2 Mbit/s, UI = 488 nsec). La gigue est aussi spécifiée en degrés, un UI étant alors égal à  $360^\circ$ . L'amplitude de gigue varie au cours du temps de manière aléatoire. Les variations typiques de gigue ont une fréquence de l'ordre de 10 Hz jusqu'à quelques kHz. Les régénérations et les opérations de multiplexage et de démultiplexage sont les principales sources de gigue dans le réseau.

Le dérapage (wander) est une gigue basse fréquence ( $< 10$  Hz) qui est due à des facteurs environnementaux (e.g. différences de température sur la longueur d'un chemin de transmission). L'erreur est plus importante que la gigue.

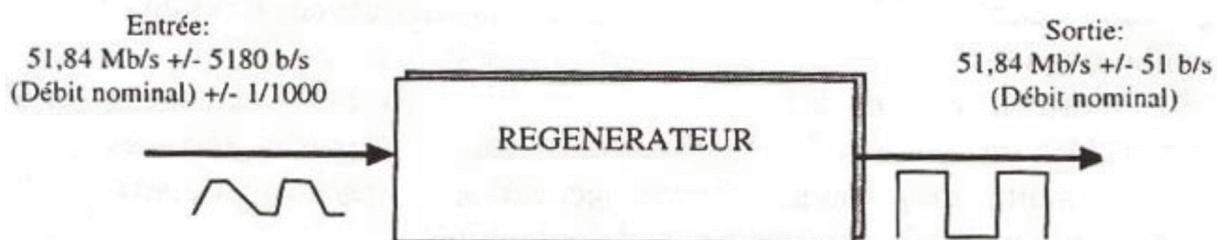
La gigue et le dérapage doivent être maintenus dans des limites spécifiées car ils induisent des glissements ("slips"=perte de trame) dans les commutateurs. Ces considérations font qu'un terminal de commutation contient un module de synchronisation dont le rôle est d'aligner les trames des affluents incidents (bit de justification). Le module de synchronisation est lui même précédé d'un terminal de jonction qui assure la formation du signal HBD3 et la régénération du signal reçu. Et en dessous sur la figure fig III.2.2.6 est illustré une représentation de la gigue.



**Fig III.2.2.6 : Représentation de la gigue.**

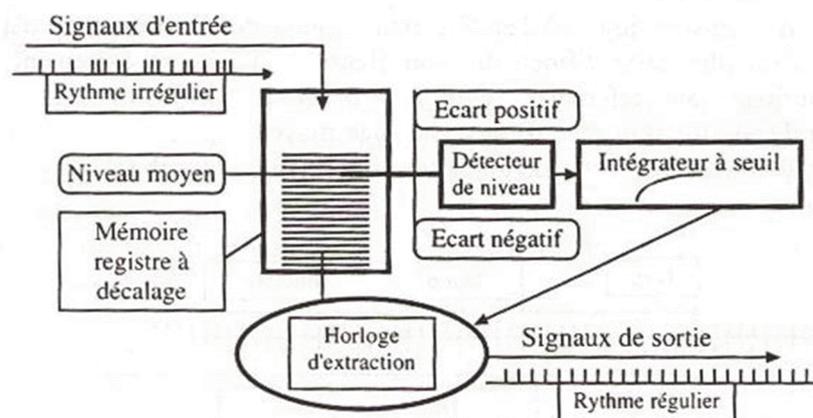
### III. 2.3) Réalisation pratique du multiplexage plésiochrone :

Pour remédier aux écarts d'horloges et de débits, la solution retenue comme indiquée précédemment est de régénérer le signal reçu pour reconstituer le signal à la fréquence moyenne et de synchroniser les données .



**Fig III.2.3.7 : Régénération**

La suppression de la gigue peut s'effectuer dans un répéteur pourvu d'un dispositif de lissage de fréquence et de mémoires tampons suffisantes. La gigue représentant une variation en fréquence de l'horloge autour de la fréquence nominale, l'horloge source est tantôt supérieure, tantôt inférieure à l'horloge d'émission. Par conséquent le débit du signal entrant est parfois supérieur au débit sortant. Dans ce cas, il est nécessaire de stocker les bits excédentaires en attente d'une dérive opposée de l'horloge. Toutefois, pour limiter la taille des mémoires tampons élastique, l'UIT a imposé une dérive d'horloge maximale de  $10^{-6}$  ppm.



**Fig III.2.3.8 : Lissage de fréquence.**

Cependant le dispositif de régénération est insuffisant puisque d'une part ce dispositif (mémoire) introduit un retard (temps de rétention des bits) et que d'autre part, les bits sont reçus à la vitesse de la fréquence d'entrée. Or, supposons que la fréquence d'entrée soit, de par la gigue, plus rapide que la fréquence de sortie, alors l'horloge de sortie n'a pas la vitesse suffisante pour ré-emettre tous les bits reçus dans l'instant considéré.

Le problème est résolu en mémorisant les bits en surnombre, en attendant une fréquence d'entrée inférieure à la fréquence de sortie. Pour résumer, afin de multiplexer les données il est nécessaire d'effectuer différentes opérations :

-utilisation de mémoire-tampon ("buffer store, elastic store") couramment de 32 octets afin d'effectuer la justification dans le module de synchronisation.

Pour la synchronisation, les deux opérations résultantes sont :

Chaque affluent inscrit ses données à son débit  $D_i$  dans la mémoire.

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

- le multiplex lit avec un débit  $D_o$ , rythme de l'horloge locale de l'auto-commutateur. Il y a alors 2 cas possibles :
- $D_o > D_i$  : (lecture > écriture) : manque d'information à lire (ou relecture d'une info déjà lue)
- $D_o < D_i$  : (lecture < écriture) : à un certain moment la mémoire est remplie, n'est pas lue à temps et est écrasée et donc perte d'info.

Ainsi, l'utilisation de la mémoire tampon permet d'aligner les trames par justification ou bourrage ("stuffing") : on insère régulièrement des bits non-significatifs dans le plus rapide des deux débits ; si  $D_o > D_i$ , on parle de justification positive sinon il s'agit d'une justification négative.

Pour clarifier la situation, considérons un signal affluent ayant un débit de  $X$  bits par seconde. Ce débit peut varier dans une plage  $X$  bit/s. On veut transporter ce signal dans une trame  $S$  dont la longueur est fixe  $L_T$  et la période est  $T_T$ . Pour cela on peut prévoir dans la trame de transport  $S$  une place  $L_n$  allouée à chacun des affluents. Cette place doit être suffisamment longue pour transporter le nombre de bits maximum que l'on peut obtenir pendant la durée  $T_T$  dans le cas particulier du débit le plus rapide  $X+ X$  bit/s. Dans ce cas, le nombre de bits reçus pendant l'intervalle de temps  $T_T$  est  $(X+ X ).T_T$ . Une longueur  $L_n > (X+ X ).T_T$  pourra donc contenir tous les bits reçus et a fortiori on aura suffisamment de place pour contenir le nombre de bits reçus dans le cas d'un débit affluent plus lent :  $(X- X ).T_T$

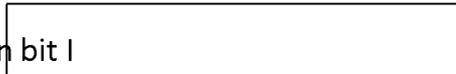
L'opération permettant de transporter un signal de débit variable dans une trame  $S$  de longueur fixe  $L$  et de débit fixe  $L/T_T$  s'appelle la justification. Parmi les  $L$  bits de la trame  $S$  on distingue deux types de bits (les bits d'information à transmettre = bit  $I$ , et les bits de remplissage = bit  $R$ ) et trois zones (zone pour les bits d'information, une zone pour les bits de remplissage positif, appelée zone  $P$  sur la figure 9, et une zone pour les bits de remplissage négatif, appelée zone  $N$ ).

Durée de la trame S :TT



Affluent A1 au débit de  
 $X \pm \Delta x$  bit/s

n bit I



Composante S1 de la trame S de  
fréquence trame TT

n bit I

P

N



P = Bit d'opportunité de Justification Positive  
N = Bit d'opportunité de Justification Négative  
I = Bits d'Information.

**Fig III.2.3.9 : Justification**

Justification négative : l'affluent est au débit  $X - X$ , N et P sont des bits de remplissage.

### III.2.4) Multiplexage trames MIC- E1 ou TN1 à 2 Mbit/s :

La hiérarchisation définie en Europe pour les réseaux de transmission est à 4 niveaux (vu sur la figure 1). Ainsi la recommandation fixe le débit à 2048 kbit/s. Chaque trame est définie par une durée de 125  $\mu$ s divisée en 32 IT numérotés de 0 à 31.

Les IT 1 à 15 et 17 à 31 sont dédiés aux transferts d'informations. Les autres IT servent à la signalisation :

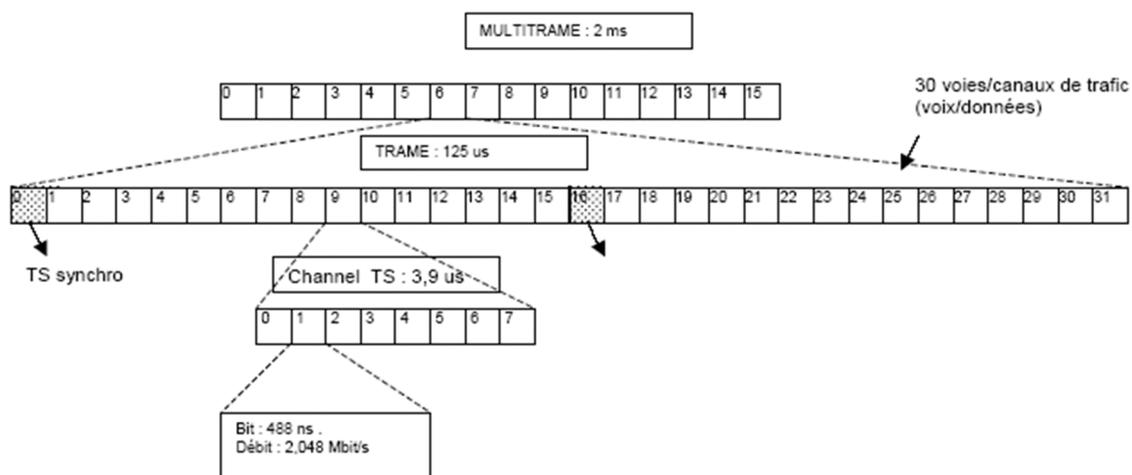
- l'IT 0 des trames paires est réservé verrouillage de trame ;
- l'IT 0 des trames impaires est réservé au service (alarmes) ;
- l'IT 16 est réservé à la signalisation ;

- Une succession de 16 trames constitue un multitrame.

#### a) Structure et utilisation de l'IT0 :

L'IT0 est utilisé soit pour le verrouillage de trame (VT) pour les trames impaires, soit pour les services pour les trames paires. Dans le premier cas, les 8 bits de l'IT0 correspondants à la trame de verrouillage.

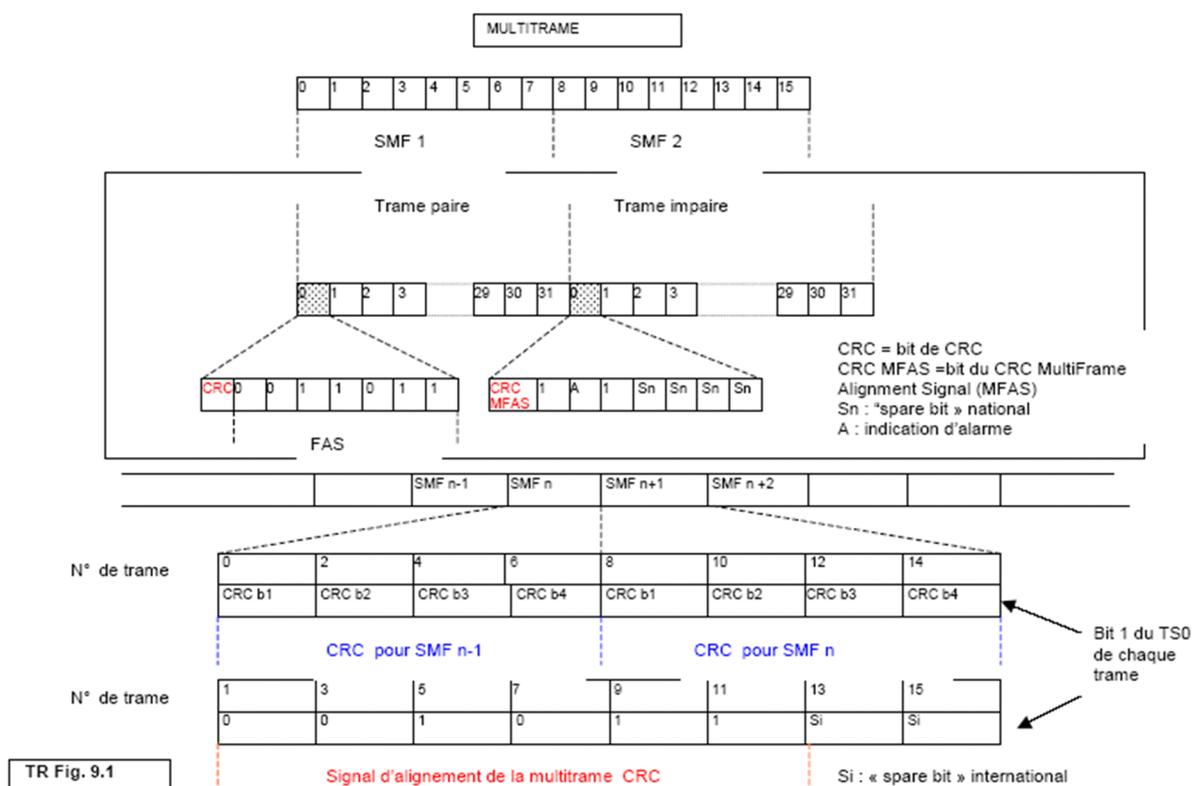
Le premier bit  $S_i$  de l'IT0 est réservé pour usage international. Il est généralement dédié au contrôle des erreurs de transmission par la méthode CRC4 pour la trame de verrouillage. Lorsqu'il est utilisé pour la détection d'erreurs de transmission, le premier bit  $S_i$  porte lui-même une structure de multiplexage par entrelacement de bits. Cette structure s'étend sur 16 trames (soit une durée de 2 ms) qui portent alors le nom de multitrame CRC4. La figure Fig III.2.4.10: est une illustration du passage de l'IT à la multitrame.



**Fig III.2.4.10:** de l'IT à la multitrame.

La procédure CRC a été conçue pour assurer une protection supplémentaire contre la copie du contenu de la trame de verrouillage au niveau de la trame sans verrouillage et pour améliorer les possibilités de contrôle d'erreurs de transmission. Dans ce cas, la multitrame CRC4 se divise en deux sous-multitrames (composée de 8 trames chacune) appelées sous multitrame1 et sous multitrame2 (respectivement SMF1 et SMF2 en Anglais) dans laquelle est insérée le mot de contrôle.

La figure Fig III.2.4.11 est une Décomposition de la multitrame en deux sous-multitrames.



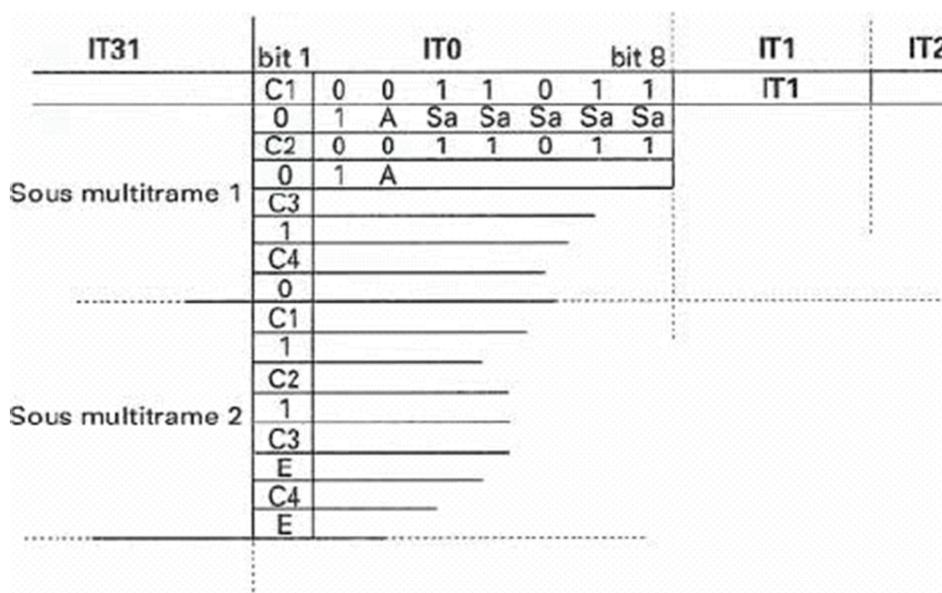
**Fig III.2.4.11** : Décomposition de la multitrame en deux sous-multiframes.

La figure précédente présente la structure de multitrame et les mots de contrôle C1 à C4. Chaque sous-multitrame transmet donc 4 bits de CRC-4, appelés C1, C2, C3 et C4 au niveau du premier bit de l'IT0 des trames paires. Dans les trames qui ne contiennent pas le signal de verrouillage de trame, le bit 1 est utilisé pour transmettre le signal de verrouillage de multitrame CRC-4 à 6 bits (001011) ainsi que 2 bits d'indication d'erreur CRC-4 : E (nommée aussi Si). E (ou Si) indique la réception d'une multitrame erronée ; le délai pour communiquer cette erreur doit être inférieur à 1 s. Le mot CRC-4 de la sous-multitrame p est calculé à partir des bits de la sous-multitrame p-1 (reste de la division par un polynôme générateur). Donc, le motif de verrouillage de multitrame (001011) est ici entrelacé avec les deux mots de contrôle contenant chacun les 4 bits de CRC : C1, C2, C3, C4.

## Chapitre III : les réseaux de transport

Le deuxième bit alterne de 0 à 1 entre trame pour éviter l'imitation (recopie) des deux trames IT0 consécutives.

Le mot de verrouillage codé sur 7 bits est présent une trame sur deux. L'alignement de la multitrame est assuré par un motif fixe réparti dans la multitrame (positions correspondant aux IT0 impairs) à partir de trois IT0 où on détecte VT, pas de VT, VT. Dans le cas où l'on perd le verrouillage, l'alarme A de l'IT0 de la trame sans VT prend pour valeur 1. Pour faciliter la compréhension, on représente la partie basse de la fig III.2.4.10 de manière verticale voir sur la figure III.2.4.11.



**Fig III.2.4.12 : Multitrame CRC4 (technique de l'ingénieur.**

Les bits restants (bit n°3 à 8) de l'IT0 ne portant pas le mot de VT (IT0 pairs), sont utilisés comme suit :

-bit n° 3 : transmet vers l'extrémité distante de la ligne à 2 048 kbit/s une indication de défaut affectant la réception locale (bit A). Ce bit doit être à 0 en l'absence d'alarme ; Les causes d'erreurs sont :

- erreurs dans les codes ;
- perte d'alignement de trame ;

-bit n° 4 : bit réservé à la transmission d'un canal d'exploitation, de maintenance et de supervision à faible débit (chacun des bits Sa peut porter un canal à 4 kbit/s) ou à des applications spécifiques ;

-bit n° 5 à 8 : bits réservés à des applications nationales ou à des applications spécifiques à certains services, telles que transmission d'alarmes ou d'indications supplémentaires.

Les bits Sa non utilisés doivent être fixés à 1.

### **b) Structure et utilisation de l'IT16 :**

L'IT16 est généralement réservé au transport de la signalisation des diverses voies du multiplex. Dans ce cadre, on peut distinguer deux modes principaux de transport de la signalisation :

- signalisation sémaphore (en anglais CCS : common channel signalling) ;
- signalisation voie par voie (en anglais CAS : channel associated signalling).

En mode signalisation sémaphore, l'IT16 transporte la signalisation en mode message, l'affectation à une voie particulière s'effectuant par adressage explicite contenu dans le message. Ce mode présente une grande souplesse et permet également le transport d'informations d'exploitation.

En mode signalisation voie par voie, l'IT16 porte une structure permettant une affectation implicite et donc stricte de la signalisation. Cette structure repose sur une multitrame d'IT16, composée de 16 trames. La multitrame d'IT16 est totalement indépendante de la multitrame de CRC4. La constitution de la multitrame est présentée en figure 12. Le premier IT16 de la multitrame (IT16 de la trame 0), porte le motif de verrouillage de multitrames : 0000 suivi de quatre bits dont trois bits de réserve plus le bit y servant à transmettre vers l'extrémité opposée de la liaison une information de défaut de fonctionnement local de la multitrame (par exemple, perte de verrouillage multitrame en réception). Les quinze IT16 qui suivent le mot de verrouillage de multitrames portent la signalisation de trente voies à 64 kbit/s à

raison de quatre bits par voie (capacité de signalisation de  $4 \times 500$  bit/s par voie).

La figure Fig III.2.4.13 est une structure de la multitrame d'IT16.

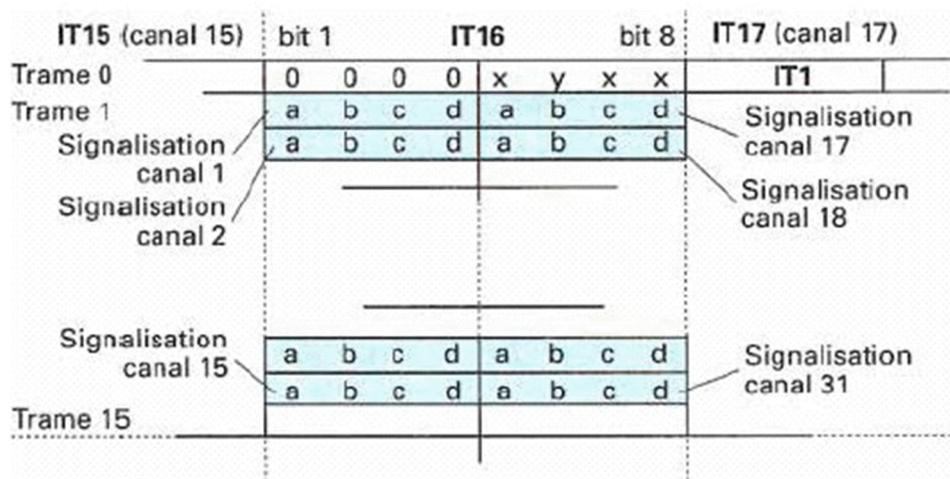


Fig III.2.4.13 : Structure de la multitrame d'IT16.

### c) Signaux à l'interface physique :

Le signal correspondant au flux de données à 2 048 kbit/s est transmis par une interface physique, définie par l'Avis G.703, § 6. Les signaux sont émis sous forme bipolaire selon le codage HDB3 (haute densité binaire) avec les conventions suivantes :

- à un « 1 » binaire correspond une impulsion de polarité positive ou négative, alternée par rapport à la précédente ;

à un « 0 » binaire correspond en principe une absence de signal. En pratique, afin d'éviter, en réception, des défauts de récupération d'horloge bit dus à la transmission de longues suites de données à zéro, des impulsions sont ajoutées en violant le principe d'alternance des polarités (viols de parité). Ces impulsions sont reconnues et retirées à la réception.



### III.3) La hiérarchie SDH/SONET :

Dans les systèmes PDH, le principe est la transparence, c'est à dire que les interfaces et les multiplex normalisés à 8, 34 et 140 Mbit/s n'imposent pas de contraintes sur le contenu binaire. Mais, de par le procédé d'insertion de bits de justification, de bourrage de trame et d'entrelacement par bit, il est nécessaire de procéder à toutes les opérations de démultiplexage 140/34, 34/8 et 8/2, pour extraire une trame à 2 Mbit/s dans un multiplex à 140 Mbit/s. Cela signifie que l'on doit, à chaque étape, récupérer l'horloge, la trame et retrouver les bits de justifications pour n'extraire que l'information utile.

Un deuxième inconvénient est l'absence de normalisation au niveau du C.C.I.T.T., ce qui veut dire qu'on ne peut pas interconnecter deux hiérarchies (U.S.A., EUROPE, JAPON) sans passer par un équipement intermédiaire, car par exemple aux U.S.A. les débits utilisés sont le 275Mbit/s, le 44Mbit/s, le 6Mbit/s, le 1,5Mbit/s et le 64kbit/s ; alors qu'en Europe on utilise le 560, le 140, le 34, le 8 et le 2 Mbit/s, le 64kbit/s.

En 1998 est apparue la hiérarchie synchrone. Elle se distingue essentiellement de la hiérarchie plésiochrone par la présence d'horloge à tous les niveaux du réseau réduisant les écarts d'horloges. Cette hiérarchie repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte une facilité de brassage et d'insertion/extraction des niveaux inférieurs.

Le multiplexeur est disposé dans les liaisons de réseaux pour effectuer des tâches d'extractions et d'insertions sur les flux multiplexés. Il comporte un élément de démultiplexage et de multiplexage (ADM : Add Drop Multiplex ou Multiplexeur à insertion/extraction).

Les brasseurs avec insertion-extraction transmettent certains canaux une entrée/sortie particulière et insèrent d'autres canaux à leur place. Les flux insérés sont égaux aux flux sortants.

Les concepts de la SDH permettent ainsi de remédier aux inconvénients de la

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

hiérarchie numérique plésiochrone (PDH). Les signaux sont encapsulés dans un « container » et à chaque container est associé un surdébit destiné à l'exploitation de celui-ci. Le container et le surdébit constituent un container virtuel (VC).

Un pointeur (surdébit) pointe sur la charge utile de la trame. Lorsque l'horloge source n'est pas en phase avec l'horloge locale, la valeur du pointeur est incrémentée ou décrémente.

L'utilisation de ces pointeurs permet d'insérer ou d'extraire un train numérique de différents débits sans être contraint de reconstituer toute la hiérarchie des multiplexeurs, comme c'est le cas pour le PDH.

Le SDH peut transmettre des données multiples de 1.536 Mb/s et 2.048 Mb/s, c'est à dire les débits PDH dont elle assure le relais. Les débits de base de la hiérarchie synchrone sont 155,520 Mbit/s, 4 fois 155,520 (environ 620 Mbit/s) et 16 fois 155,520 (environ 2,5 Gbit/s). Parfois, les données sont transportées dans un débit de base plus faible, 51.84 MB/s qui est constitué par une suite de trames appelées STM-0 et qui correspond au STS-1 en standard Américain SONET. Le passage de la trame de base à un débit supérieur s'effectue simplement par entrelacement d'octet et non bit à bit comme c'est le cas pour la hiérarchisation PDH. Il apparaît aujourd'hui sur le marché les premiers systèmes à 64 x 155,520 Mbit/s soit environ 10 Gbit/s. Ces informations ne transitent non plus sur des câbles mais sur des fibres optiques. La figure Fig III.3.14 est un Tableau récapitulatif des débits des normes SDH et SONET

Niveau SDH	Débit en kbit/s	Niveau SONET	Débit en kbit/s	Supports
STM – 1	155.520	STS - 1	51.840	FO, Coax, radio
STM – 4	622.080	STS - 3	155.520	FO
STM – 16	2.488.320	STS - 12	622.080	FO
STM – 64	9.953.280	STS - 48	2.488.320	FO

**Fig III.3.14 : Tableau récapitulatif des débits des normes SDH et SONET**

Le principe de multiplexage dans la trame de base à 155 Mbit/s prend en compte de nombreux types d'affluents, dont les débits plésiochrones cités précédemment. Un des avantages est la visibilité directe des affluents dans la trame de base ce qui simplifie les opérations d'insertion et d'extraction au niveau des divers équipements, et elle permet en outre de transmettre dans un multiplex synchrone des débits divers (ex ATM, TVHD). Le système synchrone est capable de fonctionner en plésiochrone car il possède des mécanismes internes de justification, néanmoins une interconnexion facile avec l'existant, demande la synchronisation des différents éléments de réseau sur une référence d'horloge commune principalement à des fins de simplification du filtrage des sauts de phase.

Dans les nouveaux réseaux SDH / SONET, les signaux PDH / DS<sub>n</sub> sont "mappés" (mis en correspondance) dans des conteneurs ou affluents dits virtuels, avant d'être transportés dans le cadre de la capacité utile SDH / SONET. La capacité utile SDH / SONET doit ensuite être "démappée" en signaux d'affluents PDH / DS<sub>n</sub>. De plus, les multiplexeurs de la hiérarchie plésiochrone actuelle disposent de quelques éléments binaires de réserve qui peuvent être utilisés pour effectuer des contrôles de qualité entre deux équipements de multiplexage d'un même niveau. Cependant le débit disponible reste faible et limite les possibilités d'exploitation et de maintenance.

Le principe de multiplexage dans la trame de base à 155 Mbit/s prend en compte de nombreux types d'affluents, dont les débits plésiochrones cités précédemment. Un des avantages est la visibilité directe des affluents dans la trame de base ce qui simplifie les opérations d'insertion et d'extraction au niveau des divers équipements, et elle permet en outre de transmettre dans un multiplex synchrone des débits divers (ex ATM, TVHD). Le système synchrone est capable de fonctionner en plésiochrone car il possède des mécanismes internes de justification, néanmoins une interconnexion facile avec l'existant, demande la synchronisation des différents éléments de réseau sur une référence d'horloge commune principalement à des fins de simplification du filtrage des sauts de phase.

Dans les nouveaux réseaux SDH / SONET, les signaux PDH / DS<sub>n</sub> sont "mappés" (mis en correspondance) dans des conteneurs ou affluents dits virtuels, avant d'être transportés dans le cadre de la capacité utile SDH / SONET. La capacité utile SDH / SONET doit ensuite être "démappée" en signaux d'affluents PDH / DS<sub>n</sub>.

De plus, les multiplexeurs de la hiérarchie plésiochrone actuelle disposent de quelques éléments binaires de réserve qui peuvent être utilisés pour effectuer des contrôles de qualité entre deux équipements de multiplexage d'un même niveau. Cependant le débit disponible reste faible et limite les possibilités d'exploitation et de maintenance.

D'autre part, il n'est pas utilisable par les systèmes de ligne. Le fait que la SDH soit essentiellement orientée vers la transmission sur fibres optiques a permis de diminuer les contraintes de débit. Une part relativement importante du débit peut donc être réservée aux différentes fonctions d'exploitation maintenance, elles existent aux différents niveaux définis dans la SDH.

Ainsi, la SDH introduit de nouvelles possibilités dans les réseaux de transmission :

- souplesse accrue par la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex de ligne ;

- facilités d'exploitation-maintenance : des débits importants sont réservés à ces fonctions ;
- possibilité d'évolution vers des hauts débits : les trames synchrones haut débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base. Cette entité de base définit implicitement toutes les trames haut débit, la limitation n'est plus que technologique ;
- interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes ;
- architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipement la modularité des équipements SDH est plus adaptée aux progrès de la technologie que les équipements plésiochrones.

### III.3.1) La trame SDH :

Le transport de données s'effectue par blocs de données appelées Trames ; chaque bloc comporte deux principales zones de données : La zone des informations ou données de services, et les données transportées désignées par charge utile.

La trame de base, appelée STM-1 'Synchronous Transfert Module 1' est structurée en octet et est divisée en trois zones dévolues aux informations suivantes :

-Capacité Utile ('Payload') qui est l'information utile, c'est-à-dire celle de l'utilisateur.

-Les pointeurs.

-Le surdébit de section (SOH='Section OverHead') qui est réservée à l'exploitation et à la maintenance. En effet, l'exploitation et la maintenance nécessitent l'utilisation de données de services, bits ou octets supplémentaires qui accompagnent les données. Elles entraînent une augmentation de débit.

Le signal utile, c'est-à-dire l'affluent est projeté dans une enveloppe adaptée au débit du signal et à la structure de la trame, appelé Conteneur.

D'autre part, il n'est pas utilisable par les systèmes de ligne. Le fait que la SDH soit essentiellement orientée vers la transmission sur fibres optiques a permis de diminuer les contraintes de débit. Une part relativement importante du débit peut donc être réservée aux différentes fonctions d'exploitation maintenance, elles existent aux différents niveaux définis dans la SDH.

Ainsi, la SDH introduit de nouvelles possibilités dans les réseaux de transmission :

- souplesse accrue par la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex de ligne ;
- facilités d'exploitation-maintenance : des débits importants sont réservés à

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

ces fonctions ;possibilité d'évolution vers des hauts débits : les trames synchrones haut débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base.

Cette entité de base définit implicitement toutes les trames haut débit, la limitation n'est plus que technologique ;interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes ; architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipement la modularité des équipements SDH est plus adaptée aux progrès de la technologie que les équipements plésiochrones.

### - Le Conteneur (Cn)

Le conteneur Cn est une entité sous forme de blocs d'octets dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des différents débits affluents à la SDH définis par le CCITT. Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plésiochrone de départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants. Le " n " de Cn dépend du débit entrant, par exemple :

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

**Fig III.3.1.15 : Récapitulatif des différents débits versus le conteneur.**

C4 : Après récupération des données provenant d'un signal à 140 Mbit/s (ATM ou TN4 de la PDH) le C4 est élaboré en positionnant ces données dans un paquet de 180 blocs

(9 x 20) chacun constitué de 13 octets. (9 x 20 X13 x 8 bits =18720 bits en 125 µs soit 149,

760 Mbit/s>139264 Kbit/s ce qui laisse des bits libres pour une éventuelle justification).

C3 : Il est élaboré à partir d'affluents à 34Mbit/s provenant du multiplex tertiaire TN3

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

de la PDH. Les données récupérées sont placées dans un conteneur de 756 octets (9 x 84 octets) soit un total de  $(9 \times 84 \times 8 \text{ bits en } 125 \mu\text{s} = 6048 \text{ bits en } 125 \mu\text{s} = 48,384 \text{ Mbit/s})$

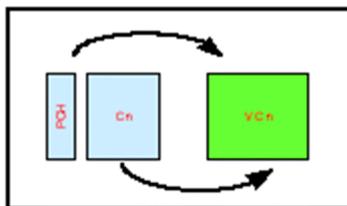
C12 : La figure ci dessous illustre l'organisation du C12 pour un affluent à 2 Mbit/S :

Le conteneur contient donc un paquet de données utiles (payload) arrivés au rythme du débit de l'affluent, plus un certain nombre d'octets de bourrage dont le rôle est d'adapter le débit incident à la structure de la trame.

Ce conteneur est transporté dans le réseau de transmission SDH, le chemin dans le réseau entre le point d'entrée et le point de sortie, constitue ce qu'on appelle un conduit ('path'). Une des propriétés essentielles de la SDH est de pouvoir gérer ce conteneur (indépendamment de son contenu) et son conduit à travers le réseau. A cette fin, des bits de gestions appelés POH (surdébit de conduit) sont ajoutés au conteneur. L'ensemble constitue ce qu'on appelle conteneur virtuel.

### - **Le conteneur virtuel : VCn (Virtual Contener):**

Le conteneur virtuel VCn est alors obtenu à partir du conteneur en lui ajoutant un entête (PATH OVER HEAD = POH) utilisé pour la gestion du conteneur (routage, concaténation, justification...).



**Fig III.3.1.16 :Conteneur virtuel**

Les VCn sont des éléments de bases transportés par le réseau SDH, ils seront multiplexés pour obtenir des blocs plus grands et ainsi de proche en proche jusqu'à l'obtention d'une trame de base STM-1 constitué de 2430 octets.

Le conteneur virtuel VC est une entité gérée par le réseau SDH.



### Le VC est l'entité gérée par le réseau SDH

Fig III.3.1.17:Conteneur et conteneur virtuel

Il existe deux niveaux de VC : Le Low-Order VC (LO-VC) et le High Order VC (HO-VC).

Les LO-VC correspondent aux affluents de base 1.5Mbit/s (DS1) et 2 Mbit/s (E1) (soit VC-11 et

VC-12) et aux affluents PDH : 6Mbit/s et 34 Mbit/s ou 45 Mbit/s (respectivement VC-2 et VC-3).

### L'unité d'affluent : TUn (Tributary Unit) :

Pour pouvoir remplir un VC avec un affluent et le projeter dans la trame SDH, tout en pouvant le localiser immédiatement, la SDH utilise un pointeur, c'est-à-dire une adresse. L'idée est de ne pas placer le conteneur à un endroit précis dans la trame, ce qui nécessiterait des mémoires-tampons pour synchroniser, mais

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

d'indiquer dans une zone mémoire (pointeur), l'adresse relative du conteneur par rapport au début de la trame. Pratiquement, le VC flotte donc à l'intérieur des trames et est le plus souvent en chevauchement sur deux trames consécutives. Ce pointeur est nécessaire car les Tus sont construites à l'aide d'horloge SDH qui est indépendante de celles des affluents, le début d'une TU ne coïncide pas forcément avec celui d'un VC. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VCn dans la trame de transport. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport, c'est à dire que la position du VC dans la trame peut changer si il y a justification.

Le pointeur a donc deux fonctions importantes : Rattraper le déphasage des trames synchrones (justification) et assurer la synchronisation des trames asynchrones.

### a) Justification :

Bien que le réseau soit synchronisé (cf. Figure 1), il existe toujours un problème d'asynchronisme comme en PDH, dû au fait que les horloges locales ne sont jamais exactement synchrones et que la gigue et le dérapage affectent le transport d'une trame synchrone d'un noeud vers un autre à travers le réseau. Pour résoudre ce problème, on utilise le mécanisme des pointeurs mais aussi des octets de justifications.

La justification est l'opération permettant d'adapter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe. Chaque niveau (plésiochrone ou synchrone) étant défini avec une plage  $\pm x$ . pour pouvoir garantir le transport de Entree =  $X \pm x$  dans la trame, il faut lui allouer le plus grand débit possible,  $S1 = X + x$ . Ce débit S1 est constitué comme suit :

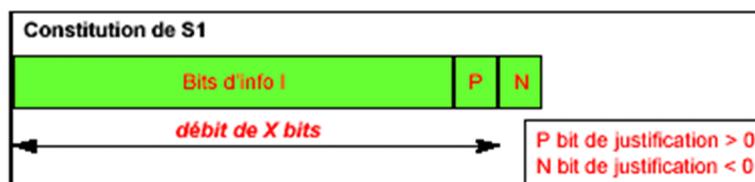


Fig III.3.18: Taille de la trame pour une justification positive ou négative.

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

Le pointeur permet alors de gérer dans un réseau SDH les asynchronismes dus aux horloges différentes servant à constituer, router ou extraire des VC. A titre d'exemple, en cas de décalage entre l'horloge du STM-1 et celle du VC4 transporté, la valeur du pointeur sera augmentée ou diminuée selon les besoins. Si par exemple le débit du VC-4 est supérieur à celui de la trame STM-1, des octets supplémentaires seront ajoutés à cette dernière, opération de justification négative, puisque l'on ajoute des octets pour transmettre de l'information. Elle se conclut dans la trame suivante par un ajustement de la valeur du pointeur. Les VC4 se trouvent ainsi décalés dans la trame STM-n. Cela dit, le pointeur d'AU-4 est composé de 9 octets dont les trois derniers (H3) donnent l'indication de justification négative. Il a la configuration suivante :

<b>H1</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>	<b>H2</b>	<b>1X</b>	<b>1X</b>	<b>H3</b>	<b>H3</b>	<b>H3</b>
-----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

**Fig III.3.1.19** : Structure d'un pointeur AU-4.

Le mécanisme de justification permet en principe de faire fonctionner la SDH dans un environnement plésiochrone. Cependant le réajustement des pointeurs se fait par saut d'octet, alors qu'en PDH, la justification se fait par bit. Un des affluents majeurs de la SDH étant le E1, souvent extrait d'un multiplex PDH, il est nécessaire que la SDH puisse transporter de bout en bout un conduit de 2Mbit/s en respectant les contraintes de la gigue du réseau qui sont plus sévères : c'est dès lors le support du réseau PDH qui demande la synchronisation du réseau SDH. Le réajustement des pointeurs se traduit par une gigue de pointeur qu'il faut garder dans les limites acceptables.

Les octets ont la configuration suivante :

- Y= 10011SS11 (les bits S ne sont pas spécifiés),
- X= 11111111
- H3= octets réservés à la justification négative.
- H1 et H2 : ces octets sont dédiés à l'emplacement de la valeur du pointeur.

- ✓ **Justification nulle** : le débit d'affluent est égal au débit nominal.
- ✓ **Justification positive** : si le débit des affluents est inférieur à celui de la trame (débit nominal), on a recours au bourrage. La justification est donc positive. Trois octets désignés(000), placés après le 3ème H3. Ces trois octets sont prélevés dans la charge utile de la trame.
- ✓ **Justification négative** : par contre, si le débit des affluents est supérieur à celui de la trame, on a recours à la justification négative.les octets H3 entrent en jeu et absorbent le surplus d'information.

### - Le surdébit de conduit (POH) :

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

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

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

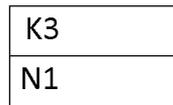
### ✓ Signification des octets POH :

La figure suivante illustre les octets composants un POH :

J1
B3
C2
G1
F2
H4
F3

## Chapitre III : les réseaux de transport

---



**fig III.3.1.19** : Les octets du POH

L'octet J1 : permet la vérification de la validité du chemin emprunté par le conteneur virtuel dans le réseau. Il indique au récepteur l'adresse du point émetteur.

L'octet B3 : surveillance de la qualité du conduit.

L'octet C2 : cet octet est appelé « étiquette de signal » ;il indique la composition du conteneur virtuel correspondant.

-L'octet G1 : il indique l'état du conduit (path status),

-L'octet F2 et F3 : ces octets sont alloués pour des communications de l'utilisateur entre des éléments de chemin,

-L'octet H4 : il indique la position de la charge utile dans une multiframe,

-L'octet K3 : il est alloué pour la signalisation APS,

-L'octet N1 : il est alloué à la gestion en mode tandam ( cascade de connexion de sous réseaux).

On appelle unité d'affluent, TU-n, le module composé du VCn et d'un pointeur PTR associé.

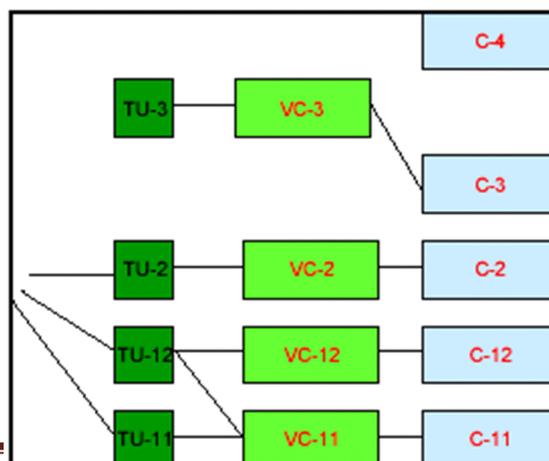


Fig III.3.1.20 :L'unité d'affluent.

### -Le groupe d'unité d'affluent : TUGn (Tributary Unit Group)

Un groupe d'unité d'affluent (TUG) représente une structure virtuelle de la trame réalisant le multiplexage de TUn. Le TUG est un multiplex temporel d'unités d'affluents TU 1, 2 ou 3 multiplexés entre eux. Cela permet de regrouper des TUs pour les assembler en une entité (bloc) de dimension supérieure. Le multiplexage se fait toujours octet par octet. Le TUG peut être considéré comme les règles de rangement des TU dans la trame de transport.

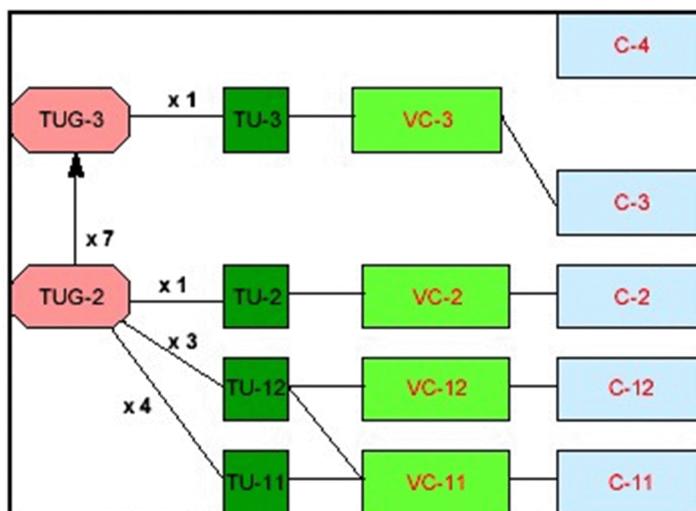


Fig III.1.21: Groupe d'unité d'affluent.

### -L'unité administrative AU (Administrative unit) pour le haut débit:

L'unité d'administration AU se compose d'un conteneur virtuel d'ordre supérieur associé à un pointeur d'AU. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du container dans la trame STM-n utilisée. Ainsi, l'unité administrative AU4 est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur du pointeur indique le

début du VC4 dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4.

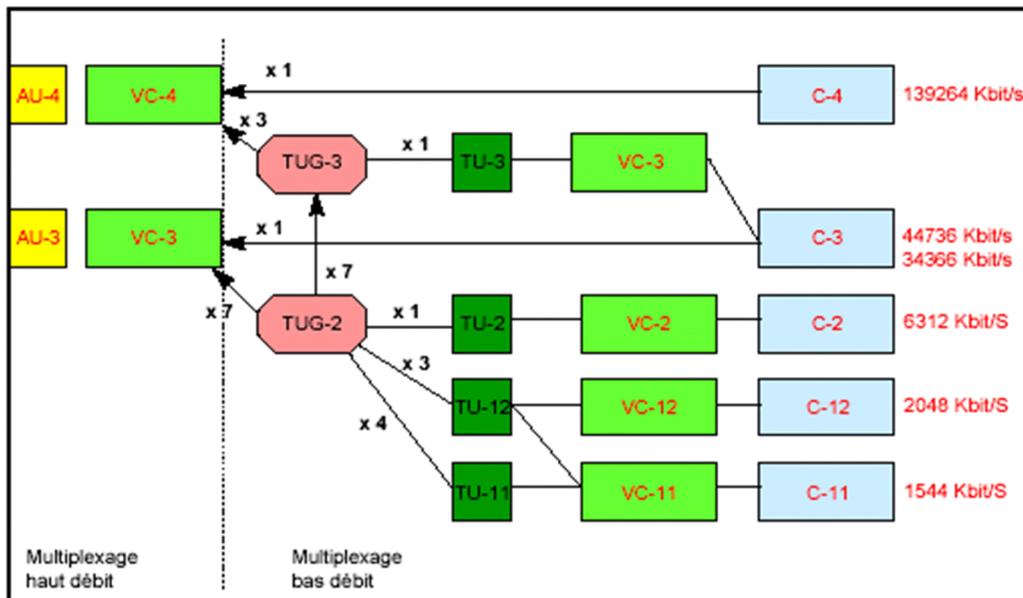
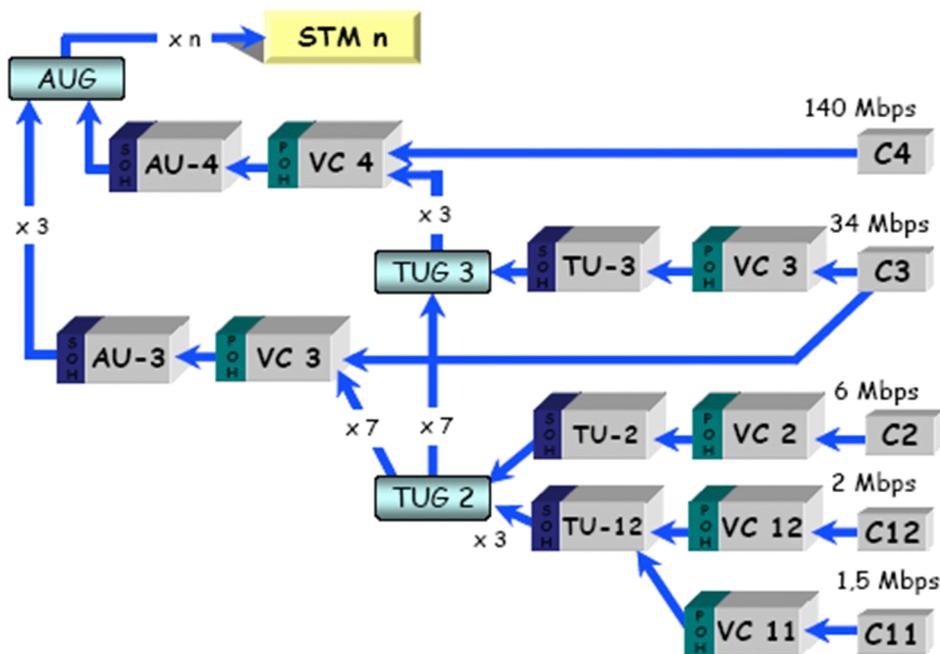


Fig III.3.1.22:Unité administrative.

### -Le groupe d'unité Administrative: AUG (Administrative unit Group) :

Le groupe d'unité administrative n'est pas une nouvelle entité physique mais représente une structure virtuelle de la trame. L'AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport ou à la place de 3 unités d'ordre 3 multiplexées.



**Fig III.3.1.23 :** Structure de la SDH.

### III.4) Le multiplexage SDH :

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

-LVC (Low Container) : conteneurs virtuels d'ordre inférieur ou bas, identifiés aussi par VC-LO ou LO-VC.

-HVC (High Virtual Container) : conteneurs virtuels d'ordre supérieur ou haut, identifiés aussi par VC-HO ou HO-VC.

**Fig III.3.24:** Les niveaux de multiplexage SDH

### III.5) Les trames de transport STM-n :(Synchronous Transport Module) du SDH :

Les trames de transport STM-n sont obtenues en multiplexant n AUG. De la même

## Chapitre III : les réseaux de transport

manière qu'un sur-débit POH est utilisé pour la gestion des conduits, on ajoute à la trame de transport STM-n un sur-débit de section SOH (Section Overhead).

### -La structure de base : STM1

Pour la STM-1, La trame comporte 270 colonnes de 9 octets, expédiés toutes les 125  $\mu$ s, soit 8000 par seconde ou un débit de 155,520 Mbit/s. 9 colonnes d'octets sont réservées à la gestion de la section de multiplexage qui a donc une "charge utile" (payload) de 2349 octets (9 lignes et 261 colonnes).

L'originalité de la technique SDH est l'utilisation de "pointeurs" et de la "justification" positive, négative ou nulle, permettant de préserver l'intégralité et la visibilité des affluents. Le pointeur

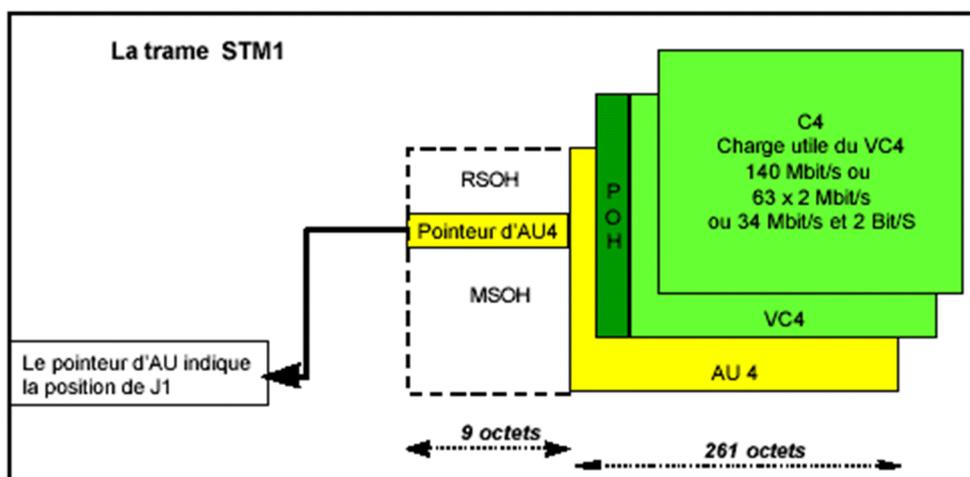
repère à chaque instant l'adresse de l'information utile dans la trame STM-n.

la trame de base est donc caractérisée par :

- sa longueur 2430 octets,
- sa durée 125  $\mu$ s, son débit 155,520 Mbit/s,
- sa capacité utile 2349 octets.
- 

Elle se décompose en trois zones :

- surdébit de section, divisé en surdébit pour la section de régénération ou RSOH et surdébit de section de multiplexage ou MSOH,
- les pointeurs d'AU,
- les charges utiles VC 4, une pour STM 1, 4 pour STM 4 ou 16 pour STM16.



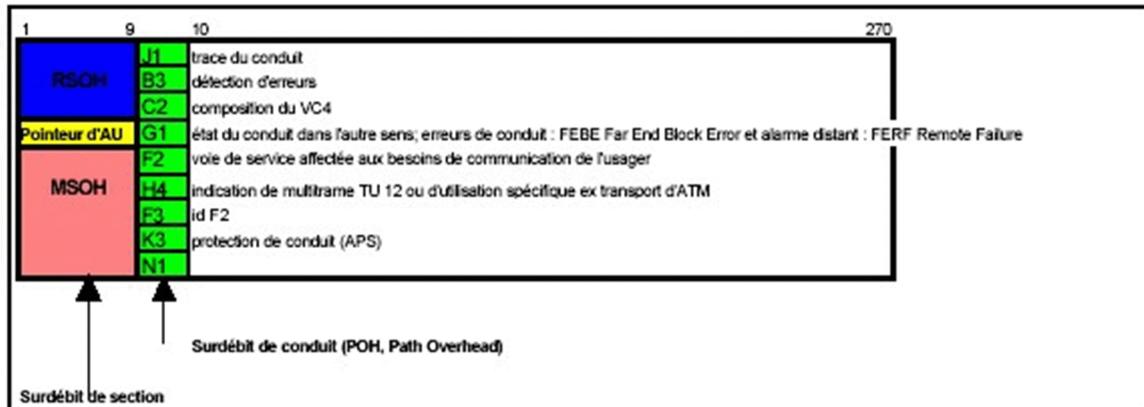


Fig III.5.25 :schéma d'ensemble.

## -Les octets des surdébits de section

La trame STM-1 comporte deux types de surdébit de section : le surdébit de section de régénération et le surdébit de multiplexage. Ils peuvent être représentés comme ci-dessous :

Sur débit de section de régénération (RSOH) :

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

Fig III.5.26 : tableau du sur débit de régénération RSOH.

Sur débit de section de multiplexage (MSOH) :

B2	B2	B2	K1	X	X	K2	X	X
D4	X	X	D5	X	X	D6	X	X
D7	X	X	D8	X	X	D9	X	X
D10	X	X	D11	X	X	D12	X	X
S1	Z1	Z2	Z2	Z2	M1	E2	nu	nu

Fig III.5.27 : tableau du sur débit de section de multiplexage.

Pour le RSOH, la signification des octets est la suivante :

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

**A1, A2** : verrouillage de trame,

**J0** : trace de section de régénération. Il est utilisé pour transmettre périodiquement un identificateur de point d'accès de telle façon que le côté récepteur puisse vérifier en permanence la continuité de la connexion

**B1** : est utilisé pour la surveillance de la qualité de la section de régénération ce qui permet la localisation de défaut au niveau de la section de multiplexage.

**E1 et E2** : permettent d'établir deux voies de service respectivement au niveau section de régénération et section de multiplexage. Ces voies de services peuvent être utilisées pour établir des communications téléphoniques le long de ces sections.

**F1** : est utilisé pour des besoins particulier de l'utilisateur (à 64 kbit/s, puisqu'il s'agit d'une trame de 125 µs),

**D1 à D3 et D4 à D12** : Data Communication Channel ou DCC, respectivement à 192 bit/s et 576 kbit/s, affectés à la communication de données de la section de régénération.

**K1 et K2 bits b1 à b5** : (Automatic Protection Switching) permettent la sécurisation automatique d'une liaison.

**L'octet K2 bits b6 à b8 : (Multiplex Section Remote Defect Indication, MS-DRI)** permet à la réception d'envoyer à l'extrémité émettrice, une indication de défaut.

**L'octet S1 (Synchronization Status)** : permet de décrire la qualité du signal reçu en ce qui concerne sont usage pour les fonctions de synchronisation.

**L'octet M1** : permet au récepteur d'envoyer à l'émetteur le nombre d'erreur.

Pour le MSOH, la signification des octets est la suivante suivante :

Pour LE MSOH, la signification des octets est :

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

**K1, K2** : deux octets affectés à la commande de protection automatique,

**D4 à D12** : 9 octets "DCC", (à 576 Kbit/s),

**S1** : marqueur de qualité de synchronisation,

**Z1, Z2** : réserves,

**M1 FEBE du B2** distant.

### III.6) Application : *Insertion d'affluents dans une STM1*

#### III.6.1) Insertion d'un affluent de 140 Mbit/s dans une STM-1 :

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

Tout d'abord, il faut élaborer le conteneur C4 comme le montre la structure du multiplexage synchrone après récupération d'horloge et la régénération de l'affluent. Le Conteneur C4 comprend 180 blocs de 13 octets chacun, soit au total 2340 octets ou 18720 bits, répartis en 9 lignes de 20 blocs. Sachant que la périodicité est de 125µs, on a un débit de 149,760 Mbit/s. Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de 139,264 Mbit/s (voir Structure), tous les bits ne seront donc pas utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc, il y a 13 octets répartis comme suit : 1 octet pour les bits d'indications tels que le bit de remplissage, de justification ou de sur débit, et 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Ceci permet de voir qu'il y a en faite 17406 bits d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mbit/s .Comme le débit de l'affluent est supérieur au débit d'information du C4, c'est une justification de type négative de 16Kbit/s. Pour obtenir un Conteneur Virtuel VC4, on rajoute un Sur débit de Conduit appelé POH, on obtient ainsi 1 octet de plus pour chaque ligne, soit 9 octets de plus par rapport à C4.

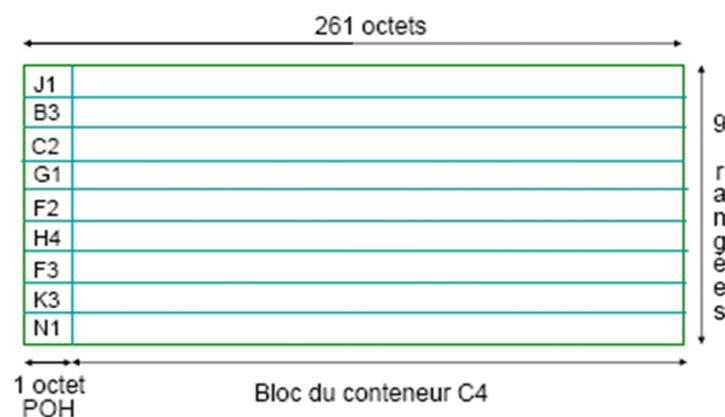


Fig III.6.1.28 :Conteneur virtuel VC4 .

Les octets du POH sont utilisés pour déterminer différentes informations sur le conteneur tel que :

1) la trace du conduit ( J1) qui permet une identification du point d'accès pour vérifier la continuité de la chaîne de connexion depuis l'émetteur ;

## Chapitre III : les réseaux de transport

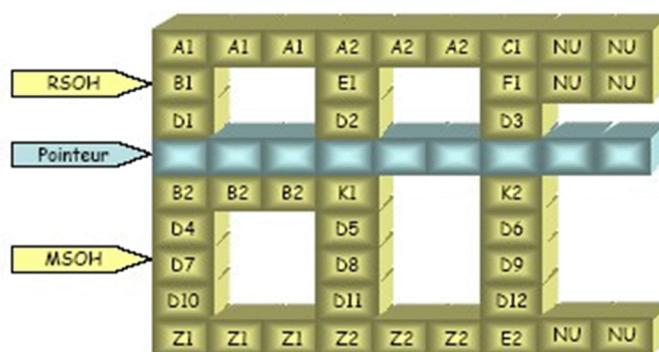
---

- 2) la surveillance des erreurs par contrôle de bit du VC4 (B3) ;
- 3) l'étiquette du signal de conduit (C2) qui permet de connaître la composition du conteneur.
- 4) l'état du conduit (G1) qui sert à renvoyer les informations de défauts de l'extrémité distante ;
- 5) le contrôle de qualité (F3) ;
- 6) la voie de service (F2) pour les besoins de communication de l'utilisateur sur le VC4. La valeur octale de l'étiquette du signal de conduit est :

MSB	LSB	HEX	Composition du conteneur
0 0 0 0	0 0 0 0	0 0	Faisceau non équipé
0 0 0 0	0 0 0 1	0 1	Faisceau équipé non spécifique
0 0 0 0	0 0 1 0	0 2	Structure de TUG
0 0 0 0	0 0 1 1	0 3	TU verrouillé
0 0 0 0	0 1 0 0	0 4	Projection Asynchrone de trains à 34 ou 45 Mbps dans un C3
0 0 0 1	0 0 1 0	1 2	Projection Asynchrone de trains à 140 Mbps dans un C4
0 0 0 1	0 0 1 1	1 3	Projection de cellules ATM
0 0 0 1	0 1 0 0	1 4	Projection de MAN DQDB (MAN utilisant le mode Dual Queue Double Bus)
0 0 0 1	0 1 0 1	1 5	Projection de réseau local sur fibre optique FDDI

**Fig III.6.1.29** :Etiquette signal de conduit.

L'unité Administrative AU4 est constituée de l'ensemble VC4 et d'un pointeur associé, placé dans la trame de base STM1. Le VC4 ne coïncide pas toujours avec la capacité utile de la trame STM et se trouve en général à cheval sur 2 trames. Le Pointeur indique le nombre d'octet entre la fin de son dernier octet et le premier octet POH (J1) du VC4. Le pointeur peut aussi indiquer le début du VC4 modifier par une justification dans le cas où l'horloge du STM est différente de l'horloge du VC4 (débits différents) car le ralentissement ou l'accélération du débit du VC4 se fait en reculant ou en avançant le début du VC4. On dit que le VC « flotte » dans la trame. La trame STM-1 est constituée de l'ensemble AU4 et d'un sur débit de section SOH qui se décompose en deux sous ensembles : le RSOH et le MSOH.



**Fig III.6.1.30 : Trame STM-1 .**

Dans le RSOH, les octets A1/A2 permettront de constituer le mot de verrouillage de trame, J0/C1 identifie AUG avant le multiplexage au niveau STM-N, B1 permet la surveillance des erreurs sur les bits de la section élémentaire régénérée, E1 est une voie de service pour des communications vocales entre régénérateurs et l'octet F1 est une voie de donnée entre régénérateurs réservés aux besoins particuliers de l'utilisateur.

Dans le MSOH, l'octet B2 permet la surveillance des erreurs sur les bits de la section de multiplexage, K1 et K2 sont affectés à la commande de commutation de protection automatique APS (Automatic Protection Switching 1+1 ou 1:n), les octets D4 à D12 forment un canal de communication de données DCC pour une section de multiplexage. L'octet contient des bits pour la description de l'état de la synchronisation, c'est-à-dire les quatre niveaux de synchronisation adoptés par le CCITT. L'octet E2 est une voie de service pour communications vocales entre multiplexeurs.

Pour certaines applications telles qu'une interface de section (jonction), on utilise une interface à fonction de sur débit réduite qui dépend du type de support physique optique ou électrique) car on n'utilise pas tous les octets décrits ci-dessus comme B1.

### III.6.2) Insertion d'affluent 34Mbit/s dans un STM1 :

Après la récupération d'horloge et la régénération de l'affluent à 34 Mbit/s, les données sont placées dans le conteneur C3. Ce conteneur de périodicité 125µs est formé de 9 lignes comptant chacune 84 octets, soit 756 octets ou 6048 bits, avec un débit de 48,384Mbit/s supérieur au débit de l'affluent donc tous les octets ne sont pas utilisés pour transporter des bits d'information. Le Conteneur C3 est partagé en trois parties T1, T2, T3, de 3 lignes chacune. Comme il n'y a pas assez d'octets de données on ajoute des bits de remplissage, donc le débit nominal de l'information dans du C3 passe à 34,344 Mbit/s. Le conteneur virtuel VC3 est obtenu en rajoutant à C3 un Sur débit de Conduit POH identique au POH du VC4. Le TU3 est constitué de l'ensemble du VC3 et d'un pointeur associé placé dans la capacité utile de la trame STM1. Le pointeur TU3 est identique au pointeur d'AU4 et joue le même rôle. Le TUG3 définit les emplacements des TU3 (VC3 et pointeurs associés) dans le VC4. Le VC4 formé de 3 TUG3 est obtenue en effectuant un multiplexage par entrelacement de colonnes des TUG3 A/B/C après avoir placé en tête du VC4 la colonne contenant le POH de VC4 et deux colonnes de remplissage.

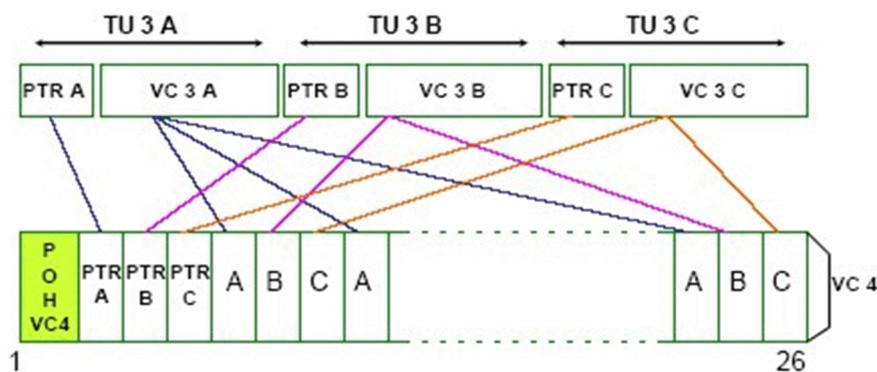


Fig III.6.2.31 : Mise en place d'un VC3 et intégration dans un VC4.

Comme dans le cas d'un affluent à 140Mbit/s, l'AU4 est obtenue en associant un pointeur au VC4. L'AUG représente l'entité contenant l'AU4 et il sera placé dans le STM1 qui est obtenu en rajoutant le SOH à l'AUG. On obtient un STM1 formé d'un AUG contenant un VC4 composé de trois TUG3 élaborés à partir de trois VC3 transportant trois affluents à 34Mbit/s.

### III .6.4) Insertion d'affluent 2Mbit/s dans un STM1 :

Dans le cas d'un affluent 2Mbit/s, celui-ci peut être structuré (trame organisée en octets) ou non (suite de bits sans structure connue ou dont l'information de structure n'est pas utile à transporter). Ceci conduit à envisager différentes façons de réaliser la projection dans le conteneur C12. Si les bits sont mis dans le C12 au fur et à mesure de leur arrivée sans tenir compte de la composition en octets ou non, en trame ou non, on parle de projection asynchrone. L'adaptation du débit se fait par justification bit dans le C12 comme pour les affluents à 34 et 140 Mbit/s dans leurs conteneurs respectifs. On utilise dans ce cas un mode de multiplexage dit mode TU flottant, déjà décrit pour les VC3 et VC4, donc le début du VC est repéré par son pointeur.

Si chaque bit ou octet de l'affluent est directement accessible dans le conteneur, on parle de projection synchrone bit ou synchrone octet. Dans le cas de projection synchrone, on peut utiliser le mode flottant ou le mode verrouiller (chaque octet de l'affluent est situé à un emplacement déterminé et fixé dans le VC4. Dans ce cas l'utilisation d'un pointeur n'est, bien entendu, plus nécessaire. En mode flottant, l'horloge utilisée pour la projection synchrone octet peut être une horloge synchrone de celle de l'équipement de multiplexage H155 ou l'horloge à 2Mbit/s propre à chaque affluent. En mode verrouillé, la projection est réalisée avec l'horloge qui est à la fois synchrone de celle de l'équipement et de celle de l'affluent. La projection synchrone en mode verrouillé ne se conçoit donc que dans un réseau entièrement synchronisé. Ceci implique que le POH du VC soit remplacé par du remplissage, de même pour le pointeur PTR du TU12, et donc le POH du VC4 sera utilisé pour la gestion de tous les C12 qu'il contient.

Le C12 est constitué d'un ensemble de 139 octets en 4 fois 125 $\mu$ s, soit 500 $\mu$ s et non pas 125 $\mu$ s comme pour les C3 ou C4. Ceci permet de réduire la taille relative du sur débit par rapport au signal utile transmis.

En mode TU flottant, le VC12 est obtenue en rajoutant, dans la période de 500 $\mu$ s, le POH de VC12 constitué d'octets nommés V5(surveillance des erreurs), J2(identification du point d'accès), N2(surveillance des connexion en cascade), K4(octet réservé pour un complément d'étude). Le TU12 est élaboré en associant au VC12, dans la période de 500 $\mu$ s, 4 octets nommés V1, V2, V3 et V4. V1 et V2 constituent le pointeur de VC12, V3 est l'opportunité de justification négative et V4 n'est actuellement pas utilisé.

Le TU12 est ainsi constitué de 144 octets. Pour obtenir un TUG2 il faut multiplexer 3 TU12, puis pour obtenir TUG3, il faut multiplexer 7 TUG2, puis pour obtenir un VC4 il faut ajouter un POH à un multiplexage de 3 TUG3 comme pour le cas de l'insertion du 34Mbit/s. Ainsi on obtient pour le AU4 un multiplexage de 63 trains à 2Mbit/s.

### III.7) Les équipements mis en œuvre :

Les équipements SDH ont été conçus pour remplir les principales fonctions à assurer par le réseau :

- satisfaire la demande : fourniture rapide des capacités aux clients (circuits loués, RTC, ...)

- router le trafic de manière efficace en optimisant la capacité disponible : Consolidation c'est-à-dire le trafic de supports faiblement chargés est rassemblé sur un même support de manière à augmenter l'efficacité et le grooming c'est-à-dire les trafics multi

- services ou multi-utilisateurs véhiculés sur différents supports sont triés suivant le service et routé vers la destination du service.

-permettre la gestion du réseau et du trafic : maintenance et réparation, rétablissement rapide des conduits.

### a) Multiplexeur SDH

La fonction de base assurée par le multiplexeur consiste à charger (à l'origine) et à extraire (à l'arrivée) les affluents des différents clients qui ont été assemblés dans les trames STM-n véhiculée par le réseau.

Le mécanisme des pointeurs permet d'extraire ou d'injecter aisément un affluent dans un multiplex. Cette fonction est assurée par un élément appelé multiplexeur SDH à injection/extraction MIE et plus généralement ADM (Add Drop Mux).

Les multiplexeurs dits MUX terminaux ou accès, permettent la projection et le multiplexage des affluents PDH, des affluents produits par d'autres standards (ATM, FDDI, ...) et des affluents SDH pour constituer des trames STM-n. Ils assurent évidemment l'opération inverse. Une application courante est la collecte et la restitution par un réseau SDH des flux de données des clients.

Les multiplexeurs dits 'HUB MUX' permettent d'interconnecter du trafic transporté sur des fibres ou sur des anneaux. Ils sont utilisés dans une structure en étoile. Des liaisons intermédiaires entre hub permettent également de restaurer le trafic via des routes alternatives.

#### - Les multiplexeurs terminaux (TM) :

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant. Dès lors on ne parle plus de configuration en anneau mais de configuration en point à point. Il existe deux configurations en point à point possible. La première reliant deux MTS et la seconde reliant un MTS à un MIE qui est lui en anneau. La première configuration est utilisée pour une LS par exemple en optique ou pour une boucle optique STM-1 avec deux sites différents. La seconde solution est la plus employée au sein du réseau des Opérateurs car l'avantage du MTS est son nombre important d'entrée/sortie d'affluent 2Mbit/s venant le plus souvent de la

commutation pour relier les autocommutateurs publics entre eux et desservir des baies d'abonnés distantes de l'autocommutateur où l'anneau optique ne passe pas. Ceci correspond à une architecture comme celle-ci :

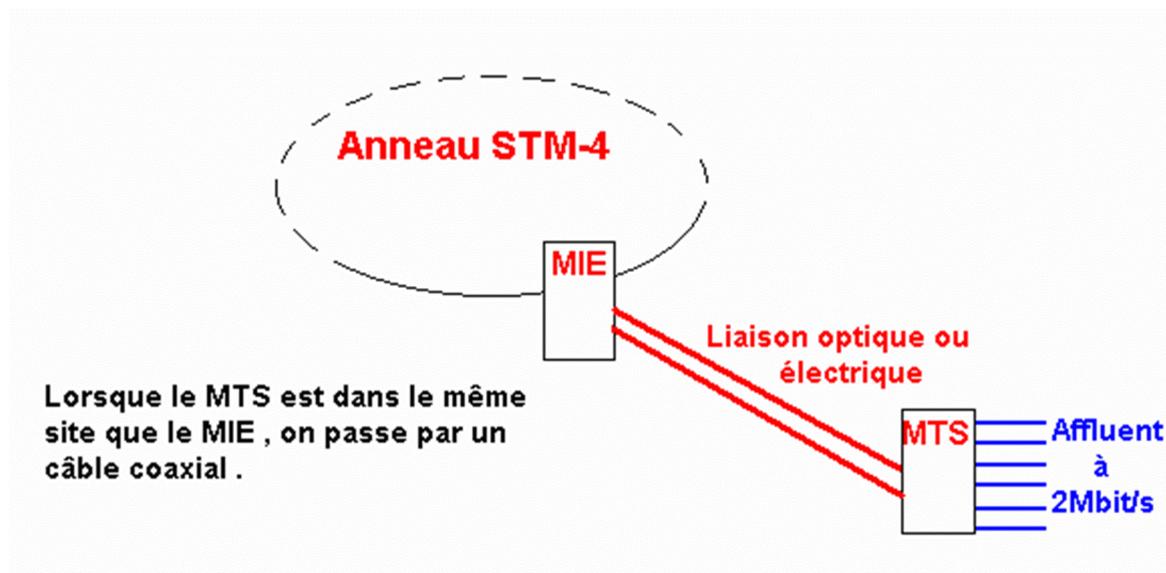
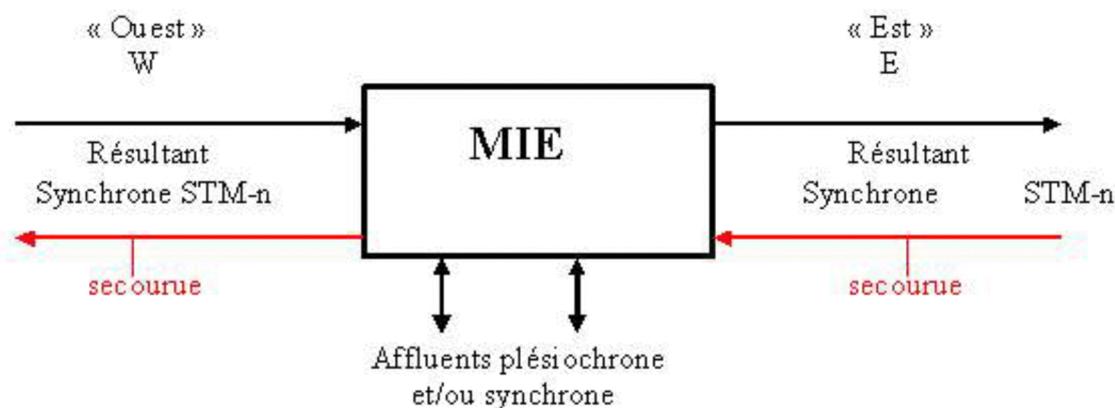


Fig III.7.32 : Le multiplexeur terminal.

### - Les multiplexeurs d'insertion et d'extraction (ADM) :

Les multiplexeurs insertion - extraction (MIE, ADM Add-Dropp Multiplexeur) sont utilisés pour réaliser les fonctions de transmission suivantes :

- transfert du signal numérique synchrone de ligne entre ses accès « Ouest » et « Est » ;
- dérivation : insertion /extraction de signaux numériques plésiochrones et/ ou synchrones dans le signal numérique synchrone présent à ses accès « Ouest » et/ou « Est ».



**Fig III.7.33 : le multiplexeur insertion/extraction.**

L'élément MADM (Multi ADM), est un multiplexeur d'insertion/d'extraction avec capacité de brassage.

### - Les régénérateurs (REG) :

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

### - Brasseurs :

Parmi les raisons qui ont conduit à définir un brasseur numérique basé sur les nouvelles normes de la hiérarchie numérique synchrone SDH figure celle d'utiliser plus efficacement la largeur de bande allouée. En technologie plésiochrone la réorganisation du trafic demande des démultiplexages successifs et coûteux jusqu'au niveau le plus bas de la hiérarchie. Par contre, grâce aux techniques simplifiées de multiplexage et démultiplexage synchrone, le brasseur peut apporter une grande souplesse dans la réallocation dynamique des ressources, ce qui optimise la capacité offerte par les artères de transmission.

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

La fonction brassage est assurée par des brasseurs (BRN) qui permettent le brassage des conteneurs (VC12 à 2Mbit/s et VC3 à 34Mbit/s) entre les accès STM. Les répartiteurs électroniques (RPN), gardant l'intégralité des affluents, permettront de répartir les conteneurs (VC4=155Mbit/s) dans les STM. Le cœur du brasseur repose sur la matrice de commutation qui connecte les conduits entrants dans le système avec ceux qui en sortent. Les conduits pouvant être synchrone ou plésiochrone.

Le brasseur est composé de plusieurs modules : module d'entrée et de sortie, module de matrice, module d'horloge et module de commande.

Le module d'entrée et de sortie peut démultiplexer les signaux plésiochrones à 34 et 140Mbit/s en composantes à 2Mbit/s, les insérer dans un VC correspondant à leur hiérarchie, et générer une trame STM-1 interne qui est transmise à la matrice pour brassage. Il peut terminer un signal synchrone à 155Mbit/s en ajoutant un surdébit de section SOH, démultiplexer si nécessaire le VC et insérer les VC dans une trame STM-1 interne qui est transmise à la matrice pour brassage. Ainsi les cartes d'accès des modules d'entrée et de sortie sont fonction de leur débit de transmission.

Le module de matrice est basé sur le principe de brassage temporel des signaux. La structure de la matrice est carrée, ce qui assure un brassage des signaux sans blocage. La matrice brasse, sans les modifier, tous les VC extraits des trames STM-1 internes fournies par les modules d'entrée et sortie. Le mode de commutation est unidirectionnel. Les connexions bidirectionnelles sont traitées comme deux connexions unidirectionnelles. Le module de matrice est composé de matrices dupliquées qui optimise la sécurité du brassage. Chaque carte de matrice a une capacité de 16 x 16 accès STM-1. La matrice étant de type carré, quatre cartes représentent 32 x

32 accès STM-1, et neuf cartes sont nécessaires pour disposer de 48 x 48 accès.

Le module d'horloge central produit un signal à 155MHz qui permet de synchroniser les signaux acheminés à l'intérieur du brasseur. Ce module est protégé par duplication. Le module dispose de trois signaux de référence. Il reçoit des signaux à 2 048 kHz, de deux horloges de référence externe à 2 048 kHz ou des signaux de synchronisation générés à partir des signaux STM-1 présents à l'entrée du brasseur. Le signal d'horloge à 155MHz interne est produit à partir de ces signaux externes pour l'ensemble du nœud du réseau dans lequel se trouve le brasseur. Le signal est ensuite distribué dans tout le brasseur. La distribution des signaux d'horloge à partir de chaque module s'effectue par deux voies en redondance. Ainsi chacun émet son propre signal d'horloge à 155MHz qui sont identiques.

Le module de commande permet d'établir et de maintenir les connexions, de collecter et d'exploiter les informations d'alarme et de performance, de gérer la configuration du matériel de l'équipement, et les fonctions relatives à la sécurité. Le module de commande se compose du système de contrôle qui est divisé en trois niveaux (le processeur général de commande, les processeurs locaux et les processeurs situés sur les différentes cartes de transmission) et des postes d'exploitation qui permettent de superviser le brasseur en local (avec une liaison Ethernet par exemple) ou distant grâce à une Liaison Louée ou un réseau X25 par exemple.

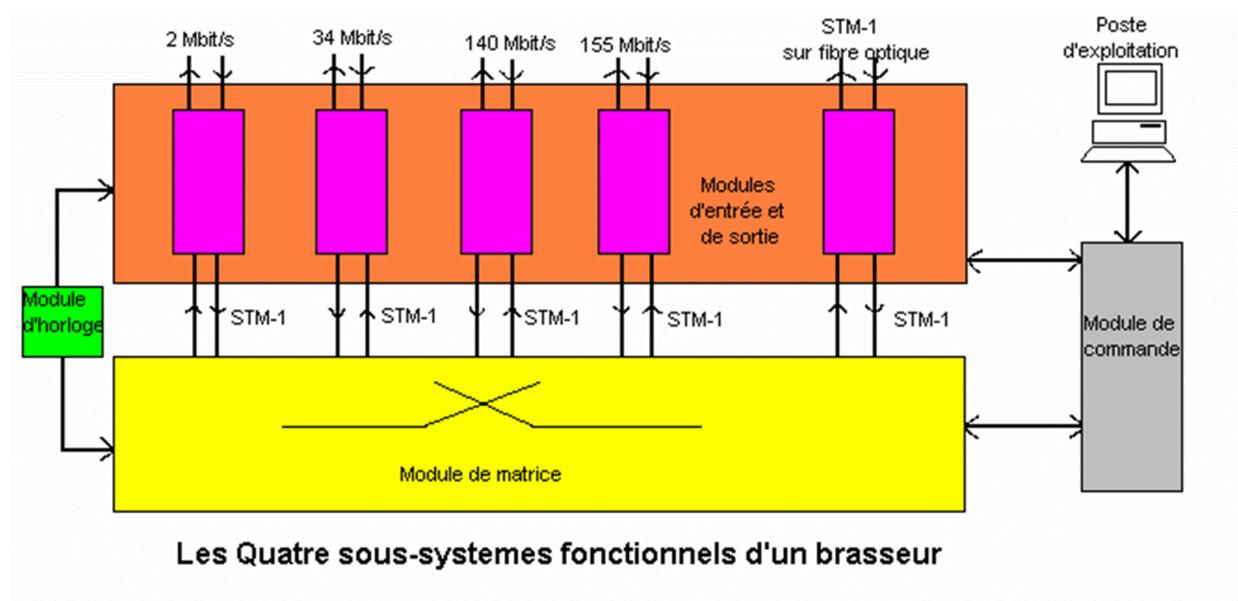


Fig III.7.3 .4 : les quatres sous systemes fonctionnels d'un brasseur.

### - Les interfaces optiques :

Selon la recommandation G.957, les classes d'applications sont au nombre de trois :

- La classe intra-center (intrastation), correspondant à des systèmes de moins de 2Km de portée ;
- La classe inter-center à courte portée des systèmes de 15Km de portée ;
- La classe inter-center à longue portée avec deux niveaux de portées, le 40 Km dans la fenêtre 1310 nm et le 80 Km dans la fenêtre 1550 nm.

Ces différentes applications correspondent à des systèmes, lesquels dépendent directement des débits utilisés. C'est pourquoi, pour compléter cette classification il faudra intégrer les niveaux des débits hiérarchiques SDH normalisés (STM-4, STM-16).

Les conventions retenues pour désigner les classes d'applications sont les suivantes :

- I pour intra-center (intrastation),
- S pour courte portée (Short-haul),
- L pour longue portée (Long-haul).

Les différentes interfaces optiques répondent à la syntaxe suivante :

## Chapitre III : les réseaux de transport

---

- classe d'application-niveau hiérarchique STM-chiffre.

Le codage de chiffre peut prendre les valeurs suivantes :

- Pour la longueur d'onde 1310 nm, utilisant une fibre G.652, il prendra la valeur « 1 ».
- Pour la longueur d'onde 1550 nm, utilisant une fibre G.652 ou une fibre G.654, il prendra la valeur « 2 ».
- Pour la longueur d'onde 1355 nm, utilisant une fibre G.653, il prendra la valeur « 3 ».

Le tableau 2.4 résume les caractéristiques de ces trois classes et la classification des interfaces optiques.

caractéristiques		Intra-centre	inter-centre courte portée		inter-centre longue portée		
Portée (km)		<2	Environ 15		Environ 40	Environ 80	
Longueur d'onde (nm).		1310	1310	1550	1310	1550	
Type de fibre optique monomode		G.652	G.652	G.652	G.652	G.652 G.654	G.653
Niveau	STM-1	I-1	S-1.1	L-1.2	L-1.2	L-1.2	
STM-N	STM-4	I-4	S-4.1	L-4.2	L-4.2	L-4.2	
STM-N	STM-16	I-16	S-16.1	L-16.1	L-16.1	L- 16.2	L- 16.3

Fig III.7.3.5 : Tableau de classification des interfaces optiques (G.957).

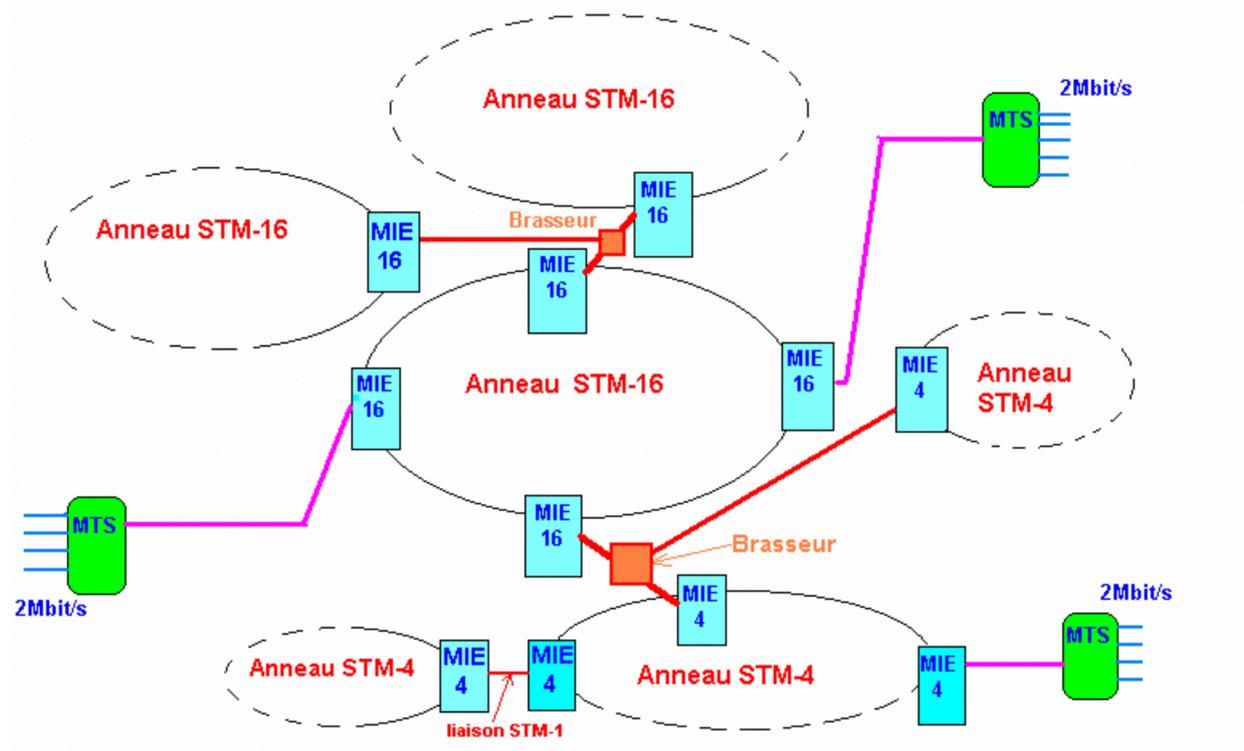


Fig III.7.3.6 : Infrastructure d'un réseau SDH

### III.8) Les topologies du réseau SDH :

L'architecture d'un réseau SDH est déterminée à partir d'un certain nombre de considérations fondamentales telles que :

- Respect du débit et du synchronisme,
- Assurer le transport dans un temps minimum,
- Capacité du réseau à palier automatiquement à ses défaillances au moins partiellement pour assurer le transport des données vitales.

L'architecture en anneau est celle qui répond le mieux à ces considérations, cependant, on constate dans la pratique qu'un mélange de topologies, anneau, arborescent et maillé est parfois utilisés.

### a) Réseau en bus ou point à point :

L'architecture point à point est la configuration la plus simple d'un réseau qui nécessite deux multiplexeurs terminaux (TM) connectés par une fibre avec ou sans régénérateur dans le nœud.

### b) Réseau en anneau :

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

Les réseaux auto cicatrisants sont divisés en deux catégories :

- Les anneaux unidirectionnels.
- Les anneaux bidirectionnels.

**1) Les anneaux unidirectionnels (2 fibres) :** les trafics émission et réception circulent dans le même sens sur l'anneau sur la fibre dite active, la paire de fibre de protection peut être utilisée soit pour la duplication du trafic, soit pour transporter un STM-n vide ou un trafic non prioritaire.

**2) Les anneaux bidirectionnels (2 à 4 fibres) :** les trafics émission et réception circulent en sens opposés sur l'anneau et utilisent donc les deux fibres de la paire. Par conséquent la moitié de la fibre doit être réservée pour la protection afin de permettre un routage du trafic en cas de défaillance.

### c) Réseau maillé :

Elle est réalisée par des liaisons multiples entre chaque nœud ou point de concentration ou du nombre de nœuds et de liaisons en service ; par contre, elle présente certainement les meilleures conditions de transport et de fiabilité pour un peu qu'elle

soit bien administrée.

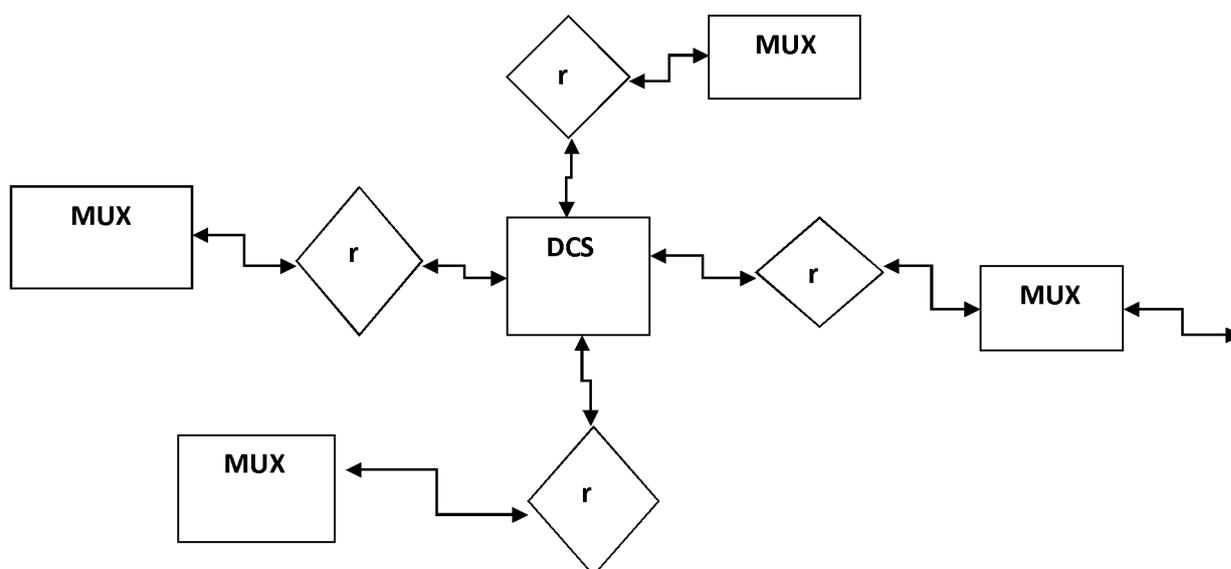


Fig III.7.3.7 : Le réseau maillé

### III.9) Protection du réseau SDH :

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission comme la rupture d'une fibre ou la défaillance d'un équipement de réseau. En cas de défaillance, la commutation des circuits sur le chemin de secours se fait en moins de 50 ms G.841.

#### - Protection de la section de multiplexage (MSP) :

La protection MSP (multiplex Section Protection) est utilisée pour la sécurisation des liaisons point à point.

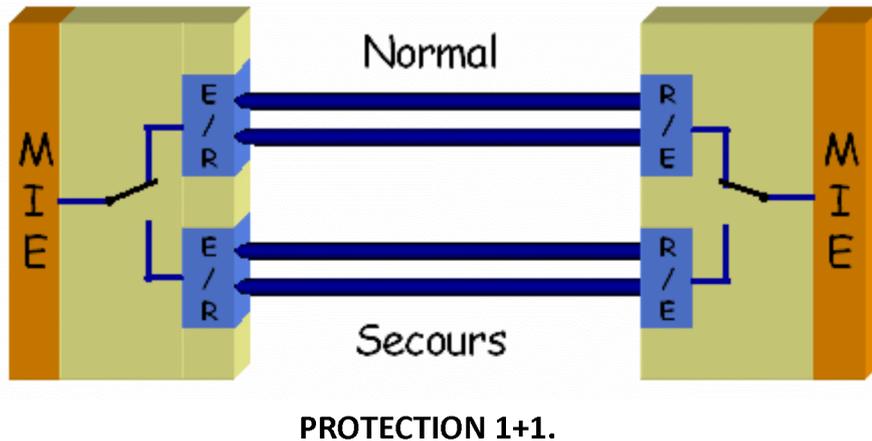
#### - Protection 1+1 :

Elle consiste à réserver en secours un circuit équivalent au circuit protégé. Le circuit de secours dépend de l'architecture, il peut être constitué d'une fibre en cas d'un réseau unidirectionnel. Les émissions sont sur les fibres normales et les fibres de secours ; c'est

## Chapitre III : les réseaux de transport

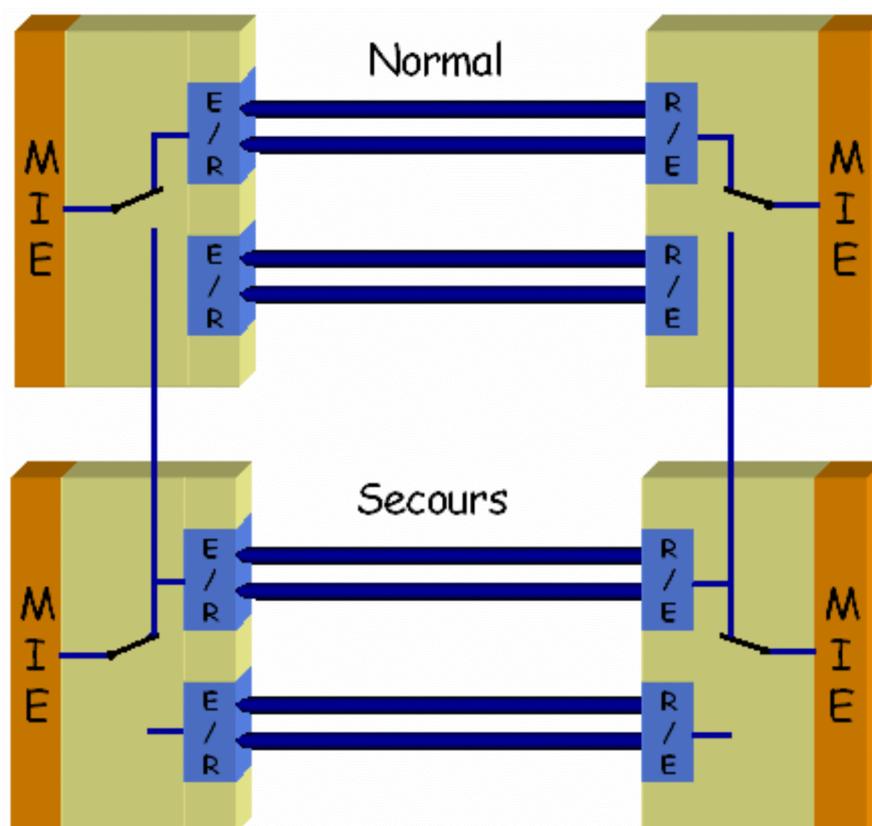
---

le cote de réception qui choisit la fibre de secours s'il constate une défaillance des signaux reçus. Voir ci-dessous :



### - Protection 1 :1 :

Elle consiste à utiliser simultanément deux dispositifs à demi-charge ; si l'un des dispositifs est défaillant, le deuxième est utilisé à pleine charge (pleine puissance). Lors de l'utilisation à demi-puissance, il est admis d'utiliser l'autre demi-puissance disponible pour effectuer des travaux supplémentaires.



**Protection 1 : 1**

- **Protection m : n**

Elle est dérivée de la protection 1:1, elle consiste à réserver n dispositifs de secours pour protéger m dispositifs actifs, ainsi dans une liaison SDH m conduits actifs seront protégés par n conduits de secours.

- **Protection de conduit (SNCP) :**

La protection de la connexion de sous-réseau (Sub-Network-Connexion Protection) est appliquée dans les topologies anneaux à deux fibres, l'une achemine le trafic en conditions normales et l'autre sert à la protection du réseau.

- **Protection de section de multiplexage partagée (MS-SPRING) :**

C'est le mécanisme de protection le plus avantageux pour les topologies de réseau en anneau. Dans la protection MS-SPRING (Multiplex Section Shared Protection Ring), on réserve la moitié de la capacité de l'anneau à la protection et l'autre au transport du trafic.

En cas de défaillance, la commutation du trafic sur une fibre s'effectue vers la capacité de secours de l'autre fibre.

### III.10) Synchronisation d'un réseau SDH :

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

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

Ce dispositif est dit en arbre, chaque rythme est issu du niveau immédiatement supérieur et aucun et aucun ne doit remonter.

Les horloges sont toutes rattachées donc pilotées par une horloge centrale à très haute précision, cette horloge centrale est doublée par une horloge de secours qui est souvent l'horloge GPS (Global Positioning System Receiver) fournie par un satellite.

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

Le tableau ci dessous illustre les principales caractéristiques des horloges d'un réseau.

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

<b>Abréviations</b>	<b>Désignation</b>	<b>Précision</b>	<b>Norme UIT-T</b>
<b>PRC</b>	Horloge primaire de référence.	$10^{-11}$ sur le long terme.	G.811
<b>SSU-T</b>	Horloge asservie de nœud de transit	$50 \times 10^{-10}$ variation quotidienne	G.812
<b>SSU-L</b>	Horloge asservie de nœud local	$10^{-8}$ variation quotidienne	G.812
<b>SEC</b>	Horloge d'équipement	$5 \times 10^{-8}$ variation quotidienne.	G.813

### Définition des horloges

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre on a étudié les réseaux de transport réseau LAN,MAN et WAN pour chacun on spécifié les techniques utilisées pour parvenir à une bonne transmission. Ensuite on est passée à l'étude des hiérarchies plésiochrone PDH et SYNCHRONE SDH, on a ainsi vu la synchronisation des systèmes et les caractéristiques de chacune des hiérarchie.

Dans le chapitre suivant nous étudierons un type de stratégie assurant la gestion des données partagées entre utilisateurs du réseau, ce sont les Clients /Serveurs.

### Introduction :

Dans les années 70, les systèmes informatiques étaient centralisés autour de calculateurs centraux (mainframes). Cette architecture a vite montré des limites, la productivité des développeurs était faible, la maintenance des applications était des plus difficiles, et la migration vers des technologies plus modernes reste limitée. Dans les années 80 les systèmes ont commencé à migrer depuis des systèmes propriétaires vers des systèmes plus ouverts, les bases de données relationnelles ont vu le jour accompagnées de langages de développement construit autour des données. Les réseaux, notamment les réseaux locaux se sont développés, et les micro-ordinateurs se sont imposés dans l'entreprise, et ont apporté des interfaces graphiques conviviales. Au début des années 90, les réseaux occupaient de plus en plus une place importante dans les entreprises, Les vitesses de calcul des micros deviennent impressionnantes, et le besoin de partage de données devient essentiel.

Afin d'améliorer la vitesse de développement et surtout la maintenabilité des applications, une architecture type d'un système moderne a évolué, il s'agit de l'architecture client/serveur.

Le client/serveur permet par l'utilisation de nouvelles méthodes et techniques d'améliorer l'interopérabilité, la flexibilité des systèmes, et de procurer certains avantages à l'entreprise tels que la souplesse et la capacité d'adaptation face aux changements.

Ce chapitre a pour but de présenter une vue d'ensemble de l'architecture client/serveur, et de définir les notions de bases indispensables à la compréhension de ce modèle. Ainsi que d'expliquer le concept de middleware, l'un des éléments clé de l'architecture client/serveur.

### IV.1) Présentation de l'architecture client/serveur :

L'architecture client/serveur s'articule en générale autour d'un réseau. Deux types d'ordinateur sont interconnectés au réseau. Le serveur assure la gestion des données partagées entre les utilisateurs. Le client gère l'interface graphique de la station de travail personnelle d'un utilisateur.

Les deux communiquent par des protocoles plus ou moins standardisés. Les programmes applicatifs sont idéalement distribués entre le client et le serveur afin de minimiser les coûts. Une architecture client/serveur est caractérisée en général par sa grande diversité d'outils, comme les outils de développement d'applications, les SGBD et les middlewares, et par sa stratégie de système ouvert, afin de permettre la portabilité des applications, et la possibilité de remplacer un composant d'un constructeur par celui d'un autre conforme aux standards.

### IV.1.1) Définition d'une architecture client/serveur :

L'architecture client/serveur est un modèle d'architecture applicative où les programmes sont répartis entre processus client et serveur communiquant par des requêtes avec réponses. Voici plus précisément la définition de ces concepts de base :

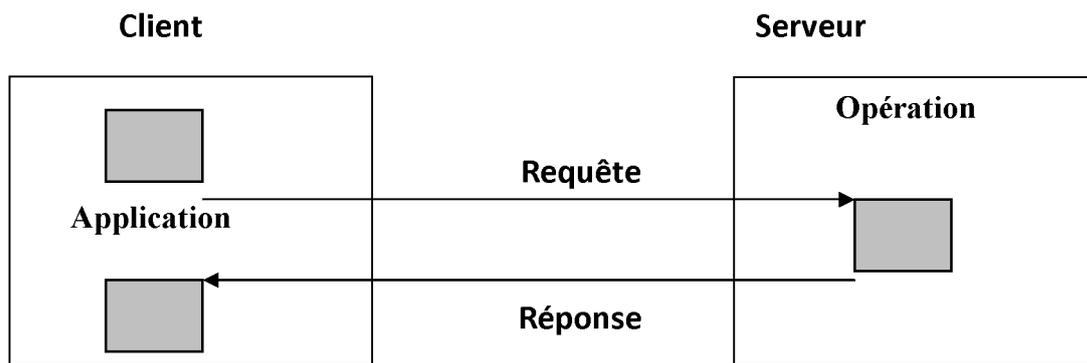
**-Client (Client)**, processus demandant l'exécution d'une opération à un autre processus par envoi d'un message contenant le descriptif de l'opération à exécuter et attendant la réponse à cette opération par un message en retour.

**-Serveur (Server)**, processus accomplissant une opération sur demande d'un client et transmettant la réponse à ce client.

**-Requête (Request)**, message transmis par un client à un serveur décrivant l'opération à exécuter pour le compte du client.

**-Réponse (Reply)** message transmis par un serveur à un client suite à l'exécution d'une opération contenant les paramètres de retour de l'opération.

La figure suivante montre une architecture type du modèle client/serveur :



**Fig IV.1.1** : Architecture type du modèle client/serveur

### **IV.1.2) Principe fonctionnement :**

Le modèle de communication client/serveur est orienté vers la fourniture de services par un processus serveur à un processus client. Cette communication entre client et serveur s'effectue comme suit:

Un client exécute une application et demande l'exécution d'une opération à un serveur par le biais d'une requête. Il reçoit une réponse, lui indiquant par exemple que l'opération a été bien exécutée. Les appels au service de transport mis en jeu sont au nombre de quatre `SendRequest()` permet au client d'émettre le message décrivant la requête à une adresse correspondant à la porte d'écoute du serveur, `ReceiveRequest()` permet au serveur de recevoir la requête sur sa porte d'écoute, `SendReply()` permet au serveur d'envoyer la réponse sur la porte d'écoute du client, et `ReceiveReply()` permet au client de recevoir la réponse en provenance du serveur.

Lors de l'envoi (réception) de requête (réponse) le client peut communiquer avec le serveur soit en mode synchrone, soit en mode asynchrone. Le premier mode est bloquant c'est-à-dire que le client se bloque en attente du serveur pendant que celui-ci effectue une tâche pour lui, Alors que le deuxième mode est non bloquant, il permet au client d'effectuer une tâche pendant que le serveur exécute une opération pour lui, en utilisant une file d'attente. En général client et serveur s'exécutent sur des machines hétérogènes, et utilisent souvent des formats de données différents, afin de permettre la communication entre client et serveur, il est nécessaire de définir un format d'échange standard.

L'opération qui permet la conversion d'un format interne en un format externe (c'est-à-dire constituer un message prêt à être émis sur le réseau) est l'**assemblage**, et inversement l'opération permettant la conversion du message reçu en un format interne est le **désassemblage**. Prenant maintenant le cas où un client veut faire appel à une fonction se trouvant sur un serveur distant, la technique utilisée ici est l'appel de procédure à distance (**Remote Procedure Call (RPC)**) dont voici le fonctionnement :

Le RPC est réalisé par introduction d'une souche de procédure (stub en anglais). C'est une procédure capable de recevoir un appel de procédure du client et de le transformer en un envoi de message vers le serveur. Le client fait appel à une procédure distante en suivant ces étapes :

1. la souche client reçoit l'appel de procédure de l'application.
2. elle assemble les paramètres et envoie la requête par la commande `SendRequest()` sur le réseau.
3. la souche serveur reçoit la requête par la commande `ReceiveRequest()`, et recherche le code de la procédure à exécutée, désassemble les paramètres, et lance son exécution.
4. la réponse est transmise en fin d'exécution à la souche serveur qui l'assemble et l'envoi à la souche client par la commande `SendReply()`.
5. la souche client reçoit la réponse par la commande `RecieveReply()`, la désassemble, et la transmet à l'application.

Voici en résumé un schéma illustrant les mécanismes de communication entre client et serveur :

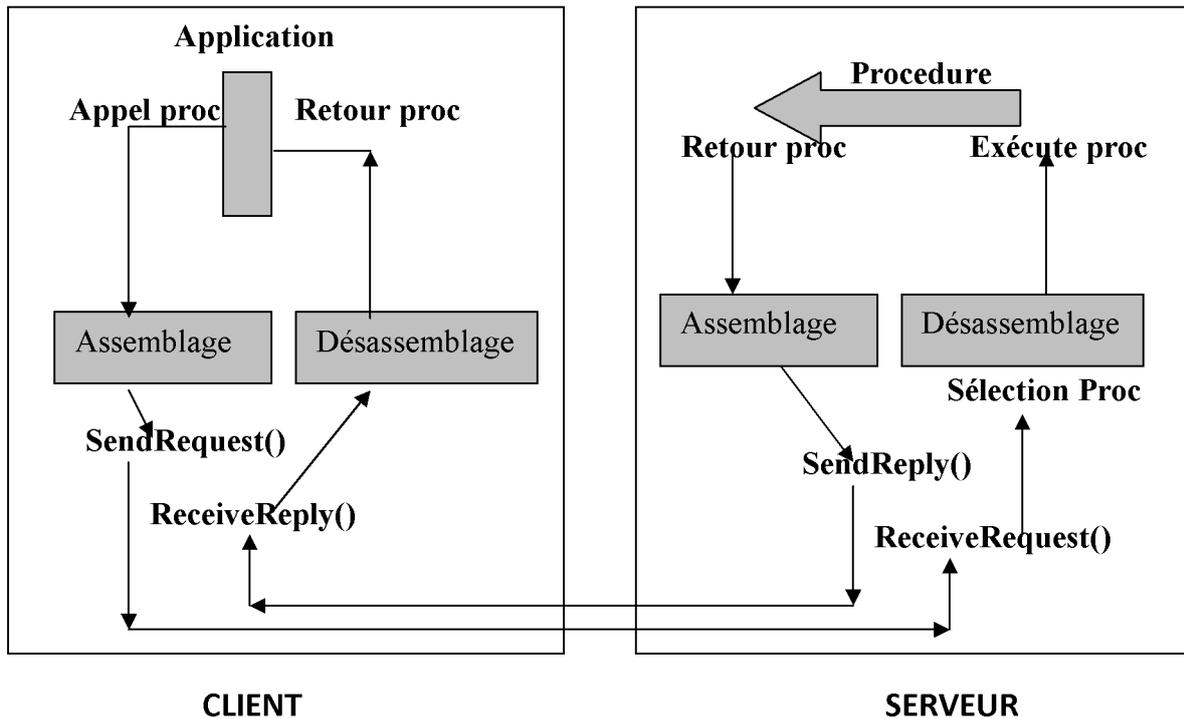


Fig IV.1.2.3 : Mécanismes de communication entre client et serveur

### IV .1.3) Avantages/inconvénients du modèle client/serveur [1] [5] :

#### IV.1.3.1) Avantages :

**-Mieux maîtriser le système d'information :** Le client/serveur permet l'intégration des données, et des traitements communs de l'entreprise au sein du serveur. Le choix d'un système d'information articulé autour d'une architecture ouverte, client/serveur, apporte une meilleure maîtrise de l'information et une plus grande souplesse d'évolution.

**-Prendre en compte l'évolution technologique :** le client/serveur apporte une modularité des composants matériels et logiciels. Ceci permet plus facilement les évolutions technologiques grâce à l'adoption de système ouvert.

**-Des ressources centralisées** Étant donné que le serveur est au centre du réseau, il peut gérer des ressources communes à tous les utilisateurs, comme par exemple une base de données centralisée, afin d'éviter les problèmes de redondance et de contradiction

**-Une meilleure sécurité:** Car le nombre de points d'entrée permettant l'accès aux données est moins important.

-**Une administration au niveau serveur:** Les clients ayant peu d'importance dans ce modèle, ils ont moins besoin d'être administrés.

-**Un réseau évolutif:** Grâce à cette architecture il est possible de supprimer ou rajouter des clients sans perturber le fonctionnement du réseau et sans modifications majeures.

### IV.1.3.2) Inconvénients :

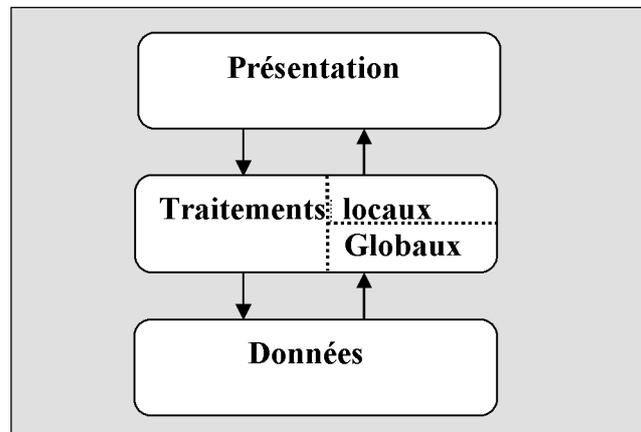
-**Coût élevé** par rapport à une architecture centralisée autour de terminaux passifs, le client/serveur nécessite des surcoûts de mise en œuvre du réseau, de maintenance et de formation de développeurs. En conséquence, le client/serveur apparaît souvent plus cher qu'une solution centralisée.

-**Un maillon faible** une fois un serveur de ressource en panne, il n'est plus possible d'accéder à la ressource.

### IV.1.4) Typologie d'une architecture client/serveur :

Depuis son apparition, l'architecture client/serveur est passée par plusieurs générations. Pour distinguer la différence entre ces générations, il est nécessaire de comprendre la notion de niveau (ou tier, ces deux notions seront utilisées indifféremment) qui est à la base de la classification des architectures client/serveur. Le terme « niveau, tier » est utilisé pour décrire le découpage logique d'une application entre des clients et des serveurs. En règle générale, une application informatique peut être découpée en 3 niveaux d'abstraction distincts, le niveau **présentation** qui permet l'interfaçage de l'utilisateur avec l'application, le niveau **traitement** qui correspond à la partie fonctionnelle de l'application, et enfin le niveau **données** regroupant l'ensemble des mécanismes permettant la gestion et l'accès aux données stockées par l'application.

Voici un schéma montrant ces trois niveaux et leurs interactions :

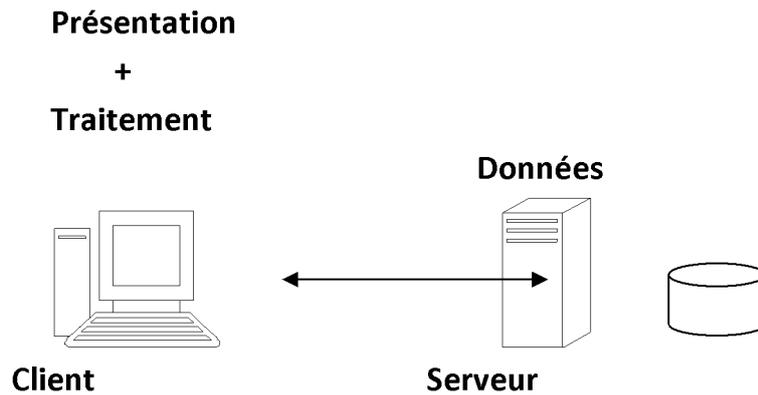


**Fig IV.1.4.4 : Découpage logique d'une application informatique**

Ces trois niveaux peuvent être imbriqués ou répartis de différentes manières entre client et serveur. Selon la répartition de ces niveaux, on peut distinguer l'architecture client/serveur à deux tiers, et l'architecture client/serveur à trois tiers.

### **IV.1.4.1) L'architecture client/serveur à deux tiers :**

Le modèle à 2 tiers découpe en deux la charge de l'application. Le développement s'effectue sur le serveur pour la base de données et sur le client pour l'application. Tout le code applicatif est exécuté sur le client qui, par exemple, envoie des requêtes SQL à une base de données située sur le serveur par un outil de connexion et récupère le résultat. On appelle ce modèle architecture **orientée client**, car le plus gros de l'application tourne du côté client. On dit aussi **client/serveur de données**.



**Fig IV.1.4.1.5 : Architecture client/serveur à 2 tier**

L'inconvénient majeur de ce type d'architecture est que l'ensemble des traitements applicatifs est exécuté sur la partie cliente, on arrive aujourd'hui à ce qu'on appelle le client lourd. Celui-ci devient complexe et doit être mis à jour régulièrement pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Afin de soulager le client, l'architecture client/serveur à trois tiers a été mise en oeuvre.

### **IV.1.4.2) Architecture Client/serveur à trois tier:**

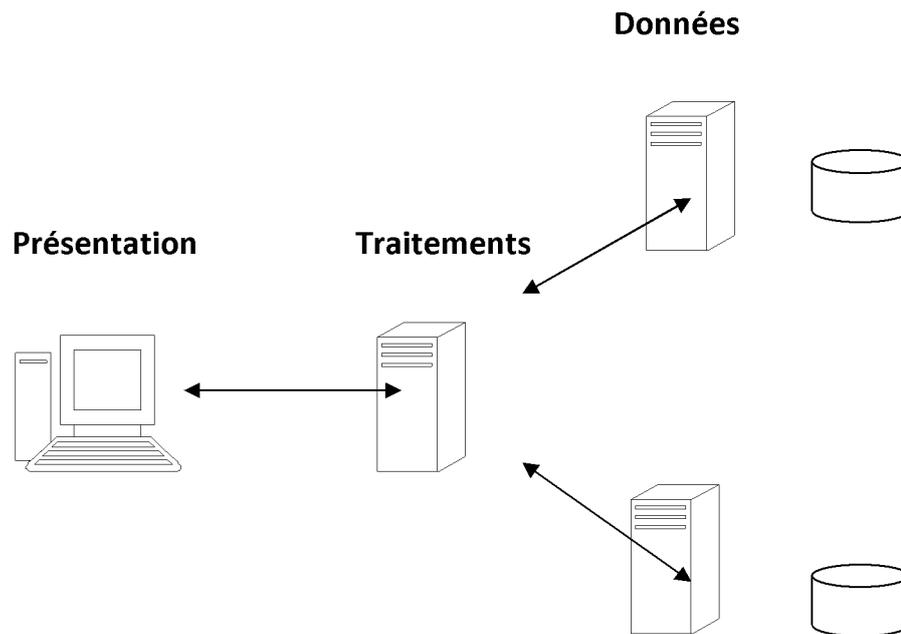
L'architecture client/serveur à 3 tier répartie la charge entre un poste client qui s'occupe de la présentation, un serveur intermédiaire qui prend en charge une partie du code applicative, et enfin un serveur pour gérer les données (voir figure5). Comme le modèle à 3 niveaux déplace la logique de l'application vers le serveur, on l'appelle architecture orientée serveur ou, client léger . Avec l'architecture 3 tier, on a la possibilité de développer des traitements applicatifs au sein du serveur de données sous forme de procédures déclenchées par l'application d'où le nom de client/serveur de données et procédures.

Citons quelques avantages apportés par le client/serveur 3tier :

- **Optimiser les performances** par la réduction du trafic réseau grâce à la gestion de procédures stockées dans la base de données et exécutées par le serveur.
- **Gérer des configurations complexes** avec un nombre important de clients et une diversité de systèmes.

- **Elever le niveau de sécurité** car le client n'accède pas directement à la structure de la base de données.

Dans l'architecture à 3 niveaux, chaque serveur effectue une tâche (un service) spécialisée. Ainsi, un serveur peut utiliser les services d'un ou plusieurs autres serveurs afin de fournir son propre service. Par conséquent, l'architecture à trois niveaux est potentiellement une architecture à N niveaux .



**Fig IV.1.4.2.6** : Architecture client/serveur à 3 tier

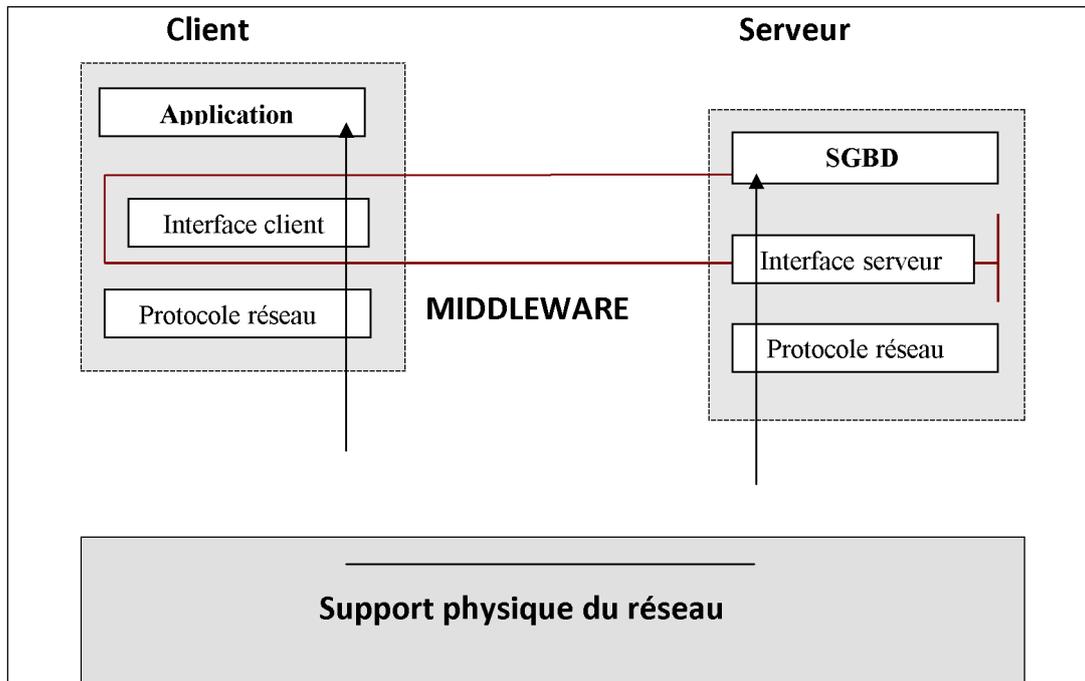
Quelque soit le type d'architecture client/serveur utilisé, les plates formes matérielles et logicielles sont souvent hétérogènes. Ce qui peut être une source de complexité. La question posée est comment assurer la connexion entre clients et serveurs dans le cadre d'une architecture de systèmes hétérogènes ? La réponse est apportée par le **Middleware**.

### IV.1.4) Le middleware :

Le développement de l'informatique distribuée entraîne la connexion sur le réseau de machines, d'applications et de systèmes d'exploitation différents. Il faut pouvoir faire appel, à distance, aux fonctions et aux données de n'importe quelles applications, sur n'importe quelle machine : c'est l'objet du "middleware". Autrefois, les constructeurs de matériels développaient ces fonctions pour proposer un environnement d'exploitation et de développement des applications cohérent. Avec l'avènement des systèmes ouverts et du client/serveur, le middleware devient une pièce maîtresse pour gérer la complexité et l'hétérogénéité des logiciels. Les utilisateurs ont découvert le middleware avec le client/serveur.

#### IV.1.4.1) Définition du middleware (médiateur) :

Ensemble des services logiciels construits au-dessus d'un protocole de transport afin de permettre l'échange de requêtes et des réponses associées entre client et serveur de manière transparente. Le middleware se situe **au-dessous** de l'applicatif, **au-dessus** du système d'exploitation et **entre** deux logiciels (dans notre cas il s'agit d'un programme client et programme serveur) ayant besoin de communiquer entre eux. Le schéma suivant montre le positionnement du middleware :



**FIG IV 1.4.1.7** : positionnement du middleware entre client et serveur

### IV.1.4.2) Objectifs du middleware :

L'objectif principal d'un médiateur est d'assurer une liaison transparente entre client et serveur, c'est-à-dire de cacher l'hétérogénéité des composants mis en jeu. Il s'agit en particulier d'assurer la transparence aux réseaux, aux SGBD, et dans une certaine mesure aux langages d'accès. Un médiateur se doit aussi d'assurer d'autres objectifs, mais ces objectifs diffèrent d'un médiateur à un autres.

**-Transport de requêtes et réponses** depuis le client vers le serveur est la fonction de base à assurer.

**-Simplification de la vision utilisateur** conduit à développer des interfaces applicatives (API) transparente. Elle nécessite aussi de rendre invisibles les problèmes de conversion de types de données qui doivent être pris en charge par le médiateur, de sorte à offrir une intégration uniforme aux langages.

-**Performance**, un médiateur doit transmettre les requêtes aussi efficacement que possible. Pour éviter des transferts inutiles, certains médiateurs proposent la gestion de caches clients et serveurs, pour les résultats et parfois pour les requêtes.

-**Fiabilité des communications** assurée par des techniques de réémission en cas de non réponse, mais aussi de détection de double émission à l'aide par exemple d'un numéro de séquence associé aux requêtes.

### IV.1.4.3) Fonctions du middleware :

Lorsqu'un logiciel client veut consulter ou modifier des données sur le serveur, il doit d'abord se connecter.

-**Procédure de connexion (Connection procedure)** est une opération permettant de retrouver le serveur avec lequel l'utilisateur va travailler, et si nécessaire d'ouvrir une session de communication avec lui. L'utilisateur est identifié et authentifié par la vérification du nom et du mot de passe.

-**Préparation de requête (Request preparation)** après la connexion, l'utilisateur peut directement préparer ou exécuter ses requêtes. La préparation d'une requête consiste à envoyer cette dernière avec des paramètres non instanciés à un serveur afin qu'il prépare son exécution.

-**Exécution de requête (Request execution)** consistant à envoyer une demande d'exécution de requête précédemment préparée à un serveur, en fournissant les valeurs des paramètres.

-**Récupération de résultats (Result fetching)** générés par l'exécution d'une requête sur le serveur pour le client. La récupération des résultats permet de ramener tout ou partie du résultat d'une requête sur le client.

-**Cache de résultats (Result caching)**, lors de la récupération des résultats, ces derniers peuvent être volumineux, ce qui implique une récupération par partie. D'où la nécessité de mettre en place des techniques sophistiquées de **gestion de caches**. Technique permettant de transférer les résultats par blocs et de les conserver sur le client ou/et sur le serveur afin de les réutiliser pour répondre à des requêtes.

**-Cache de requêtes (Request caching)**, les médiateurs peuvent aussi mémoriser les requêtes avec les plans d'exécution préparés sur le serveur, ceci afin d'éviter de les préparer à nouveau lors d'une nouvelle demande. Cette technique permet de conserver des requêtes compilées sur le serveur afin de les réutiliser pour répondre à des requêtes similaires.

**-Procédure de déconnexion (Deconnection procedure)** est l'opération inverse de la connexion, la déconnexion permet de fermer le chemin ouvert depuis le client vers le serveur associé. Quoiqu'il en soit, une session de travail se termine toujours par une déconnexion qui permet de relâcher les ressources occupées sur le serveur.

#### **IV.1.4.4) Architecture type d'un middleware :**

La figure montre une architecture type d'un médiateur :

-L'application dialogue avec un module de connectabilité qui gère l'interface utilisateur (API).

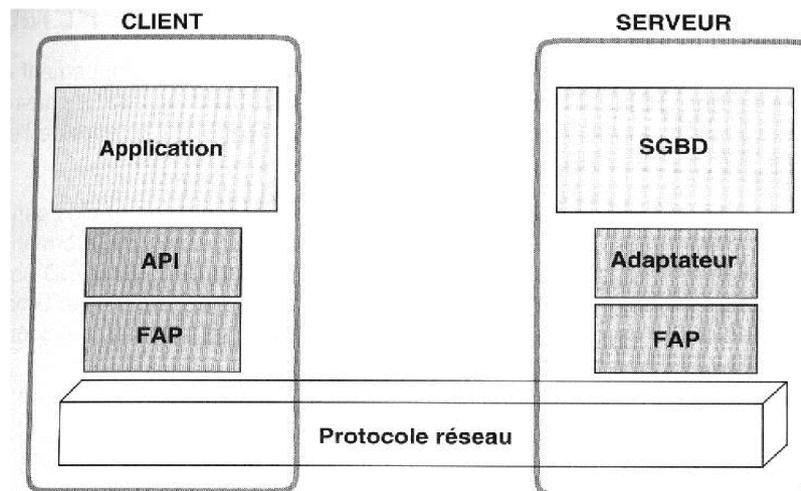
-L'API reçoit les appels de fonctions et les transmet sous forme interne au module de formatage et d'accès (FAP) qui gère le protocole d'échange (Format and Access Protocol).

-Le FAP transforme les appels en messages conformément au protocole d'accès aux données distantes. Il assemble aussi les paramètres dans un format d'échange.

-Le module FAP symétrique sur le serveur reçoit les messages et les désassemble pour les transmettre en format interne à l'adaptateur.

-Ce dernier module transforme les requêtes dans le format interne compris par le SGBD.

-Les réponses suivent un chemin symétrique en sens inverse.



**Fig IV.1.4.4.8 : Architecture type d'un médiateur.**

Comme pour une architecture client/serveur, diverses architectures ont été définies, le middleware peut être aussi classé en plusieurs types.

### **IV.1.4.5) Typologies de middleware :**

Il n'existe pas de classifications rigoureuses des middleware en raison de la diversité des réalisations. Notre classification est faite selon que le middleware utilisé soit bloquant ou non bloquant pour le client.

#### **IV.1.4.5.1) Middleware synchrone :**

Cette approche tient au fait que lorsque la transaction est lancée par le client, ce dernier doit attendre la réponse du serveur. Il est inactif pendant ce temps de réponse. Dans ce cas de figure, le client et le serveur doivent utiliser le même protocole de communication, ce qui n'est pas évident dans des environnements distribués.

#### **IV.1.4.5.2) Middleware asynchrone :**

Ils permettent de désynchroniser les communications entre client et serveur. En d'autres termes, on supprime la phase d'inactivité du client. Les messages peuvent être traités en temps réel ou stockés et envoyés en temps voulu. Ces middlewares permettent les échanges dans des environnements distribués plus hétérogènes.

### IV.2) Services rendus par un middleware :

**-Conversion** : Service utilisé pour la communication entre machines mettant en oeuvre des formats de données différents, elle est prise en charge par la FAP.

**-Adressage** : Permet d'identifier la machine serveur sur laquelle est localisé le service demandé afin d'en déduire le chemin d'accès. Dans la mesure du possible, cette fonction doit faire appel aux services d'un annuaire.

**-Sécurité** : Permet de garantir la confidentialité et la sécurité des données à l'aide de mécanismes d'authentification et de cryptage des informations.

**-Communication** : Permet la transmission des messages entre les deux systèmes sans altération.

Il est à signaler que les middleware n'ont pas tous les mêmes fonctions, certains sont orientés sécurité, d'autre hétérogénéité.....etc. De là on peut dire que le choix d'un middleware se fait à partir des besoins exprimés, ce choix est déterminant en matière d'architecture, il joue un grand rôle dans la structuration du système d'information. Par exemple Les middleware proposés par les fournisseurs de SGBD sont très performants et permettent de tirer profit de l'ensemble des fonctionnalités du serveur de données pour lequel ils ont été conçus. Par contre, ils ne permettent pas, le plus souvent, l'accès à d'autres sources de données. Pour certaines applications devant accéder à des services hétérogènes, il est parfois nécessaire de combiner plusieurs middlewares .

### **Conclusion :**

Ce chapitre nous a permis d'acquérir les notions de base d'une architecture client/serveur qui est une architecture à bases de composants, formés d'un client, d'un serveur, et d'un middleware qui permet la communication. Cette première partie n'est qu'une ébauche pour le travail que nous voulons réaliser, et qui consiste à adapter une architecture C/S à un environnement mobile, Pour cela l'étude de cet environnement est indispensable. Le prochain chapitre est consacré à cet effet.

### **Introduction :**

La BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs. Elle gère les problèmes liés à la transmission radio (modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur). Le placement et le type des BTS déterminent la forme des cellules. Elle réalise aussi des mesures radio pour vérifier qu'une communication en cours se déroule correctement (évaluation de la distance et de la puissance du signal émis par le terminal de l'abonné): Ces mesures sont directement transmises à la BSC.

### **V.1) Installation et mise en oeuvre du site :**

Les chaînes de télévision et les radios sous-traitent à des entreprises privées pour l'étude et l'installation des émetteurs et réémetteurs afin de permettre à la population de regarder ou écouter leurs émissions, on compte plus de 6 000 émetteurs pour les chaînes de télévision et radio hertziennes au Cameroun. De la même façon, les opérateurs de téléphonie mobile GSM sous-traitent à des entreprises privées pour l'étude et l'installation de leurs sites GSM.

L'opérateur définit de nouvelles zones à équiper, pour compléter la couverture du territoire ; pour cela, il commande à un sous-traitant spécialisé la réalisation d'une étude pour de nouveaux emplacements de relais. L'opérateur définit une zone de quelques kilomètres en zone rurale ou de quelques centaines de mètres en ville où devra se trouver le relais, il définit aussi les besoins de couverture, la capacité en trafic, les fréquences utilisées (900, 1800, 1900-2200 MHz).

#### **- Recherche des emplacements :**

Le sous-traitant cherche des emplacements pour le site, qui seront classés par ordre de priorité par l'opérateur.

#### **- Visite technique**

Les services de l'opérateur font une visite technique sur place, pour définir le type d'antenne et leurs positions. Le sous-traitant fait lui aussi des relevés pour prévoir l'installation du matériel et des chemins de câbles.

#### **- Dossier technique**

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---

L'opérateur donne les spécifications générales du site au sous-traitant, qui va établir un dossier technique minimal contenant les plans, descriptifs des travaux, position sur le cadastre. Une fois le dossier retourné à l'opérateur, celui-ci va le compléter en faisant des simulations pour choisir définitivement le type d'antennes, leur orientation, azimut, tilt, bilan de liaison, puissance apparente rayonnée (PAR).

### **V.2) Réalisation :**

Le sous-traitant choisi par l'opérateur organise les travaux, il les réalise entièrement ou peut en sous-traiter une partie à des entreprises spécialisées dans le gros œuvre, l'installation du pylône.

#### **- Gros œuvre :**

Cette étape doit permettre l'accès au site en question. S'il s'agit d'une région difficile d'accès, il faudra au préalable mettre en place un chemin praticable par les engins nécessaires à l'installation du pylône et autres matériels. Si le site se trouve sur un toit d'immeuble, il faudra sécuriser les abords du toit et préparer à accueillir les antennes et les BTS.

#### **- Installation et test du matériel**

Le sous-traitant installe les antennes dans les azimuts et inclinaisons définis, met en place les câbles et prépare la structure pour accueillir les baies ; il s'occupe aussi de la sécurité du site, pour protéger les personnes qui seront amenées à y travailler (garde-fous, rampe d'accès, échelle d'accessibilité...) Le service de l'opérateur chargé de la planification des fréquences et du trafic désigne le nombre de TRX nécessaires, les fréquences à attribuer au site, ainsi que les cellules voisines à déclarer. Une équipe du constructeur des BTS (Nortel, Alcatel, Motorola ou Nokia) vient sur place pour installer les baies et configurer les BTS avec les fréquences et le nombre de TRX donnés. Un technicien de l'entreprise qui fournit les BTS se rend sur place, pour terminer l'installation des baies. Il achève les derniers branchements : alimentation électrique, connexion des antennes, de la liaison Abis et procède aux premiers essais en collaboration avec une personne du centre de supervision de l'opérateur, pour vérifier le bon fonctionnement et la bonne configuration de la BTS et des antennes, secteur par secteur. L'opérateur organise une visite qui lui permet de vérifier la conformité du site aux spécifications du dossier technique. Si le site est conforme, le sous-traitant est payé.

#### **- Mise en route**

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---

Le site ouvre en exploitation, il est surveillé par le service optimisation de l'opérateur qui procède à des réajustements notamment au niveau de la puissance, pendant le premier mois de fonctionnement. Des interventions peuvent avoir lieu sur le site pour affiner les réglages : baies, tilt, panne.

Le site ne sera ensuite visité que quelques fois par an, notamment pour des pannes.

Si le site ne peut être mis en service immédiatement du fait d'un risque de brouillage avec une autre station proche utilisant les mêmes canaux, il sera configuré lors d'une prochaine modification du PDF (Plan De Fréquence) pour être intégré dans le motif régulier utilisé. Cette mise en service se fait sans aucune intervention humaine locale, ce sont les personnes qui gèrent le BSC qui configurent à distance, via la liaison Abis, toute la BTS.

### **V.3) Différents types stations de base (BTS) :**

Il existe différents types de BTS proposés pour répondre aux différents besoins étudiés ci-dessus. Le réseau MTN en compte plus de 2 000 au Cameroun. Ces stations sont conçues par différents constructeurs qui respectent strictement la norme GSM de manière à ce que le matériel de différents constructeurs puisse être compatible.

Les BTS sont de puissance variable de manière à éviter les interférences entre deux cellules: comme nous le verrons, il est important de réguler la puissance du portable de manière à éviter ces mêmes interférences.

#### **- Les 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 macro cellules. On en trouve en abondance au bord des autoroutes. 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 20 Kms).

#### **- Les BTS ciblés**

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.

#### **- BTS ciblée sur un immeuble :**

### ✓ Les micros BTS

Elles couvrent des zones très restreintes et sont très utilisées dans les sites où la densité d'abonnés est importante: ce sont les microcellules. On retrouve ce type de couverture dans la rue de Douala et Yaoundé. Leur grande discrétion permet de les installer dans les périmètres autour des centres villes.

Une bonne étude d'implantation permet avec ce type de BTS de créer une couverture à deux niveaux: sur un premier niveau, les micro-BTS couvrent les 3 premiers mètres grâce à des émetteurs très ciblés. Un second niveau (étage plus élevé des immeubles) sera couvert par des BTS ciblées.

#### - Les amplificateurs de signal

Ce ne sont pas des BTS proprement dites mais ils permettent de couvrir une autre cellule comme le ferait une véritable BTS. Les amplificateurs de signal captent le signal émis par les BTS, l'amplifient et le réémettent d'un autre site. Ils permettent de couvrir une cellule à moindre coût. De plus, ces amplificateurs ne nécessitent aucune connexion vers les BSC, ils peuvent donc être placés sans contraintes physiques (sommet isolé de tous réseaux électriques et télécoms). Idéals pour couvrir les zones à faible densité ou à relief difficile, ils sont néanmoins très gourmands en ressource réseau, car la BTS mère doit gérer tout le trafic des réémetteurs.

### V.4) Composition et rôle des éléments d'une BTS :

BTS utilisées jouent un rôle primordial pour évaluer la qualité d'un réseau. La capacité maximale d'une BTS est de 16 porteuses, c'est à dire qu'elle peut supporter au plus une centaine de communications simultanées. Une configuration en zone urbaine est constituée d'une BTS à 4 porteuses pouvant écouler environ 28 communications. Comme nous l'avons vu plus haut la bande passante allouée à un opérateur est limitée. C'est pourquoi il doit réduire au minimum la puissance de ses BTS en ville de manière à ce qu'elles couvrent une zone la plus restreinte possible. Elle se compose de :

#### a) Antennes :

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---

Les antennes sont les composantes les plus visibles du réseau GSM. On les voit un peu partout, souvent sur des hauts pylônes, sur des toits d'immeubles, contre des murs, à l'intérieur des bâtiments ; il arrive assez souvent qu'elles soient invisibles puisque camouflées, pour des raisons esthétiques. Ces antennes permettent de réaliser la liaison Um entre la MS (téléphone mobile) et la BTS.

### - **Caractéristiques :**

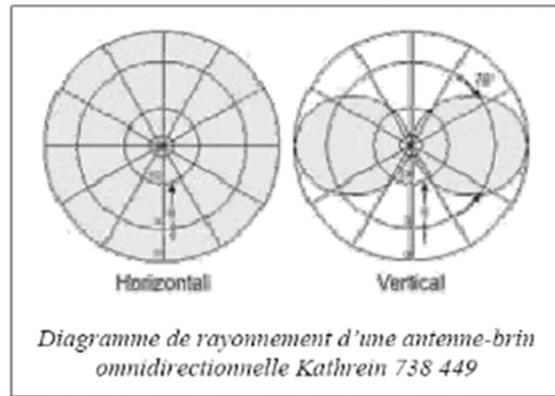
#### ✓ **Fréquences d'utilisation**

La caractéristique la plus importante d'une antenne, aussi appelée aérien, est la bande de fréquences supportée ; c'est-à-dire les fréquences que l'antenne pourra émettre et recevoir. Sur les sites GSM, on trouve des antennes qui émettent A seulement en 900 MHz, seulement en 1800 MHz ou des antennes bibandes 900 et 1800 MHz. On trouve déjà, et leur nombre ne fera qu'augmenter, des antennes bimodes (GSM & UMTS) et bibandes (1800 & 1900-2200 MHz) ou tribandes (900, 1800 & 1900-2200 MHz), qui sont des antennes qui servent à la fois pour le GSM en 900 et/ou 1800 MHz, mais aussi pour l'UMTS en 1900-2200 MHz.

#### ✓ **Directivité**

La deuxième caractéristique importante est la directivité sur le plan horizontal, c'est en fait la ou les direction(s) dans laquelle l'antenne va émettre. En GSM, il existe deux grands types de directivités pour les antennes :

**Omnidirectionnelle** : Elles sont assez peu répandues. Lors de l'utilisation pour des macro cellules, elles ressemblent à des brins d'environ 2 m de haut et 5 cm de diamètre, alors que pour les micros cellules, ce sont des brins de 40 cm de haut et 2 à 3 cm de diamètre. Ces antennes brins sont omnidirectionnelles, elles émettent de manière égale dans toutes les directions. Pour les macro cellules, les sites comportent souvent deux à trois antennes omnidirectionnelles. La figure fig VI.4.1 est un diagramme de rayonnement d'une antenne brin omnidirectionnelle.



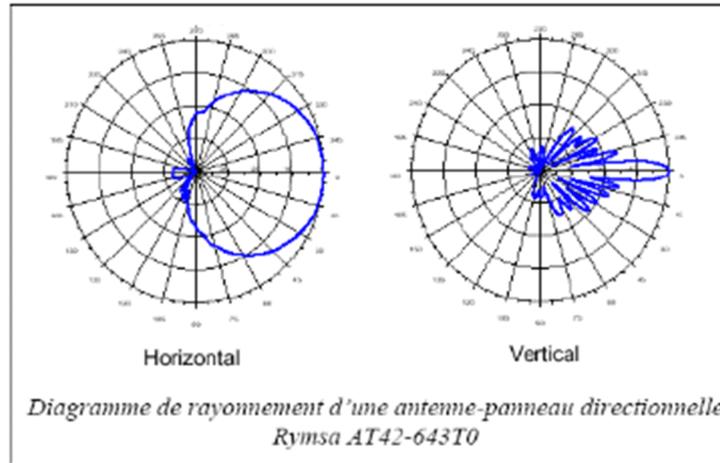
**Fig V.4.1 :**diagramme d erayonnement d'une antenne brin omnidirectionnelle.

Comme on peut le voir sur ces diagrammes, l'antenne émet dans toutes les directions sur le plan horizontal, et dans deux directions principales sur le plan vertical.

### **Directionnelle :**

Elles représentent la quasi-totalité des antennes utilisées. Lors de l'utilisation pour la couverture de macro cellules, elles ressemblent à des panneaux de couleur beige ou blanche d'environ 2 m de haut, 20 cm de large et 10 cm d'épaisseur, alors que pour les micro cellules, ce sont de petits panneaux d'une vingtaine de centimètres de haut, 10 cm de large et quelques centimètres d'épaisseur. Ces antennes-panneaux sont directionnelles, elles émettent seulement dans la direction dans laquelle elles sont orientées, ce qui permet de limiter le champ de propagation d'une fréquence pour pouvoir ainsi de la réutiliser à une distance proche, sans risque de brouillage. Les relais sont souvent composés de trois antennes-panneaux orientées à environ 120° l'une de l'autre, de manière à couvrir sur 360°.

La figure fig V.4.2 est un diagramme de rayonnement d'une antenne panneau directionnelle.



**Fig V.4.2 :** Diagramme de rayonnement d'une antenne panneau directionnelle.

On peut constater sur le plan horizontal que l'antenne-panneau émet à forte puissance vers l'avant, et avec une puissance faible derrière elle. On remarque sur le plan vertical, que l'antenne émet avec une puissance faible au dessus et au dessous, mais avec une puissance beaucoup plus importante devant elle.

### ✓ **Portée**

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

En général, une antenne assure la couverture d'une zone appelée secteur ou cellule. Il existe deux grands types de cellules, le premier étant la micro (petite) ou pico (très petite) cellule qui couvre une zone de taille réduite, par exemple une rue très fréquentée, une galerie marchande, un centre commercial au moyen d'antennes de petite taille, souvent omnidirectionnelles. Le deuxième type est celui des macro cellules qui couvrent des zones de grande superficie (plusieurs dizaines de kilomètres carrés), que l'on trouve près des autoroutes, et dans les zones périurbaines ou rurales ; dans ce cas, les antennes utilisées sont souvent de type directionnel.

### ✓ **Gain – Puissance :**

Chaque antenne possède un gain qui lui est propre. Le gain est l'amplification que l'antenne effectue du signal d'entrée. Ce gain s'exprime en dB ou dBi, et est d'environ 2 à 11 dBi pour les antennes omnidirectionnelles et jusqu'à 18 dBi pour les antennes directionnelles.

La puissance émise par l'antenne est appelée PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente) ou PAR (Puissance Apparente Rayonnée,  $PAR = PIRE - 2,15$  dB). Cette puissance est fournie par la BTS et ses amplificateurs de puissance, commandés depuis le BSC. La PIRE est de quelques watts pour des antennes couvrant des micros cellules, et d'une vingtaine à une cinquantaine de watts pour des macro cellules. La PIRE est exprimée en dbm, ce qui est plus pratique pour le calcul des pertes des coupleurs, câbles coaxiaux et gain des antennes.

### ✓ Azimut

Chaque antenne est dirigée dans une direction déterminée par des simulations, de manière à couvrir exactement la zone définie. La direction principale de propagation de l'antenne, c'est-à-dire la direction dans laquelle l'antenne émet à sa puissance la plus importante est dirigée dans l'azimut établi. L'azimut est un angle qui se compte en degrés, positivement dans le sens horaire, en partant du nord ( $0^\circ$ ). De cette façon, l'azimut  $90^\circ$  correspond à l'est, l'azimut  $180^\circ$  au sud.

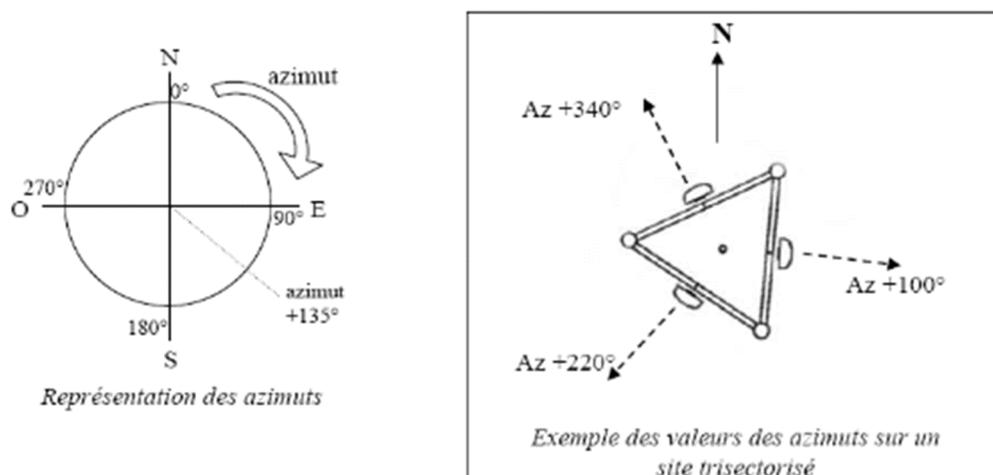


Fig V.4.3 : représentation des azimuts.

### ✓ Tilt

Tout comme l'azimut, le tilt (ou down-tilt) est laissé à la discrétion des installateurs d'antennes qui les orientent selon les recommandations de l'opérateur. Le tilt est l'angle d'inclinaison (en degrés) de l'azimut du lobe principal de l'antenne dans le plan vertical. Le diagramme de rayonnement d'une antenne avec un tilt positif sera dirigé vers le haut, alors qu'un tilt négatif fera pointer l'antenne vers le bas.

Il existe deux types de tilt :

- mécanique : il suffit de relever légèrement l'antenne sur son support, pour qu'elle soit dirigée dans la direction souhaitée.

- électrique : réglage d'environ 2 à 10°, en tournant une partie mécanique à l'arrière de l'antenne qui joue sur le déphasage des signaux dans les différents dipôles constituant. Le signal est envoyé à l'équipement de transmission. La figure Fig VI.4.4 est une Antenne directionnelle avec tilt négatif antenne directionnelle avec tilt positif.



**Fig V.4.4 :** Antenne directionnelle avec tilt négatif antenne directionnelle avec tilt positif.

- **Procédés :**

✓ **Diversité spatiale :**

La liaison Um dans le sens montant (mobile vers BTS) est plus difficile à assurer que la liaison descendante (BTS vers mobile), puisque la puissance des terminaux est limitée à 2 watts en 900 Mhz et 1 watt en 1800 MHz, on utilise donc deux antennes au lieu d'une pour favoriser la réception du signal.

À cause des diverses réflexions du signal émis par le mobile (contre des immeubles, des falaises), deux ondes peuvent arriver en un point donné en s'annulant ou s'atténuant fortement (à cause de leur déphasage), c'est ce que l'on appelle l'évanouissement (fading) de Rayleigh, mais quelques mètres (et longueurs d'ondes) plus loin, ces ondes ne seront plus atténuées, d'où l'intérêt de placer des antennes espacées d'environ 3 à 6 m l'une au dessus de l'autre ou l'une à côté de l'autre.

On place donc deux antennes, au lieu d'une, pour augmenter les chances de recevoir un signal correct, on augmente ainsi le signal reçu jusqu'à 5 dB.

### ✓ Diversité de polarisation

La diversité de polarisation est la technique d'utilisation de plusieurs plans de polarisations, pour favoriser la réception du signal. La polarisation d'une onde électromagnétique est décrite par l'orientation de son champ électrique.

Si celui-ci est parallèle à la surface de la terre, la polarisation est linéaire horizontale, s'il est perpendiculaire à la surface de la terre, la polarisation est linéaire verticale. Pour un téléphone mobile, la polarisation est verticale lorsque le téléphone est tenu vertical, mais s'il est légèrement orienté, l'onde polarisée verticalement parvient plus faiblement à la BTS, alors qu'en même temps, le niveau reçu de cette même onde polarisée horizontalement augmente.

En effet, il existe des signaux en polarisation verticale et horizontale, et il faut que les antennes émettrices et réceptrices communiquent toutes les deux avec un signal dans la même polarisation, sous peine d'avoir un signal fortement atténué. L'antenne du relais est capable de conserver une polarisation constante, mais le téléphone mobile, ne reste jamais parfaitement vertical et ne peut donc conserver une polarisation verticale.

On utilise donc des antennes qui ont une double polarisation (ou polarisation croisée), ni verticale, ni horizontale, mais intermédiaire :  $+ 45^\circ$  et  $- 45^\circ$ , et l'on utilise le plan de polarisation qui reçoit le meilleur signal, pour augmenter les chances de recevoir un niveau correct ; on peut gagner ainsi jusqu'à 6 dB. En émission, on utilise une seule de ces polarisations, au choix de l'opérateur.

### ✓ Diversité de fréquence :

La diversité fréquentielle est, la technique utilisant un changement régulier des fréquences utilisées ; c'est-à-dire, que la BTS et le mobile changent régulièrement de fréquence d'émission et de réception, c'est ce que l'on appelle le saut de fréquence ou Frequency Hopping, un changement de fréquence 217 fois par seconde, qui permet de lutter contre l'évanouissement du signal (ou fading). Ce procédé permet aussi de moyenner le brouillage ; par exemple : si un canal est brouillé, et si une communication est établie sur ce canal, la communication sera fortement perturbée, alors que si l'on change très régulièrement de canal (fréquence), la communication ne sera perturbée qu'à certains instants, mais restera en moyenne, audible. On utilise le saut de fréquence pendant les communications, ce qui peut permettre de gagner quelques dB supplémentaires.

### - L.N.A :

Dans certains cas, les sorties des antennes sont suivies immédiatement de LNA (Low Noise Amplifier - Amplificateur à Faible Bruit) qui permettent d'amplifier le signal reçu par l'antenne, en provenance du mobile, sur la liaison Um (voie montante). Les LNA doivent être situés au plus près de la sortie des antennes, pour éviter qu'un signal trop faible ne soit totalement inexploitable à la sortie des câbles coaxiaux. Ces LNA ressemblent à de petits cubes situés à quelques centimètres des antennes, en haut des pylônes. La figure Fig VI.4.5 est un descriptif d'une LNA.

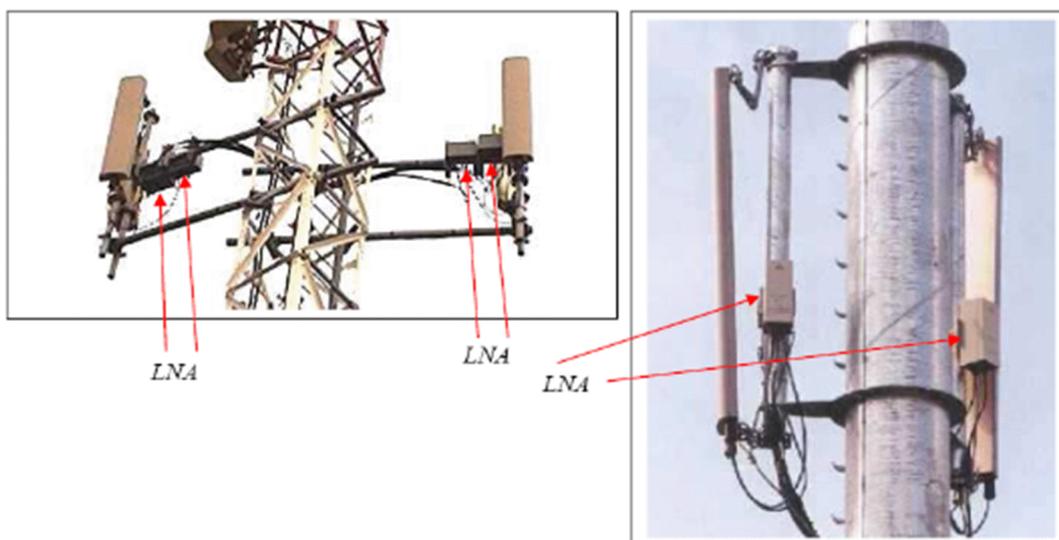


Fig VI.4.5 :descriptif d'une LNA

### - Sectorisation :

Chaque relais GSM est partagé en plusieurs zones d'émission, une pour chaque antenne (sauf présence de diversité spatiale), habituellement jusqu'à 3 zones par relais, appelées aussi secteur ou cellule.

**Monosectorisé** : Est dit monosectorisé un site GSM qui ne possède qu'un seul secteur, c'est-à-dire qui ne gère qu'une seule cellule. Il y a une seule antenne, ou deux si la diversité spatiale est utilisée, voire jusqu'à trois pour certains sites omnidirectionnels constitués de trois brins omnidirectionnels. Ce type de site omnidirectionnel est utilisé en zone rurale pour assurer une couverture assez importante, sans permettre une grande quantité de communications, ou en zone urbaine importante, pour micro cellule, afin de supporter des communications passées dans une zone réduite (centres commerciaux, rues piétonnes...). Un site monosectorisé avec panneau directionnel, peut être utilisé pour affiner une couverture locale, ou en zone rurale, au dessus d'une vallée encaissée, où les deux autres secteurs ne seraient pas utiles.

La figure Fig VI.4.6 montre les types de sectorisation.

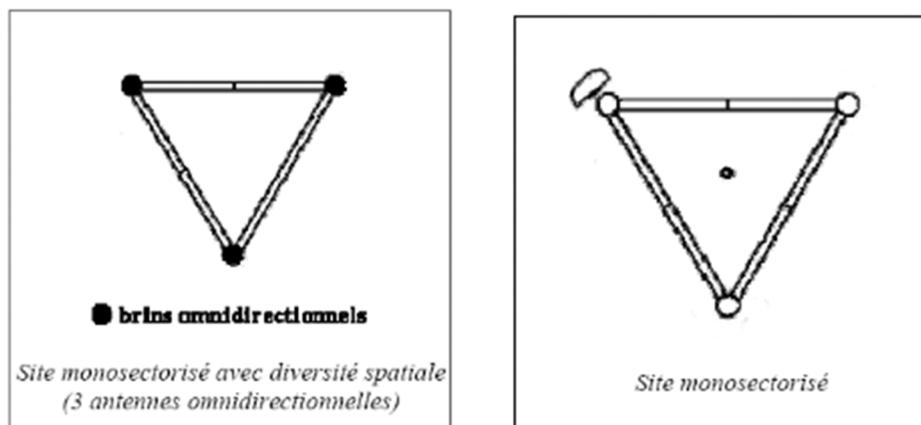
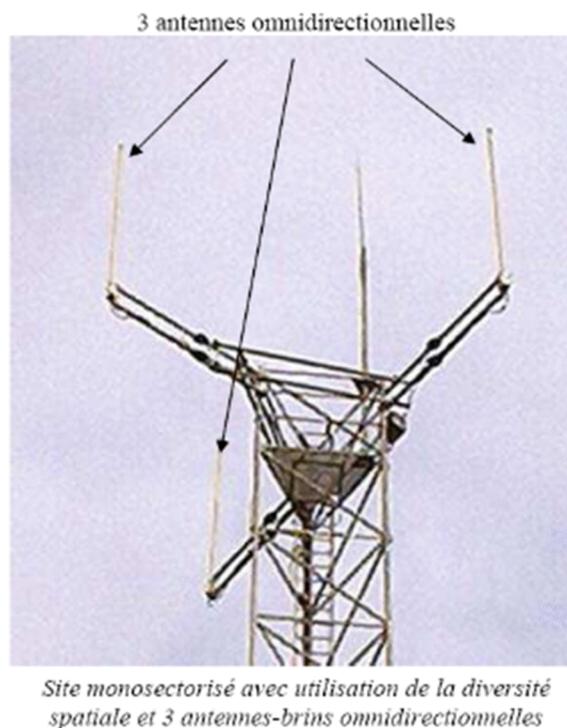


Fig VI.4.6 : les types de sectorisation.

Voici sur la figure VI.4.7 un site de sectorisation.



**Fig V.4.7** : site monosectorisé avec utilisation de la diversité spatiale et 3 antennes-brins omnidirectionnelles.

**Bisectorisé** : Un site bisectorisé est un site GSM qui possède deux secteurs, et donc deux cellules distinctes. Le site peut comporter au moins deux antennes et jusqu'à quatre si la diversité spatiale est utilisée. Ce type de site sert à couvrir des zones où seuls deux secteurs sont utiles flanc d'une colline.



*Site bisectorisé avec 2 antennes-panneaux directionnelles*



*Site bisectorisé avec utilisation de la diversité spatiale et 4 antennes-panneaux directionnelles*

**Fig VI.4.9 : Les site bisectorisé.**

### **Trisectorisé :**

La majorité des sites GSM sont des sites trisectorisés, c'est-à-dire qu'ils sont constitués de trois cellules, ce qui permet une meilleure intégration au PDF (Plan De Fréquences). Ces sites sont très répandus en zone rurale et périurbaine, où la couverture n'est quasiment assurée qu'à partir de ce type de sites.

La figure Fig VI.4.10 représente des trisectorisé.



*Site trisectorisé avec 3 antennes-panneaux directionnelles*

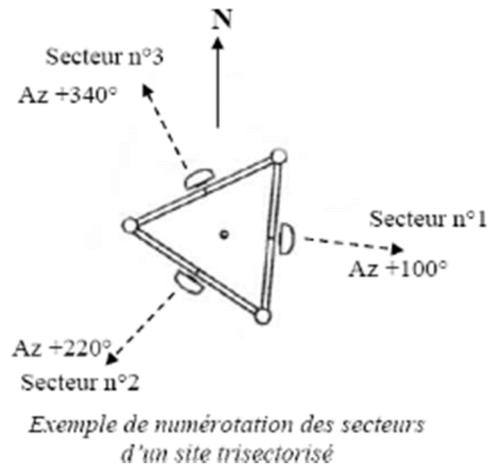


*Site trisectorisé avec utilisation de diversité spatiale et 6 antennes-panneaux directionnelles*

**Fig VI.4.10 : les sites trisectorisés.**

### - Numérotation :

Les secteurs de chaque site sont numérotés. Le secteur n°1 est le secteur qui a l'azimut le moins élevé, c'est-à-dire, c'est le secteur dont l'azimut est le plus proche du Nord (Az 0°). La figure Fig VI.4.11 est un exemple de numérotation des secteurs d'un site trisectorisé.



**Fig V.4.12** : exemple de numérotation des secteurs trisectorisés.

### b) Câbles coaxiaux :

Pour relier la BTS aux antennes, on utilise des câbles coaxiaux (ou feeders en anglais), qui peuvent atteindre jusqu'à une cinquantaine, voire exceptionnellement une centaine de mètres de longueur, pour parcourir la distance entre la BTS et les antennes. Ces câbles sont blindés et parfaitement isolés, de manière à n'introduire aucun parasite entre l'antenne et la BTS, mais surtout pour éviter les pertes. Les câbles utilisés apportent une atténuation d'environ 2dB pour 100 mètres, ils ont très souvent un diamètre de 7/8 pouce (environ 2,2 cm) et sont constitués de deux couches de cuivres, une au coeur et une autre vers l'extérieur, séparées par un isolant plastique. La figure Fig VI.4.13 est un câble coaxial de type Andrew.



**Fig VI.4.13** : Câble coaxial de type Andrew

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---

### - **Etiquetage :**

Pour repérer les différents câbles, les installateurs d'antennes placent des étiquettes à des endroits où les câbles sont nombreux : pied du pylône, sortie du local technique... Ces étiquettes contiennent une ou plusieurs des informations suivantes :

- azimut (« AZ »)
- tilt (« TILT »)
- n° de secteur (« SECT »)
- nom de l'opérateur GSM
- longueur du câble (« L »)
- signal traversant le câble : Emission (« EM »), Réception (« REC »), Diversité (« DIV »)
- nom du signal provenant de l'antenne, polarisation (« +45 »), (« -45 »)
- Exemple d'étiquetage des câbles coaxiaux :



« GSM FT » : Opérateur Orange ; « Sect1 » : Secteur n°1

« AZ 10 » : azimut 10° ; « Tilt+3 » : tilt de + 3°

« -45 » à connecter sur l'entrée polarisation - 45° de l'antenne

« L32m » : longueur du câble



« GSM SF » : Opérateur MTN

« EM » : à connecter sur l'antenne Émission

« AZ 50 » : azimut 50°

Camouflage

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---

Les antennes GSM, même si elles ne sont pas particulièrement monstrueuses, ne plaisent pas, notamment aux ABF (Architectes des Bâtiments de France) ; c'est pour cela que les opérateurs utilisent quelques procédés pour les dissimuler.

Voici quelques techniques de mise en place des antennes:

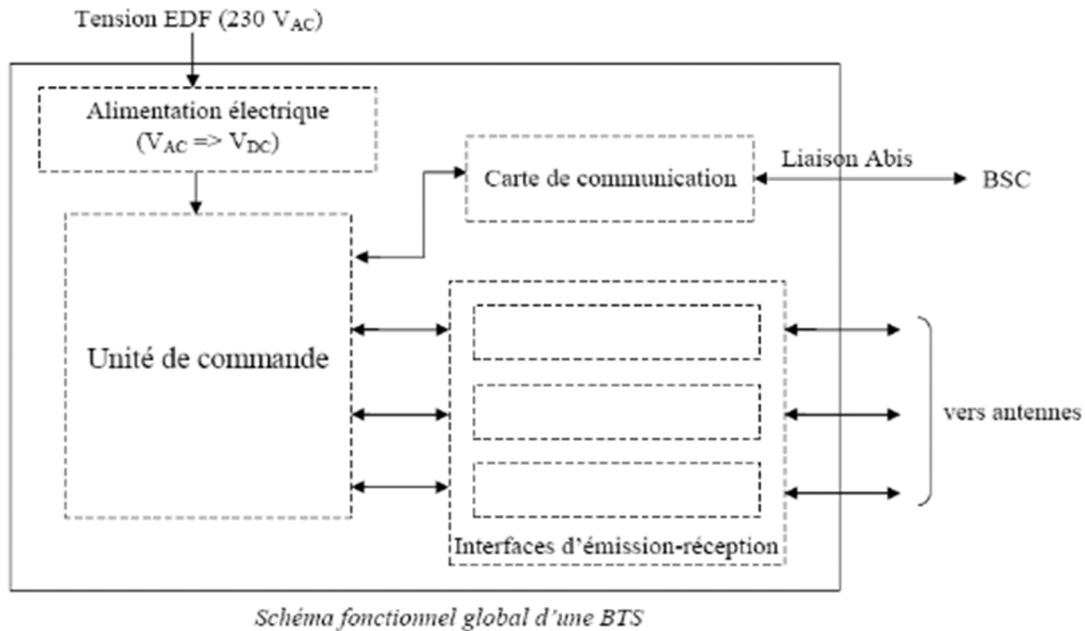
- intégration dans les faux plafonds des antennes pour micro cellules ;
- fausses cheminées ;
- peinture des antennes de la même couleur que le support ;
- fixation des antennes dans un espace très réduit (quelques centimètres de large) ;
- création d'une fausse couverture (semblant de mur de pierre en résine...) ;
- faux arbre-antenne métalliques ;

Après cet effort, les antennes ne peuvent plus se distinguer, sauf à être un fin connaisseur des relais GSM, et même, cela reste difficile.

### **C) Base Transceiver Station :**

La BTS est le premier élément électronique actif du réseau GSM, vu par le mobile. C'est l'élément intermédiaire entre le BSC qui reçoit des informations, donne des ordres et le mobile qui les exécute.

La figure Fig.4.14 est un synoptique d'une BTS.



**Fig VI.4.14** : synoptique d'une BTS.

Ce schéma synoptique est très simplifié, afin de présenter de manière très claire les éléments essentiels d'une BTS.

### - **Éléments d'une BTS**

Une BTS est composée d'un équipement de transmission (grande armoire métallique) modulaire avec des emplacements disponibles pour enficher des cartes électroniques.

#### ✓ **Équipement de transmission :**

L'équipement de transmission est une grande armoire métallique, parfaitement blindée électriquement, hermétique, climatisée l'été et chauffée en hiver pour conserver une température de fonctionnement constante. Elle est modulaire, elle contient des emplacements pour des cartes électroniques qui sont ajoutées suivant les besoins du site. C'est aussi une unité de commande qui est la partie essentielle de la BTS, elle gère tout son fonctionnement. Elle génère les fréquences de référence, crée les différentes porteuses, assure la modulation et démodulation des signaux, commande les amplificateurs de puissance, fournit les signaux aux TRX, et ceci sur tous les secteurs. Elle est généralement pour les sites MTN appelé RBS (Radio Base Station et est en deux exemple : RBS 900 et RBS 1800) et ces RBS dépendent de la technologie. Celle que nous avons utilisée durant notre stage, est la RBS 2000.

### ✓ Equipement d'énergie:

L'alimentation de l'unité de transmission se fait avec la tension du réseau AES SONEL 230V alternatif. Ensuite, le transformateur convertit cette tension en une tension continue pour l'alimentation de tous les éléments de la BTS, qui peut consommer jusqu'à une trentaine d'ampères en fonctionnement à plein régime. Des batteries sont associées à cette alimentation, pour permettre un fonctionnement de plusieurs heures en cas de coupure de courant. Ces batteries sont appelées BBS (Battery Back-up System) qui comporte 8 batteries, des fusibles qui dirige et fournit l'énergie nécessaire pour alimenter les équipements de transmissions ce qui laisse une sensibilité plus longue de temps de secours pour le fonctionnement de la RBS.

Elle est aussi équipée des alarmes, des unités de climatisations et des convertisseurs et régulateur de tension.

### ✓ Protection

La protection est nécessaire pour les équipements et elle est de deux sortes : le para tonnerre et le para foudre qui sont installés et la mise à la terre pour permettre au équipement de bénéficier d'une certaine sécurité.

### D) Mini Link ou carte de communication :

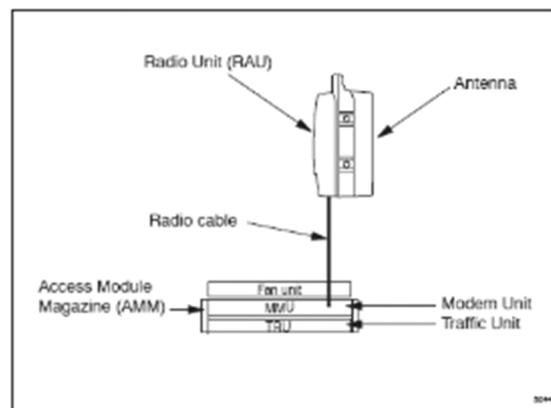


Fig V.4.15 : Un Mini Link.

Un MINI LINK qui permet d'assurer la liaison entre la BTS et la BSC. Elle est constituée de trois modules qui sont répartis suivant deux types d'unité : Les unité Indoor et OutDoor :

**Le module Indoor** (AMM : Access Magazine Module, MMU : Modem Module Unit) : qui permet de connecter le trafic principal de 155 Mbit/s et la transmet. Elle permet d'effectuer la commutation, la démodulation et la modulation des données utilisée pour protégé et configuré les terminaux. Elle est possède une unité de ventilateur qui est toujours adaptée pour garantir suffisamment le refroidissement.



**Exemple d'un IDU.**

**Le module Outdoor** (RAU : Radio Access Unit et l'antenne) : permet de produire et recevoir l'onde radio fréquence et le converti en un format de signal qui va circuler dans le câble par radio, qui relie les deux modules. Antennes du Mini Link est différente de celle de la BTS. C'est à travers cette antenne que les signaux traités par la RBS sont envoyés à La BSC. Elle à la forme d'un tambour et est installé au niveau d'une des antennes suivant la direction où est situé la BSC. C'est le Mini Link qui assure la liaison entre la BTS et la BSC.

### **V.5) Configuration d'une BTS :**

Après avoir effectuer le génie civile, et installer de manière physique le pilonne et les différentes antennes, on passe à la configuration d'une BTS qui est la configuration du Mini Link et celui de la RBS. La configuration permet d'établir la liaison c'est-à-dire en paramétrant les différents unités de manière à ce qu'il puisse ce communiquer entre eux.

#### **a) Configuration de la RBS**

La configuration est effectuée à partir d'un logiciel appelé OMT (Operating and Maintenance Terminal).

### - Installation de l'OMT

La borne d'opération et d'entretien est utilisée pour l'installation, emplacement Acceptation, entretien et diagnostic du système 2000 de RBS. Il se compose des outils utilisés pour le traitement, l'opération et l'entretien des données d'installation, essai et surveillance. D'autres dispositifs importants sont :

- Une interface utilisateur graphique facile à utiliser
- Opération orientée objectivement
- Possibilité pour stocker des valeurs de moniteur
- Aide en ligne

Dans OMT la fenêtre principale est une fenêtre de vue, dans ce cas-ci la vue d'ensemble de système. Toute l'information est montrée dans une fenêtre séparée. Plusieurs fenêtres peuvent être ouvertes à tout moment. Dans cet exemple seulement un, contenir des informations sur l'IDB, est montré.

### - Etat du système

**Initialisation** : L'OMT est dans l'état d'Init quand il est commencé. Dans cet état, l'OMT n'est pas relié à le RBS et n'opère aucun IDB. La seule vue disponible dans cet état est vue d'ensemble De Système

**IDB Local** : Dans cet état, l'OMT n'est pas relié au RBS, mais fonctionne sur une copie locale de IDB dans les vues d'OMT. All excepté la vue de MOIS sont disponibles dans cet état.

**Relié (Aucun IDB)** : Ici l'OMT est relié au RBS mais n'a aucun accès à n'importe quelle copie d'IDB. Le seul la vue disponible dans cet état est la vue d'ensemble de système. L'état (aucun IDB) relié si être vu comme état transitoire, parce que cet état n'offre aucune nouvelle opération ou les fonctions ont comparé à l'IDB local ou ont relié l'état.

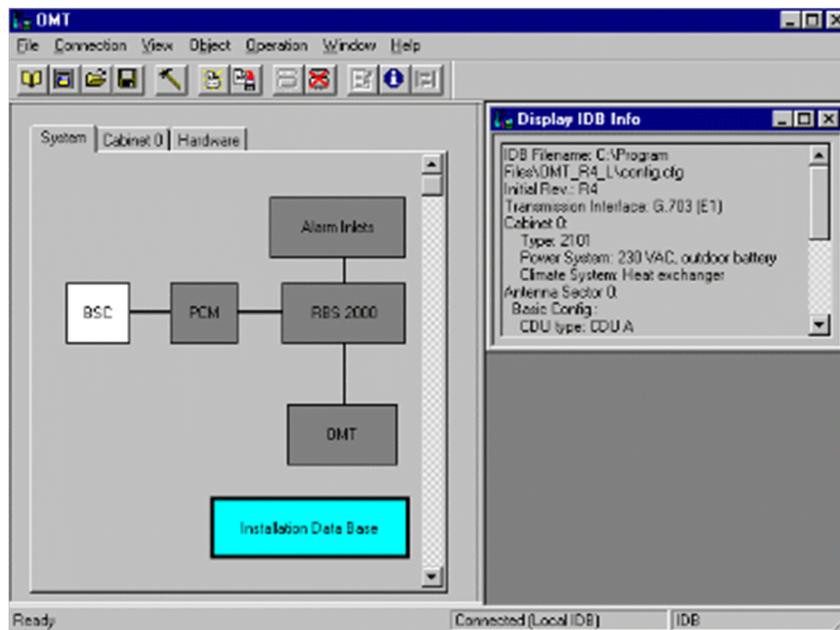
**Relié (IDB Local)** : Maintenant l'OMT est relié au RBS et actionne dessus une copie locale d'IDB. Toutes les vues excepté la vue de la position d'où on devrait être sont disponibles. L'état local relié d'IDB devrait, comme l'états (aucun IDB) relié, soit vu comme état transitoire.

**Relié** : Dans cet état, l'OMT est relié au RBS et opère un IDB copié à ou de le RBS. L'IDB a été lu du RBS à l'OMT, ou la copie locale d'IDB a installé sur le RBS. L'IDB dans l'OMT n'est pas automatiquement mis à jour quand IDB dans le RBS est changé.

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---

Voici comment se présente l'interface d'une OMT :



Il y a une barre de menu au dessus de la fenêtre principale. Ces opérations peuvent être exécutées en cliquant sur une icône sur la barre de menu selon le choix de l'opération dans le menu.

### - Les Différents Menus Principaux :

**File** : le menu de dossier contient des commandes IDB-connexes, par exemple ; Lire IDB et installer IDB. Ces commandes peuvent également être trouvées sous l'opération menu quand l'objet d'IDB est choisi. Sous le menu de dossier est également

Sortir la commande, qui clôture l'application d'OMT.

**Connection** : le menu de raccordement contient les commandes qui manipulent le raccordement entre l'OMT et le RBS. Ces commandes peuvent également être trouvées sous le menu d'opération quand l'objet d'OMT est choisi.

**Views** : les marques de menu de view il possible de choisir différentes vues : Système vue d'ensemble, vue de Cabinet, vue de matériel et vue de MOIS.

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---

**Object** : les différents objets pour la vue choisie peut être trouvé sous l'objet menu. Par exemple, RUs passif, admissions d'alarme et SOS.

**Opération** : le menu d'opération contient les différentes opérations qui sont disponibles pour l'objet choisi.

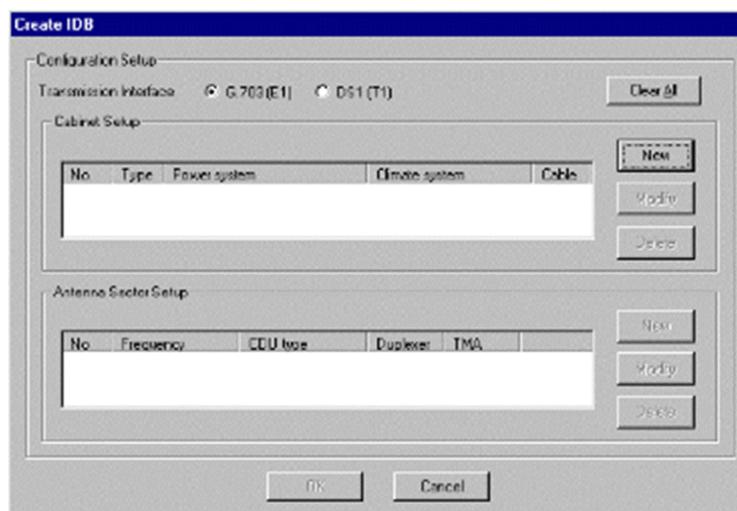
**Windows** : des commandes qui sont employées pour arranger des fenêtres et des icônes qui sont trouvées en dessous de la fenêtre menu.

**Help** : les offres de menu d'aide commande que des pages d'aide d'affichage pour les deux applications d'OMT et l'outil d'aide.

### b) La configuration

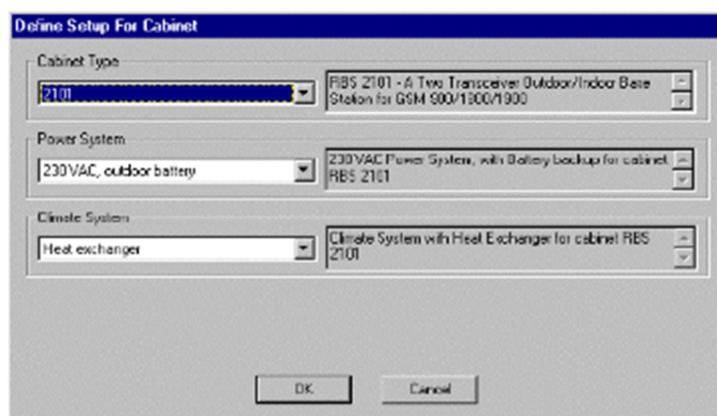
Cette configuration se fait de la manière qui suit :

- Installation des IDBs (Installation Data Base) selon la vue d'ensemble du système permet d'exécuter la commande de l'installation IDB que l'OMT actionne dans la RBS. L'IDB dans le RBS est remplacé par l'IDB que l'OMT opère. DXU doit être en mode local à pouvoir accepter un nouvel IDB. Le DXU peut être placé dedans mode local avec le bouton local de mode sur le panneau plan du DXU dans le RBS ou près d'exécution de l'opération à distance qui nécessite plusieurs paramétrages. Tel que :
  - ✓ La création du tableau du dialogue des IDBs cette opération nous permet de savoir l'interface de transmission à utiliser, d'installer ou effectuer le paramétrage des cabinets et des antennes du secteur.

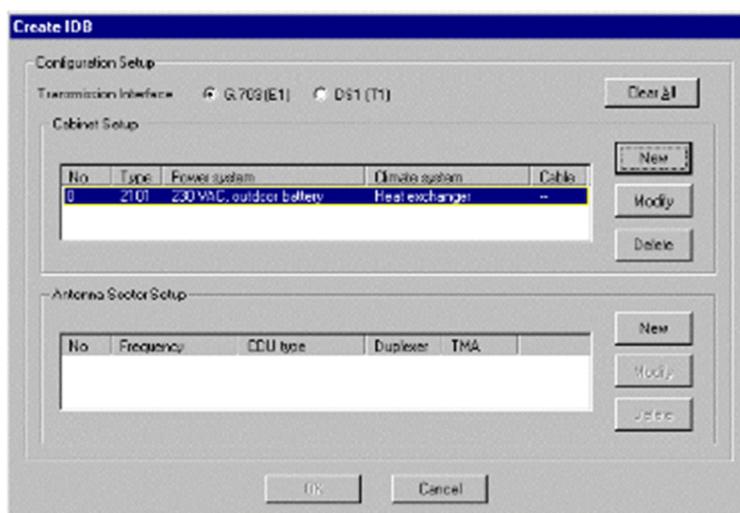


### Schéma création IDB

Etant donné que nous sommes dans le système européen, c'est le E1 qui est notre interface de transmission ; les arrangements de Cabinet sont montrés dans la boîte de liste d'installation de Cabinet. Il faut en Créer un autre Cabinet régler suivant le choix du nouveau. Changer les arrangements de Cabinet par le choix de modifier ou supprimer un cabinet existant. Comme le dialogue de Cabinet :



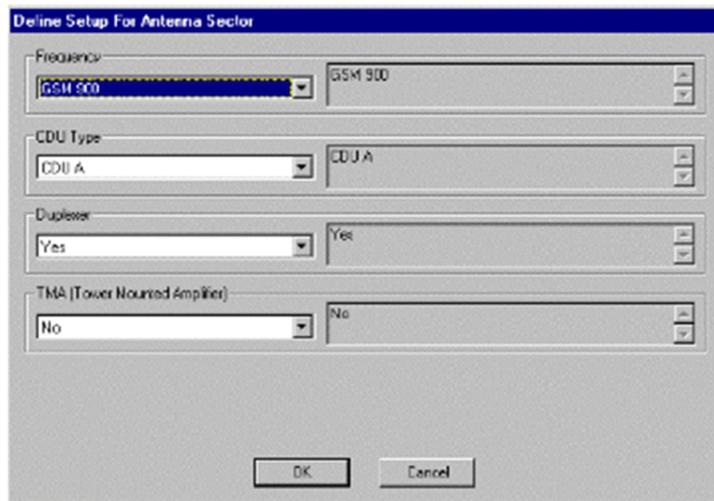
Cela nous montre le type de RBS à utiliser, le système de climatisation et le système d'alimentation. Lorsque cela est fait le tableau si après de vient :



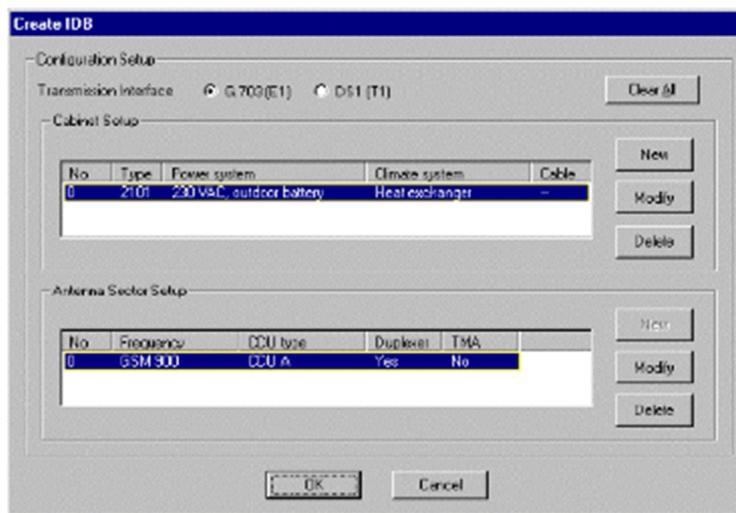
## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---

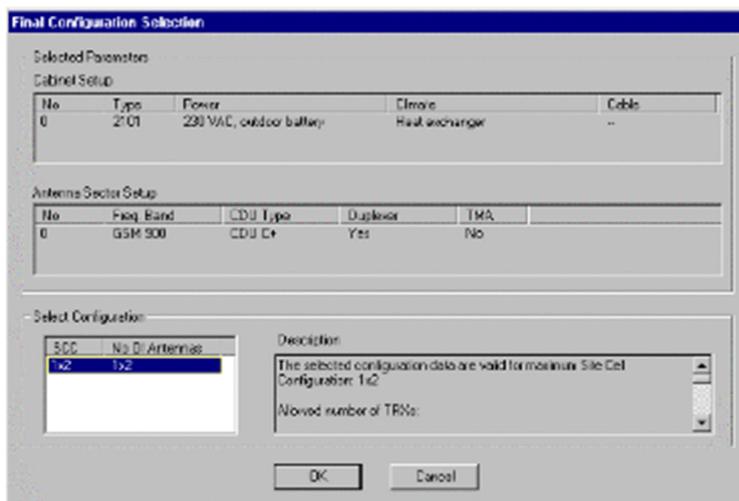
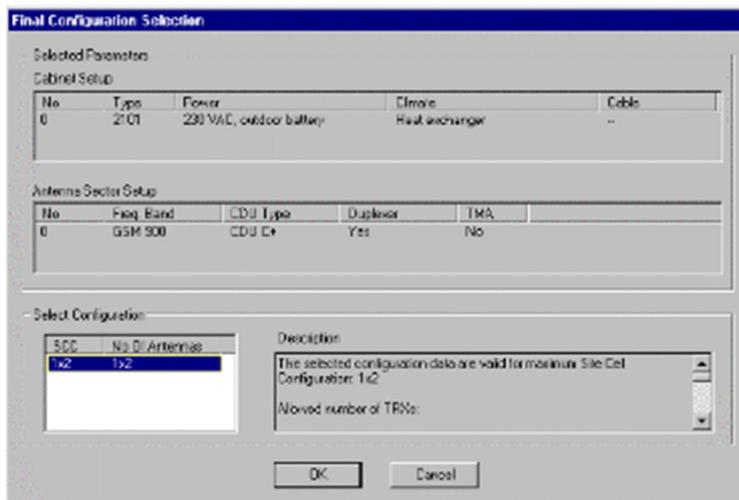
Ensuite Les arrangements du programme d'antenne sont montrés dans la boîte de liste. Créer un nouveau programme d'antenne. Changer l'installation du programme d'antenne par le choix modifier ou Supprimer. Comme le montre le tableau qui suit :



Ce qui nous permet de choisir la fréquence, le type de CDU, le TMA et notre tableau de OMT devient alors



Ensuite, on choisit le type de configuration physique (type de branchement) Un dialogue final de choix de configuration apparaît :



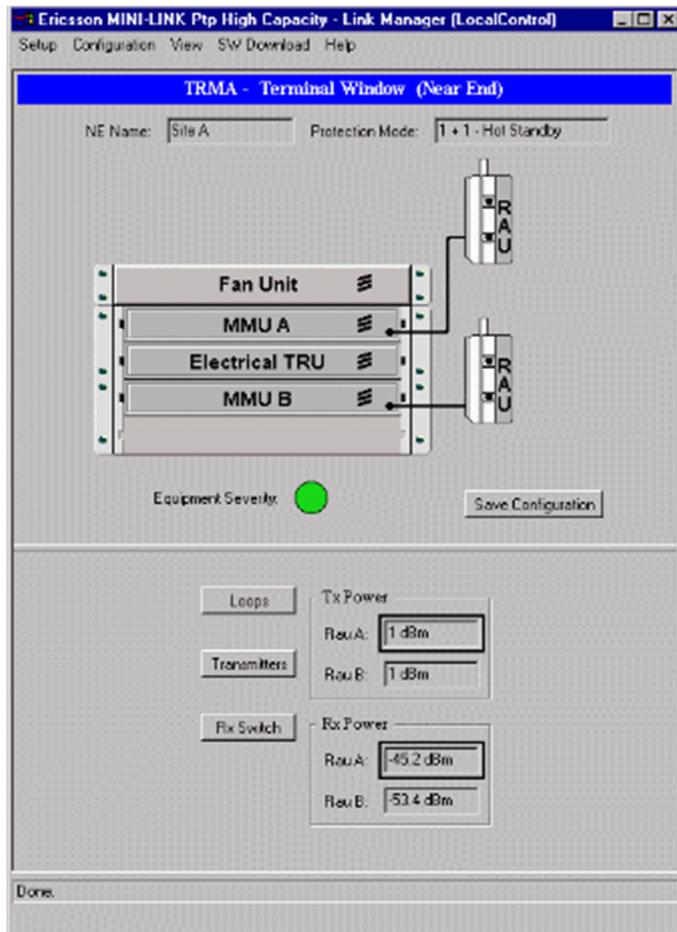
Et c'est ainsi qu'est effectuée la configuration de la RBS.

### C) Configuration du Mini Link E :

Cette configuration est faite à l'aide d'un logiciel appelé MSM (Mini Link Services Management) qui est installé dans un Laptop et qui est branché au niveau de la MMS. Tout d'abord on observe cette interface au niveau du MSM :

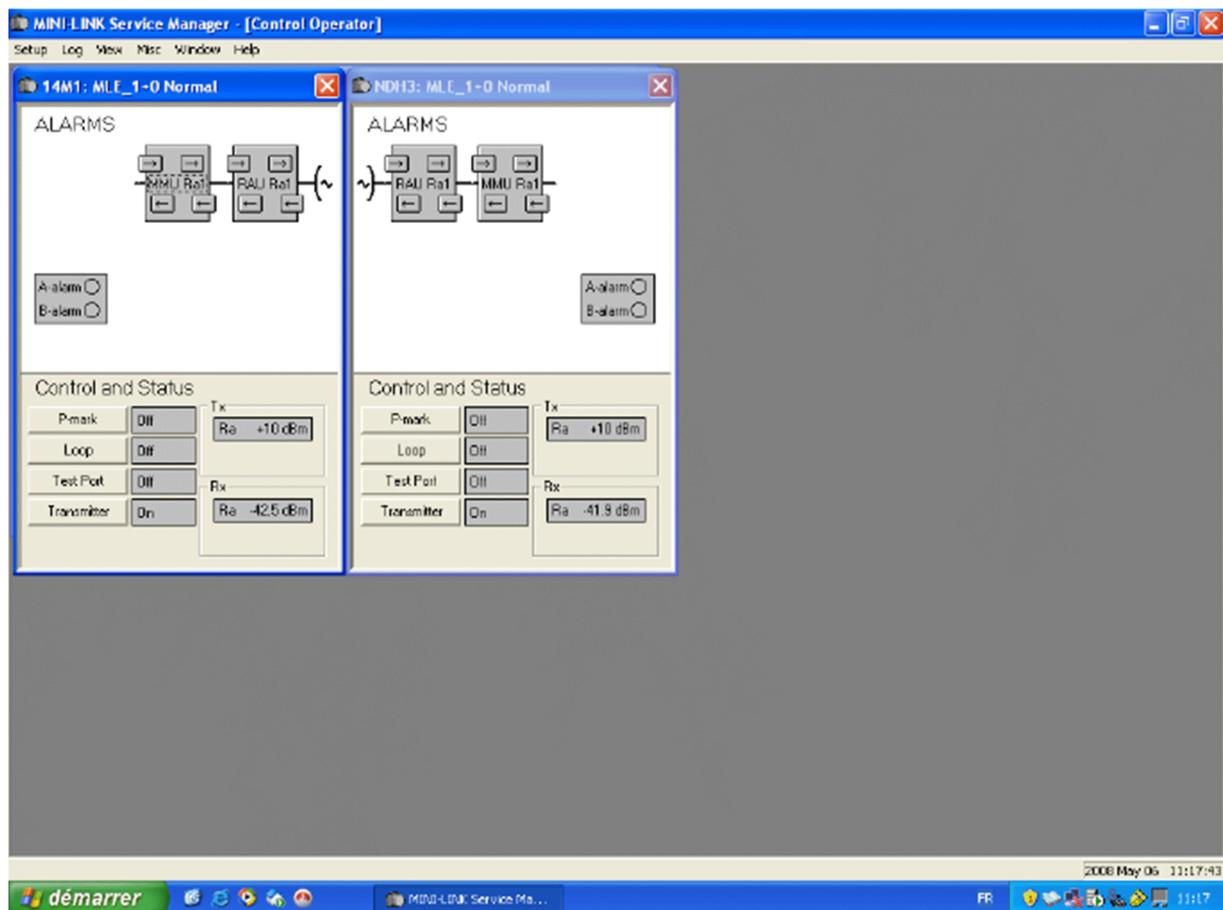
## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.

---



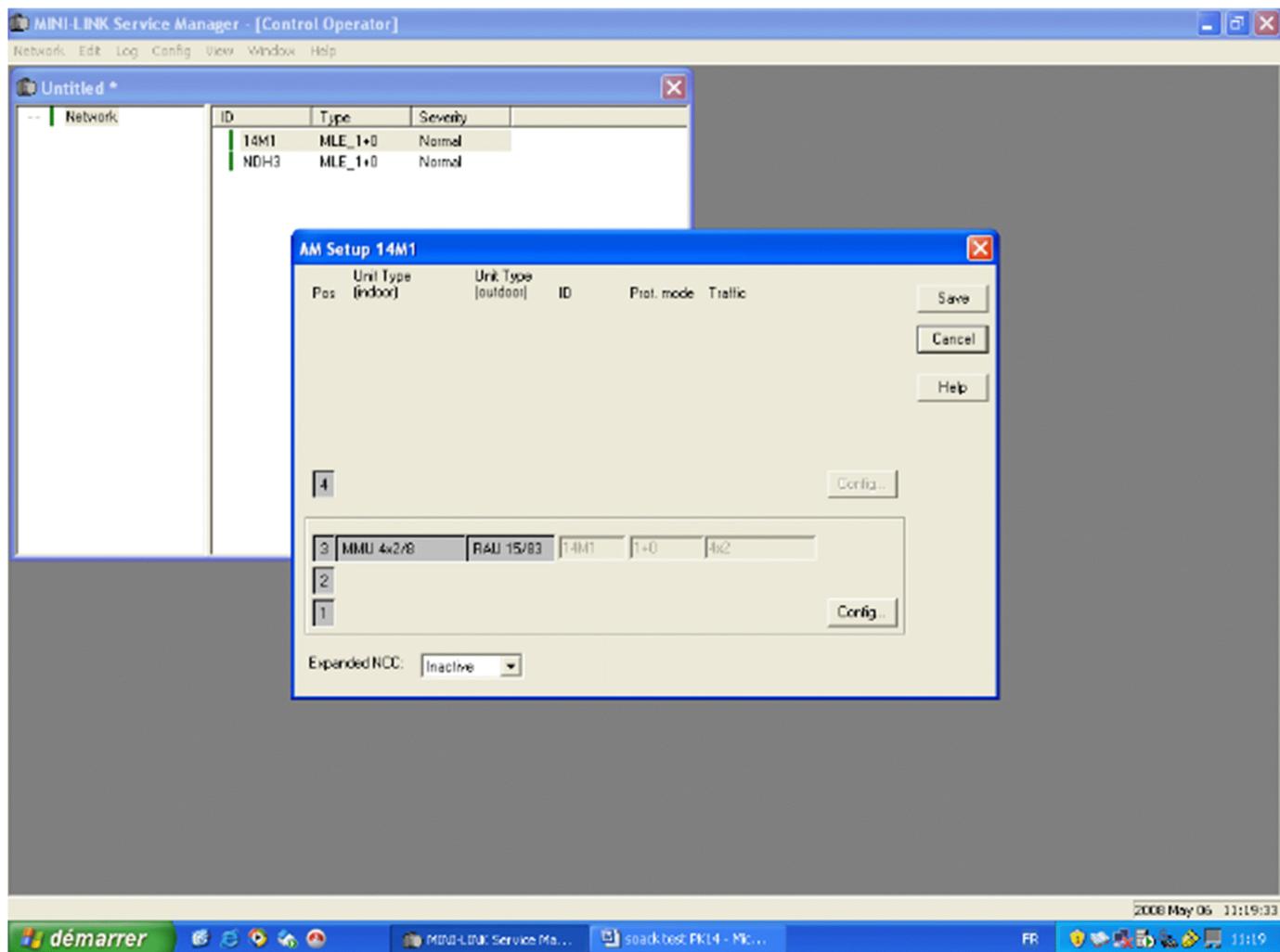
On positionne la fréquence et la puissance pour pouvoir visionner la BTS et BSC comme l'indique le schéma qui suit :

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.



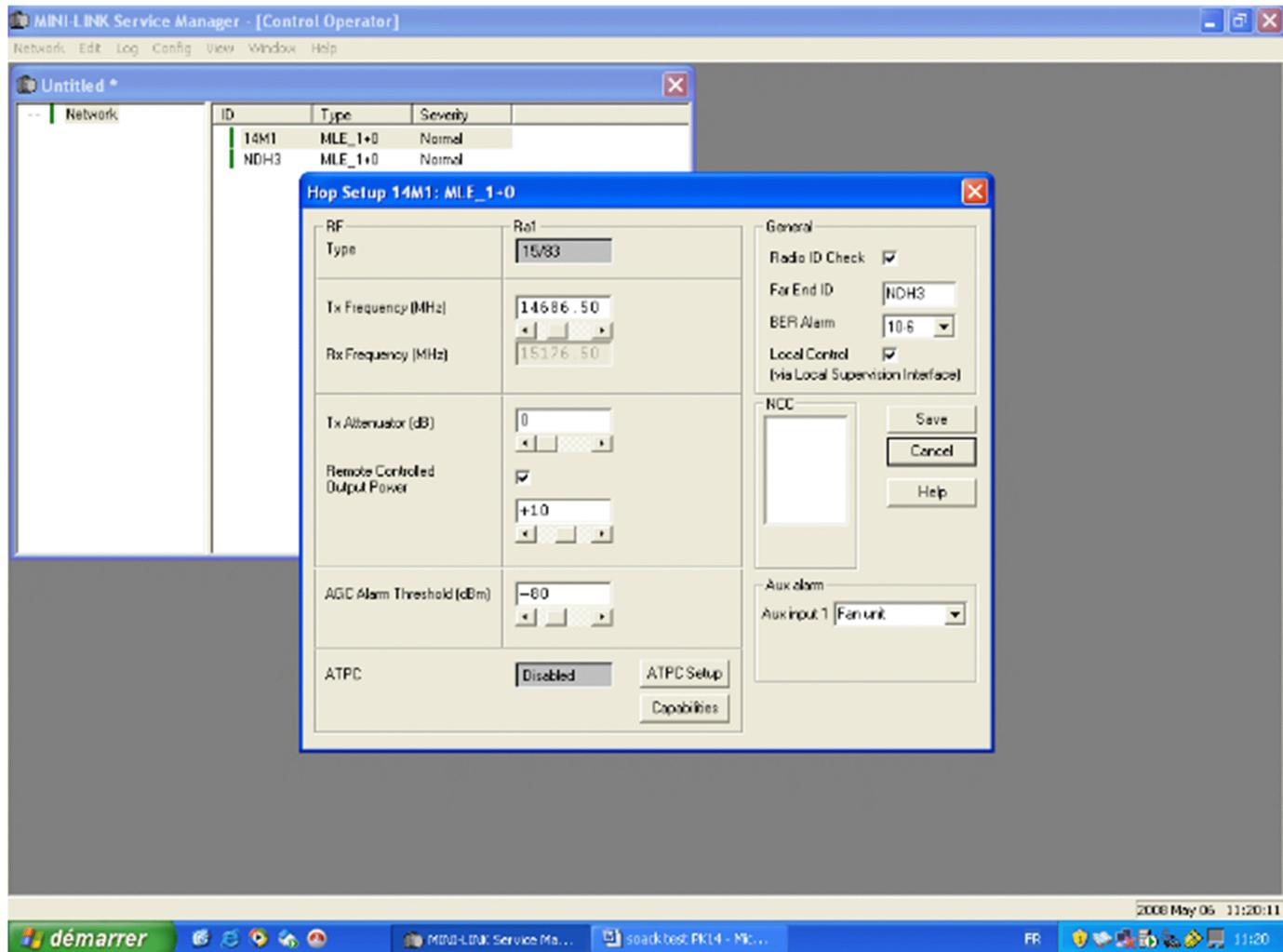
On installe AM setup (Access Module) permet a la MMU de reconnaître sa position par rapport a l'AMM, le débit de RAU et d'identifier au la station lointaine (BSC) et la station BTS.

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.



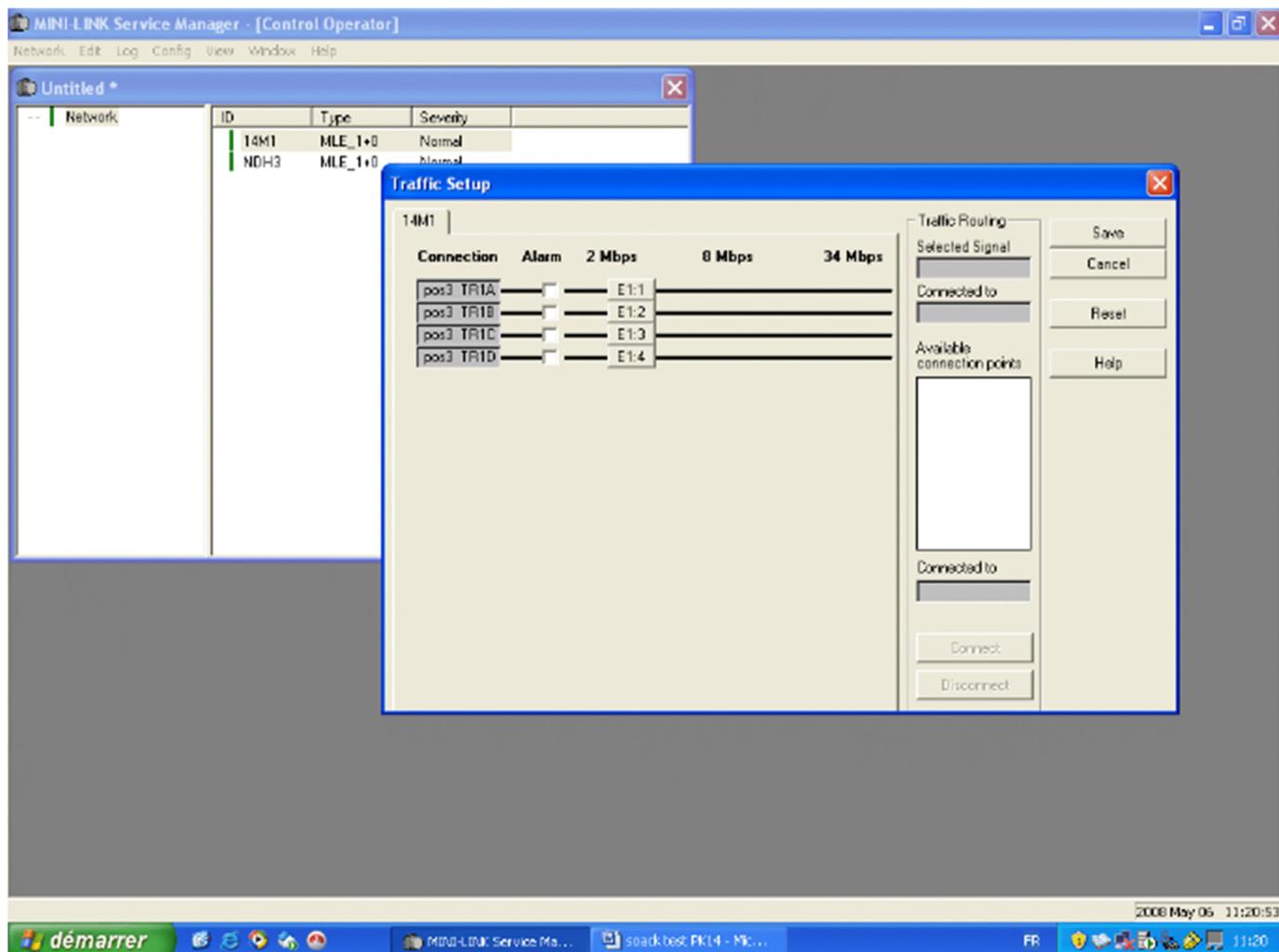
On introduit HOP setup (Le saut) présente la fréquence d'émission et de réception on à un tableau tel que :

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.



On installe traffic setup : elle permet la configuration des E1

## Chapitre V : installation et maintenance d'une BTS.



Traffic performance ou Soak Test qui permet après avoir obtenu le bilan e liaison requis et demandé, de faire un reset c'est-à-dire une réinitialisation du système et vingt quatre heures après, si le bilan de liaison est le même, la transmission est bonne et si c'est pas le cas, on la refait.

Et on peut aussi à partir de la BTS s'introduire dans la BSC vérifier et configurer aussi le Mini Link.

### V.6) Maintenance d'une BTS :

La maintenance est le faite d'entretenir la BTS après son installation. Elle est généralement fait par le service de maintenance de l'opérateur et ce gère à distance. Elle existe sous deux formes :

### **Maintenance préventive :**

- Vérification de l'état des LED sur les différentes cartes
  - Vérification de la bonne connexion des jarretières
  - Vérification de la connectique entre les éléments
  - Vérification de l'état de fonctionnement de la RBS et la BBS
- acceptation des commandes
- rapatriements des alarmes externes

### **Maintenance curative :**

- Changement d'équipement défectueux
- Reset de la BTS
- Ajout / Retrait d'équipements

### **CONCLUSION :**

Dans ce chapitre on a vu l'installation et la configuration d'une BTS. Au cours de cette étude on a vu les étapes de mise en œuvre de l'installation d'une BTS, on a pris connaissance avec les différents types de BTS ainsi que leur caractéristiques, on a également vu ce qu'est un câble coaxial. Ensuite on a vu un synoptique d'une BTS et un mini link, vers la suite on a fait la configuration d'une BTS et la configuration d'un MINI LINK E. enfin on a parlé de la maintenance et les types de maintenance et surveillance d'une BTS.

Le chapitre suivant concernera la maintenance et la supervision des équipements ou des BTS, c'est le développement d'une application de supervision des équipements du réseau.

## Chapitre VI : Réalisation d'un superviseur et d'une banque de données

---

### Introduction :

Les systèmes de gestion de réseau sont basés sur trois éléments principaux, un superviseur, des nœuds (ou nodes) et des agents. Dans la terminologie SNMP, le synonyme *manager* est plus souvent employé que superviseur. Le superviseur est la console qui permet à l'administrateur réseau d'exécuter des requêtes de management. Les agents sont des entités qui se trouvent au niveau de chaque interface, connectant au réseau l'équipement géré (nœud) et permettant de récupérer des informations sur différents objets.

Ces objets sont classés dans une sorte de base de données arborescente définie par l'[ISO](#)<sup>1</sup> appelée [MIB](#) (« *Management Information Base* »). SNMP permet le dialogue entre le superviseur et les agents afin de recueillir les objets souhaités dans la MIB.

# Chapitre VI : Réalisation d'un superviseur et d'une banque de données

---

## VI.1) Simple Network Management Protocol :

**Simple Network Management Protocol** (abrégé **SNMP**), en français « protocole simple de gestion de réseau », est un protocole de communication qui permet aux administrateurs réseau de gérer les équipements du réseau, de superviser et de diagnostiquer des problèmes réseaux et matériels à distance.

Concrètement, dans le cadre d'un réseau, SNMP est utilisé :

- pour administrer les équipements
- pour surveiller le comportement des équipements

Une requête SNMP est un datagramme UDP habituellement envoyée par le serveur à destination du port 161 du client. Les schémas de sécurité dépendent des versions de SNMP (v1, v2 ou v3). Dans les versions 1 et 2, une requête SNMP contient un nom appelé communauté, utilisé comme un mot de passe. Sur de nombreux équipements, la valeur par défaut de communauté est public ou private. Les versions 1 et 2 du protocole SNMP comportent de nombreuses lacunes de sécurité. C'est pourquoi les bonnes pratiques recommandent de n'utiliser que la version 3. Pour les tâches d'administration de serveurs sensibles via SNMP (reboot, etc), la version 3 montre tout de même certaines limites en sécurité (chiffrement plutôt faible).

Le protocole SNMP définit aussi un concept de trappe<sup>2</sup> (ou trap). Une fois défini, si un certain événement se produit, comme par exemple le dépassement d'un seuil, l'agent envoie un paquet UDP à un serveur. Ce processus d'alerte est utilisé dans les cas où il est possible de définir simplement un seuil d'alerte. Les traps SNMP sont envoyés en UDP sur le port 162.

Pour récupérer les alertes SNMP, le manager doit écouter sur le port UDP 162.

Nous présenterons ci-dessous les programmes SNMP en java pour envoyer et recevoir des udps SNMP.

La classe qui reçoit des traps est `TrapReceiver` :

Lors de l'envoi de trap le receiver le récupère et l'affiche comme c'est illustré ci-dessous :

```
Listening on 127.0.0.1/162
Received PDU...
```

# Chapitre VI : Réalisation d'un superviseur et d'une banque de données

---

```
Trap Type = -89
Variables = [1.3.6.1.2.1.1.3.0 = Mon Sep 30 01:17:36 CEST 2013,
1.3.6.1.6.3.1.1.4.1.0 = 1.3.6.1.2.1.1.8, 1.3.6.1.6.3.18.1.3.0 = 127.0.0.1,
1.3.6.1.2.1.1.8 = Major]
```

Les informations sont sauvegardées dans une base de données.

## VI.2) Sauvegarde et affichage des données :

### VI.2.1) Traitement des données :

L'application est une application client/serveur pour la supervision de l'état de l'équipement. Elle permet :

- Collecte des données de l'équipement via le receiver de trap ;
- Mise à jour des données dans la base de données en temps réel lors de réception de trap ;
- Supervision (Affichage des données de l'équipement) et décision.

### VI.2.2) Base de données:

Une base de données, usuellement abrégée en BD ou BDD, est un ensemble structuré et organisé permettant le stockage de données afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données).

Une base de données se traduit physiquement par un ensemble de fichiers sur disque.

La gestion de la base de données se fait grâce à un système appelé SGBD (système de gestion de bases de données).

Pour le stockage de nos données nous avons utilisé le SGBD PostgreSQL. La manipulation des données se fait avec le langage SQL en exécutant des requêtes.

Pour l'accès aux données, java offre le paquetage JDBC (Java Data Base Connectivity). C'est un ensemble de classes et d'interfaces permettant à une application écrite en java d'interroger facilement une base de données. Le principal avantage que nous offre JDBC est de permettre de s'affranchir totalement du moteur de la base de données utilisé. Ainsi le code produit permet d'accéder indifféremment à diverses SGBDs (POSTGRESQL, ORACLE, ACCESS...). JDBC est le middleware utilisé pour l'interfaçage du serveur de données avec le SGBD.

Le code permettant de se connecter à notre serveur de base de données est le suivant :

### VI.2. 3) Implémentation de la base de données :

La première étape à entreprendre dans la réalisation d'une application client/serveur est la création d'une base de données. Notre base de données est créée avec le langage SQL. Elle contient les tables suivantes :

# Chapitre VI : Réalisation d'un superviseur et d'une banque de données

---

- **Utilisateur** : cette table comporte les données des utilisateurs qui ont le droit d'accéder à l'application. Un utilisateur est identifié par un pseudo et un mot de passe.
- **Transmission** : cette table comporte les données de transmissions des équipements. Cette table a été implémenté à partir d'un fichier excel fournit par mobilis, en utilisant la fonction d'import de fichier excel vers une table que propose le système de gestion de base de données PostgreSQL. Cette table sera mise à jours lors de réception de trap.

## VI.2. 4) Implémentation de l'application :

L'application est une application orientée Web développée en java/J2EE (Java 2 Enterprise Edition).

J2EE est une plate-forme de développement basé sur java permettant de développer des applications Web composées de Servlet et JSP et des applications Métiers.

L'architecture d'une application J2EE se découpe idéalement en au moins trois tiers :

- la partie cliente : c'est la partie qui permet le dialogue avec l'utilisateur. C'est l'interface utilisateur.
- la partie métier : c'est la partie qui encapsule les traitements
- la partie données : c'est la partie qui stocke les données

L'application est déployée dans un conteneur Web Apache Tomcat.

Apache Tomcat est Serveur d'application Java permettant d'exécuter des servlets et des pages serveur Java (JSP). Il peut être utilisé ou couplé avec un serveur Web (dont Apache), et porté sur n'importe quel système sur lequel une machine virtuelle Java est installée.

Le déploiement de l'application requiert :

- installation du JDK 1.7
- installation de Apache Tomcat
- Installation du système de gestion de base de données PostgreSQL.
- Déployer le .war de l'application dans le Webapps de tomcat.

L'application est une application multi niveau, de ce fait il est possible d'avoir la base de données dans un serveur, le serveur d'application dans un autre serveur et les clients sur des postes qui se connecte via le browser internet.

Pour démarrer l'application :

- Démarrer le serveur de base de données ;
- Démarrer apache tomcat ;
- Aller dans le browser et taper l'url « <http://localhost:8080/WebMobilis> »

Après authentification de l'utilisateur les informations sauvegardées dans la base de données sont affichées dans l'application de supervision, comme vous pouvez le voir sur la capture d'écran :

# Chapitre VI : Réalisation d'un superviseur et d'une banque de données

312 éléments trouvés, affichage de 1 à 15.

Nom	Active	Site1	Site2	Polarisation	Fréquence 1	Fréquence 2	Channel	Configuration	Systeme Radio	Refractivity
WLL_AZZFOUN-15607	Yes	URAD-WLL_AZZFOUN	15607 A	V	22373.750	23381.750	D1	< Default (1+0) >	ATM/23/4x2/HP/1+0	-250.0
Untitled.99	No	15641F	15205B	V	1.3.6.1.2.1.1.8	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.98	No	15653A	15225A	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.97	No	15636D	15223A	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.96	No	15681A	15030 high	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.95	No	15602D	15631E	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.94	No	35040_35105 OURIACHA hight	15030 high	V	-	-	-	< Default (1+0) >	NEO/HG/15/1+1/1.2m	-250.0
Untitled.93	No	15664E	15209A low	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.92	No	15664E	15232C	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.91	No	15234B hight.2	15604E	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.90	No	15651A	06031hight	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.9	No	15676	15246A BSC	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.89	No	15660B	15232C	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.88	No	-	15633B	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.87	No	10030_C10026 low	15651A	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0

Lors de la réception de trap , les information reçues sont affichées et la données est modifiée dans la base de données , ce qu'on constate sur cet écran :

312 éléments trouvés, affichage de 1 à 15.

Nom	Active	Site1	Site2	Polarisation	Fréquence 1	Fréquence 2	Channel	Configuration	Systeme Radio	Refractivity
WLL_AZZFOUN-15607	Yes	URAD-WLL_AZZFOUN	15607 A	V	22373.750	23381.750	D1	< Default (1+0) >	ATM/23/4x2/HP/1+0	-250.0
Untitled.99	No	15641F	15205B	V	1897867	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.98	No	15653A	15225A	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.97	No	15636D	15223A	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.96	No	15681A	15030 high	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.95	No	15602D	15631E	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.94	No	35040_35105 OURIACHA hight	15030 high	V	-	-	-	< Default (1+0) >	NEO/HG/15/1+1/1.2m	-250.0
Untitled.93	No	15664E	15209A low	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.92	No	15664E	15232C	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.91	No	15234B hight.2	15604E	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.90	No	15651A	06031hight	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.9	No	15676	15246A BSC	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.89	No	15660B	15232C	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.88	No	-	15633B	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0
Untitled.87	No	10030_C10026 low	15651A	V	-	-	-	< Default (1+0) >	Untitled	-250.0

Received PDU...  
 Trap Type = 89  
 Variables = [1.3.6.1.2.1.1.3.0 = Mon Sep 30 17:13:19 CEST 2013, 1.3.6.1.6.3.1.1.4.1.0 = 1.3.6.1.2.1.1.8, 1.3.6.1.6.3.18.1.3.0 = 127.0.0.1, 1.3.6.1.2.1.1.8 = Major]

## Chapitre VI : Réalisation d'un superviseur et d'une banque de données

---

### **CONCLUSION :**

Nous avons présenté à travers ce chapitre, les étapes de réalisation de notre application de Supervision de l'état des équipements du réseau (les liaisons hertziennes) et la création d'une banque de données pour ces états. Nous sommes parvenus à créer et remplir une base de données des informations des équipements, implémenter un receiver de trap sur le serveur qui a pour rôle d'écouter les événements envoyés par les agents des équipements, un module d'affichage des états des équipements et mise à jours en temps réel de ces derniers lors de la réception de trap .

# GLOSSAIRE

---

[A]

**ADM** add-drop multiplexing

**APS** Automatic Protection Switching ARFCN Absolute Radio Frequency Channel AuC  
Authentication Center

**ARFCN** Absolute Radio Frequency Channel

**Au** Administrative Unit AUC Authentication Center AUG  
Administrative Unit Groupe AWGN Add White Gaussian Noise [B]

**BBS** Battery Back-up System

**BER** Bit Error Rate

**BG** Bloc Gateway

**BPSK** Binary Phase Shift Keying BSC Base Station Controller BSS Base Station  
System

**BSSMAP** Base Station System Mobile Application Part

**BT** Bande Temps

**BTS** Base Transceiver Station

[C]

**C** Conteneur

# GLOSSAIRE

---

**CC** Call Control

**CDMA** Code Division Multiple Access

**CCU** Channel Code Unit

**CFU** Call Forwarding Unconditional

**CLIP** Calling Line Identification Présentation **CLIR** Calling Line Identification Restriction **CN** Core Network

**CON** Converter

**CTR** Control

**CW** Continuous Waves

**DEM** Demodulator

**DIV** Divergence

**DL** DownLink(liaison descendante)

**DNU** Do Not Use

# GLOSSAIRE

---

**DS-CDMA**      **Direct-Sequence CDMA**

**DTAP**    **Direct Transfert Application Part**

**DXC**      **Digital Cross-Connect**

**EDGE**    **Enhanced Data For Global Evolution**

**EIR**              **Equipment Identity Register FDD**      **Frequency Division Duplex FDD**  
**Frequency Division Duplex**

**FDMA**    **Frequency Division Multiple Access**

**FFM**      **Flat fade Marged**

**FH-CDMA**      **Frequency Hopping CDMA**

**FHN**      **Faisceau Hertzien Numurique**

**2G**        **2éme Génération**

**2.5 G**    **Génération2, 5**

**3G**        **3émeGénération**

**GGSN**    **Gateway GPRS Support Node**

**GPRS**    **Global Packet Radio Service**

**G GMSK**      **Gaussien Minimum Shift Keying**

# GLOSSAIRE

---

**MSC** Gateway Mobile Switching Center

**GPS** Global Position System

**GSM** Global System for Mobile Communication

**GRAD** Gradient

**HDB3** High-Density Bipolar 3

**HLR** Home Location Register

**HO** High Order

**HSDPA** High Speed Downlink Packet

**IDU** Indoor Unit

**IF** Fréquence Intermédiaire

**IMEI** International Mobile Equipment Identity

**IMSI** International Mobile Subscriber Identity

# GLOSSAIRE

---

<b>IMT-2000</b>	<b>International Mobile Telecommunication 2000</b>		
<b>IP</b>	<b>Internet Protocol</b>		
<b>ISDN</b>	<b>Integrated Service Digital Network</b>		
<b>ISI</b>	<b>Inter Symbol Interference</b>		
<b>IT</b>	<b>Interval de Temps</b>		
<b>ITU</b>	<b>International Telecommunication Union</b>		
<b>LOS</b>	<b>Line Of Sight LO</b>	<b>LowOrder pointer MAP</b>	<b>Mobile</b>
	<b>Application Part</b>		
<b>MIE</b>	<b>Multiplexeurs insertion/extraction</b>	<b>MIC</b>	<b>Modulation par Impulsion Codée MM</b>
	<b>Mobility Management</b>		
<b>MS</b>	<b>Station Mobil</b>		
<b>MSC</b>	<b>Mobile Switching Center</b>		
<b>MSOH</b>	<b>Multiplex Section Overhead</b>		
<b>MSP</b>	<b>Multiplex Section Protection</b>	<b>MTPC</b>	<b>Manuel Transmitter Power Control MTS</b>
	<b>Multiplexeur Terminal Simplifié</b>	<b>NCC</b>	<b>Network Sub-System</b>
<b>NE</b>	<b>Network Element</b>		
<b>NMC</b>	<b>Centre de Gestion de réseau</b>		

# GLOSSAIRE

---

**NMS** Management System  
**to Zero NSS** Network Sub-System  
**NLOS** Non Line Of Sight  
**ODU** Outdoor Unit  
**NRZ** Non Return

**OMC** Operations and Maintenance Centre

**OSI** Open System Interconnection

**OSS** Operation Sub-System

**OVSF** Orthogonal Variable Spreading Factor

**PCM** Pulse Code Modulation

**PCU** Packet Control Unit

**PDH** Plesiochronous Digital Hierarchy

**PDP** Packet Data Protocol

**PIN** PersonalIdentityNumber

**PIRE** Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente

**PLMN** Public Land Mobile Network1.

# GLOSSAIRE

---

**PCM** PASOLINK Cartes Management (PMC)

**PNN** Pseudo-Noise sequence

**PNMSj** Pasolink Network Management System java

**POH** Path OverHead

**PPS** Path Protection System

**PRC** Primary Reference Clok

**PTR** pointeur

**QAM** Quadrature Amplitude Modulation

**QPSK** Quadrature Phase Shift Keying RAKE Special Receiver type used in CDMA RAN  
Radio Access Network

**RF** Radio Frequency

**RL** Radio Link

**RLC** Radio Link Control

**RLCP** Radio Link Control Protocol

**RM** Resource Manager

# GLOSSAIRE

---

**RNC** Radio Network Controller

**RNIS** Réseau numérique à Intégration de Services

**RNSS** Radio Network Sub-System

**ROT** Rotationnel

**RR** Radio Ressource

**RTC** Réseau Téléphonique Commuté

**RSL** Niveau de signal reçu

**RSO** Regenerator Section Overhead

**SDH** Synchronous Digital Hierarchy

**S-DXC** Synchronous Digital Cross Connect

**SF** Spreading Factor

**SGSN** Serving GPRS Support Node

**SIM** Subscriber Identity Module

# GLOSSAIRE

---

**SIR**    **Signal to Interference Ratio**

**SMS**    **Short Message Service**

**SNCP**    **Sub-Network Connection Protection**

**SOH**    **Section Over Head**

**SS**    **Supplementary Services**

**SS7**    **Signal Sémaphore 7**

**SSU**    **Synchronisation Source Unit**    **STM**    **Synchronous Transport Module**    **TDD**    **Time Division Duplex**

**TDMA**    **Time Division Multiple Access**

**TD-CDMA**    **Time Division - Code Division Multiple Access**

**TH-CDMA**    **Time Hopping CDMA**

**TMN**    **Télécom Management Network**

**TRX**    **Transmit**

**TS**    **Time Slot**

# GLOSSAIRE

---

**TU** Tributary Unit

**TUG** Tributary Unit Group

**TRx** Transceiver - Émetteur-récepteur

**UE** User Equipment

**UI** Unit Interval

**UIT** Union Internationale des Télécommunications

**UL** Up Link

**UMT** Universal Mobile Telecommunications System

**UTRA** UMTS Terrestrial Radio Access Network

**VC** Conteneur Virtuel

**VCO** Voltage-Controlled Oscillator **VLR** Visitor Location Register **WCDMA** Wideband  
**CDMA**

**XPIC** Cross polarisation cancel interférence

# GLOSSAIRE

---

## **BACKBONE:**

Colonne vertébrale en Anglais, expression utilisée en transmission pour désigner un système de transmission composé d'émetteurs et de récepteurs disposés en configuration chaînée qui permet de transmettre le signal de bout en bout sur de grandes distances.

**dB** : rapport de puissance en décibel,

Pour la mesure des niveaux sonores, des puissances des matériels de radiodiffusion, et plus généralement de tous les systèmes qui présentent un gain (en courant, tension, puissance...)

**dBi** : gain par rapport à une antenne isotrope

Le dBi exprime en dB le gain d'une antenne par rapport à une antenne isotrope qui émet la même quantité d'énergie dans toutes les directions. Ce type d'antenne n'existe physiquement pas, ce n'est qu'une conception théorique, destinée à donner une référence en termes de gain.

**dBm**: unité de puissance par rapport à un milliwatt

Dans le cas des émetteurs de radiofréquence, on utilise le décibel pour donner le gain des différents éléments, mais on prend pour référence le milliwatt sur une impédance de 50  $\Omega$ , c'est-à-dire un millième de watt, l'unité n'est plus écrite dB, mais dBm, lu : « décibel par rapport à un milliwatt. ». De cette façon, 1 milliwatt devient la référence et vaut 0 dBm. S'il y a une amplification et si la puissance de sortie est plus importante que la puissance d'entrée, le gain est supérieur à 0 dBm. Si l'on reçoit à une distance importante, on recevra beaucoup moins qu'un milliwatt, et dans ce cas, ce sera inférieur à 0 dBm. Par exemple, 10 W correspond à 40 dBm, et 10  $\mu$ W correspond à -20 dBm.

## **HANDOVER :**

Passage d'une cellule à l'autre afin d'assurer la meilleure qualité de la communication.

.

## **LATITUDE :**

Distance angulaire à l'équateur comptée vers le nord ou vers le sud, dans un système de coordonnées sphériques.

## **LONGITUDE :**

Distance angulaire, comptée sur l'équateur ou sur un cercle parallèle, vers l'est ou vers l'ouest, à partir d'une méridienne origine, dans un système de coordonnées sphérique.

## **PATHLOSS :**

# GLOSSAIRE

---

Logiciel de simulation des transmissions par faisceau hertzien. PCM: Pulse Code Modulation, appellation Anglaise de la MIC.

**PAR Puissance Apparente Rayonnée**

On utilise la PAR pour caractériser la puissance d'émission des sites GSM, de radiodiffusion ou télédiffusion. On utilise aussi la PIRE (Voir « PIRE ») que l'on obtient avec l'équation :

$$\text{PIRE} = \text{PAR} + 2,15 \text{ db}$$

**PIRE :Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente, c'est la Puissance qu'il faudrait appliquer à une antenne isotrope pour obtenir le même champ dans cette direction.**

C'est une maison généralement peinte en blanc et non loin de laquelle se trouvent des antennes GSM. Elle sert d'abri pour les BTS et autres équipements.

Utilisation de logiciel pour déterminer le comportement du signal dans un espace géographique donné.

**TRX: Transceiver - Émetteur-récepteur**

Le TRX est l'élément essentiel de la BTS puisque c'est lui qui gère la communication avec les mobiles. Chaque TRX gère 8 Time Slots et le nombre de TRX définit la capacité du relais GSM en nombre de communications simultanées. Chaque TRX peut supporter environ 7 communicatio

# ∞ Résumé ∞

- L'objectif principale de notre mémoire consiste à étudier et concevoir un superviseur permettant la collecte et la supervision des équipements de liaisons FH
- Cette étude comporte deux grandes parties : une partie bibliographique et une autre réservée à la conception et les tests des solutions apportées à la maquette de réseau vulnérable (chapitre v).
  - Dans le premier chapitre une présentation des réseaux mobile ainsi que leur évolution à travers les différentes générations et une étude du système GSM
  - Le deuxième chapitre est consacré pour les supports de transmission parmi eux les faisceaux hertziens réseaux informatiques
  - Le troisième chapitre traite les réseaux de transmission, études des hiérarchies plésiochrones et synchrones
  - Le quatrième chapitre est réservé à l'étude des clients
  - Le cinquième chapitre est réservé à la configuration d'un BTS.
  - Enfin, nous terminons notre travail par une application de supervision sous JAVA J2EE qui est la réalisation d'un superviseur et d'une banque de données

*INTRODUCTION  
N AU RESEAUX  
MOBILES*

*LES SUPPORTS  
DE  
TRANSMISSION*

*LES RESEAUX  
de transports*

*Les clients  
serveurs*

*CONFIGURATION  
D'UNE BTS*

*REALISATION  
D'UN  
SUPERVISEUR ET  
D'UNE BANQUE  
DE DONNEES*

# *Annexe*

*Introduction  
générale*

*Conclusion  
générale*

# *Sommaire*

# *Bibliographie*

*Listes des figures  
et des tableaux*

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] Cédric DEMOULIN, principes de fonctionnement du réseau GSM, université de Montréal, 2004.
- [2] Stéphane, « réseau GSM, GPRS, UMTS architecture évolutive pour une stratégie services », rapport de stage, 2001-2002.
- [3] Julien Delmas, « les relais GSM », cours, 2006
- [4] Zakia, « généralité sur le réseau GSM », mémoire de fin d'étude, 2009
- [5] Ouelmokhtar Farida et Ougache Lila, « Transmission par faisceaux hertziens multiplexage SDH de la wilaya de Tizi-Ouzou (Etude d'une liaison à petite capacité) thèse d'ingénieur, promotion 2011, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [6] Université Claude Bernard et Benoit BARRAQUÉ, Avantages de l'UMTS et l'état actuel de son déploiement dans le monde, 2004-2005.
- [7] Ericsson, WCDMA Air Interface
- [8] AIT Seddik Aissam : Etude de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) et son application dans le réseau GSM 2007.
- [9] Frédéric Iuanay : Module TR3 Transport des données : PDH, SDH, WDM R&T 2eme année réseaux télécoms UE3 TR3 ANNé2011 2012.
- [10] PDF La SDH appliquée à la BLHD  
guill.net©1999-201
- [11] ZTE University Transmission Course Group: SDH Frame Structure & Multiplexing.
- [12] Ivain KESTELOOT, Stéphane RZETELNY, Eric JULLIEN : PDF Nouvelles Technologies Réseaux : SDH (Synchronous Digital Hierarchy).
- [13] Jacques BAUDRON iXTEL : PDF SDH transmission Network promotion 2004.  
[jacques.baudron@ixtel.fr](mailto:jacques.baudron@ixtel.fr).

### **Livres :**

- [14] Claude SEVERIN, Préface de Jean-Pierre Arnaud, « RESEAUX & TELECOMS », 2e édition, DUNOD Informatique, 2003.
- [15] Tarmo ANTTALAINEN, « introduction to Telecommunications Network Engineering », 2nd edition, Artech House, 2003.
- [16] Jean-Luc MONTAGNIER, « Réseaux d'entreprises par la pratique », édition Eyrolles.
- [17] Stallings W. « Network Security ». 2nd edition. Prentice Hall, 2003.
- [18] Vincent REMAZEILLES, « La sécurité des réseaux avec CISCO ». Edition eni.
- [19] Jean-François PILLOU, Jean-Philippe BAY, « Tout sur la sécurité informatique ». 2e édition, DUNOD, 2005.
- [20] Jean-Luc MONTAGNIER. « Construire son réseau d'entreprise ». Éditions Eyrolles, 2001.
- [20] Cédric LIORENS, Laurent LEVIER, Denis VALOIS. « Tableaux de bord de la sécurité réseau ». 2nd edition. Editions Eyrolles, 2003.

### **Articles :**

- [21] Cécilien CHARLOT. « Solution NAC de contrôle d'accès au réseau ». [H5845], base documentaire Attaques et mesures de protection des SI (2008). Dans le thème sécurité des systèmes d'information, et dans l'univers technologies de l'information. Edition Techniques de l'ingénieur.
- [12] Olivier WILLM. « Administration de réseaux informatiques : protocole

## BIBLIOGRAPHIE

---

SNMP ». [H 2840], base documentaire Architecture des systèmes et réseaux (2003). Dans le thème Technologies logicielles Architectures des systèmes et dans l'univers technologies de l'information.

[23] Sarah NATAF, Vincent BEL, Franck VEYSSET. « Technique de supervision de la sécurité des réseaux IP ». [H 5820], dans le thème sécurité des systèmes d'information. Edition Techniques de l'ingénieur.

[24] Microsoft Etudes 2008. « Sécurité des réseaux informatiques ». Microsoft corporation, 2007.

[25] Les outils d'administration et de supervision l'exemple de NAGIOS. Thierry Briche, Matthieu Volland ;

[26] Développement d'un outil de supervision d'un système d'exploitation (TUNISIA TELECOM). Makrem Mannai, Boutheina Khabouchi, Youssef Hammami ;

[27] DI GALLO Frédéric, « Intégration des systèmes client/serveur », cours dispensé par le CNAM ;

[28] Programmation Java2 ; Elke et Micheal NIEDERMAIR ;

[29] JAVA Autoformation : Isabelle Valembois ; Louis Millecam « ellipses » ;

[30] J2EE Conception d'applications d'entreprises. Nicolas Duminil;

[31] Ebook the J2EE TUTORIEL : Stephanie Bodoff, Dale Green, Kim Haase, Eric Jendrock, Monica Pawlan, Beth Stearns;

### □ Sites :

[10] [www.sndl.cerist.dz](http://www.sndl.cerist.dz)

[11] [www.commentcamarche.com](http://www.commentcamarche.com)

[17] [www.Cisco.com](http://www.Cisco.com)

. [www.developez.com](http://www.developez.com)

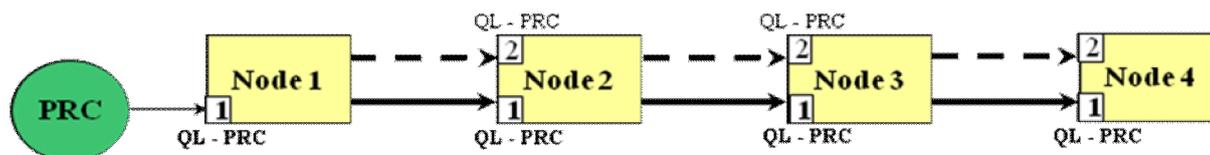
. [www.dpstelecom.com](http://www.dpstelecom.com)

. [www.wiki.monitoring-fr.org](http://www.wiki.monitoring-fr.org)

. [http:/](http://)

Cette annexe présente la configuration nécessaire pour avoir une plate forme java opérationnelle, et la configuration du SGBD Mysql ainsi que la connexions aux bases de données (Mysql et Access).

Voici un descriptif d'une liaison node (nœud) entre des station différentes. Ce trafic supporte un multiplexage SDH, les lignes ou les liaisons de transmission entre node peuvent être de la Fibre Optic, des liaisons FH, une liaison ou en par un câble électrique Ethernet. Ses nodes seront ensuite connecté à un BSC. Pour se connecter du à ses node on utilise le TCP/I, de façon à ce que chaque équipement aura sa propre adresse IP.



Créé en 1988 par l'IETF (**I**nternet **E**ngineering **T**ask **F**orce), SNMP était à l'origine destiné à l'administration distante des ponts et des routeurs. Aujourd'hui, SNMP est utilisé pour l'administration d'un large éventail de matériel informatique. Plus qu'un simple protocole de liaison, la mise en place d'une structure utilisant SNMP fait intervenir plusieurs concepts:

- ¾ La station d'administration :  
C'est la machine qui centralise toutes les données, c'est le cœur du système. C'est notamment cette station qui va dialoguer avec les différents matériels à administrer.
- ¾ Les agents SNMP :  
Ce sont des démons installés sur tous les éléments du réseau à superviser (machines serveurs ou éléments actifs). Ils envoient les traps SNMP et répondent aux requêtes de la station d'administration.
- ¾ Les MIBs (Management Information Base) :  
Ce sont des sortes de bases de données avec une topologie en arbre qui décrivent et sauvegardent des variables SNMP. Elles sont présentes sur toutes les machines, y compris la station d'administration.
- ¾ Les variables SNMP :  
Ce sont les feuilles de la MIB. Ces variables sont identifiées numériquement ou nominalement par des OID (Object Identifier). Comme nous le disions plus haut, le protocole est utilisé pour connaître à un instant donné l'état d'un matériel. Ainsi ce sont ces variables qui nous permettront de connaître par exemple le nombre de paquets entrants et sortants sur une interface donnée ou encore la température CPU d'un serveur....

## **2.2 Un peu de technique**

### **2.2.1 Les OIDs**

Ce sont les identifiants des variables contenues dans les MIB. Nous avons précisé plus haut que cet identifiant pouvait être numérique ou littéral. En effet, chaque nœud de l'arborescence est repéré non seulement par son nom (iso, mgmt, etc...) mais aussi par un index (iso(1), mgmt(2), etc...), soit deux façon de qualifier un nœud de MIB.

---

Ainsi chaque variable est identifiée par un chemin absolu (avec le '.' comme séparateur) qui se compose soit:

- *Numériquement* : des différents index associés à chaque nœud parcouru.  
Par exemple « .1.3.6.1.2.1 » représente l'entrée de la MIBII.
- *Littéralement* : des noms associés aux nœuds visités.  
Par exemple « .iso.org.dod.internet.mgmt » représente l'entrée de la branche de MIB contenant la MIBII

## 2.2.2 Les MIBS

Comme nous l'avons dit plus haut, les MIBS regroupent toutes les variables traitées par le protocole SNMP ; l'ensemble étant stocké dans un arbre. Nous avons mis le mot MIB au pluriel car il existe au sein de SNMP une petite subtilité à ce propos :

- L'arbre global contenant toutes les variables est souvent appelé **MIBI**.
- Néanmoins on parle aussi très souvent de la **MIBII**, qui est en fait la branche de la MIBI réservée à l'administration du matériel réseaux.

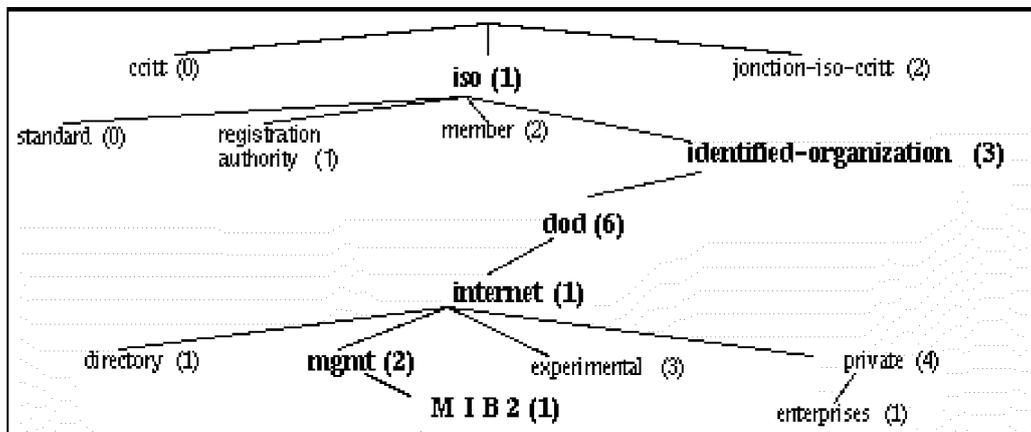


Figure 2 : Structure générale de la MIB SNMP

L'autre branche déterminante pour faire de l'administration est l'utilisation de la branche de MIB réservée aux entreprises (OID=.1.3.6.1.4.1). En outre une entreprise peut demander à obtenir sa propre branche de MIB (il suffit d'en faire la demande auprès de l'IANA, Internet Assigned Numbers Authority). Des grosses entreprises telles que Cisco ou Hewlett-Packard possèdent par exemple leurs propres branches de MIB dans lesquelles leurs matériels (au travers de l'agent SNMP qui y est installé) renseignent souvent des variables qui permettent d'avoir des renseignements très précis sur le matériel (ex : la température interne d'un matériel.)

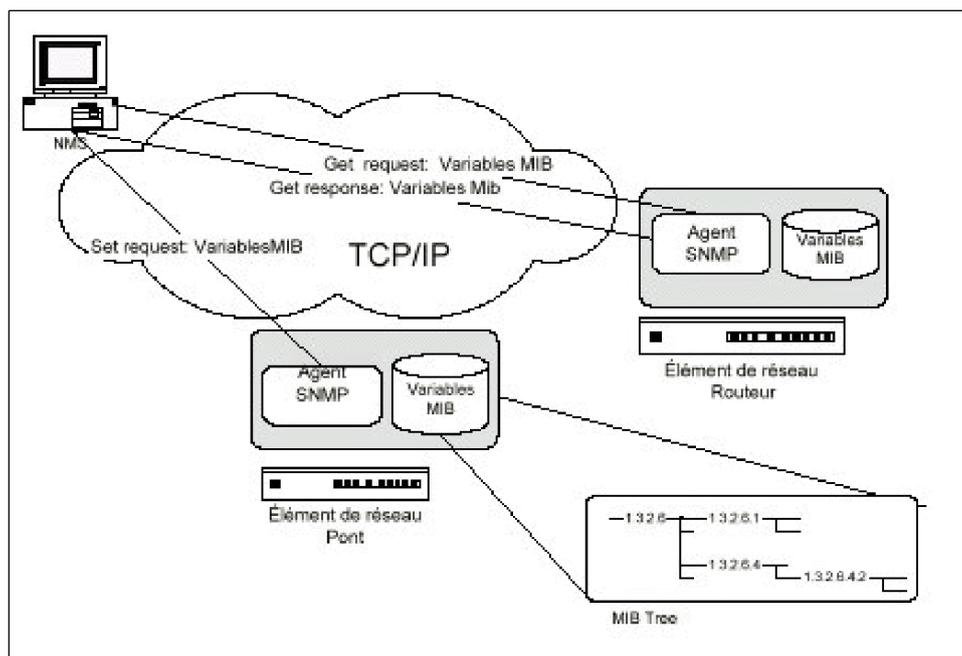
## 2.3 Fonctionnement

Ce protocole est basé sur un échange d'informations (par message) entre le matériel et la station de supervision. SNMP est un protocole de type client serveur, donc basé sur l'utilisation de démons (les agents SNMP).

C'est un protocole de la couche application (niveau 7 du modèle OSI) qui se base sur UDP pour l'acheminement des informations entre les différents agents (les agents écoutent les requêtes sur les ports UDP 161 et les alarmes sur le port 162). Chaque agent situé sur un noeud de réseau renseigne périodiquement les variables de MIB (délai paramétrable dans le fichier de configuration par défaut fixé à 30 secondes avec l'agent de net-snmp<sup>2</sup>).

L'accès aux variables d'un matériel réseau se fait grâce à un mot de passe particulier que l'on appelle la communauté :

- par défaut, la communauté en lecture a pour valeur 'public'
- par défaut, la communauté en écriture a pour valeur 'private'.



**Figure 3 : Schéma de communication entre une NMS et le matériel**  
(source : <http://www.chez.com/marierenoir>)

Le schéma ci-dessus nous montre les différentes étapes d'une connexion par le protocole SNMP entre une NMS (pour Network Management Station) et des noeuds de réseau. On peut voir apparaître notamment trois des cinq types de requête de basiques proposées par le protocole.

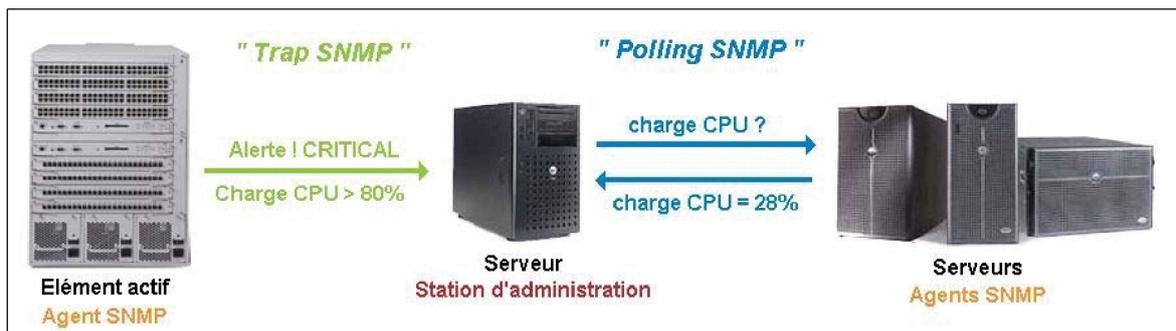
<sup>2</sup> Cf. la section consacrée à Net-SNMP (III.2.1)

- Les requêtes « get » servent à obtenir des informations
- Les requêtes « set » servent à modifier la valeur des variables des Mib.
- Les requêtes « get response » servent à obtenir la réponse de l'agent distant.

Ainsi on pourra également trouver des requêtes « trap » qui représentent des messages d'alerte envoyés spontanément par la machine administrée à la NMS (c'est un cas particulier car en principe le nœud ne fait que répondre à des requêtes du serveur). Enfin il faut citer les requêtes du type « get next » qui permettent de connaître la valeur de la variable se trouvant après celle qu'on lui passe en paramètre (permet notamment de parcourir toute une branche de MIB...)

D'une manière générale nous distinguons deux modes de fonctionnement complémentaires mais aux principes bien distincts :

- Le mode « **poll SNMP** » : La station d'administration demande à un agent SNMP de lui retourner la valeur de telle ou telle variable. Cela se passe donc en deux étapes, la requête du serveur pour interroger le client, et la réponse du client. Le serveur (ou station d'administration SNMP) peut ainsi connaître à des intervalles réguliers les informations qu'il souhaite. Nous venons de citer à titre d'exemple la température interne d'un élément actif, mais on peut aussi connaître le taux d'utilisation du processeur en temps réel, l'espace disque libre d'une machine... Le serveur est donc chargé d'interroger une liste d'informations bien précise pour connaître l'état de la machine. Le problème qui se pose est que l'on ne peut pas connaître à l'avance la nature des incidents. Ainsi, si l'un des deux processeur d'un élément actif est en panne, le second prend le relais automatiquement et personne ne s'aperçoit de rien, jusqu'au jour où le deuxième tombe en panne à son tour...
  - Le mode « **Trap SNMP** » : un trap SNMP est un message informatif qui est envoyé par l'agent SNMP en cas d'incident à destination du serveur qui est toujours en écoute des ces messages. Pour reprendre notre exemple du processeur, si le premier venait à griller, un message indiquant la nature de l'incident est envoyé automatiquement à la station d'administration pour prévenir l'administrateur que le processeur n°1 de tel élément est hors service. La station d'administration se contente donc d'être à l'écoute de ces traps SNMP.
-



**Figure 4 - Les deux méthodes de supervision SNMP**

Ces deux modes permettent donc de superviser l'état des différents équipements du réseau. C'est ici que se trouve la limite de ce protocole SNMP. Il ne peut pas connaître les applications qui tournent sur la machine. Le protocole SNMP ne supervise que les premières couches du modèle OSI. On peut ainsi connaître l'état d'une machine, si elle est active et en « bonne santé » ou non, mais on ne sait pas si les services eux sont bien actifs et accessibles. Or, cela n'est rien moins que le point de vue de l'utilisateur, qui est au centre des intérêts de ce projet de supervision.

### Le protocole UDP :

. UDP est un protocole de transport non orienté connexion de la pile de protocoles TCP/IP. C'est un protocole simple qui échange des datagrammes sans garantir leur bonne livraison. Il repose entièrement sur les protocoles de couche supérieure pour le contrôle des erreurs et la retransmission des données.

UDP n'utilise ni fenêtres ni accusés de réception. La fiabilité est assurée par les protocoles de la couche application. Le protocole UDP est conçu pour les applications qui ne doivent pas assembler de séquences de segments.

Les protocoles utilisant UDP sont les suivants:

- TFTP
- SNMP
- DHCP
- DNS

Voici la description des champs contenus dans le segment UDP:

Bit 0	Bit 15	Bit 16	Bit 31
Port source (16)	Port de destination (16)		↑ 8 octets ↓
Longueur (16)	Somme de contrôle (16)		
Données (le cas échéant)			

- Port source: numéro du port qui envoie les données.
- Port de destination: numéro du port qui reçoit les données.
- Longueur: nombre d'octets de l'en-tête et des données.
- Somme de contrôle: somme de contrôle des champs de données et d'en-tête.
- Données: données de protocole de couche supérieure.

## Configuration du JDK (Java Development Kit) :

### Sous linux :

- Il suffit de télécharger le JDK 1.3 (ou 1.4) pour linux.
- Le copier dans un répertoire (Exemple : /usr/local)
- Le décompresser
- Configurer le PATH : en rajoutant le chemin d'accès des fichiers se trouvant dans le répertoire bin du JDK dans le fichier **.bashrc** (c'est le nom du fichier des chemins accessibles dans la versions **Mandriva** de linux) ou le fichier **profile**, si on travail avec la version **redhat**.

### Sous windows :

- télécharger la dernière version du JDK (1.5) : elle offre de belle interface par rapport aux anciennes versions.
- Lancer l'installation, suivez les procédures d'installation.
- Configurer le PATH : en ajoutant le chemin d'accès des fichiers se trouvant dans le répertoire bin du JDK aux variables d'environnements.

