



MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de master
Systèmes Microélectroniques, de Télécommunications et de l'Informatique
Industrielle

Dimensionnement réseau de transmission pour un réseau GSM-R

Réalisé par :

✚ Mlle AIT KADDOUR Ghizlane

Encadré par :

✚ Pr F. ABDI

✚ Pr N. ES- SBAI

✚ Mr A. BENCHRIFA

Soutenu le : 22 Juin 2012

Devant le jury composé de :

✚ Pr. Pr F. ABDI

✚ Pr. Pr N. ES- SBAI

✚ Pr. H. Ghennioui

✚ Pr. N.S. ECHATOUI

✚ Mr. A. BENCHRIFA (ONCF)





Remerciements

*Tout d'abord, je remercie DIEU qui garde toujours un œil bien veillant sur nous.
Je tiens à exprimer nos sincères remerciements avant tout à nos encadrants techniques :*

*Mr. Abdelaziz **BENCHRIFA** pour sa disponibilité, sa collaboration, sa modestie et sa sympathie, pour ses compétences, et ses directives qu'il n'a cessé de prodiguer tout au long de ce projet.*

*Je tiens à exprimer mon profond gratitude à notre encadrant interne,
Mr. **F. ABDI** et Mme. **N. ES- SBAI** pour leur encadrement, leur apport, leurs recommandations et leurs précieux conseils.*

*Je profite de ces quelques lignes pour dire merci à la direction de l'FST de Fès pour son aide et son soutien ainsi que tout le corps professoral, spécialement Mr **H.ABARKAN** et Mr **A.AHAITOUF** qui n'ont épargné aucun effort pour me guider durant mon travail.*

Mes vifs remerciements s'adressent également aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer mon projet de fin d'études.

Que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail trouvent l'expression de mes remerciements les plus chaleureux.

Ghizlane AIT KADDOUR

Résumé:





Dans le cadre de mon projet de fin d'étude, je me suis jointe au service "Equipements Ferroviaires" de la direction LGV de l'ONCF. Le projet que j'avais été tenue de réaliser est le dimensionnement du réseau de transmission pour un réseau GSM-R que l'office a l'intention de déployer dans cette année.

Le GSM-R sera utilisé sur la LGV comme étant une solution de plateforme unique qui répond aux besoins des systèmes de radio communication. Il permet les communications numériques de voix et de données sans aucune restriction sur les 15 000 km de voies principales.

Afin d'y répondre, ce rapport propose d'abord une présentation de l'ONCF et la LGV, une présentation du système GSM-R, de son architecture, ainsi que les modes de transmission étudiés, une étude de cas avec le dimensionnement du réseau sur une tranche de ligne allant de Kenitra à Tanger.

Abstract:

As part of my final project study, I was joined in the service "Railway Equipment" in the department LGV of ONCF. The project that I was obligated to complete is the design of transmission network to a GSM-R that the agency intends to deploy this year.





GSM-R will be used on the LGV as a single platform solution that meets the needs of radio communication systems. It allows digital communications of voice and data without any restriction on the 15 000 km of main roads.

To answer about this need, this report offers a first presentation of the ONCF and LGV, a presentation of GSM-R and his architecture also modes of transmission study, and a case study with the network dimensioning on a slice of line from Tangier to Kenitra.

Table des matières:

Glossaire des Acronymes	
Table des illustrations :	
Table des tableaux :	
INTRODUCTION	
Chapitre 1 : Contexte général du projet	
I. Présentation de l'organisme d'accueil ONCF	
1. Historique	
2. Statut et Missions ONCF	1
3. Organigramme global du groupe ONCF	1
4. Direction LGV	1
II. Présentation du projet	1
1. Définition du besoin	1
2. objectifs du Projet	1
Chapitre 2 : Partie théorique	1
I. Présentation du système GSM-R	1
1. Définition et aperçu général	1
2. Principales caractéristiques	1
II. Conception du réseau GSM-R	1
1. Architecture du réseau GSM-R	1
2. Équipements du réseau GSM-R	1
3. Les canaux de l'interface radio	2
III. Fonctions et applications GSM-R	2
1. ASCI	2
2. Aspects opérationnels	2
3. Les Fournisseurs GSM-R	2
IV. Présentation de la technologie SDH	3
1. Hiérarchie de multiplexage	3
2. Principe de fonctionnement	3
V. Présentation de La technologie faisceau hertzien :	3



1.	Généralité :	3
2.	Principe de FH	3
VI.	Présentation des reseaux IP/MPLS :	3
1	Introduction :	3
2.	Principe du MPLS :	4
Chapitre 3 : Etude de cas		4
I.	Dimensionnement de réseau de transmission pour un réseau GSM-R	4
1.	Étude des scenarios du dimensionnement du réseau de transmission pour le GSM-R sur la Ligne LGV I	5
2.	Comparaison entre la transmission IP /MPLS et SDH	5
<u>2.1.</u>	La solution de transmission IP/MPLS	5
<u>2.2</u>	Tableau de Comparaison entre IP/MPLS et SDH	5
3.	Solution de transmission SDH adoptée	5
<u>3.1.</u>	Architecture de la solution proposée	5
<u>3.2.</u>	Estimation et Coût de la solution proposée	5
	Conclusion Générale	6
	Webographie	6

Glossaire des Acronymes

A

ASCI Advanced Speech Call Items

B

BSS Base Station Subsystem

BSC Base Station Controller

BTS Base Tranceiver Station

D

DL Down Link

E

EIRENE European Integrated Railway Radio Enhanced Network

EMLPP Enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption

ERTMS European Rail Traffic Management System

ETCS European Train Control System

F

FC Function Code

FDD Frequency Division Duplex

FO Fibre Optique

G

GSM Global System for Mobile communitons

GSM-R Global System for Mobile communitons –Railways

GTC Gestion Technique Centralisée

H

HLR Home Local Register

I

IC International Code

IN-SCP Intelligent Netwodxrk – Service Control Point

L

LGV Lignes à Grande vitesse

M





Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique



MS [Mobile Station](#)
MSISDN [Mobile Suscriber Integrated Services Digital Network](#)
MSC [Mobile Services Switching Center](#)

N

NMC [Network Management Center](#)
NSS [Network and Switching Subsystem](#)

O

OBC [Operation and Maintenance Center](#)
OITF [Organisation International du Trafic Ferroviaire](#)
OMC [Operation and Maintenance Center](#)
OSS [Operation and Support Subsystem](#)

P

PABX [Private Automate Branch eXchange](#)
PC [Poste de Commandement](#)
PCU [Packet Control Unit](#)
POH [PathOverHead](#)

R

RBC [Radio Bloc Center](#)
RF [Radio Frequency](#)

S

SDH [Synchronous Digital Hierarchy](#)
SIM [Subscriber Identity Module](#)
SMS [Short Message Services](#)
SMS-C [Short Message Services- Center](#)
SGSN [Serving GPRS Support Node](#)
SOH [Section OverHead](#)

T

TCU [Transcoder Unit](#)
TDD [Time Division Duplex](#)
TDMA [Time Division Multiple Access](#)
TRAU [Trans Coder/ Rate Adapter Unit](#)
TRX [Tranceivers](#)

U

UL [Up Link](#)

V

VBS [Voice Broadcasy Services](#)
VGCS [Voice Group Call Service](#)
VHF [Very High Frequency](#)
VLR [Visitor Local Register](#)





TABLE DES ILLUSTRATIONS :

- Figure 1: Gare marocaine en 1925 Figure 2: Ligne Ferroviaire Tanger-Fès
- Figure 2 : Organigramme globale du groupe ONCF
- Figure 3 : Organisation opérationnelle de la Direction Projets LGV (phase Réalisation)
- Figure 4: Bande de fréquence GSM-R
- Figure 5: Architecture général du système GSM-R
- Figure 6:schéma simplifié des composants d'une station BTS
- Figure 7 : Hiérarchie des fonctions GSM-R
- Figure 8 : Exemple de numérotation fonctionnelle.
- Figure 9 : Schéma représentant le numéro MSISDN
- Figure 10 : Schéma représentant le numéro EIRENE International (IEN)
- Figure 11 : Trame SDH
- Figure 12 : Les conteneurs virtuels
- Figure 13 : Schéma synoptique typique d'un faisceau hertzien
- Figure 14: carte de la LGV
- Figure 15 : Connexion en plusieurs « sauts »
- Figure 16 : carte fibres optiques
- Figure 17 : Architecture générale avec la solution IP/MPLS
- Figure 18 : boucles SDH sur LGV Tanger-Kenitra

TABLE DES TABLEAUX :

- Tableau 1 : Vue d'ensemble du GSM-R
- Tableau 2 : Les différents niveaux de priorité du GSM-R
- Tableau 3 : Les principaux fournisseurs des équipements du système GSM-R
- Tableau 4: comparaison entre IP/MPLS et SDH





Introduction

Le GSM-R est un standard de communication sans fil développé spécifiquement pour les applications et les communications ferroviaires. Il offre dans le domaine du transport ferroviaire une solution de plateforme unique pour les besoins des systèmes de radio communication.

Le GSM-R sera utilisé sur la LGV pour répondre aux besoins de communication voix et données pour permettre d'une part de gérer le trafic sur la ligne et d'autre part d'organiser les activités de maintenance. Il sera utilisé aussi comme support des applications de signalisation ferroviaires comme l'ERTMS Niveau 2.

Ce réseau repose sur une infrastructure Radio constituée des relais Radio (BTS) qui fournit la couche de couverture radio pour les équipements mobiles et d'une infrastructure réseau Centralisée (Cœur du réseau) pour la gestion des canaux radio et la commutation des appels.

Ces deux infrastructures doivent être reliées à travers un réseau de transmission adéquat afin de créer la liaison de bout en bout pour établir une communication entre deux réseaux GSM-R.

Avec l'introduction des technologies numériques et du GSM-R, le réseau ferroviaire se modernise et évolue vers un système de communication à plus fort potentiel.

Le corps de ce rapport s'étale sur trois parties :

La première partie est dédiée au contexte général du projet qui englobe deux chapitres touchant l'organisme ONCF et l'évocation du sujet.

Je vais consacrer, dans un second temps, une deuxième partie étant une étude théorique du concept du réseau GSM-R, de même, j'expose une présentation des technologies de transmission.

La dernière partie de ce document est consacrée à la présentation de mon travail, contenant l'étude des scénarios possibles du dimensionnement de réseau de transmission pour un réseau GSM-R.





Chapitre 1 :

Contexte général du projet

Chapitre 1

INTRODUCTION

Ce chapitre présentera d'une manière générale l'objectif et l'environnement du stage. Ainsi, la première section sera réservée à la présentation de l'Office National des Chemins de Fer comme étant « organisme d'accueil », alors que la deuxième partie donnera une description du projet de fin d'études, sa planification et ses objectifs.

I. Présentation de l'organisme d'accueil ONCF

1. Historique

Les Chemins de Fer au Maroc ont fait leur apparition sous le Protectorat français à partir de 1911. Trois compagnies concessionnaires françaises se partageaient, à l'époque l'exploitation du chemin de fer marocain : la



Compagnie des Chemins de Fer Marocains (CFM) sur le réseau de Marrakech à Oujda, Tanger-Fès (TF) concernant la ligne du même nom et la Compagnie du Maroc Oriental (CMO) pour la ligne Oujda-Bouarfa.

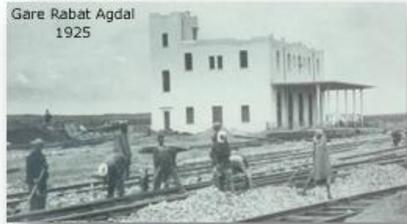


Figure 3: Gare marocaine en 1925 Figure 4: Ligne Ferroviaire Tanger-Fès

Après la déclaration de l'indépendance, l'État a racheté ces trois compagnies et a institué par Dahir du 05 août 1963 l'Office National des Chemins de Fer Marocain (ONCFM).

2. Statut et Missions ONCF :

- **ONCF : Établissement Public, depuis 1963**

Placé sous la tutelle du Ministère de l'Équipement et des Transports, l'ONCF est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il a pour mission :

- L'exploitation du réseau ferroviaire national,
- L'étude, la construction et l'exploitation des nouvelles lignes des chemins de fer,
- L'exploitation de toutes les entreprises se rattachant directement ou indirectement à l'objet des missions de l'Office.

3. Organigramme global du groupe ONCF :

A compter du 1^{er} Juillet 2009, une nouvelle organisation de l'Office National des Chemins de Fer a été mise en place dans l'objectif de :

- Répondre de manière plus efficace aux attentes du client;
- Accompagner le développement des activités voyageurs et Fret;
- Relever le défi de concrétisation des grands projets inscrits au plan d'investissement notamment celui des lignes à grande vitesse.

L'organisation actuelle a permis de réaliser de grands succès ces dernières années, toutefois elle n'est plus en mesure de donner la latitude et la dynamique nécessaires pour répondre aux défis que les cheminots se sont fixés. Ils ont en effet l'ambition de développer leurs parts de marché dans les produits classiques de transport ferroviaire, mais également d'introduire et développer des nouveaux produits, notamment :

- Train à grande vitesse et le RER pour l'activité voyageurs,
- Introduction sur le marché d'une offre logistique intégrée pour l'activité fret,





**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique**



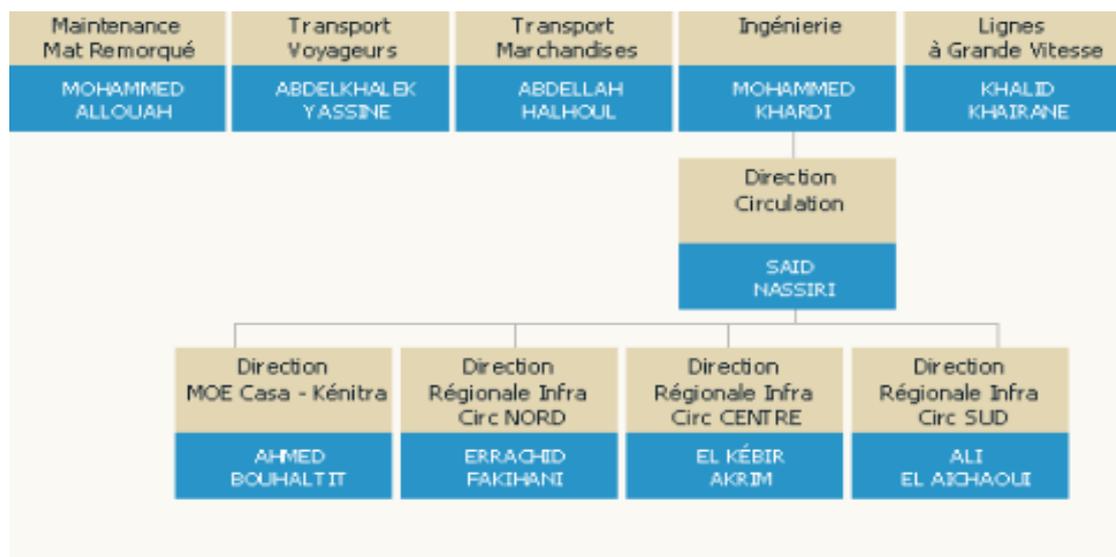
- Création d'espaces de vie et d'espaces d'affaires permettant de mieux valoriser leur patrimoine.

En effet la nouvelle organisation repose sur la mise en place de six pôles soutenus dans leurs missions par diverses directions supports (voir figure 2) :





Figure 2 : Organigramme globale du groupe ONCF



Direction LGV :

La direction LGV étant le lieu de mon travail, l'organigramme ci-dessous montre la constitution de cette nouvelle direction.

4.



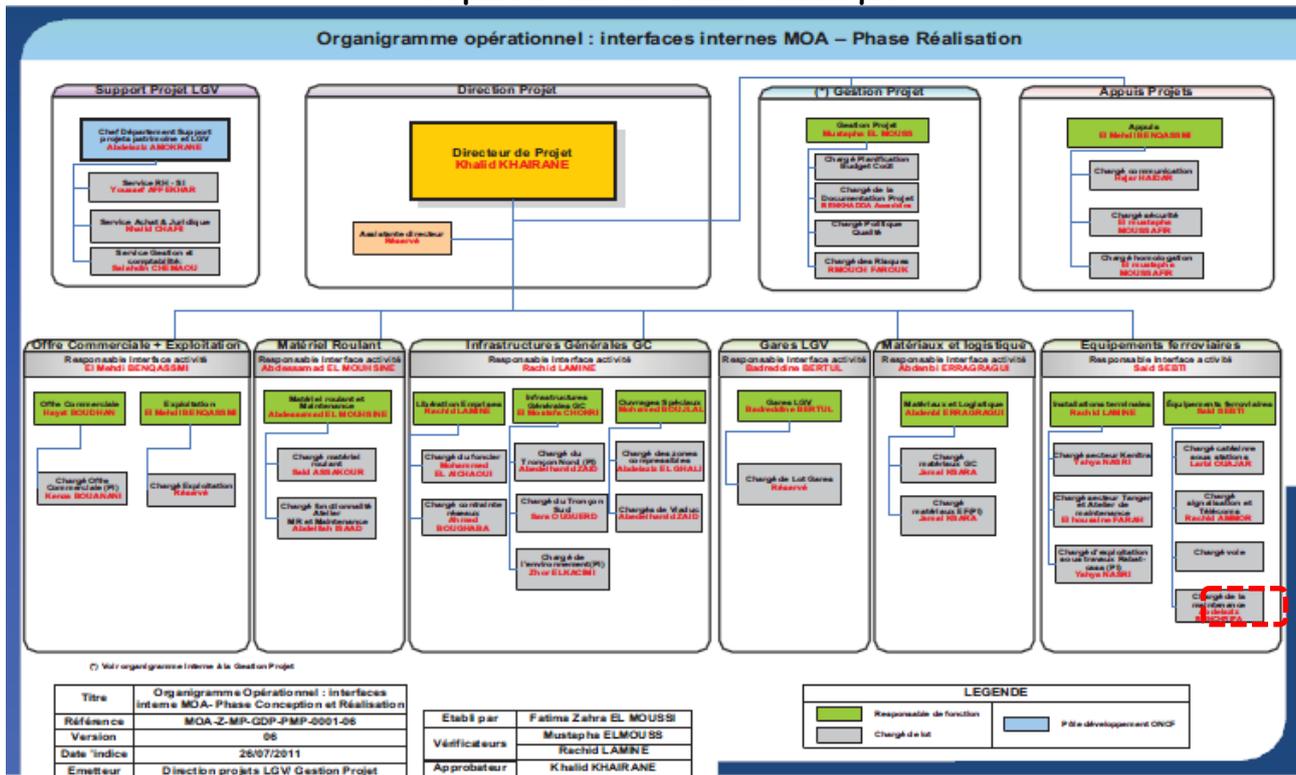


Figure 3 : Organisation opérationnelle de la Direction Projets LGV (phase Réalisation)

4.1. Généralité sur LGV :

Le Maroc a en définitive fait le choix de la grande vitesse tout en favorisant la modernisation et le développement de son réseau ferré, des contrats pour la réalisation du projet ont été signés entre l'ONCF et le groupe SNCF. Il s'agit en effet des contrats d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la réalisation de ce projet du 'Train à Grande Vitesse' (TGV). Ils portent sur la conception, la construction, l'exploitation, la mise en service, l'exploitation du matériel roulant, ainsi que la conception de l'offre commerciale et l'entretien de cette ligne ferroviaire.

En vertu des termes des marchés d'assistance, le Groupe SNCF et ses filiales SNCF International et INEXIA, 55 experts français, dont 34 seront détachés au Maroc durant 79 mois, seront mobilisés afin de transférer leur savoir-faire et leur expérience dans le domaine de la technologie de grande vitesse aux équipes de l'ONCF.

La mise en service de ce TGV ramènera le temps du trajet entre les 2 métropoles, Tanger et Casablanca, à 2h10 min (dans un premier temps), contre environ 5 heures 45 min actuellement, et drainera un flux de clientèle estimé à 8 millions de passagers par an.

Le coût est estimé, selon les études préliminaires, à 20 milliards de dirhams. Un coût qui englobe la construction d'une section ferroviaire à grande vitesse entre Tanger et Kenitra d'une longueur de 200 km avec une vitesse potentielle de 350 Km/h ; la construction des raccordements avec le réseau ferroviaire classique existant sur la desserte Rabat-Casablanca ; l'acquisition de rames à grande vitesse aptes à circuler à 320 Km/h.

Il est à signaler que l'introduction au Maroc des trains à grande vitesse est autant nécessaire que réaliste, puisqu'il permettra de faire face à la demande qui progresse deux fois plus vite que le marché national de transport des voyageurs et que le réseau classique actuel ne saurait résorber à terme. En outre, ce projet s'inscrit naturellement



dans la continuité des actions rationnelles menées par l'ONCF pour moderniser et développer le réseau ferré national, en optimisant ses investissements et en s'appuyant sur la maîtrise des fondamentaux du produit ferroviaire, sur sa culture orientée client et sur son capital d'entreprise mature bien positionnée dans son marché.

4.2. Infrastructure demandée par LGV :

Ce train empruntera des voies spéciales (les LGV ou Lignes à grande vitesse) à des vitesses de l'ordre de 300 km/h. Les rayons de courbure des lignes sont adaptés (supérieurs ou égaux à 4 000 m, 6 000 m sur la LGV Est européenne), de même que la signalisation (il s'agit d'une signalisation embarquée ERTMS niveau 2) qui autorise 320 km/h sur les lignes les plus modernes (LGV Est Européen ainsi qu'une portion de la LGV Méditerranée entre Avignon et Aix-en-Provence). Ces lignes dites nouvelles sont clôturées par des grillages, pour éviter des heurts avec les animaux, et ne comportent aucun passage à niveau. En revanche, contrairement aux lignes majeures du réseau classique, ces lignes ont un profil parfois sévère.

Le record mondial de vitesse sur rail du 18 mai 1990 (515,3 km/h) puis celui du 3 avril 2007 (574,8 km/h) ont montré que la LGV était mécaniquement capable de supporter des vitesses beaucoup plus élevées, la géométrie de la voie n'ayant pas souffert des marches d'essai à plus de 500 km/h.

Les principaux obstacles à la progression des vitesses commerciales sont aujourd'hui :

- le freinage, qui devient problématique dès 350 km/h du fait de l'énergie à dissiper.
- la résistance aérodynamique, proportionnelle au carré de la vitesse, qui a une incidence sur la consommation énergétique.
- le coût de maintenance des voies, qui devient prohibitif au-delà d'une certaine vitesse.
- le bruit qui augmente avec la vitesse et qui fait l'objet d'une réglementation de plus en plus stricte.
- le captage de courant via le pantographe, qui nécessite une tension mécanique élevée des caténaies et conduit à leur usure accélérée.

Le TGV peut aussi emprunter les autres voies (réseau classique), à la vitesse maximale autorisée par ces lignes, jusqu'à 220 km/h selon le tracé et le type de signalisation.

II. Présentation du projet :

1. Définition du besoin :

Mon projet de fin d'études consiste à traiter le dimensionnement du réseau de transmission pour un réseau radio cellulaire GSM-R sur un tronçon du réseau ferroviaire de l'ONCF (la Ligne à Grande Vitesse Tanger-Kénitra).

2. Objectifs du Projet :

Pour tout dimensionnement il faut connaître déjà l'utilisateur final du service (Le Client) qui est dans notre cas : **le réseau GSM-R** pour lequel nous allons construire un réseau de transmission adéquat.





Une fois le besoin identifié, nous allons décrire les possibilités qui existent sur le marché en termes de réseau de transmission (Faisceaux Hertiens, SDH, IP/MPLS,.....).

Une comparaison entre ces différents scénarios nous mènera vers le choix de la solution la plus optimale en termes d'efficacité et de cout.

Chapitre

2 :

Partie

théorique





Chapitre 2 : Présentation du système GSM-R

et les modes de transmission

1. Présentation du système GSM-R

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous allons présenter et détailler les différents composants de la plateforme GSM-R, des composants nécessaires à son fonctionnement à savoir :

- BSS (Base Station Subsystem).
- NSS (Network Switching Subsystem).
- Terminaux et raccordement de terminaux réseaux fixes.
- Equipements mobiles et carte SIM.
- Réseau de transmission.
- Plan de numérotation et autres.

Ensuite nous allons parler de différentes technologies de transmission pour le réseau GSM-R.

1. Définition et aperçu général :

La plate-forme de communication numérique «Global System of Mobile Communication Rail», communément abrégée GSM-R, est un véritable pilier de la stratégie d'innovation de l'Office National des Chemins de Fer ONCF. Cette nouvelle technologie assurera à l'avenir l'ensemble des services mobiles de communication et de transfert des données du secteur ferroviaire.

L'appellation GSM-R désigne un système radio numérique spécialement mis au point pour les chemins de fer. Il est basé sur le standard «Global System for Mobile Communications» (GSM), très répandu dans le secteur des télécommunications mobiles.

Le GSM-R est en quelque sorte un système GSM perfectionné, dans la mesure où il dispose de fonctions spécifiques aux chemins de fer. Le GSM-R représente un grand pas en avant pour les chemins de fer marocains.

Cette plateforme répond aux critères imposés par le nouveau système de signalisation en cabine «Européen Train Control System» (ETCS), dans la mesure où il transmet directement les données des signaux et des parcours à la

cabine de conduite. Ainsi les trains peuvent circuler plus vite et se succéder à des intervalles plus courts. Cette nouvelle technologie ouvre la voie à une densification de l'horaire, synonyme d'un enthousiasme croissant pour le réseau de transports publics.

Ce système est basé sur la norme GSM 900 et utilise différentes fréquences situées juste au-dessous de la bande GSM 900 habituelle. Le GSM-R est également un système TDMA utilisant 8 intervalles de temps par porteuse. Chaque station de base fournit un canal de base contenant les principales informations sur le réseau et la station de base dans le premier intervalle de temps d'une porteuse

2. Principales caractéristiques :

Le GSM-R utilise la bande de fréquence dédiée suivante :

- 876 MHz - 880 MHz : pour l'émission de données (Uplink).
- 921 MHz - 925 MHz : pour la réception de données (Downlink).

Le **GSM-R** utilise une extension inférieure des fréquences du GSM 900 MHz (bande 890 MHz - 915 MHz pour l'émission et bande 935 MHz - 960 MHz pour la réception).

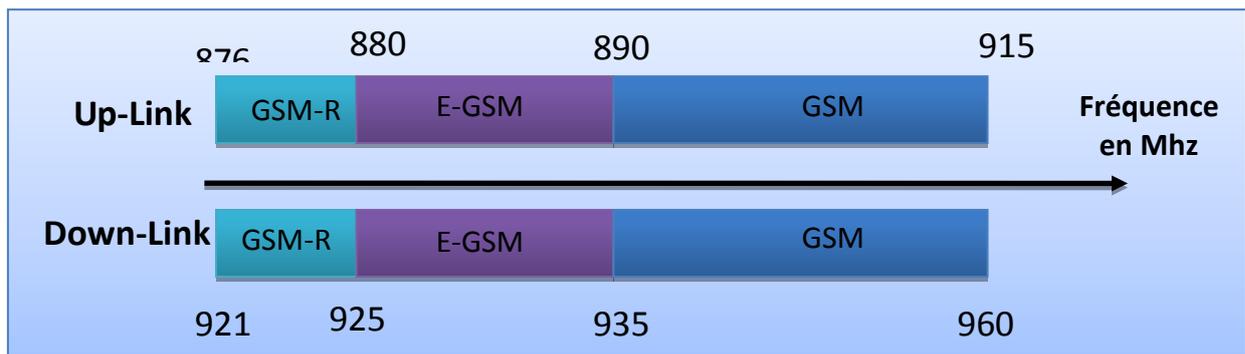


Figure 4: Bande de fréquence GSM-R

L'espacement en fréquence entre chaque canal physique est de 200kHz et la modulation est de type GMSK. Le **GSM-R** est également un système TDMA ("Time-Division Multiple Access"), c'est à dire de multiplexage temporel où la transmission des données est organisée pour chaque porteuse (ou canaux physiques) par *Trames TDMA* périodiques, ce qui permet aux différents utilisateurs de partager une bande de fréquence donnée en divisant la porteuse en huit intervalles de temps (IT), ("Time Slots") également appelés canaux logiques). La durée d'un **IT** a été fixé par le GSM-R a 0.5769 ms. Donc, la durée d'une trame TDMA est 4.6152 ms. (8 time slots)



Bandes de Fréquences d'utilisation du GSM-R	876.2 à 915 MHz (UL) 921.2 à 960 MHz (DL)
Espacement de voies	200 KHZ
Modulation	GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)
Taux de symbole	270,833 Symboles/s
Bits par symbole	1
Format d'accès	TDMA / TDD/FDD
Nombre de voies par porteuse	8 time slots par trame TDM (4.615 ms) 148 bits par time slot, équivalent à 577 us

Tableau 1 : Vue d'ensemble du GSM-R

II. Conception du réseau GSM-R :

1. Architecture du réseau GSM-R :

Dans le réseau de la téléphonie mobile GSM-R, les utilisateurs (généralement les trains) se déplacent et peuvent passer d'une cellule radio à une autre sans interruption de la communication. Cette garantie de bonne communication est assurée par la mise en place d'un système composé d'un ensemble d'équipements Télécom tout au long de la ligne ferroviaire comme le montre la figure 5 :

Si cela se passe « passage d'une cellule à une autre » pendant une communication téléphonique ou de données, celle-ci est remise par une station de base BTS (station radio) à la station suivante (Handover), afin que le téléphone mobile (MS) reçoive toujours sa liaison radio de la station de base (BTS) la mieux appropriée. Si l'utilisateur mobile se trouve en dehors de la couverture radio, la liaison ne peut pas être établie.

Dans le système GSM-R, la cellule radio est orientée le long de la voie. Un certain chevauchement garantit la couverture radio même si une antenne tombe en panne. Chaque station de base (BTS) est raccordée à un équipement de commande de station de base (BSC) qui surveille les liaisons radio et initie un changement de cellule (handover) le cas échéant.

2.Équipements du réseau GSM-R :



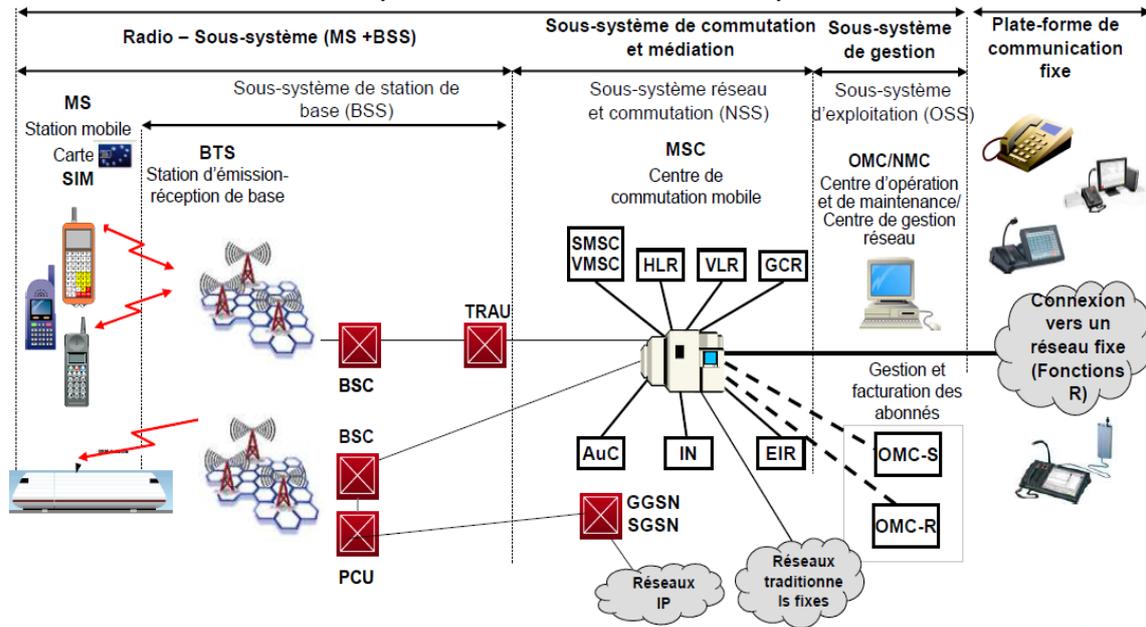


Figure 5: Architecture générale du système GSM-R

Le système

GSM-R

offre différents services suivant une série de fonctions requises dans tout réseau mobile comme la numérotation, l'acheminement vers un usager mobile, le transfert de cellules, etc. Ces fonctions sont regroupées en entités fonctionnelles. Le système complet est formé de ces entités.

2.1. Les Terminaux :

Le terminal ou la station mobile est l'équipement physique utilisé par l'utilisateur pour accéder aux services de télécommunication offerts par le réseau GSM-R. Il existe plusieurs types de terminaux : les portables ou portatifs, la radio de cabine, le pupitre de gare et le pupitre régulateur.

2.2. Réseau d'accès radio BSS :

Le Sous-système radio BSS (Base Station Subsystem) représente le réseau d'accès du système GSM-R. Fonctionnellement, ce système est divisé en deux principaux éléments, un contrôleur de stations de base BSC (Base Station Controller) et des stations de base BTS (Base Transceiver Station).

Base Transceiver Station(BTS) :

La BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelés **TRX**. Elle est chargée de la transmission radio (modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur), de la gestion de la couche physique (multiplexage TDMA, saut de fréquence lent, chiffrement) et la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et le réseau. Elle réalise aussi l'ensemble des mesures radio et les transmet directement au BSC.



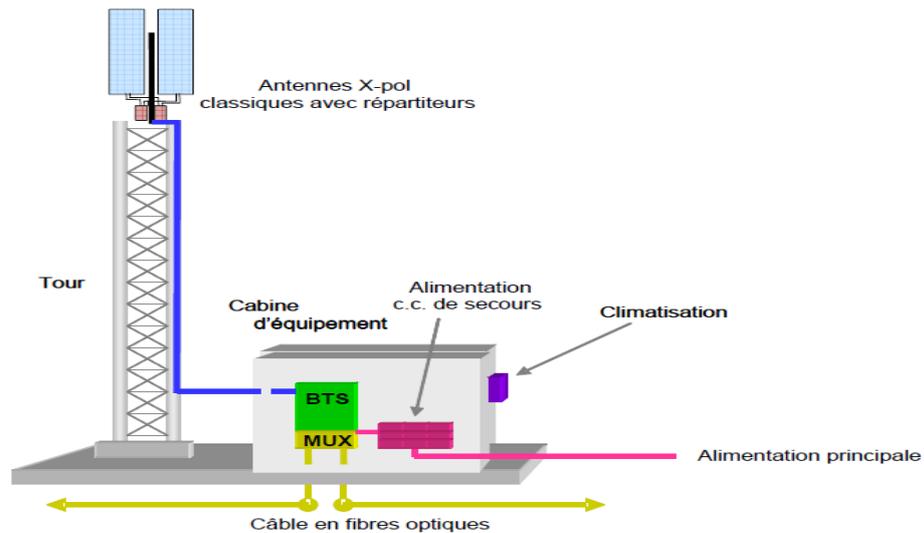


Figure 7: schéma simplifié des composants d'une station BTS

2.2.2. Base Station Controller (BSC) :

Le BSC est l'organe « intelligent » du BSS et il a pour fonction principale la gestion de la ressource radio. Il commande l'allocation des canaux, utilise les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile et/ou de la BTS, prend la décision de l'exécution d'un Handover. De plus c'est un commutateur qui réalise une concentration des circuits vers le MSC.

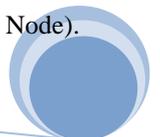
On trouve comme liaison entre les deux sous-systèmes BSS et NSS, le transcodeur TCU qui permet de transformer le codage de la voix entre interface radio (13 Kbits/s) et interface réseau (64 Kbits/s). Il peut être installé au même endroit que le BSC ou le MSC. Il assure la même fonction que le TRAU (TransCoder/Rate Adapter unit) dans un réseau GSM.

2.2.3. L'unité de transcodage : TCU

Sur l'interface radio, la voix est transmise avec un débit de 13 kbits/s. Sur le réseau fixe, le signal est transmis avec un débit de 64 kbits/s et une conversion de débit est donc nécessaire. Le débit de 13 kbits/s est complété par des bits de remplissage (stuffingbits) pour obtenir un débit de 16 kbits/s entre le MSC et le BSC. Le TCU (Transcoder Unit) réalise le transcodage de 16 kbits/s vers 64 kbits/s. Fonctionnellement le TCU fait partie du BSC, mais en pratique il est souvent colocalisé avec le MSC évitant ainsi de devoir installer des lignes 64 kbits/s entre le BSC et le MSC.

2.2.4. L'unité de contrôle de paquets : PCU

Le PCU (Packet Control Unit) permet de contrôler les transferts de données en mode paquet GPRS (General Packet Radio Service). Le PCU peut se trouver dans la BTS, le BSC ou le SGSN (Serving GPRS Support Node). Les fonctions les plus importantes du PCU sont les suivantes :





- il dirige le trafic de données vers le réseau GPRS ;
- il est responsable du découpage des paquets et de leur réassemblage ;
- il contrôle le trafic data, par exemple le contrôle d'accès ;
- il contrôle le canal radio, par exemple le contrôle d'alimentation.

2.3. Cœur de réseau NSS :

Le sous-système réseau NSS (Network SubSystem) est le cœur du réseau GSM-R, il comprend les commutateurs (Mobile Services Switching Center ou MSC) ainsi que les bases de données (HLR, VLR, GCR). Ce sous-système est responsable de l'acheminement des appels, de la mise en œuvre des services ferroviaires et de la gestion des abonnés.

2.3.1. MSC :

Le MSC gère l'établissement de toutes communications. Il intègre en générale, le VLR qui est une base de données mémorisant les données des abonnés présents dans une zone géographique. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR, mais concernant seulement les abonnés mobiles présents dans la zone considérée.

Le MSC dialogue avec le VLR pour gérer la mobilité des usagers. Il comporte des interfaces vers les réseaux fixes et mobiles publics et internes aux chemins de fer ainsi qu'avec le central de ligne (RBC).

2.3.2. HLR :

Le HLR ou enregistreur de localisation nominal est la base de données qui gère les abonnés en mémorisant leurs profils. La localisation des abonnés se fait en mémorisant pour chaque abonné le numéro de VLR où il est enregistré. Cette localisation est effectuée à partir des informations émises par le terminal à travers le réseau.

2.3.3. GCR :

Le registre des appels de groupe GCR (Group Call Register) contient les caractéristiques des configurations des appels de groupe (VGCS) et des appels radio diffusés (VBS) dans la zone de responsabilité du MSC.

La plateforme intelligente (IN-SCP) est responsable de l'adressage fonctionnel et les services spécifiques au chemin de fer alors que la plateforme SMS-C est responsable du service de messagerie courte.

2.3.4. Le Centre d'authentification : AuC

L'AuC (Authentication Center) est une base de données qui mémorise les informations nécessaires à la protection des communications des abonnés mobiles. Elle fournit les clés d'authentification et de cryptage pour établir l'identité de l'utilisateur et pour assurer la confidentialité de chaque appel.

Il s'agit aussi de défendre l'opérateur contre toute fraude éventuelle, carte volée ou facture impayée. Bien entendu, l'AuC est soigneusement protégé contre tout accès non autorisé.

Il travaille en étroite collaboration avec le HLR.

2.3.5. Le registre des terminaux : EIR





L'EIR (Equipment Identity Register) peut être intégré à l'AuC ou être implanté séparément. Cette base de données contient les informations relatives aux équipements mobiles (terminaux) et a pour but d'empêcher l'utilisation frauduleuse d'appareils mobiles non reconnus par le réseau.

Chaque mobile possède son propre numéro d'identification, que l'on désigne par identité internationale d'équipement de station mobile (IMEI = International Mobile Equipment Identity), et dont la validité peut être vérifiée dans des listes de stations mobiles autorisées par le réseau. Si l'appareil identifié n'y figure pas ou si l'EIR constate qu'il a été volé, qu'il n'est pas agréé ou comporte un défaut qui pourrait gêner le réseau, l'accès du mobile au réseau sera refusé.

2.3.6. Le registre de localisation des visiteurs : VLR

Le VLR (Visitor Location Register), associé à un ou plusieurs MSC, reçoit des HLR les informations concernant tous les abonnés mobiles qui pénètrent dans son secteur.

Cette base de données dynamique échange en permanence des informations avec tous les HLR auxquels les "visiteurs" sont normalement rattachés. Les données mémorisées par un VLR suivent l'abonné lorsqu'il pénètre dans une zone couverte par un autre VLR.

2.3.7. Le centre de service de messagerie : SMSc

Le SMSC (Short Message Service Center) est le cœur d'un réseau SMS qui stocke les SMS et les expédie. Le SMSC accepte les SMS, éventuellement les stocke dans un buffer, et les expédie vers chaque destination correcte.

2.3.8. Le système de messagerie vocale : VMSc

Le VMS (Voice Messaging System) permet d'enregistrer et de lire des messages vocaux.

2.3.9. Le réseau intelligent : IN

La plate-forme IN (Intelligent Network) apporte une valeur ajoutée au réseau GSM au moyen de services intelligents qui le rendent plus flexible.

Le principe d'un réseau intelligent consiste à séparer les mécanismes de base communs à tous les services des procédures spécifiques à la commutation et à les implanter sur des équipements différents. L'avantage majeur des réseaux intelligents se trouve dans le fait que la mise en œuvre d'un service ne doit pas être effectuée individuellement et que toutes les configurations de services sont mises à disposition dans une banque de données.

2.3.10. Les nœuds de support GPRS de service et de passerelle : SGSN et GGSN

Le SGSN (Serving GPRS Support Node) sert d'interface entre les utilisateurs mobiles et un GGSN (Gateway GPRS support Node).

Ses fonctions principales sont l'obtention du profil de l'utilisateur (à partir du HLR - Home Location Register), l'enregistrement des nouveaux abonnés mobiles et la gestion des fonctions «attache» et «détache» des utilisateurs. De plus, celui-ci se charge de transférer les paquets reçus d'un mobile par une station de base vers le réseau IP de l'opérateur.





Le GGSN (Gateway GPRS support Node) est utilisé comme interface entre le réseau IP de l'opérateur et le réseau Internet public ou d'autres fournisseurs de services mobiles.

Ces fonctions principales sont la recherche de différentes routes à travers le réseau IP de l'opérateur, la mise à jour des informations de routage et le traçage des différentes adresses se trouvant dans le réseau.

2.4. Réseau d'exploitation et de maintenance : OSS

Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation and SupportSubsystem) comprend les centres d'exploitation maintenance (OMC : Operation and Maintenance Centre) qui sont les entités fonctionnelles à travers lesquelles l'opérateur du réseau peut contrôler son système. Ce sous-système est chargé de l'exploitation distante et de la maintenance du réseau. Au-delà des OMC-Radio et OMC-Switch, on trouve un ou plusieurs Network Management Centres (NMC).

1.4.1. NMC :

Le NMC (Network Management Center) permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé. Il regroupe les activités qui permettent de contrôler et de mémoriser les performances du réseau GSM-R mais aussi de gérer l'utilisation des ressources de façon à fournir le meilleur niveau de qualité du réseau aux usagers. Les différentes fonctions d'administration comprennent : l'administration commerciale (déclaration des abonnés, des terminaux, facturations, statistiques), la gestion de la sécurité (détection d'intrusion, niveau d'habilitation), l'exploitation et la gestion des performances (observations du trafic et de la qualité, changement de configuration pour s'adapter à la charge du réseau, surveillance de mobiles de maintenance), le contrôle de la configuration du système (mise à niveau de logiciel, introduction de nouveaux équipements et de nouvelles fonctionnalités), la maintenance (détection des défauts, tests d'équipements).

2.4.2. OMC :

L'OMC (Operations and Maintenance Center) permet une supervision locale des équipements. Les incidents mineurs sont transmis à l'OMC qui les filtre. Les incidents majeurs remonteront eux jusqu'au NMC. L'OMC assure les fonctions de supervision en temps réel du réseau radio GSM-R, du réseau de transmission, du réseau de distribution aux BTS, ainsi que la surveillance et l'exploitation des systèmes de GTC (Gestion Technique Centralisée) et de contrôle d'accès, d'interfaçage du PC de supervision GSM-R avec les PC ferroviaires pour permettre de prendre, en temps réel, des dispositions concernant la circulation des trains en cas d'incident, d'exploitation technique des réseaux, d'administration des données ferroviaires.

En plus de ces plates-formes, l'OSS comporte le centre d'authentification des abonnés du réseau AuC (Authentication Centre) et la base de données EIR (Equipments Identity Register) où sont stockées les identités des terminaux mobiles.

3. Les canaux de l'interface radio :

L'interface Um entre le MS et la BTS constitue la plus importante interface dans le réseau GSM. La transmission des données à travers cette interface est faite via des canaux. On distingue deux grandes catégories de canaux : les canaux physiques et les canaux logiques.





3.1. Les canaux physiques :

Connaissant les différents canaux disponibles, et dans le cadre d'une utilisation optimale du spectre de fréquence, Au niveau de l'interface " Um ", deux types de multiplexage sont effectués à savoir:

- **Le multiplexage fréquentiel** : appelé Frequency Division Multiple Access(FDMA), consiste à attribuer un certain nombre de fréquences porteuses par station de base.
- **Le multiplexage temporel** : appelé Time Division Multiple Access ou (TDMA), consiste à diviser chaque canal de communication en trames de 8 intervalles de temps.

Ainsi, avec le TDMA, il est par exemple possible de faire parler huit utilisateurs l'un après l'autre dans le même canal. Un canal physique est donc constitué par la répétition périodique d'un slot dans la trame TDMA sur une fréquence particulière.

III. Fonctions et applications GSM-R :

Le GSM-R constitue une infrastructure réservée aux entreprises ferroviaires qui présentent une fiabilité et une qualité de service sensiblement supérieures à celles des réseaux publics GSM. C'est également un système plus performant et plus sûr, qui prend en compte les spécificités d'usages propres aux besoins d'exploitation des chemins de fer. Son héritage GSM permet au GSM-R de profiter pleinement des fonctionnalités standard du GSM, comme les appels voix point à point et les systèmes de messages courts (SMS) qui permettent les communications avec les radios de cabines embarquées et les terminaux portatifs des agents ferroviaires.

Le standard GSM-R prévoit en outre les fonctionnalités très spécifiques à l'environnement ferroviaire : les fonctionnalités type ASCII (Advanced Speech Call Items). Ces fonctionnalités permettent l'établissement d'appels prioritaires eMLPP (un appel d'urgence aura une priorité plus haute qu'un appel voix entre un conducteur de train et un contrôleur réseau, et aura la possibilité de réaliser la préemption d'appel, si nécessaire), ou les fonctionnalités d'appel de groupe VBS et VGCS qui permettent aux équipes ferroviaires de communiquer ensemble de façon efficace et plus sûre. Le service d'appels vocaux radiodiffusés, appelé VBS (Voice Broadcast Services), permet d'envoyer des messages vers certains groupes d'utilisateurs, comme par exemple, d'un régulateur vers les conducteurs de trains se trouvant dans une même zone alors que le service d'appels vocaux, dénommé VGCS (Voice Group Call Service), qui permet à un groupe fermé d'utilisateurs d'effectuer des appels entre plusieurs personnes d'un même groupe, comme par exemple entre des conducteurs de trains se trouvant dans une même zone;

D'autres fonctionnalités ferroviaires spécifiques sont développées à l'initiative des opérateurs ferroviaires, comme la possibilité de joindre un conducteur de train en composant son numéro de train (adressage fonctionnel), la possibilité pour une équipe de joindre directement son contrôleur de zone en fonction de sa localisation géographique (adressage en fonction de la localisation), ou enfin des fonctionnalités qui assurent le contrôle des

appels au sein de groupes d'utilisateurs ferroviaires (matrices d'accès). La figure suivante résume les services GSM-R d'après EIRENE.

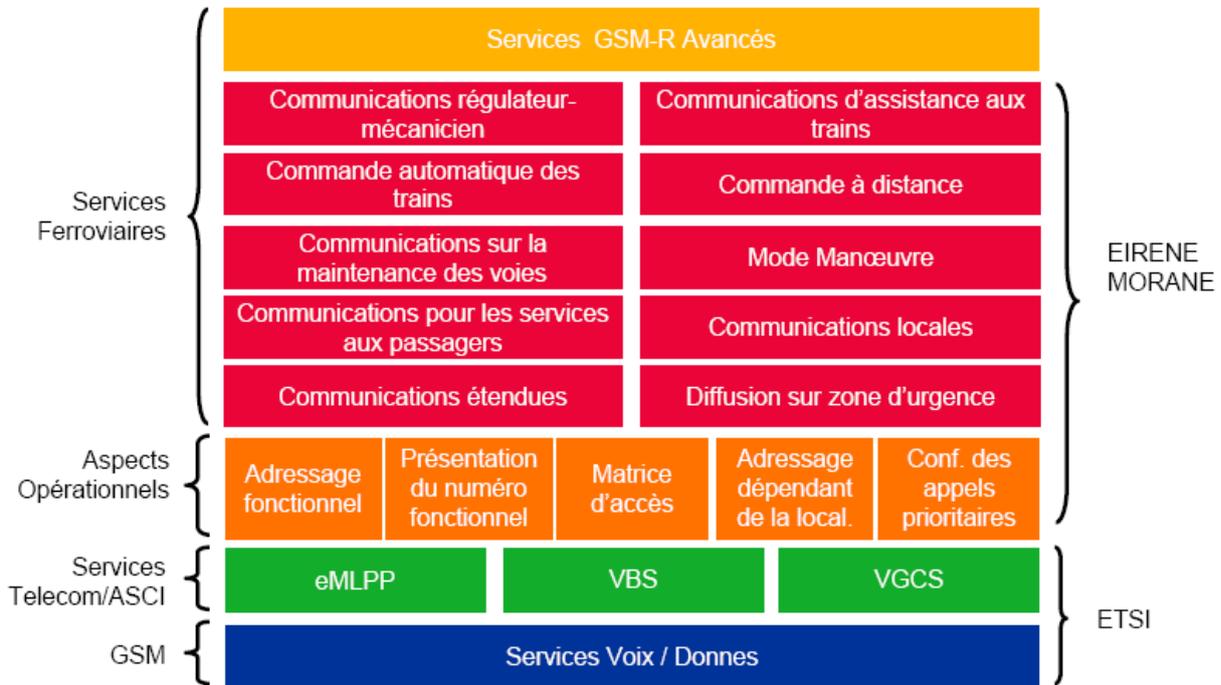


Figure 7 : Hiérarchie des fonctions GSM-R

1. ASCI :

Le GSM-R a été développé sur la base du standard GSM dans la phase 2+ auquel ont été ajoutées des fonctionnalités qui ont reçu le nom d'ASCI (Advanced Speech Call Items). Ces fonctions supplémentaires qui supportent les aspects opérationnels ferroviaires sont ajoutées au standard GSM dans le but de pouvoir exécuter toutes les communications et applications ferroviaires.

Les fonctions ASCI se composent des services suivants :

1.1. Service eMLPP (Multi-Level Precedence and Pre-emption Service):

Pour assurer une qualité de service GSM-R et surtout pour renforcer la sécurité des communications ferroviaires, un système de précedence et préemption multi-niveau améliorés du nom d'eMLPP (enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption), qui permet d'effectuer des appels prioritaires, a été défini par l'UIT, Ces priorités peuvent être attribuées aux appels en fonction de leur type. Cette fonctionnalité joue un rôle important dans les réseaux utilisés pour l'exploitation. Les communications concernant la sécurité de l'exploitation ont toujours la priorité la plus élevée. Il est donc très important que les appels pour la sécurité de l'exploitation puissent être établis dans tous les cas, même si le réseau est surchargé.

Priorité UIT	Niveau de priorité
Appel d'urgence ferroviaire	0 : priorité la plus élevée



Commande et sécurité du train	1
Appel d'urgence public	2
Exploitation ferroviaire	3
Informations ferroviaire et tous les autres appels	4 : priorité basse

Tableau 2 : Les différents niveaux de priorité du GSM-R

Les appels de la plus grande priorité sont traités de manière préférentielle. Si plusieurs appareils attendent une liaison, celui qui a la priorité la plus haute reçoit la ligne en premier. Cela est important si le réseau est fortement chargé. Les appels de priorité 0 et 1 prennent en outre la place, en cas de manque de capacité, des appels de priorité plus basse.

1.2. VGCS (Voice Group Call Service):

Le VGCS permet à un grand nombre d'utilisateurs de participer au même appel. Ce dispositif imite l'appel de groupe PMR (Private Mobile Radio) analogique avec le bouton PTT (Push-To-Talk).

Trois sortes d'utilisateurs sont définies : le **Talker** (*Celui qui parle*), le **Listener** (*Celui qui écoute*) et le **Dispatcher** (*Le Régulateur*). Le *talker* peut devenir un *listener* en relâchant le bouton PTT et le *listener* devient un *talker* en appuyant sur le bouton PTT.

Le principal avantage du VGCS comparé à un appel *multi-party* (le dispositif d'appel de conférence du GSM) est l'optimisation de l'occupation de la bande de fréquence. Ainsi, quand de nombreux utilisateurs sont dans la même cellule (GSM), ils vont utiliser une fréquence pour tous les *listeners* et deux fréquences pour le *talker* (comme pour un appel point-à-point). Lors d'un appel *multi-party* il y a deux fréquences utilisées pour chaque utilisateur.

1.3. VBS (Voice Broadcast Service) :

Le VBS est un appel de diffusion : à la différence d'un VGCS, seule la personne ayant initié cet appel peut parler, les autres participants à l'appel ne peuvent qu'écouter. Ce type d'appel est utilisé principalement pour diffuser des messages pré-enregistrés ou faire des annonces.

2. Aspects opérationnels :

2.1. Adressage fonctionnel :

GSM-R offre une fonction d'adressage fonctionnel. Cela signifie que chaque utilisateur a son propre numéro d'appel et un ou plusieurs numéros relatifs à sa ou à ses fonctions (p. ex. se composant du numéro du train et d'une fonction sur le train).

L'attribution de ces numéros fonctionnels est réalisée par leur enregistrement dans le réseau GSM-R.



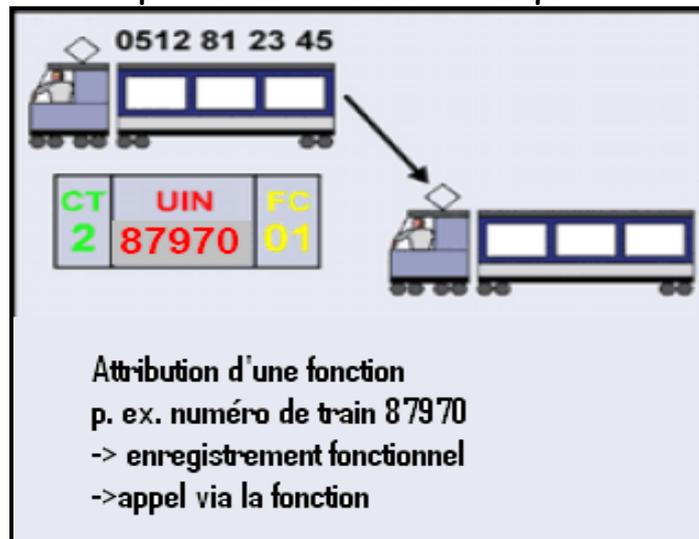


Figure 8 : Exemple de numérotation fonctionnelle.

Les appels à ce numéro fonctionnel sont transférés automatiquement par le système au terminal annoncé au moment concerné. Cela permet par exemple de joindre le mécanicien du train 87970 sans connaître le numéro de téléphone de son CAB-Radio ni de son téléphone mobile GSM-R.

Pour le personnel roulant (communication du train), le numéro fonctionnel est composé des chiffres 2 + numéro du train + code de fonction. Le code de fonction permet de distinguer les différentes fonctions dans un train.

- Le mécanicien (code de fonction = 01) conduisant le train 87970 peut être atteint au moyen du numéro 28797001 (2 87970 01).

- □ Le chef (code de fonction = 10) du train 87970 peut être atteint au moyen du numéro 28797010 (2 87970 10).

2.2 Numéros d'appel :

2.2.1 Plan de numérotation des utilisateurs mobiles :

Le plan de numérotation d'un réseau GSM-R est en principe conçu de la même façon que celui d'un réseau GSM public. Le numéro d'utilisateur mobile (MSISDN) est le numéro d'appel de l'utilisateur dans le réseau GSM-R. Le numéro MSISDN se compose de 15 chiffres au maximum.

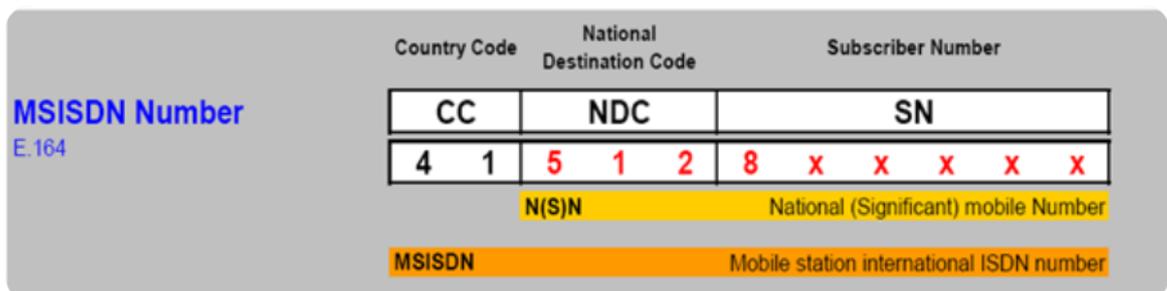


Figure 9 : Schéma représentant le numéro MSISDN

- **CC : CountryCode** (définit le code du pays)
- **NDC : NationalDestination Code** (Indicatif national)
- **SN : Subscriber Number** (numéro d'abonné)

2.2.2 Plan de numérotation du numéro fonctionnel :

Dans le cas du numéro fonctionnel, l'appel est adressé à la fonction assurée par l'interlocuteur désiré et non pas au moyen d'un numéro identifiant le terminal (appareil de mécanicien ou téléphone mobile GSM-R) de l'utilisateur [4].

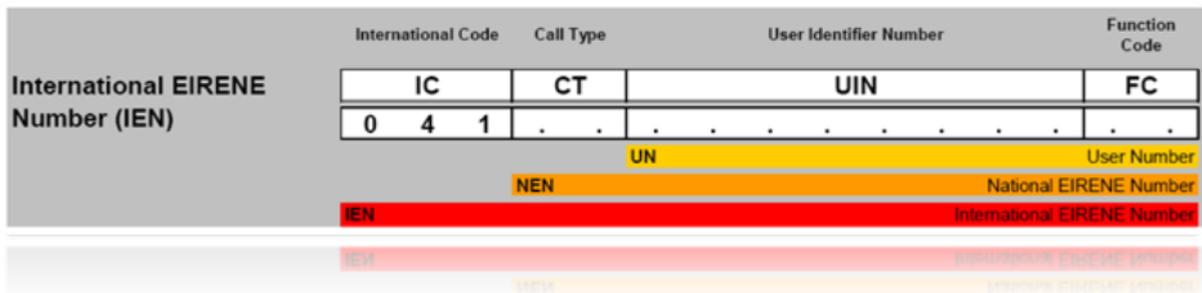


Figure 10 : Schéma représentant le numéro EIRENE International (IEN)

- **IC (3 chiffres) :** Indicatif d'identification du réseau en cas d'appel provenant de l'extérieur de celui-ci.
- **CT (2 chiffres) :** Indicatif déterminant le type d'appel.
- **UIN (8 chiffres) :** Groupe d'utilisateurs : numéro de train, numéro de véhicule moteur, numéro de voiture, numéro d'emplacement de l'équipe de manœuvre, numéro d'emplacement de l'équipe de maintenance, numéro d'emplacement du surveillant du train, numéro d'emplacement de groupe ou numéro d'utilisateur mobile
- **FC (2 chiffres) :** Code de fonction identifiant la personne ou l'équipement d'un train ou d'une équipe au sein d'une région.

2.3 Matrice d'accès :

La matrice d'accès est une matrice d'autorisation d'émission et de réception d'appel. Il est possible par l'administrateur réseau (ou par voie de maintenance pour certains postes) pour certains mobiles :

- d'interdire d'émettre des appels vers un autre réseau (fixe ou mobile) ou certains types de numéro au sein ou à l'extérieur du réseau.





- d'interdire la réception des appels en provenance de certains autres réseaux (fixes ou mobiles) ou de certains types de numéro au sein ou à l'extérieur du réseau.
- de n'autoriser que l'émission de certains numéros de téléphone prédéfinis (par exemple l'utilisateur ne peut pas appeler des conducteurs ou des utilisateurs à bord d'un train)

2.4. Acheminement dépendant du lieu :

Une autre fonction centrale du système est l'acheminement dépendant du lieu. Quand un numéro abrégé est composé, les appels sont acheminés à une destination prédéfinie. La fonction de routage dépendant du lieu permet de joindre, indépendamment du lieu où se trouve l'appelant, l'interlocuteur concerné au moyen d'un unique numéro abrégé valable pour la totalité de la zone couverte par le réseau GSM-R.

2.5 Service de messagerie courte (SMS) :

L'envoi et la réception de messages SMS sont possible sur le réseau GSM-R ainsi qu'en provenance et à destination des réseaux GSM publics (restrictions pour l'itinérance publique internationale).

Les points suivants doivent être pris en compte:

- Des SMS peuvent être envoyés à partir d'un terminal GSM-R à des numéros fonctionnels et à des numéros de téléphone ordinaires (numéros MSISDN).
- Des SMS à destination et en provenance des opérateurs publics (Maroc Télécoms, Wana et Méditel,...)
- Les SMS ne peuvent pas être envoyés avec une priorité et leur transmission n'est pas garantie.

2.6 Appels de groupe et appels collectifs :

Un appel de groupe permet la communication entre plusieurs membres d'une équipe ou d'un groupe au sein d'une zone géographique (Service Area). Par contre, les appels collectifs sont toujours émis par un seul membre du groupe pour tous les autres au sein d'une même zone de service (Service Area) sans que ceux-ci puissent répondre. Pour l'envoi et la réception d'appels de groupe ou d'appels collectifs, un terminal offrant la fonctionnalité ASCI (Advanced Speech Call Items) est nécessaire ainsi qu'une configuration d'identifiant de groupe au niveau de la carte SIM. Enfin et vu leur grande importance, les appels d'urgence train et manœuvre sont des appels de groupe de haute priorité.

3. Les Fournisseurs GSM-R :

Des différents fournisseurs sont en concurrence pour la fourniture des équipements du système GSM-R, soit au niveau infrastructure, soit au niveau utilisateur, le tableau 6 résume les principaux types d'équipements ainsi que leurs fournisseurs existants. Alors que la figure 8 représente la part de marché en pourcentage des longueurs de lignes installés par les trois principaux fournisseurs d'infrastructure GSM-R (Nortel, Siemens et Huawei) ainsi que les différents pays du monde qui ont adopté le système GSM-R.



Type d'équipement	Principaux fournisseurs
<i>Infrastructure</i>	SIEMENS, NORTEL, HUAWEI
<i>Cabine-Radio « CAB RADIO »</i>	ALSTOM, HFWK, NORTEL, SIEMENS KAPSCH, SAGEM
<i>Régulateurs « Dispatchers »</i>	SIEMENS, FREQUENTIS, ZENITEL
<i>Portables</i>	SAGEM , SELEX, TRIORAIL, HUAWEI

Tableau 3 : Les principaux fournisseurs des équipements du système GSM-R

IV. Présentation de la technologie SDH

1. Hiérarchie de multiplexage :

Le transport de l'information au niveau physique doit sans cesse évoluer pour répondre aux évolutions et aux besoins. Ainsi les réseaux multiservices demandent aujourd'hui une grande flexibilité du réseau au point de vue du débit ainsi qu'une amélioration des fonctions d'exploitation et de maintenance.

Lorsque la numérisation des communications téléphoniques a débuté, il était nécessaire de mettre en place un standard pour le multiplexage de plusieurs voies de téléphone simultanément sur un même circuit. Les Américains ont adopté un standard permettant le multiplexage de 24 voies de 64 kbit/s sur un support à 1544 kbit/s. Ce format est nommé DS-1. Les Européens ont quant à eux mis en place un standard au format E-1 multiplexant 30 canaux de parole sur un support à 2048 kbit/s.



A partir de ce multiplexage de base (E-1 ou DS-1), toute une hiérarchie PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy : hiérarchie presque synchrone) a été définie, qu'elle soit multiple du canal de base dans le cas européen ou d'organisation plus complexe dans le cas américain (elle n'est pas multiple du canal de base, les bits de synchronisation n'étant pas proportionnels au nombre de voies transportées).

La hiérarchie européenne s'articule comme suit :

E-1 = 2,048 Mbit/s

E-2 = 8,448 Mbit/s

E-3 = 34,368 Mbit/s

E-4 = 139,264 Mbit/s

Mais la numérisation totale des supports physiques, les besoins de plus en plus importants en flexibilité du réseau de transmission, la nécessité d'améliorer les fonctions d'exploitation et de maintenance, les débits croissants sur fibre optique et la migration vers la large bande ont nécessité le développement d'une nouvelle hiérarchie.

Ainsi, au milieu des années 80, Bellcore (BELL Communication Research) mit au point les normes appelées SONET (Synchronous Optical Network), définies pour les réseaux optiques synchrones et visant à créer un réseau numérique sur fibres optiques à la fois souples, fiables et de grande capacité.

Depuis, l'UIT-T (Union Internationale des Télécommunications, anciennement CCITT) a adapté la norme SONET et a créé une norme mondiale. Il s'agit de la hiérarchie SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Cette hiérarchie ainsi que la SONET, s'organisent toujours avec un échantillonnage toutes les 125 μ s comme pour la PDH, mais par contre elles sont complètement synchrones : une trame d'une longueur dépendant de la vitesse sera émise toutes les 125 μ s.

Cette valeur de 8000 Hz s'explique par le théorème de Shannon, qui dit que la fréquence d'échantillonnage pour numériser un signal doit être au moins deux fois supérieure à la fréquence du signal à numériser. Or la voix a une bande passante de 30 Hz à 3000 Hz, donc la fréquence d'échantillonnage doit être au moins supérieure à deux fois 3000 Hz (6000 Hz) et pour plus de précision la valeur de 8000 Hz a été choisie.

2. Principe de fonctionnement :

2.1 Trame SDH :

La hiérarchie SDH a été normalisée par l'UIT-T (sous les normes G.707, G.708 et G.709).

Une trame SDH a une période de 125 μ s ce qui fait 8000 échantillons par seconde. Chaque trame étant composée de 9 fois 270 octets, le débit est de 155.520 Mbit/s ($9 \times 270 \times 8 \times 8000$).

La trame, avant d'être envoyée vers le récepteur, est embrouillée afin d'éviter une longue suite de 0 ou de 1.

Ainsi le signal comportera un nombre suffisant de transitions ce qui évitera des erreurs lors de la transmission. Une fois le signal arrivé au récepteur, il est désembrouillé et on récupère ainsi les informations originales dans le même ordre et sans erreur. Il faut noter que certaines parties de la trame ne sont pas embrouillées (ce sera spécifié cas par cas)

La trame de base, appelée STM-1 ("Synchronous Transport Module 1") est structurée en octets et possède les caractéristiques suivantes :



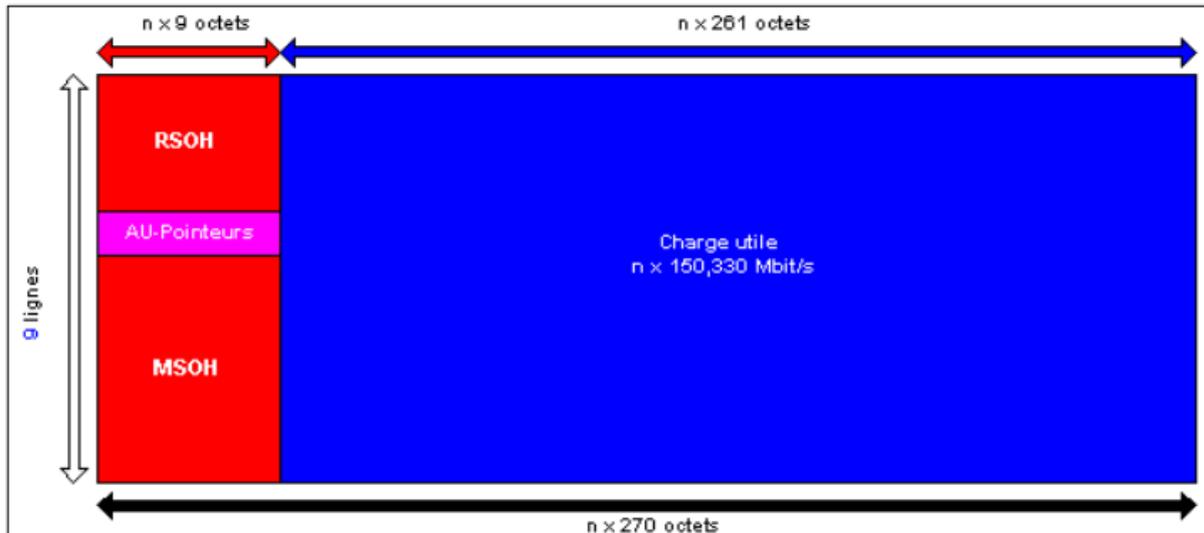


Figure 11 : Trame SDH

- Taille : 2430 octets (organisation : 9 rangées / 270 colonnes)
- Durée : 125µs (i.e. synchronisation sur le 8 kHz, contrainte vocale...) et donc un débit de 155 Mbit/s.

$$\text{Débit} = (n \times 270 \times 9 \times 8 \text{ bits}) / 125 \mu\text{s} = n \times 155,520 \text{ Mbit/s}$$

Il y a 3 zones dévolues aux informations suivantes :

- **la charge utile** (“payload”) qui est l’information utile, i.e. celle de l’utilisateur (liaison entre 2 commutateurs),
- **les pointeurs**
- **RSOH** et **MSOH** le sur-débit de section (SOH = “Section OverHead”) réservé à l’exploitation.

A partir du STM-1 la norme SDH prévoit la construction de trame de niveau n, les STM-n proposant des débits supérieurs :

Tableau récapitulatif des STM-n actuellement normalisés :

STM-n	Débit/s	Support
STM-1	155 Mbit/s	FO, radio, coaxial
STM-4	622 Mbit/s	Fibre optique
STM-16	2,5 Gbit/s	Fibre optique
STM-64	10 Gbit/s	Fibre optique
STM-256	40 Gbit/s	Fibre optique

2.2 Notion de conteneur (“container”) :

Tout signal à transporter est placé dans un conteneur de taille fixe C-n (n=1, 2, 3 ou 4). Les signaux affluant à transporter en SDH proviennent de liaisons qui peuvent être synchrones ou asynchrones et avec des débits différents.

Pour faciliter leurs transports on les accumule dans des conteneurs adaptés :



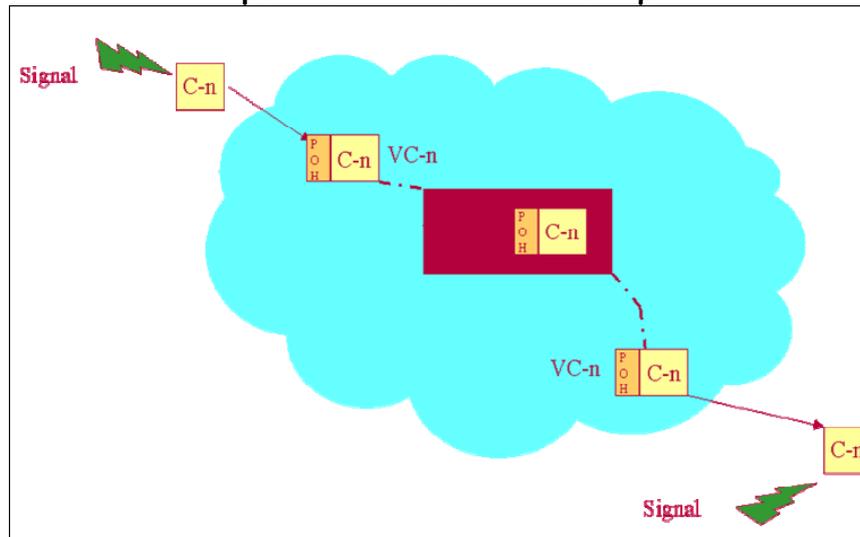


Figure 12 : Les conteneurs virtuels

Il y a donc différents conteneurs pour chaque type de signaux à transmettre.

Par exemple, pour le 2 Mb/s, les conteneurs sont les VC-2.

Ce conteneur est transporté dans le réseau de transmission SDH entre le point d'entrée et le point de sortie par un chemin appelé aussi un conduit ("path"), pour cela des bits de gestion appelés POH ("PathOverHead" = surdébit de conduit) sont ajoutés au conteneur.

L'ensemble forme un conteneur virtuel : $C-n + POH = VC-n$. Les VC-n sont multiplexé dans la trame STM-N avec un système de repérage par pointeur.

2.3 Les pointeurs :

Pour pouvoir remplir un VC avec un affluent et le projeter dans la trame SDH, tout en pouvant le localiser immédiatement, la norme SDH utilise un pointeur, c'est-à-dire une adresse (semblable au principe de l'adressage indexé).

Le principe est donc de ne pas placer le conteneur à un endroit précis dans la trame, (ce qui nécessiterait l'utilisation de mémoires tampons pour synchroniser l'ensemble) mais bien d'indiquer dans une zone mémoire appelée pointeur, l'adresse relative du conteneur par rapport au début de la trame.

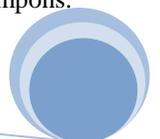
Le VC "flotte" donc à l'intérieur des trames et est le plus souvent en chevauchement sur deux trames consécutives.

Le pointeur a deux fonctions importantes : rattraper le déphasage des trames synchrones et assurer la synchronisation des trames asynchrones.

En pratique, les signaux (VC) sont transportés dans des trames synchrones qui lorsqu'elles entrent dans un nœud SDH qui va les manipuler (un multiplexeur) ont une phase quelconque par rapport à l'horloge de référence du nœud; le nœud va dès lors aligner ces signaux en les plaçant dans des trames générées localement : pour cela, il lui suffit de recalculer (réajuster) la valeur du pointeur pour tenir compte de la différence relative de phase. Les pointeurs résolvent donc le problème d'alignement des trames synchrones sans nécessiter de mémoires-tampons.

De plus l'utilisation de pointeur permet l'accès direct aux affluents de la trame.

1.4 Sur-débit :



2.4.1 Le POH: Path Over Head:

Un sur-débit de conduit (POH : PathOtherHead) est généré et ajouté au conteneur dès son entrée dans le réseau SDH pour former le conteneur virtuel.

Le POH procure au conteneur les éléments de sa propre gestion indépendamment des autres entités de transport. Son contenu sera extrait et interprété à l'autre extrémité du conduit, en sortie du réseau SDH.

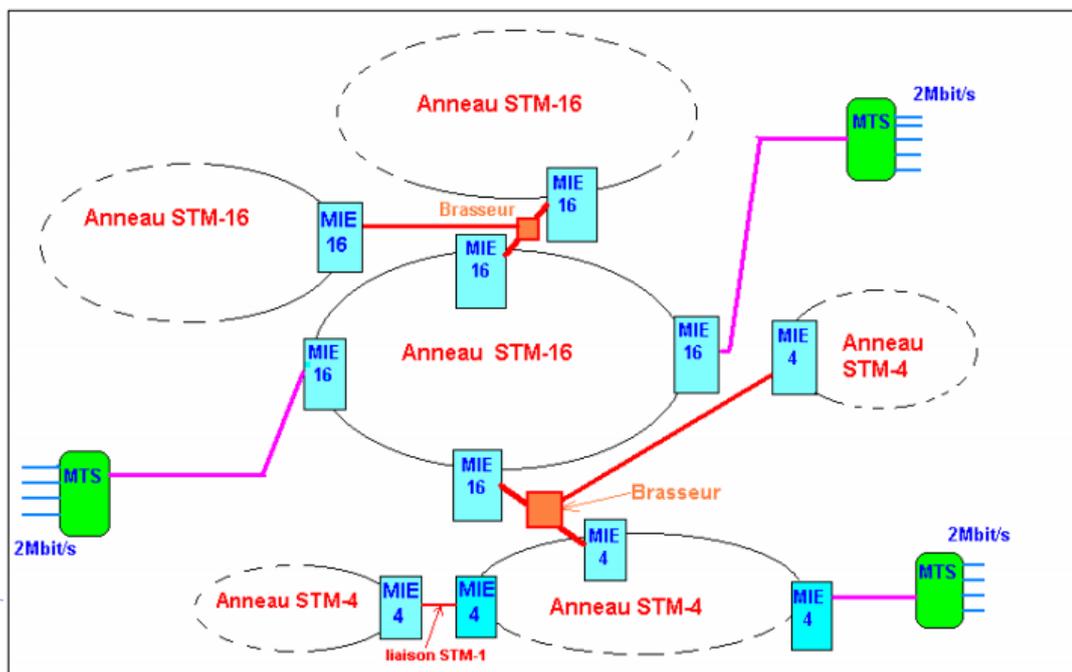
2.4.2 Le SOH: Section Over Head:

La norme SDH associe à la section un en-tête, le SOH qui contient des données de contrôle de la transmission de noeud à noeud (commutation de protection, supervision des erreurs).

La section est partagée entre :

- la section de régénération
 - la section de multiplexage
- Le sur-débit SOH est partagé entre deux sur-débits : RSOH ("Regenerator SOH") et MSOH ("Multiplex SOH").
 - Le RSOH est dédié à la gestion des sections de régénération (il est donc traité au niveau des répéteur-régénérateurs).
 - Le MSOH est dédié à la gestion des sections de multiplexage (il est donc traité au niveau des terminaux de ligne).

2.5 Exemple de structure d'un réseau SDH :





- **MIE :**

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

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

- **Brasseur :**

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

- **MTS :**

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

- **Anneau :**

Le support physique utilisé pour relier les MIE.

V. Présentation de La technologie faisceau hertzien :

1. Généralité :

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. Le FH s'appuie sur des équipements INDOOR et des équipements OUTDOOR qui ne fonctionnent qu'ensemble.





Le FH fonctionne en hyperfréquence (très élevées, plus de 2 Giga Hertz) selon l'usage et la distance à parcourir.
Une autre forme de FH est la liaison satellite.

2. Principe de FH

a. Présentation des faisceaux hertziens :

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.

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

Un faisceau hertzien est une liaison haute fréquence "point à point" destinée à véhiculer sur une porteuse harmonique un signal analogique ou un signal numérique, enfermé dans un ellipsoïde de Fresnel.

Le tir du faisceau est dirigé de l'émetteur (fixe ou mobile) vers un récepteur bien ciblé, en général fixe.

- afin de concentrer ce tir, le dipôle émetteur est placé au foyer d'une parabole
- afin d'augmenter sa sensibilité, le dipôle récepteur est lui aussi placé au foyer d'une parabole
- afin de franchir certains obstacles naturels, arbres et reliefs, bâtiments, rotondité de la Terre sur les distances > 5 km ..

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

Les faisceaux hertziens sont souvent complémentaires de réseaux de fibre optique pour assurer la continuité de certains points de raccordement ou sont utilisés pour redonder certaines liaisons cuivre tout en optimisant les coûts notamment par rapport à des liaisons louées.

On utilisera dans les faisceaux hertziens 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.

b. Structure d'un faisceau hertzien :

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.

La structure générale d'une liaison hertzienne (analogique ou numérique) sous forme simplifiée est :

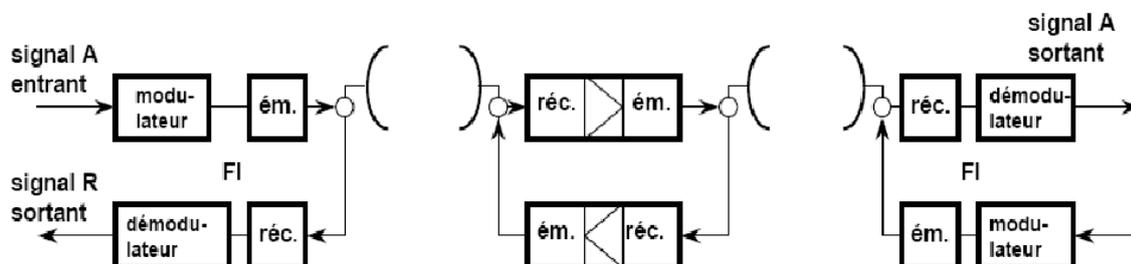
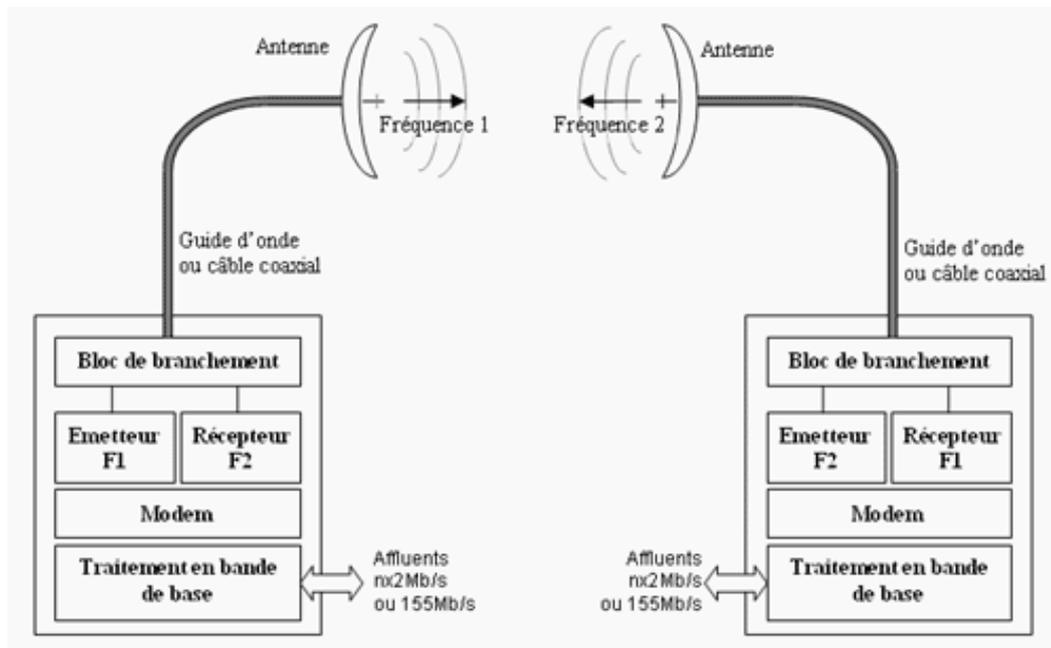


Figure 13 : Schéma synoptique typique d'un faisceau hertzien

Une liaison hertzienne comprend deux stations terminales et des stations relais ; elle est composée d'un ou plusieurs bonds. On appelle station terminale, toute station située à la fin d'une liaison hertzienne. On appelle stations relais, celles situées entre les stations terminales.





On appelle bond hertzien, la distance séparant deux stations consécutives.

Les conditions de propagation (distance, visibilité) obligent souvent à diviser une liaison en plusieurs bonds séparés des stations relais qui reçoivent le signal hyperfréquence; 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.

c. Caractéristiques :

Les FH sont utilisés :

- En réseaux d'infrastructure

Téléphonie,

Diffusion d'émission de télévision

- En réseaux de desserte
 - Liaisons BTS - BSC en GSM ; GSM-R
 - Boucle Locale Radio,

Ils sont aussi utilisés sur de :

- Grandes distances, # 50 km en liaison directe (Infrastructure téléphonique)
- Courtes distances:
 - Infrastructure GSM
 - LS (Liaison spécialisée)

Débit théorique: Jusqu'à 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 ou 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.

d. Avantages / Inconvénients :

Avantages

- Installation facile et rapide.
- Matériel flexible et évolutif.
- Faible interférence comparée aux réseaux hertziens classiques.



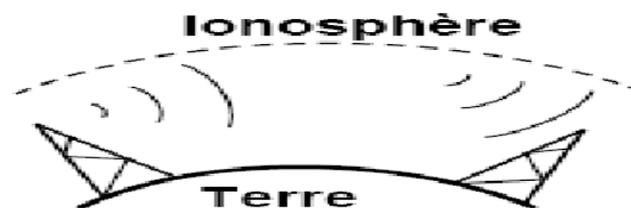
☒ **Inconvénients**

- Exploitation sous licences, sur certaines fréquences.
- Coûts des licences.
- Liaison sensible aux hydrométéores, notamment lors de fortes pluies.
- Distance/Débit

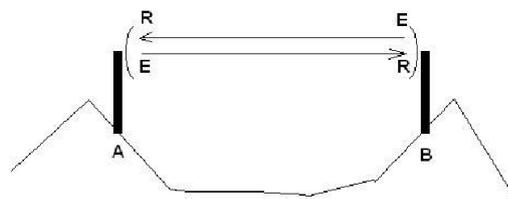
e. Type de liaisons radioélectriques :

Une Liaison radioélectrique est une communication bidirectionnelle entre deux points en vue, chacun équipé d'un émetteur et d'un récepteur, généralement en visibilité. Exceptionnellement, une liaison peut s'établir en :

- Utilisant la réflexion et la diffusion par l'ionosphère (haute atmosphère, 70 à 1000 km d'altitude) dans la bande des ondes courtes (3 à 25 MHz) On obtient une liaison transhorizon de très longue portée, mais de faible capacité



- Une liaison peut s'établir en visibilité directe entre plusieurs stations placées sur des points hauts.



VI. Présentation des réseaux *IP/MPLS* :

1 Introduction :

Le protocole IP est un protocole de niveau 3 fonctionnant en mode non connecté. Ce qui signifie que la décision de routage d'un paquet est localement par chaque nœud. De ce fait,





l'émetteur d'un paquet ne peut pas prévoir le chemin qui sera emprunté par ce dernier. Enfin, lors du routage, le choix du prochain saut est fait en fonction d'un des deux critères suivants :

- Le nombre de routeur traversé par le paquet doit être minimal (ex : RIP).
- La somme des poids de tous les liens empruntés par le routeur doit être minimale.

Cependant, dans leurs réseaux, les opérateurs ont besoin de plus de "certitude" quant au routage du trafic.

La technologie MPLS va permettre au réseau IP de pouvoir mettre en œuvre tous les besoins explicités ci-dessus.

Enfin, dans les réseaux IP, les tables de routage sont de plus en plus grande, et donc longue à parcourir. De ce fait la décision de routage faite par chaque routeur est "lente" car il faut parcourir toute ou partie de la table de routage.

Le MPLS offre une meilleure rapidité de commutation des paquets, en effet la décision de routage se fait en analysant un label insérée par le protocole MPLS entre les couches 2 et 3. Ainsi chaque routeur possède une table associant un port/label d'entrée à un port/label de sortie. Cette table est rapide à parcourir, ce qui a pour but d'accroître la rapidité de routage par rapport à un réseau IP.

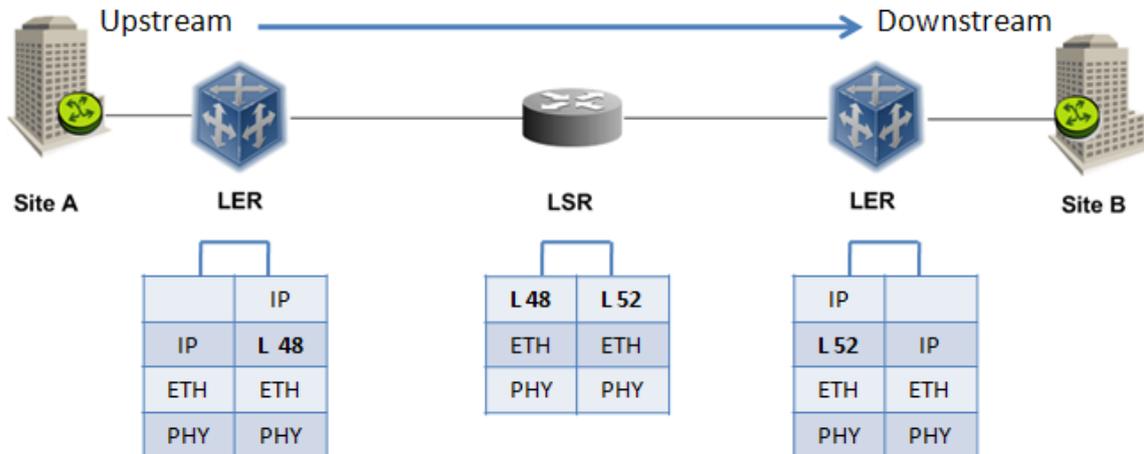
2. Principe du MPLS :

La commutation de labels

Les réseaux IP/MPLS se base sur l'établissement de chemin entre deux machines (Les Label Switched Path ou LSP). La commutation des paquets circulant sur ce chemin est faites en analysant un label contenu dans l'entête MPLS qui est ajouté entre la couche 2 (souvent Ethernet) et la couche 3 IP.

Voici un schéma résumant le principe de la commutation de label tout au long d'un chemin ou Label SwitchedPath :





A l'entrée du réseau MPLS, les paquets IP se voient insérés un label par le "Ingress Label Edge Router" ou "Ingress LER". Les LER sont les routeurs MPLS se situant à la périphérie du réseau de l'opérateur. Les paquets labélisés sont ensuite commutés vers le cœur du réseau selon son numéro de label. Les routeurs MPLS du cœur de réseau, les Label Switching Router, commutent ensuite les labels jusqu'au LER de sortie (Egress LER). Le chemin qui a été pris par le paquet, et préalablement établi, au travers du réseau s'appelle un Label Switched Path (LSP).

Le schéma nous montre le détail de la pile de protocole mis en œuvre durant cette transmission, on remarque la présence du label MPLS entre la couche Ethernet et la couche IP. Nous allons maintenant analyser le format de l'entête MPLS :

Label	CoS	S	TTL
20 bits	3 bits	1 bit	8 bits

L'entête MPLS a une taille de 4 octets et est composé par les champs suivants :

- **Le numéro de label**
- **CoS** : Chaque paquet labélisé peut se voir attribuer une Class of service, afin de permettre différentes « discardpolitics » ou « schedulingpolitics » pour des paquets ayant le même numéro de label. Cependant la RFC précise que c'est un champ encore expérimental.
- **S** : bottom of stack. Le bit "S" est à 1 quand le dernier label de la pile est atteint. On verra par la suite que l'on peut empiler les labels (par exemple pour créer des Tunnels).
- **TTL** : Ce champ a le même rôle que le TTL de l'entête IP. Etant donné que l'entête IP n'est pas analysé par les LSR, la valeur du TTL est recopiée dans l'entête MPLS à l'entrée du réseau par le Ingress LER.





**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique**



Ensuite, à chaque commutation par un LSR, le TTL est modifié. La valeur TTL de l'entête MPLS est ensuite recopié dans l'entête IP à la sortie du réseau MPLS par le Egress LER.

Nous allons maintenant voir, comment se fait la décision d'attribuer un label particulier à un paquet IP. Ensuite nous allons voir comment sont échangés les Labels entre les LSR, car des échanges sont indispensable pour construire les LSP et les tables de commutations.

Forwarding Equivalent Class

Les paquets IP entrant sur le réseau MPLS sont associés à une FEC : Forwarding Equivalent Class.

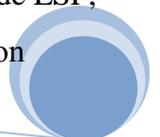
Une FEC va définir comment sera acheminé à travers tous le réseau MPLS. En IP, la classification d'un paquet dans une FEC est faite sur chaque routeur, à partir de l'IP destination. En MPLS, le choix d'une FEC peut être fait selon plusieurs paramètres (adresse IP source, destination et paramètre de QoS (débit, délai)).

Les paramètres intervenant dans la classification d'un paquet dans une FEC dépend du protocole de distribution de label utilisé : LDP ou RSVP-TE. En effet seul RSVP-TE, que nous détaillerons plus tard, permet de classifier un paquet dans une FEC selon des paramètres de QoS.

Pour classifier un paquet dans une FEC, MPLS s'appuie sur le protocole de routage mis en oeuvre sur le réseau IP. Par exemple, le protocole LDP associe une FEC par préfixe réseau présent dans la table de routage du routeur. De plus, une FEC peut se voir attribuer plusieurs "Class of service", afin de permettre différentes « discardpolitics » ou « schedulingpolitics » (champ CoS de l'entête MPLS).

Ainsi, chaque FEC se voit associer un label de sortie. Le routeur saura donc quel label il doit attribuer aux paquets IP correspondant à telle ou telle FEC.

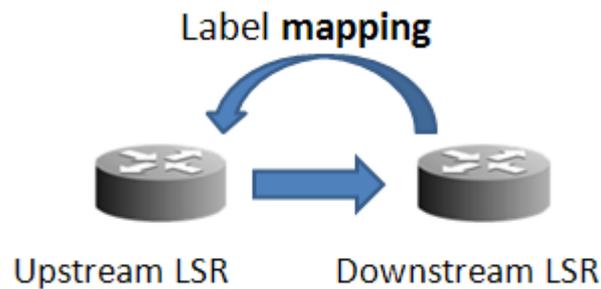
Nous allons maintenant voir comment sont distribuées ces associations FEC/labels entre tous les routeurs du réseau. En effet, ces échanges sont indispensables à l'établissement de LSP, car chaque nœud doit savoir quel label il doit attribuer à une FEC avant de l'envoyer à son voisin.



Distribution des labels

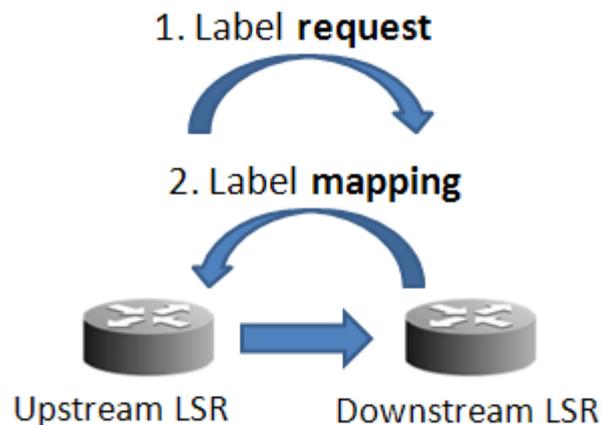
Dans les réseaux IP/MPLS il existe deux modes de distribution des labels.

Le premier mode de distribution est le "UnsolicitedDownStream ". Voici un schéma synthétisant son fonctionnement :



Le principe est simple, dès qu'un routeur à associé un label à une FEC, il informe tous ses voisins de cette association. Et cela de manière automatique. Ceci a pour but d'augmenter le trafic dû à la "signalisation" sur le réseau.

Le deuxième mode de distribution, qui est le plus utilisé dans les réseaux IP/MPLS, se nomme "DownStream On Demand".



Avec ce mode de distribution, l'Up Stream LSR demande au Down Stream LSR de lui fournir le numéro de label qu'il a associé à une FEC particulière. Le Up Stream LSR est le routeur qui envoie le trafic vers le Down Stream LSR, ainsi lors du passage d'un paquet qui n'est pas encore associé à une FEC, le Up Stream LSR va devoir demander l'association d'un label pour cette FEC au LSR suivant (le Down Stream LSR sur ce schéma).

C'est ce dernier mode de distribution qui est utilisé par le protocole RSVP-TE que nous verrons par la suite.

Rétention des labels

Nous avons vu dans la partie précédente que les routeurs recevaient de nombreuses informations à propos des associations FEC/label qui ont été faites par leurs voisins.



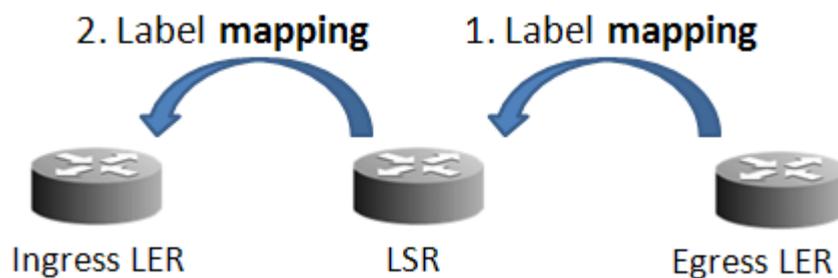
On peut donc s'interroger sur la politique qui est mise en place par rapport à la conservation de ces associations FEC/label.

L'architecture MPLS prévoit deux politiques de rétention des labels :

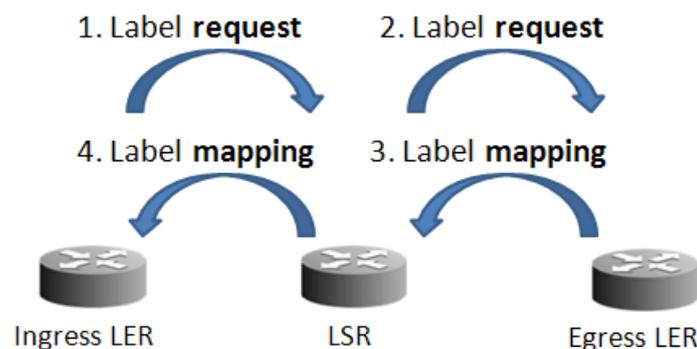
- **Mode "Libéral"** : un LSR conserve tous les labels annoncés par ces voisins, même ceux qu'il n'utilise pas. Ce mode offre une convergence rapide lorsqu'un nœud du réseau tombe. Cependant ce mode est plus consommateur que le mode "Conservative". Le mode "libéral" est utilisé en mode de distribution de label "Unsolicited Down stream".
- **Mode "Conservative"** : un LSR ne conserve que les labels envoyés par le routeur "next-hop" pour la FEC associé à ce label. Ce mode offre une convergence plus lente lors d'un changement de topologie du réseau (routeur en panne, etc), cependant il offre une faible consommation en mémoire. Le mode "Conservative" est utilisé en mode de distribution de label "DownStream On Demand".

Label SwitchingPath

La création d'un Label SwitchedPath à travers le réseau est différente selon le mode de distribution de labels utilisé dans le réseau.



En mode "UnsolicitedDownStream", le Egress LER qui est le dernier routeur MPLS avant la destination annonce à ses voisins une association de label à une FEC. Chaque noeud, entre le Egress LER et le Ingress LER vont propager à leur voisins l'association qu'ils ont faites pour la même FEC. Une fois que cette annonce parvient au Ingress LER, le LSP est établi !



En mode "DownStream On Demand", lorsque le Ingress LER voit arrivé pour la première fois un paquet qui n'est pas associé à une FEC, il va faire une demande de Label pour cette FEC au LSR faisant office de "next-hop" pour



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique**



ce paquet IP. Chaque noeud, de proche en proche, va propager cette demande jusqu'au Egress LER. Ce dernier va alors associer un label à la FEC et propager cette association, en sens inverse, du Egress LER au Ingress LER. Une fois que l'association FEC/label est parvenue au Ingress LER, le LSP est établi.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons pu faire le tour des fonctionnalités GSM-R, ainsi que les spécifications propres à ce standard. On peut en conclure que c'est un système qui est venu standardiser les communications radio dans un pays, ou à travers un continent et unifier les équipements. Il présente en plus la possibilité de couplage avec le système GSM pour une meilleur gestion administrative, il est plus sécurisé, offre un système de gestion et de suivi centralisé, en plus d'un grand nombre de nouvelles fonctionnalités et services.

Le chapitre s'est déroulé aussi sur les parties théoriques des différents modes de réseau de transmission susceptibles pour le dimensionnement du réseau GSM-R dans la ligne LGV.

La partie suivante présente l'étude technique de notre sujet.

Chapitre 3 :

Etude de cas





Chapitre 3

1. Dimensionnement de réseau de transmission pour un réseau GSM-R

Introduction :

L'interface Abis est l'interface qui existe entre la BTS et le BSC, c'est une liaison à 2Mbits/s qui contient 32 intervalles de temps à un débit de 64 Kbits/s chacun,

Le support de transmission de l'interface Abis peut être constitué de deux types :

- Soit on utilise les câbles de transmission (Fibre Optique,...), et dans ce cas on doit placer un équipement de transmission du côté de la BTS et un autre du côté du BSC.
- Soit on utilise une liaison FH (faisceaux hertziens).

Le type de support de transmission utilisé dépend de la distance et de l'emplacement de la BTS par rapport au BSC.

1. Étude des scénarios du dimensionnement du réseau de transmission pour le GSM-R sur la Ligne LGV Kenitra Tanger :





**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique**



L'étude sera centré sur La LGV : Tanger-Kenitra pour déterminer le mode de transmission le plus adéquat pour le du réseau GSM-R sur cette ligne.

Pour cela, on a proposé d'étudier trois architectures différentes :

- Dimensionnement du réseau transmission à base des Faisceaux Hertziens (technologies non filaires).
- Dimensionnement du réseau transmission à base du réseau SDH (Synchronous Digital Hierarchy)(Réseaux filaires).
- Dimensionnement du réseau transmission à base du réseau IP/MPLS (Réseaux filaires).

D



Figure14 :
de la LGV



carte

- Dimensionnement des BSC





**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique**



Puisqu'un BSC a généralement en moyenne la possibilité de gérer jusqu'à 500 BTS et jusqu'à 1000 TRX. D'après une étude de couverture radio sur le tronçon Tanger-Kenitra nous aurons besoin de 32 BTS avec une estimation maximale de 2 TRX par cellule, nous aurons besoin donc de transporter 64 TRX pour le réseau Tanger-Kenitra, donc un seul BSC est largement suffisant dans notre cas.

Toutes les BTS de la LGV Kenitra Tanger seront raccordés à cet unique BSC qui sera installé à Rabat.

En prenant en considération la sécurité des équipements, et pour augmenter la disponibilité du réseau GSM-R nous proposons comme solution que le BSC backup de la ligne à grande vitesse Tanger-Kenitra sera celui de la ligne classique

1.1 Dimensionnement du réseau de transmission avec FH :

La connexion entre la BTS et le BSC est une liaison à haut débit (2 Mbits/s) qui est réalisée dans notre cas par un faisceau hertzien consistant en une transmission par onde radio à une fréquence très élevée (supérieure ou égale à 15 GHz dans le cas d'opérateurs de téléphonie mobile).

Par contre une transmission par câble qui représente un coût de location relativement important et nécessite ce qui dit que le faisceau hertzien a un coût inférieur à celui d'une ligne louée.

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



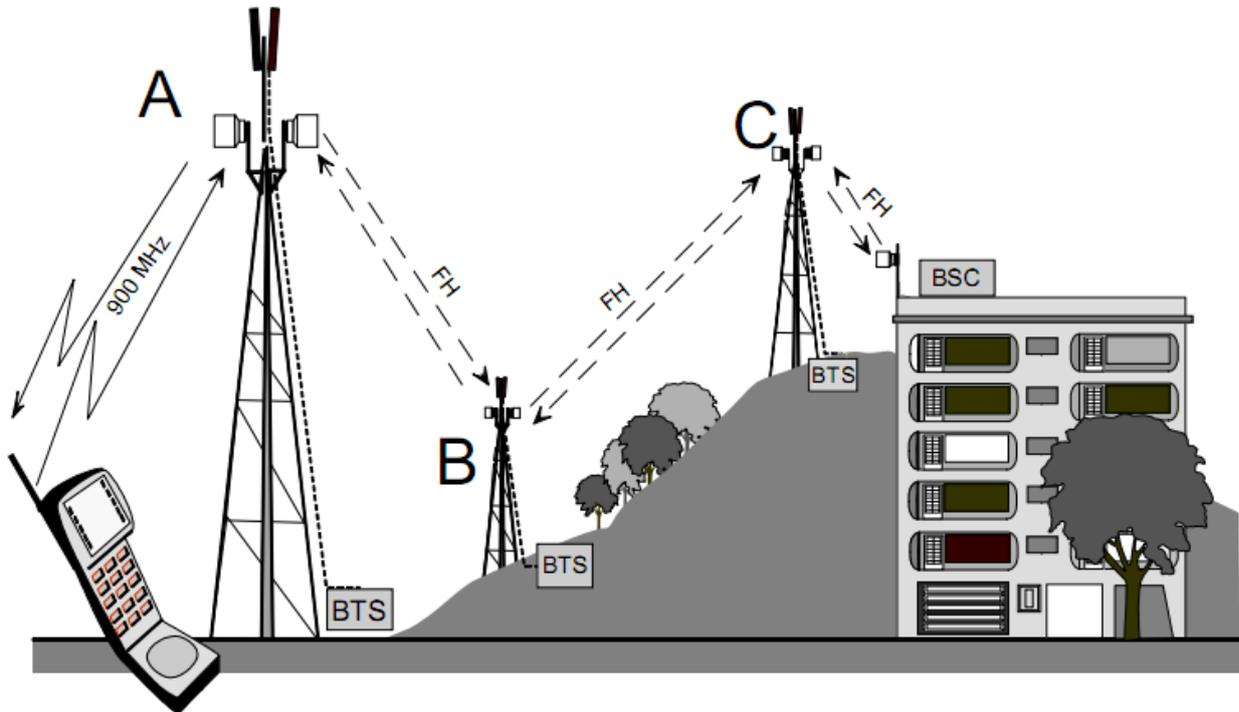


Figure 15 : Connexion en plusieurs « sauts »

1.2 Inconvénients de la solution de dimensionnement de réseau de transmission avec FH

Les faisceaux hertziens, compte tenu des fréquences utilisées et de la directivité de la liaison, nécessitent avant toute liaison, d'effectuer un calcul pour déterminer la faisabilité, l'affaiblissement de la liaison et la puissance d'émission à utiliser.

L'affaiblissement est déterminé en fonction de la présence d'obstacles, on cumule les gains des antennes, les pertes dans les câbles coaxiaux et la perte liée à la distance et l'on compare le résultat à la sensibilité du récepteur.

Le déploiement des liaisons FH obéit à des règles très précises d'ingénierie. le bilan de la liaison doit être calculé en tenant compte des paramètres suivants: Distance, situation (altitude, climat, environnement radioélectrique), puissance isotrope rayonnée équivalente, topologie du réseau (maillage, point à point).

Ce qui traduit que pour avoir une meilleure transmission il faut avoir le minimum d'obstacles entre les antennes FH ce qui est difficile sur une distance de 200 Km (Kenitra –Tanger)

De plus les réseaux FH demandent l'octroi d'une licence qui va nécessiter le paiement d'une redevance annuelle et l'attribution de la licence dépend de l'utilisation du spectre de fréquence sur le plan national.

Vu que l'ONCF dispose d'un réseau en Fibre optique couvrant tous son réseau ferroviaire. (Par exemple la ligne Tanger-Sidi Kacem dispose d'un câble à de 32 brins de fibres optiques) dans une même artère le long de voies ferrées (l'image suivante), il en résulte que les réseaux filaires sont la solution la plus optimale pour dimensionner



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique



le réseau de transmission pour le GSM-R de la LGV, car une seule artère de fibre optique reliera toutes les BTS de la LGV.

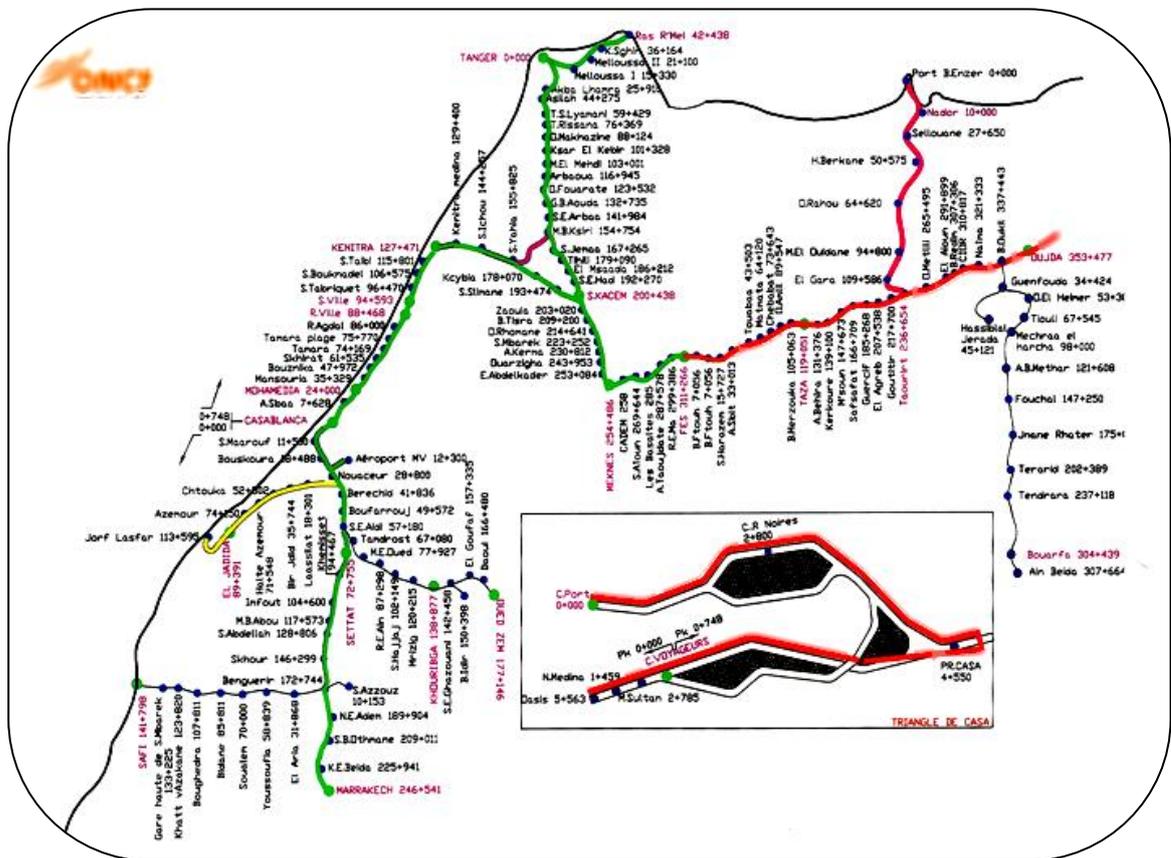


Figure 16 : carte fibres optiques

2. Comparaison entre la transmission IP /MPLS et SDH:

2.1. La solution de transmission IP/MPLS

Comme on a montré dans la partie précédente que la solution du dimensionnement de réseau de transmission avec FH n'est pas convenable sur l'axe de Tanger Kenitra de la LGV l'étude suivante sera focaliser sur le dimensionnement du réseau de transmission avec les réseaux IP/MPLS, dans un premier temps on va mettre l'architecture avec une seule BTS :



Les équipements présentés sur la figure sont:

✓ IPMUX -1E:

La passerelle IPmux-1E réduit les dépenses d'exploitation en offrant pratiquement tous les services TDM, données et LAN sur des réseaux IP/Ethernet/MPLS, tout en donnant priorité au trafic TDMoIP sur la liaison réseau.

Le boîtier se caractérise par :

- Services TDM sur réseaux Ethernet, IP ou MPLS
- Ports utilisateur analogiques, E1/T1 avec annulation d'écho
- Pontage LAN transparent sur réseaux à commutation de paquets
- Interfaces liaison composite Fast Ethernet fibre et cuivre
- Support QoS

Les fonctionnalités de QoS améliorées permettent d'adapter la bande passante au moyen de transport. Les utilisateurs peuvent configurer les valeurs ToS ou DiffServ des paquets TDMoIP sortants, pour s'assurer qu'ils reçoivent la priorité requise par les commutateurs et routeurs du réseau.

L'IPmux-1E présente les interfaces suivantes :

- Options de port utilisateur TDM :
 - Port E1/T1 standard avec annuleur d'écho
 - Quatre ports analogiques (FXS/FXO/-E&M) avec en option annuleur d'écho
 - Quatre ports BRI RNIS S0
- Une liaison composite Ethernet avec interface 10/100BaseT ou 100BaseFX
- En option, port utilisateur Ethernet avec interface 10/100BaseT pour connectivité LAN

L'IPmux-1E gère également divers canaux d'accès de configuration, et notamment Telnet, SNMP, serveur Web et TFTP.

✓ **Switch 1Gbit/Ethernet** : (Prenons l'exemple du boîtier du distributeur La gamme Cisco ME 3600 X)

la gamme Cisco ME 3600X série s'étend vitesse de transport du portefeuille à 10 Gbps dans la couche d'accès pour les applications professionnelles et mobiles. Il permet également aux fournisseurs de services de lancer Multiprotocol Label Switching (MPLS) à base de services VPN à partir de la couche d'accès.

Le boîtier conçu pour la FO est :

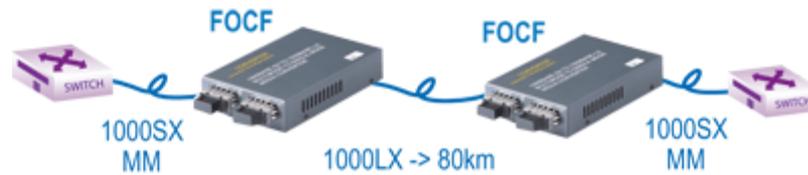
- Cisco ME 3600X-24FS (fibres) avec 24 ports Gigabit SFP Ethernet et 10 Gigabit Ethernet deux ports SFP +
- La gamme Cisco ME 3600X série donne aux fournisseurs de services la possibilité d'étendre MPLS vers la périphérie du réseau pour obtenir les avantages d'un plan unifié de contrôle MPLS à travers leur réseau.

✓ **FOCF** : Les convertisseurs *FOCF* permettent l'interconnexion de 2 équipements Ethernet fibre

Le FOCF est un convertisseur d'interface pur disponible en Fast-Ethernet fibre 100FX multi-mode vers monomode et en Giga-Ethernet fibre de 1000SX multi-mode vers 1000LX monomode.



Destiné à interconnecter deux équipements Ethernet au média différents, il est souvent une solution économique pour offrir une longue portée d'Ethernet aux équipements actifs.



Le FOC permet dans les LAN optiques d'interconnecter les sous réseaux sur des distances importantes.

Avec une bande passante full duplex de 200Mbps ou 2000Mbps, le FOCF est un pur convertisseur de média transparent au VLAN et aux Jumbo trames jusqu'à 9216 Octets, notamment utilisées dans la duplication de serveur.

Le FOCF est équipé de deux émetteurs fibre, il possède une régulation en température évoluée et un système d'alarme.

L'offre de convertisseurs FOC se décompose ainsi :

Convertisseur pur fibre/fibre :

- FOCF-FX-MM-GLX-SMvv100FX multimode 2km 1310 vers 100FX monomode 25/40/60/100 km,
- FOCF-GSX-GLX-SMvv 1000SX multimode 500m vers 1000LX monomode 10/30/60km,
- DCDC-FOCI-48V Adaptateur optionnel DC48V à DC 12V pour FOCI/FOCF,
- DIN-FOC Kit de mise en Rail DIN pour un FOC, FOCF ou FOCI.

Observations :

L'inconvénient de cette architecture c'est qu'il n'existe pas un moyen pour optimiser les équipements au long de l'axe de Kenitra Tanger qui englobe 32 BTS donc l'architecture générale sera en total la même que celle d'une seule BTS qui se répète 32 fois ce qui est très cher en matière du coût.



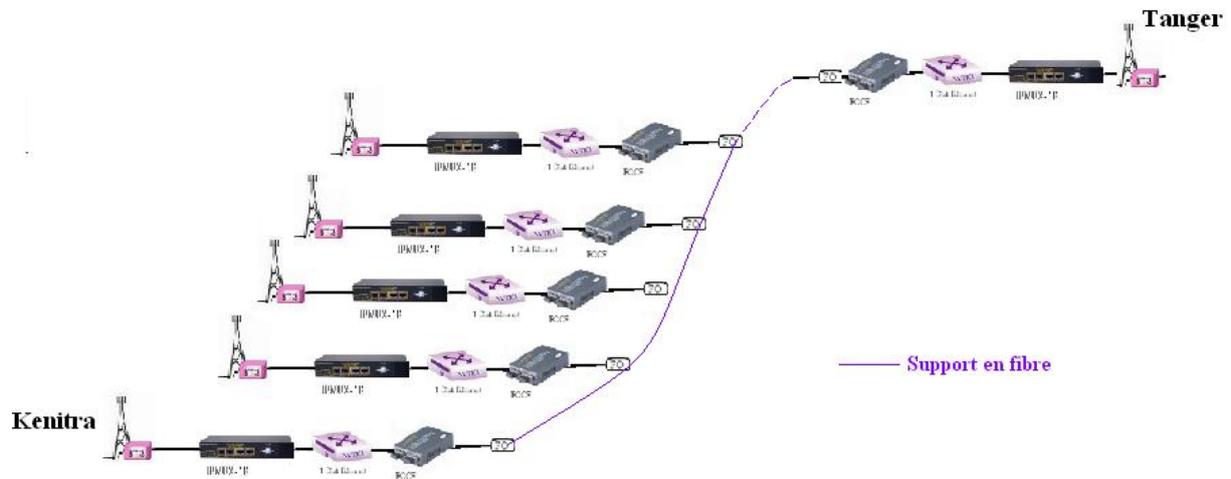


Figure 17 : Architecture générale avec la solution IP/MPLS

2.2 Tableau de Comparaison entre IP/MPLS et SDH :

	IP/MPLS	SDH
Equipement	Switch L2L3 (Cisco ME 3600X)	STM-1 (en générale)
Débit	1Gbit	155Mbitps
Besoin d'autre équipement	Adaptation TDM vers IP Convertisseur Ethernet fibre	
Estimation coût	120000 DH	80000 DH
Raccordement au réseau existant	Besoin d'ajout d'interface	Pas de besoin d'interface (SDH sur la ligne classique)

Tableau 4 : comparaison entre IP/MPLS et SDH

Suite à la comparaison du tableau, on conclue que, dans notre cas d'étude, que les équipements de la solution IP/MPLS présentent des inconvénients par rapport à la SDH, donc Nous allons opter pour la solution SDH.

3. Solution de transmission SDH adoptée :

Afin de pouvoir répondre aux besoins de la LGV, le système SDH apparaît le mieux adapté pour une utilisation efficace de la fibre optique. Ce système présente beaucoup d'avantages en matière de capacité, flexibilité et fiabilité.

Ainsi, pour suivre l'intégration prévue du trafic qui va être entraîné par l'implémentation de nouveaux services sur le réseau ferré LGV





Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté Des Sciences et Techniques Fès
Département de Génie Electrique



N°	Site GSM-R	Pk (Point Kilométrique)	Centre Signalisation le plus proche		
			petit centre	Grand centre	Pk
1	GSMR_01	Pk 2,372			
2	GSMR_02	Pk 4,400			
3	GSMR_03	Pk 9,569	✓		Pk 9,630
4	GSMR_04	Pk 17,476	✓		Pk 17,513
5	GSMR_05	Pk 23,560			
6	GSMR_06	Pk 29,861		✓	Pk 29,503
7	GSMR_07	Pk 36,365			
8	GSMR_08	Pk 43,032	✓		Pk 42,993
9	GSMR_09	Pk 48,981			
1	GSMR_10	Pk 55,166		✓	Pk 55,263
11	GSMR_11	Pk 60,181			
12	GSMR_12	Pk 66,641	✓		Pk 66,621
13	GSMR_13	Pk 71,321			
14	GSMR_14	Pk 75,770	✓		Pk 76,483
15	GSMR_15	Pk 80,581			
16	GSMR_16	Pk 85,823		✓	Pk 85,762
17	GSMR_17	Pk 92,612			
18	GSMR_18	Pk 99,432	✓		Pk 99,467
19	GSMR_19	Pk 105,357			
20	GSMR_20	Pk 111,394		✓	Pk 111,439
21	GSMR_21	Pk 118,942			
22	GSMR_22	Pk 124,362	✓		Pk 124,400
23	GSMR_23	Pk 128,996			
24	GSMR_24	Pk 136,504		✓	Pk 136,633
25	GSMR_25	Pk 143,227			
26	GSMR_26	Pk 151,042	✓		Pk 151,067
27	GSMR_27	Pk 157,552			
28	GSMR_28	Pk 163,460		✓	Pk 163,492
29	GSMR_29	Pk 168,782			
30	GSMR_30	Pk 174,562	✓		Pk 174,602
31	GSMR_31	Pk 182,872	✓		Pk 182,847
32	GSMR_32	Rac LC	✓		

✓

La ligne LGV Tanger-Kenitra





Pour notre dimensionnement nous allons respecter deux principes :

- ✓ La capacité à prévoir pour chaque site ;
- ✓ La portée des équipements SDH

A partir de tableau au-dessus on va installer dans les grands centres (Tanger, GSM-R 10 GSM-R 20 et Kenitra), la STM-16 qui offre un débit de 2,5Gbits/s. Ce réseau va utiliser 4 fibres optiques et construire une boucle refermée sur elle-même. De plus on a proposé d'installer les STM-1 dans les petits centres (GSM-R 03, GSM-R 06, GSM-R 8, GSM-R 12, GSM-R 16, GSM-R18, GSM-R 24, GSM-R 28 et GSM-R 32) vu qu'on dispose déjà dans ces centres de l'électricité et l'emplacement qui représente des ressource s'obligatoires pour le bon fonctionnement de notre équipement. Ainsi afin de connecter ces sites à la boucle STM-16, nous avons besoin de 2 autres fibres optiques émission/ réception.

3.1. Architecture de la solution proposée :

Pour simplifier Le schéma global du réseau de transmission SDH du tronçon Tanger Kenitra on va essayer de le décomposer sur deux schémas :

Le schéma ci-dessous présente les différentes boucles constituant le réseau de cœur de transmission :



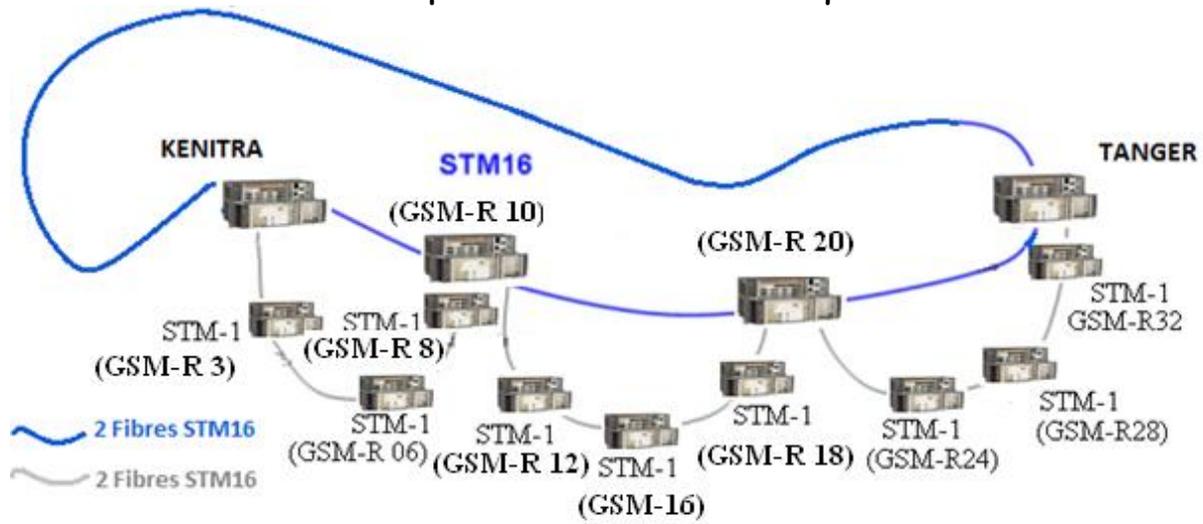
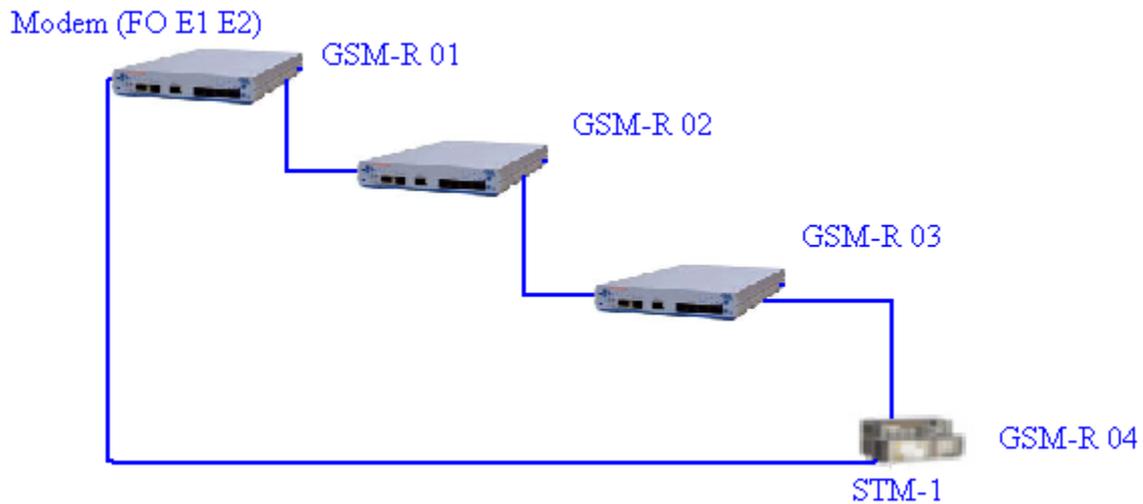
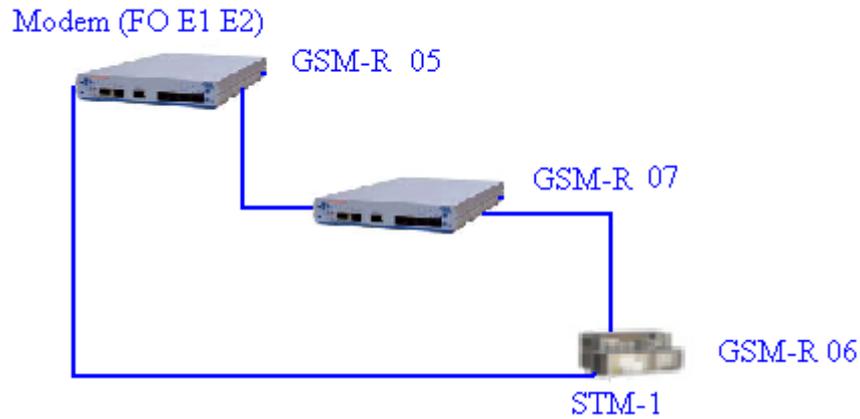


Figure 18 : boucles SDH sur LGV Tanger-Kenitra

Avec chaque STM-1 on a une boucle constitue 3 ou 2 BTS reliés par des modem (FOE1 E2)

- ✓ Exemple d'une boucle constitue 3 BTS et une autre de 2 BTS (les autres seront regroupés de la même façon)





3.2. Estimation et Coût de la solution proposée :

Afin de déterminer le nombre des équipements SDH et leur type selon les sites GSM-R, nous allons dresser un tableau qui contiendra l'ensemble des sites faisant objet du présent projet, les équipements que contient chaque site, la distance entre deux sites voisines et le type du STM choisi pour chacun d'eux.





Equipements	quantité	Prix unitaire estimé en DH	Montant Total estimé en DH
STM-16	4	160 000	640 000
STM-1	9	80 000	720 000
Modem optique E1	21 + 21 = 42	20 000	840 000
Cout total du réseau de transmission			2 200 000

CONCLUSION GENERALE

En définitive, la période de stage a été une réelle formation, tant sur le plan des techniques de transmission en particulier que sur celui du GSM-R en général. Elle a été pour moi, une occasion d'allier la théorie acquise à la faculté et la pratique qui est en fait le réel besoin de l'organisme.

Ce fut aussi et surtout l'occasion pour nous de découvrir et d'apprécier le monde des transmissions numériques des données à travers notre thème : «Dimensionnement de réseau de transmission pour un réseau GSM-R de la LGV sur l'axe de Tanger-Kenitra » vue donc l'existant et la spécification des besoins de L'organisme.

L'étude de mon thème m'a permis d'atteindre un certain nombre d'objectifs à savoir :





- ✓ Consolider mes acquis, mais aussi, à les développer grâce aux échanges avec des personnes de compétences diverses et expérimentées par une pratique conséquente ;
- ✓ Comprendre que l'acquisition d'un savoir-faire s'avère nécessaire pour une insertion conséquente dans un circuit de production ;
- ✓ Comprendre que le dynamisme, l'esprit d'équipe et la volonté sont les maîtres mots d'une bonne carrière professionnelle.

Pour finir, soulignons le dynamisme sans faille de cette équipe d'ingénieurs et de techniciens de la direction technique, la bonne ambiance qui y règne, l'esprit d'initiative et de partage ; et surtout l'amour du travail bien fait.

WEBOGRAPHIE

- Document propre à la LGV
- Présentation de GSM-R

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=14875>

<http://www.sysoco.fr/gsmr.htm>

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=14875>

- Modes de transmission

http://www.idate.fr/touraine_numerique/pdf/fh.pdf

<http://monge.univ-mlv.fr/~duris/NTREZO/20022003/SDH.pdf>

<http://membres-liglab.imag.fr/heusse/RICM5/mpis-atm.pdf>

<http://www.cxr.com/assets/s1/Focf.pdf>

http://www.cxr.anderson-jacobson.com/assets/fr/produits/SWM-24TX-4CB-2128/catalogues/Cat_switch.pdf

http://www.rad.com/Media/6359_GSM-R_SDH.pdf

