



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

**Imane CHADLI**

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

**L'implémentation d'une boucle STM1**  
**dans le BACKBONE SDH-ONCF**

Encadré par :

**Pr F.ABDI (FSTF)**

**Mr A.BENZOUINA (ONCF)**

Soutenu le **30 Juin 2015**, devant le jury composé de :

**Pr A. AHAITOUF..... : Examineur**

**Pr H.GHENNIoui..... : Examineur**

**Pr F.ABDI ..... : Encadrant**

## *Remerciement*

Je tiens à travers ce travail à exprimer mes sincères remerciements à toute l'équipe pédagogique de FST de Fès et intervenants professionnels responsables de la filière systèmes électroniques et télécommunications pour m'avoir assuré une bonne formation.

J'exprime ma profonde gratitude à mon encadrant de la FST, le professeur **Mr. Farid ABDI** qui m'a fait bénéficier de ses conseils appréciables et pour l'intérêt qu'il a porté à ce sujet.

Je tiens encore à exprimer mon profond respect à mon encadrant de stage **M. Ayoub BENZOUINA** pour ces qualités d'encadrement, pour ses fructueuses discussions et pour ses conseils.

Je formule mes sincères remerciements et mon respect à tous les personnels que j'ai contacté durant mon stage au sein de l'ONCF, **M. Abdelkader BAYAHYA**, responsable de la transmission au sein de la direction LGV qui n'a épargné aucun moyen pour m'aider et soutenir, **Mr Lahssen MAGUENOUNI** chef de service de Pole Infrastructure et Circulation pour l'accueil chaleureux, l'aide, ses conseils précieux et ses directives pertinentes, **M. Belaid TAMAZZAOURT** superviseur du réseau télécom pour sa disponibilité et pour l'intérêt qu'il n'a pas cessé de porter à mon travail.

Mes remerciements s'adressent, également, à tous les personnels de centre de formation ferroviaire et particulièrement à **M. Khalid MABROUK** pour sa disponibilité, son aide, ses explications ainsi que pour ses qualités humaines et morales que j'ai toujours appréciées.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail, je dis merci du fond du cœur.

## *Dédicace*

*A mes parents Rien au monde ne pourrait compenser même une partie des sacrifices que vous avez consentis pour mon bien-être et mon éducation.*

*Ce travail est fruit de vos encouragements, de votre tendresse et de votre grand sacrifice.*

*Vous avez toujours été à mon écoute et vous m'avez toujours prodigués soins et conseils.*

*Que Dieu vous préserve et vous accorde santé et prospérité. Et que ce travail soit signe de mon amour le plus profond, mone respect et l'affection la plus sincère.*

*A mes très chers amis*

*Je dédie ce travail en signe de reconnaissance pour votre encouragement.*

## *Table des matières*

Remerciement .....	1
Dédicace.....	2
Liste des abréviations.....	3
Liste des figures .....	5
Liste des tableaux.....	6
Abstract.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Table des matières.....	3
Introduction générale .....	10
Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil et du projet. ....	11
Introduction.....	12
I. Présentation générale de l'organisme d'accueil .....	12
1. Historique.....	12
2. Fiche signalétique.....	12
3. Réseau ferré de l'ONCF .....	13
4. Organigramme global de l'ONCF .....	13
5. Présentation du pôle infrastructure et circulation .....	13
II. Contexte général du projet .....	14
1. Présentation du projet.....	14
2. Planification du projet .....	15
Conclusion .....	16
Chapitre II : les télécommunications à l'ONCF. ....	17
Introduction.....	18
I. Les télécommunications à l'ONCF .....	18
1. Rôle des télécommunications à l'ONCF .....	18
2. Circuits déployés .....	18
II. Les supports de transmission.....	20
1. La fibre optique .....	20
1.1. Définition .....	20
1.2. Les avantages de la fibre optique .....	20
2. Réseau optique à l'ONCF .....	21
Conclusion .....	21
Chapitre III : le réseau de transmission SDH .....	22
I. Réseau de transmission .....	23
1. La hiérarchie numérique plésiochrone PDH .....	23
1.2. La hiérarchie PDH américaine et japonaise.....	24
1.3. Les limites de la hiérarchie PDH.....	24
2. La hiérarchie numérique synchrone SDH .....	24

## Table des matières

---

2.2. Les trames SDH.....	26
2.3. Définition des éléments de la hiérarchie synchrone .....	27
2.4. Le multiplexage SDH .....	28
2.5. Les équipements SDH .....	29
3. Réseau de transmission actuel à l'ONCF .....	29
3.2. Description .....	31
3.3. Les équipements mise en service dans le réseau de transmission d'ONCF.....	31
3.4. Les protections utilisées .....	32
4. Les caractéristiques des cartes et fonctionnalités .....	33
4.2. La charge occupée .....	34
Conclusion .....	35
Chapitre IV : Description du système GSM-R et dimensionnement de trafic .....	36
Introduction.....	37
I. La technologie GSM-R : .....	37
1. Définition et aperçu général .....	37
2. Avantages et fonctionnalités .....	37
3. Aspects techniques .....	38
II. Fonctions et applications GSM-R .....	39
1. ASCII.....	39
III. Conception du réseau GSM-R.....	40
1. Architecture du réseau GSM-R .....	40
2. Équipements du réseau GSM-R .....	41
Conclusion .....	44
II. Dimensionnement du réseau .....	44
1. Topologie des liaisons BTS-BSC.....	44
2. Configuration des BTS.....	46
3. La répartition des grappes .....	46
III. Dimensionnement de nouveau réseau de transmission .....	49
1. Introduction .....	49
2. Configuration de réseau .....	50
Conclusion .....	63
Chapitre V :.....	64
Intégration des deux réseaux SDH-ONCF et SDH- GSMR.....	64
I. Intégration des deux réseaux SDH-ONCF et SDH-GSMR.....	65
1. Introduction .....	65
2. Sécurité des équipements réseau .....	65
3. Estimation du quantitatif .....	65
4. Les prestations à prévoir dans le BACKBONE ONCF après l'implémentation .....	66
II. Solution proposée pour implémenter la nouvelle boucle STM1 .....	68
1. Introduction .....	68
2. Solution proposée et perspectives .....	68

## Table des matières

---

Conclusion .....	69
Conclusion générale .....	70
WEBOGRAPHIE.....	71
Annexes .....	72
Annexe A .....	72
Annexe B .....	73
Annexe C .....	74
Annexe D .....	78

## *Liste des figures*

Figure 1 : organigramme du pôle infrastructure et circulation .....	14
Figure 2 : diagramme de GANTT .....	16
Figure 3 : Circuits omnibus .....	19
Figure 4 : la fibre optique .....	20
Figure 5 : les formes de topologie .....	25
Figure 6 : Protection 1+1 .....	25
Figure 7: Protection 1: n.....	26
Figure 8 : Structure d'une trame STM-1 .....	27
Figure 9 : structure de multiplexage synchrone .....	29
Figure 10 : Réseau de transmission – tranche Casablanca Voyageurs-Fès .....	30
Figure 11 : Optix OSN 1500 .....	31
Figure 12 : Optix OSN 3500 .....	32
Figure 13 : le protocole SNCP .....	33
Figure 14 : la répartition des unités .....	33
Figure 15 : architecture interne de l'OPTIX de poste de commandement. ....	34
Figure 15 : Schéma d'applications GSM-R .....	39
Figure 16 : Architecture général du système GSM-R .....	41
Figure 16 : La topologie en étoile .....	44
Figure 17 : La topologie chaînée .....	45
Figure 18 : La topologie bouclée ou anneau .....	45
Figure 19 : L'architecture de la ligne Casa – Fès .....	48
Figure 20 : interface entre BTS et BSC .....	50
Figure 21 : représentation de la grappe G1 .....	51
Figure 22 : représentation de la grappe G2 .....	52
Figure 23 : représentation de la grappe G3 .....	53
Figure 24 : représentation de la grappe G4 .....	54
Figure 25 : représentation de la grappe G5 .....	55
Figure 26 : représentation de la grappe G1 .....	56
Figure 27 : représentation de la grappe G2 .....	57
Figure 28 : représentation de la grappe G3 .....	58
Figure 29 : représentation de la grappe G4 .....	58
Figure 30 : représentation de la grappe G5 .....	59
Figure 31 : représentation de la grappe G6 .....	60
Figure 32 : représentation de la grappe G7 .....	60
Figure 33 : représentation de la grappe G8 .....	61
Figure 34 : représentation de la grappe G9 .....	62
Figure 35 : liens entre les BTS et le BSC .....	67
Figure A.1 : Réseau ferré de l'ONCF .....	72
Figure A.2 : Organigramme global de l'ONCF .....	73
Figure A.3 Réseau optique de l'ONCF .....	74
Figure A.4 Différents regroupements en hiérarchie PDH .....	75
Figure A.5 Multiplexeur terminal .....	76
Figure A.6 Multiplexeur d'insertion et d'extraction .....	77

## *Liste des tableaux*

Tableau 1 : planification du projet .....	15
Tableau 2 : les cartes et leurs fonctionnalités.....	34
Tableau 3 : la charge occupée dans le réseau.....	35
Tableau 4 : la répartition des grappes.....	49
Tableau 5 : les services consommés dans G1.....	51
Tableau 6 : les services consommés dans G2.....	52
Tableau 7 : les services consommés dans G3.....	53
Tableau 8 : les services consommés dans G4.....	54
Tableau 9 : les services consommés dans G5.....	55
Tableau 10 : les services consommés dans G1.....	56
Tableau 11 : les services consommés dans G2.....	57
Tableau 12 : les services consommés dans G3.....	58
Tableau 13 : les services consommés dans G4.....	59
Tableau 14 : les services consommés dans G5.....	59
Tableau 15 : les services consommés dans G6.....	60
Tableau 16 : les services consommés dans G7.....	61
Tableau 17 : les services consommés dans G8.....	61
Tableau 18 : les services consommés dans G9.....	62
Tableau 19 : récapitulatif de calcul. ....	63
Tableau 20 : le quantitatif des équipements. ....	66
Tableau 21 : la charge occupée et le pourcentage après l'implémentation. ....	67
Tableau 22 : l'estimation du budget pour le besoin GSM-R.....	68



## *Liste des abréviations*

### A

AU: Administrative Unit  
AUG: Administrative Unit Group  
ADM: Add / Drop Multiplexer

### B

BSS: Base Station Subsystem  
BSC: Base Station Controller  
BTS :Base Transceiver Station

### C

C.C.I.T.T: Comité Consultatif International et  
Télégraphique

### D

DXC: Digital Cross Connect  
DNU: Do Not Use

### I, G

IP: Internet Protocol  
GSM: Global System for Mobile communications  
GSM-R: Global System for Mobile  
Communications-Railways  
GMSK: *Gaussian Minimum Shift Keying*  
GPS: Global Position System

### L

LASER: Light Amplification by Stimulated  
Emission of Radiation

### M

MSOH: Multiplexer Section OverHead  
MIC: Pulse Code Modulation  
MSC: Mobile services Switching Center

### N, O

NE: Network Element  
OSI: Open System Interconnection

### P

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy  
POH: Path OverHead

### R

RST: Radio Sol Train  
RSOH: Regenerator Section OverHead

### S

SDH: Synchronous Digital Hierarchy  
STM: Synchronous Transport Module

SOH: Section OverHead  
SSM: Synchronous Status Message

### T

TU: Tributary Unit  
TUG: Tributary Unit Group  
TM: Terminal Multiplexer  
TDMA: Time Division Multiple Access

### U, V, W

UIT: Union Internationale des  
Télécommunications  
VC: Virtual Container  
WDM: Wavelength Division Multiplexing

## *Résumé*

Dans le cadre de mon projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état à la faculté des sciences et techniques de Fès (FSTF) j'ai effectué un stage de fin d'études d'une durée de quatre mois à la direction de l'Office National des Chemins de Fer à Rabat.

Actuellement, le réseau de transmission SDH est le réseau actuel au sein de l'ONCF qui répond aux exigences de l'entreprise, du côté communication et transmission des données. Pour l'amélioration de la communication et avec le projet LGV (ligne grande vitesse), l'office va mettre en place un nouveau système de radiocommunication qui permet de renforcer la sécurité du trafic ferroviaire et d'accroître son efficacité. Pour cela le service maintenance télécoms cherche comment peut-on implémenter ce nouveau réseau dans le réseau existant. C'est dans ce cadre que le présent PFE a été lancé. Alors mon objectif est de dimensionner le réseau en présence des nouveaux sites GSM-R pour la tranche Casa voyageurs – Fès.

Afin de mener à bien cette mission, j'ai commencé par une étude du réseau de transmission SDH existant, de déterminer la capacité occupée dans le BACKBONE pour pouvoir entamer par la suite la partie GSM-R et la configuration du trafic. Et pour finir j'ai cité les différents impacts de l'intégration de ces deux réseaux. Finalement, j'ai proposé ma solution optimale pour que l'implémentation n'ait pas d'influence sur le réseau.

## *Introduction générale*

Le secteur des télécommunications connaît depuis une décennie une extraordinaire évolution et devient un secteur principal voire vital dans l'activité économique de tout pays. L'esprit d'entreprise et d'innovation engendré par la concurrence a entraîné une formidable émulation entre les différents acteurs sur le marché des chemins de fer, qui ont tous à coeur de satisfaire au mieux les besoins de sécurité de circulation des trains. Tous les ingrédients techniques et technologiques sont disponibles maintenant pour que le monde des télécommunications puisse réellement évoluer dans cette direction souhaitée par les entreprises ferroviaires.

Dans le cadre de la modernisation de l'infrastructure ferroviaire de l'ONCF au MAROC, l'ONCF mènera l'introduction d'un nouveau système de communication numérique basé sur le système international standardisé de GSM-R, le long de la ligne Casa voyageurs – Tanger.

La plate-forme de communication moderne simplifie considérablement le trafic transfrontalier. De plus, le GSM-R a été développé pour résoudre avec succès les nouveaux défis de l'industrie ferroviaire. Dans la même logique le bureau d'étude télécoms m'a demandé de faire une étude de l'implémentation de ce réseau dans le réseau actuel SDH-ONCF, en ce qui concerne le dimensionnement et le transport de trafic.

Le présent rapport s'articule sur cinq chapitres :

Je présente brièvement dans un premier chapitre l'Office Nationale des Chemins de Fer suivi d'une présentation de mon projet d'études et les différents phases qui m'ont permis de mener à bien mon projet.

Dans le deuxième chapitre j'étudie le réseau des Télécommunications de l'ONCF.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de la hiérarchie synchrone et la charge occupée dans le réseau.

Dans le quatrième chapitre je détaille le fonctionnement de la technologie GSM-R, et j'aborde le dimensionnement de trafic en présence du réseau GSM-R pour la tranche Casa voyageurs – Fés.

Et je finis par le dernier chapitre qui explique l'intégration des deux réseaux SDH-ONCF et SDH-GSMR et les conséquences de l'implémentation.

*Chapitre I :*  
*Présentation de*  
*l'organisme d'accueil*  
*et du projet.*

### Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter d'une manière générale l'environnement où c'est déroulé le stage et son objectif.

Dans la première section je vais présenter l'office national des chemins de fer en tant qu'organisme d'accueil, alors que la deuxième section sera réservée à la description du projet, ses objectifs et sa planification.

### I. Présentation générale de l'organisme d'accueil

#### 1. Historique

L'Office National des Chemins de Fer a été créé par le Dahir N°1-63- 225 daté du 5 août 1963, c'est un établissement semi-public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité civile et l'autonomie financière, placé sous la tutelle administrative du ministère de transport. Cet établissement assure la gestion et l'exploitation de l'ensemble du réseau ferroviaire marocain.

La construction du réseau des chemins de fer du Maroc remonte au début du 20<sup>ème</sup> siècle. En effet, les premières lignes construites à voie de 0.6 m ont été établis à partir de 1916, et ce n'est qu'en 1923 que la construction des voies à écartement normal a été confiée à trois compagnies concessionnaires privées. Ces dernières se partagèrent le trafic ferroviaires, en exploitant chacune la partie du réseau qui lui était concédée, jusqu'en 1963, lorsque le Gouvernement Marocaine a décidé le rachat des concessions et la création de l'Office National des Chemins de Fer (ONCF).

#### 2. Fiche signalétique

- Raison sociale : Office National des Chemins de Fer (ONCF).
- Forme juridique : établissement semi-public.
- Siège social : 8 bis, rue ABDERHMEN EL GHAFIKI RABAT – AGDAL.
- Date de création : 5 août 1963.
- Activités principales : le transport des voyageurs, le transport des marchandises diverses et le transport des phosphates.
- Chiffre d'affaires : 3.8 milliards de dirhams marocains
- Résultats net : 685 millions de dirhams marocains
- Site web : [www.oncf.ma](http://www.oncf.ma)

## Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil et du projet

---

- Slogan : l'avenir se lit sur nos lignes
- Logo :



### 3. Réseau ferré de l'ONCF

L'ONCF, qui emploie actuellement près de 10000 collaborateurs et qui dispose de 140 gares, gère et exploite un réseau de 2092 km au total dont 1445 km sont à voie unique, et 647 km sont à double voie sans compter 185 km de la ligne de Settat à Marrakech qui est en cours de doublement. Actuellement une seule liaison relie le Maroc et les pays voisins, il s'agit de la liaison Oujda et Akid Abbas (Algérie) qui n'est pas opérationnelle.

Ce réseau se présente sous forme d'un couloir reliant le Sud (Marrakech) à l'Est (Oujda) avec des bretelles Tanger, Khouribga, Safi et EL Jadida. Il dessert les grandes villes et principaux ports du Royaume à l'exception d'Agadir au Sud, comme il est présenté dans la figure A.1 (voir annexe A).

### 4. Organigramme global de l'ONCF

L'ONCF présente une structure arborescente constituée d'une direction centrale et six pôles chacune à une mission bien précise. L'organigramme global de l'ONCF est présenté dans l'annexe B.

### 5. Présentation du pôle infrastructure et circulation

Mon stage de fin d'étude est déroulé au sein du service MAINTENANCE TELECOMS du pôle INFRASTRUCTURE ET CIRCULATION.

Ce pôle a plusieurs objectifs :

- Améliore la sécurité des personnes ;
- Offre des équipements sécurisés (automatismes) ;
- Offre des services sûrs et sécurisés selon les standards internationaux ;
- Facilite la mobilité dans les villes ;
- Étend le réseau ferré.

## Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil et du projet

La figure suivante présente l'organigramme du pôle INFRASTRUCTURE et CIRCULATION.

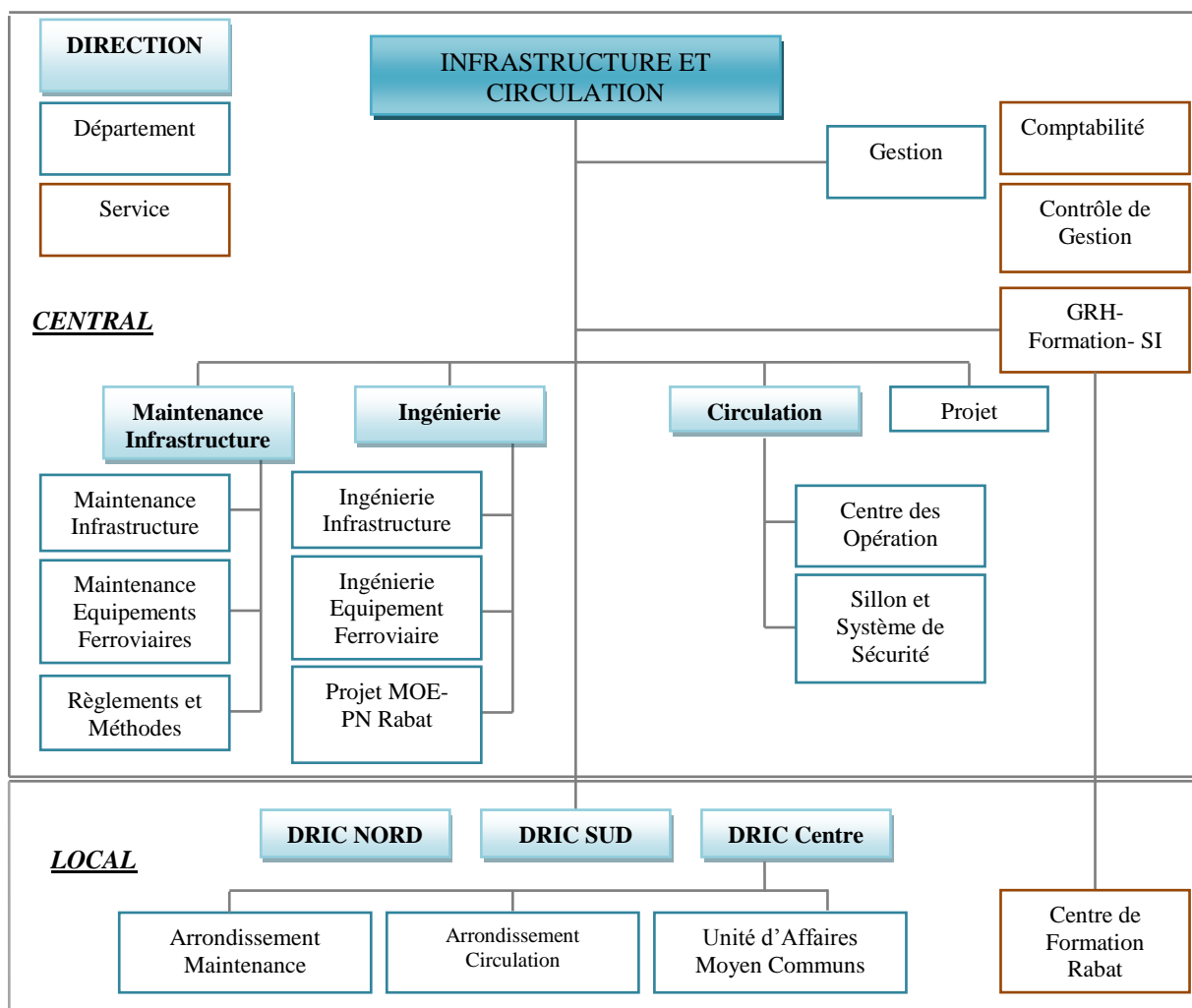


Figure 1 : organigramme du pôle infrastructure et circulation

## II. Contexte général du projet

### 1. Présentation du projet

Mon sujet intitulé « l'implémentation d'une boucle STM1 dans le réseau BACKBONE SDH-ONCF » est devenu le présent besoin au sein de l'office national des chemins de fer , pour améliorer la transmission des données et pour assurer la fiabilité du réseau.

Ma mission consistait à proposer une solution professionnelle au département télécoms d'ONCF en prenant comme critère leurs besoins actuels et futurs.

## Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil et du projet

Ce sujet m' a été demandé de :

- Faire une bibliographie sur la technologie de transmission SDH.
- Connaître la structure et la topologie du réseau de transmission de l'ONCF en plus de la charge utilisée.
- Faire une bibliographie du réseau GSM-R et l'étude de son besoin en débit.
- Faire des prestations grâce à l'intégration des deux réseaux SDH-ONCF et SDH-GSMR.

### 2. Planification du projet

La planification d'un projet est un outil incontournable pour le management et la gestion du projet parce qu'il permet de :

- définir les travaux à réaliser
- fixer les objectifs ;
- coordonner les actions ;
- diminuer les risques ;
- rendre compte de l'état d'avancement du projet.

Lors des réunions avec mon encadrant, j'ai pu découper la réalisation de mon projet en plusieurs parties. Le tableau suivant présente les différentes tâches et le temps nécessaire pour la réalisation de chacune de ces tâches.

N°	Nom de la tâche	Date de début	Durée de la tâche	Date de fin
1	Planification du projet	09/03/2015	→	30/06/2015
2	Etude du réseau actuel de l'ONCF	09/03/2015	30 Jours	7/04/2015
	• visite technique	09/03/2015	8 Jours	16/03/2015
	• Organisme d'accueil	17/03/2015	2 Jours	18/03/2015
	• Etude d'existence et charge	19/03/2015	21 Jours	6/04/2015
3	Etude bibliographique GSM-R	8/04/2015	24 Jours	30/04/2015
4	Dimensionnement de trafic et intégration	01/05/2015	41 Jours	10/06/2015
5	Révision de travail	11/06/2015	4 Jours	14/06/2015
6	Rédaction du rapport	19/03/2015	90 Jours	18/06/2015
7	Préparation de la présentation	18/06/2015	10 Jours	28/06/2015

Tableau 1 : planification du projet



## Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil et du projet

J'ai utilisé GANTT Project comme un outil de planification qui m'a permis de planifier le projet et de visualiser l'enchaînement et la durée des différentes tâches. La figure suivante présente le diagramme de GANTT des tâches planifiées :

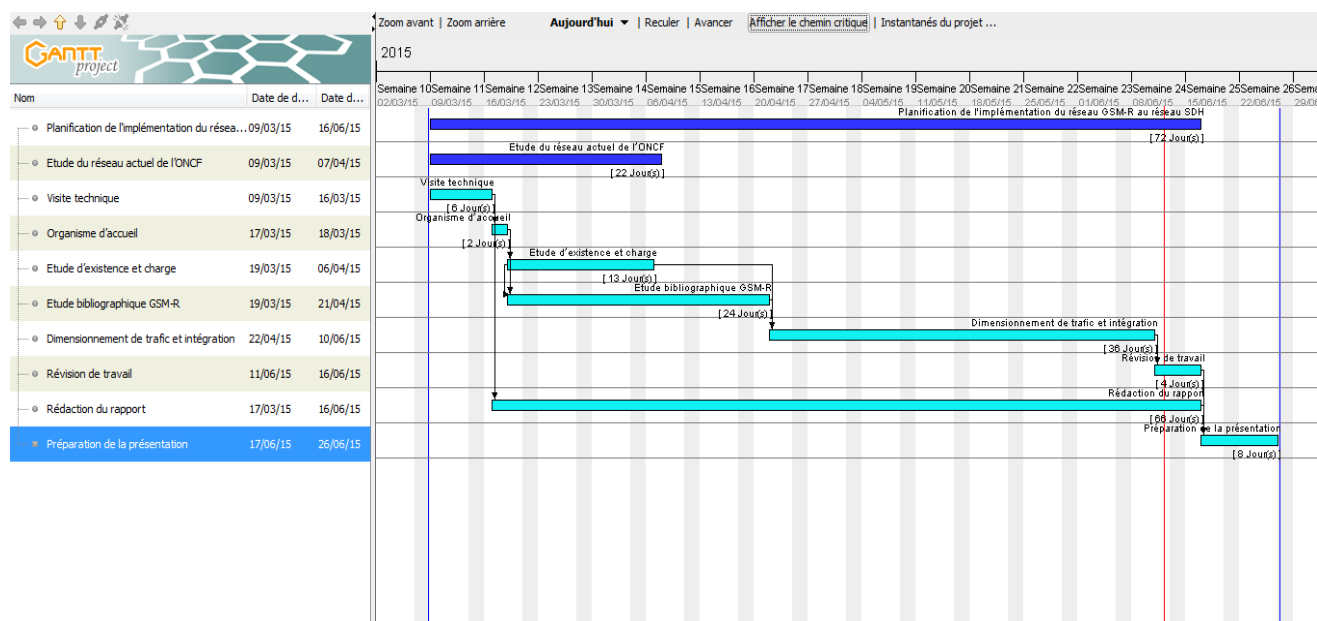


Figure 2 : diagramme de GANTT

## Conclusion

Après avoir présenté l'environnement de stage, le contexte général du projet et l'ordonnancement des travaux, dans le chapitre suivant je vais présenter les télécommunications à l'ONCF, son rôle principal et les différents supports mis en place.

# *Chapitre II : les télécommunications à l'ONCF.*

### **Introduction**

L'ONCF dispose d'un réseau de télécommunication privé constitué d'équipements et de plusieurs circuits. Ces derniers sont constamment renouvelés et mis à niveau afin de répondre à certaines fonctionnalités et par conséquent être à la hauteur des attentes de la clientèle.

Ce chapitre traitera les télécommunications à l'ONCF, il exposera son rôle, ses fonctionnalités ainsi que la constitution de son réseau.

### **I. Les télécommunications à l'ONCF**

#### **1. Rôle des télécommunications à l'ONCF**

Un des grands aspects du problème « sécurité » est la circulation des trains. Qu'il s'agisse de lignes à deux voies ou à voie unique, des mesures doivent être prises et prévues pour que deux trains circulant dans le même sens ne puissent pas se rattraper. Pour les lignes exploitées en voie unique, un problème supplémentaire s'ajoute au précédent : celui des mesures à prendre pour éviter le « nez à nez », c'est-à-dire la rencontre de deux trains de sens contraires circulant dans la même voie.

Pour assurer la sécurité du système tout entier, il est alors indispensable de maintenir une communication permanente entre les différents éléments constituant le réseau avec un moyen sûr, fiable et d'une disponibilité quasi-totale. Dans ce cadre l'ONCF dispose d'un réseau privé de télécommunications qui est d'une part vise à répondre à ces exigences de sécurité, et d'autre part à assurer l'ensemble des communications nécessaires aux activités quotidiennes de l'organisme.

#### **2. Circuits déployés**

Les différents circuits existants et qui assurent la fonction de la sécurisation sont :

- **Circuit Omnibus 'liaison téléphonique entre gares'**

C'est le circuit de sécurisation le plus indispensable, il relie les gares entre elles. Il sert à l'émission et la réception des dépêches téléphoniques entre deux gares adjacentes.

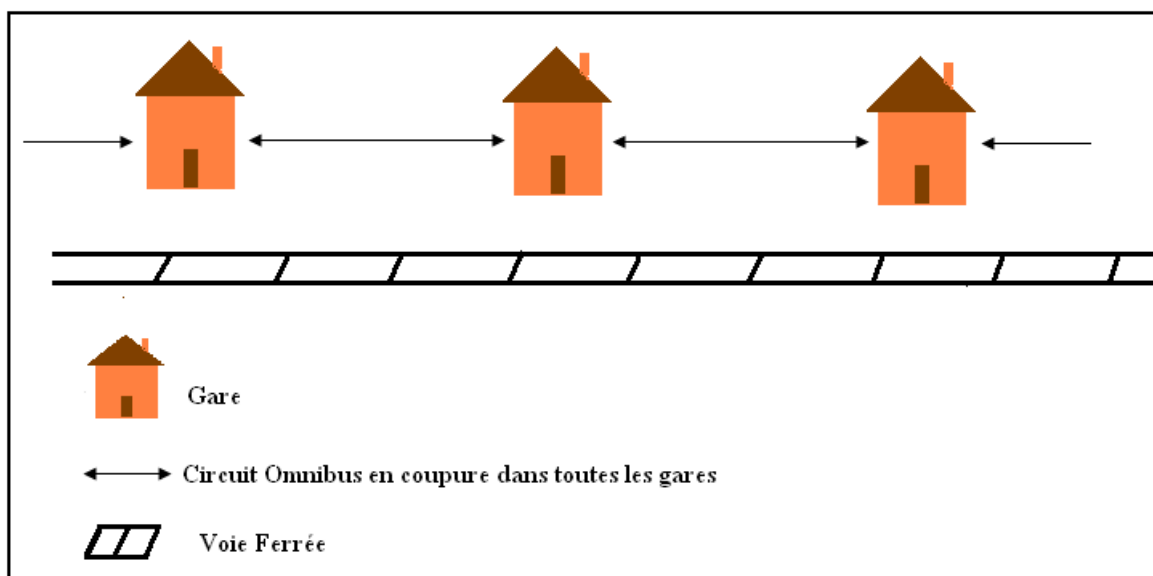


Figure 3 : Circuits omnibus

- **Circuit Régulation Traction ‘télécommande des sous-stations d’énergie de traction’**

Ce circuit relie les gares aux installations vitales techniques à la table traction située au poste de commandement Rabat.

- **Circuit de Régulation Transport ‘ liaison des gares avec le poste de commandement’**

Le circuit Régulation Transport est un circuit qui relie toutes les gares au poste de commandement central de Rabat (PC ou Régulation). Ce circuit permet de régler et gérer les circulations ferroviaires.

- **Circuit Radio Sol Train ‘liaison du train avec le PC, les gares, les chantiers’**

Le circuit Radio Sol Train (RST) est un circuit qui relie tous les stations fixes de gares et hors gares aux équipements RST du poste de commandement (PC) de Rabat.

- **Circuits de signalisation ferroviaire**

Le circuit de signalisation ferroviaire est un système de détection des circulations, empruntant les rails d'une voie ferrée, pour détecter la présence d'un train dans la section de voie considérée. Ce circuit permet d'assurer la sécurité des usagers du rail.

Il existe également des circuits, établis afin de combler les besoins en gestion. Ils sont constitués d'un réseau téléphonique privé de l'ONCF, Réseau de transmission de données pour l'informatique et des liaisons spécialisés en location.

### II. Les supports de transmission

La transmission des données peut se faire sur différents types de support physique qui se distinguent par certaines caractéristiques telles que la bande passante, le délai de transmission, le coût, ainsi que la simplicité d'installation et de maintenance.

Dans ce cadre l'ONCF dispose d'un réseau de télécommunication approprié s'articulant autour d'une artère de transmission le long de la voie ferrée, lui permettant d'accroître la sécurité et la fluidité du trafic ferroviaire. Les supports de transmission utilisés sont de différentes natures, les câbles métalliques, les faisceaux hertziens et la fibre optique.

Dans ce chapitre on va définir la fibre optique vue que le réseau de transmission de l'ONCF utilise les techniques et les infrastructures de ce support de transmission.

#### 1. La fibre optique

##### 1.1. Définition

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle offre un débit d'information nettement supérieur par rapport aux autres supports de transmission et supporte un réseau large bande, par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence et les données informatiques.

Une fibre optique est constituée d'un fil de verre très fin. Elle comprend un cœur, dans lequel se propage la lumière et une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre, l'ensemble étant protégé par une enveloppe dite de protection. [1], [2]

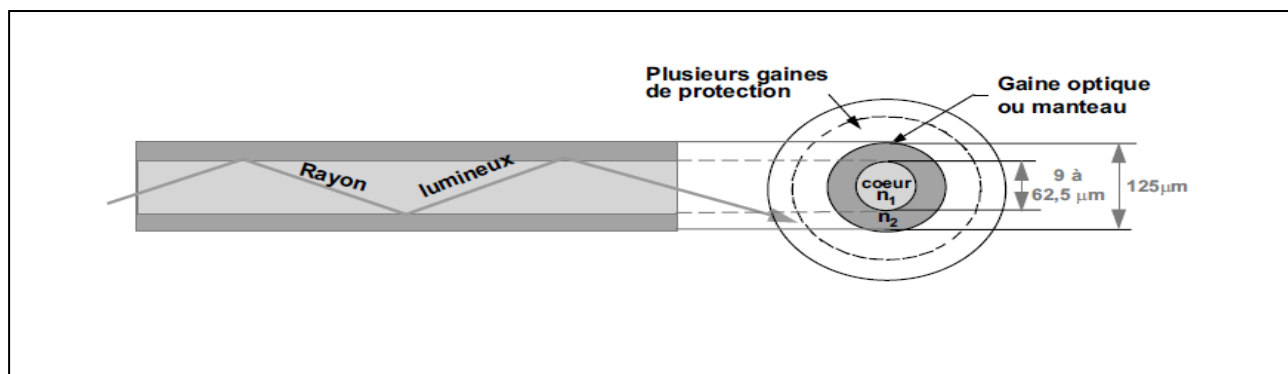


Figure 4 : la fibre optique.

##### 1.2. Les avantages de la fibre optique

Les avantages de la fibre optique sont nombreux : le diamètre extérieur est de l'ordre de 0.1 mm, son poids de quelques grammes au kilomètre. Cette réduction de taille et de poids la rend facilement utilisable. En outre, sa très grande capacité permet la transmission simultanée de très nombreux canaux de télévision, de téléphone, etc. les points de régénération des signaux transmis sont plus éloignés, l'atténuation plus faible de la lumière. Enfin, l'insensibilité des fibres aux parasites électromagnétiques constitue un avantage très apprécié, puisqu'une fibre optique supporte sans difficulté la proximité d'émetteur radioélectrique. Ces caractéristiques font des fibres optiques le support privilégié dans le domaine des télécommunications à haut débit et grande distance. [1]

### **2. Réseau optique à l'ONCF**

Les lignes ONCF sont desservies par câble à fibre optique monomode conforme à la recommandation G652<sup>(1)</sup> de l'UIT-T (union internationale des télécommunications) et à la recommandation L.10, ainsi qu'aux spécifications du manuel de l'UIT-T « construction, installation, recommandation et protection des câbles à fibres optiques ». Le réseau actuel comporte une installation de la fibre optique sur une longueur totale d'environ 1.324 km. La figure A.3 présentée dans l'annexe C donne les informations globale relatives au câblage de la fibre optique actuel de l'ONCF.

<sup>(1)</sup>G652 : Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, j'ai donné un bref aperçu sur le rôle des télécommunications à l'ONCF, les supports de transmission déployés.

Le chapitre qui suit, présente une bibliographie sur le réseau de transmission de l'ONCF puis je vais donner une vue générale sur l'architecture ferroviaire et la capacité employée.

*Chapitre III : le  
réseau de  
transmission SDH*

### **I. Réseau de transmission**

Un réseau de transmission peut être défini comme l'ensemble des ressources liées à la transmission et permettant l'échange des données entre différents systèmes éloignés.

Matériellement un réseau de transmission comprend des nœuds appelés multiplexeurs, qui sont connectés entre eux par des lignes ou supports physiques de transmission. Il existe trois technologies de multiplexage ; PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) ; SDH (Synchronous Digital Hierarchy) et WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Dans ce qui suit on va présenter les deux technologies de transmission PDH et SDH et on va présenter également le réseau de transmission actuel de l'ONCF qui est fondé sur ces deux technologies puis la capacité occupée dans le réseau.

#### **1. La hiérarchie numérique plésiochrone PDH**

La hiérarchie numérique plésiochrone PDH est apparue au début des années 70 avec la numérisation de la voix et la nécessité de transporter plusieurs canaux téléphoniques sur un même support. Le multiplex de base est constitué du regroupement de plusieurs canaux téléphoniques de 64 kbit/s. Ces regroupements sont différents en Europe, au Japon et en Amérique du nord, ce qui conduit à la définition de différentes hiérarchies plésiochrones.

##### **1.1.La hiérarchie PDH Européenne**

Le multiplex de base Européenne est appelé E1, c'est un flux à 2048 kbit/s qui accueille 32 canaux à 64 kbit/s par multiplexage temporel, deux canaux sont utilisés pour la signalisation et la synchronisation. A partir de ce multiplexage de base toute une hiérarchie a été définie.

- E1 = 2,048 Mbit/s
- E2 = 8,448 Mbit/s
- E3 = 34,368 Mbit/s
- E4 = 139,264 Mbit/s
- E5 = 564,992 Mbit/s

Afin d'amener plusieurs flux de 2 Mbit/s d'un point à un autre, ils sont combinés par multiplexage en groupes de quatre. Cette opération consiste à prendre 1 bit du flux 1 suivi d'un bit du flux 2, puis le flux 3 et enfin le flux 4. L'équipement émetteur ajoute également



des informations permettant de décoder le flux multiplexé. La combinaison du multiplexage décrit permet un débit de 8 Mbit/s. Des techniques similaires permettent d'agréger quatre de ces flux pour former un débit de 34 Mbit/s et enfin 140 Mbit/s.

### 1.2.La hiérarchie PDH américaine et japonaise

La hiérarchie américaine et japonaise est similaire à celle du reste du monde mais moins régulière. Elle n'est pas un multiple du canal de base (64 kbit/s) car les bits de synchronisation ne sont pas proportionnels aux nombres de voies transportées.

Le multiplex de base est appelé DS-1

- DS-1 = 1,544 Mbit/s
- DS-2 = 6,312 Mbit/s
- DS-3 = 32,064 Mbit/s (Japon)
- DS-3 = 44,736 Mbit/s (Etat Unis)
- DS-4 = 97,728 Mbit/s (Japon)
- DS-4 = 274,176 Mbit/s (Etat Unis)
- DS-5 = 397,200 Mbit/s (Japon)

La figure A.4 présente les différents regroupements en hiérarchies PDH : voir annexe C.

### 1.3.Les limites de la hiérarchie PDH

La technologie PDH présente trois inconvénients principaux :

- Elle ne permet pas l'accès aux informations d'une voie directement sans démultiplexer l'ensemble des voies. Par exemple pour extraire une ligne à 2 Mbit/s plusieurs multiplexages et démultiplexages doivent être faits sur un canal rapide de 140 Mbit/s ;
- L'existence de plusieurs standards (japonais, européens et américain) pose des problèmes au niveau de l'interconnexion de deux hiérarchies différentes ;
- Besoin d'un système qui traite des grandes quantités des informations. [3], [6], [7], [8]

## 2. La hiérarchie numérique synchrone SDH

L'évolution du réseau de transport haut débit et la demande croissante de la part des opérateurs pour des nouveaux services télécoms à large bande ont conduit à définir une nouvelle technologie de transmission ; SDH ou Synchronous Digital Hierarchy. SDH est une technologie de transmission synchrone sur fibre optique qui autorise des débits

supérieurs et elle offre plus de souplesse dans le multiplexage, la gestion de flux, la maintenance et la supervision à distance du réseau.

La hiérarchie SDH se situe au niveau 1 et 2 du modèle OSI et elle peut être mise en œuvre sur toute les formes de topologies : point à point, arborescente, bus, anneau et maillée.

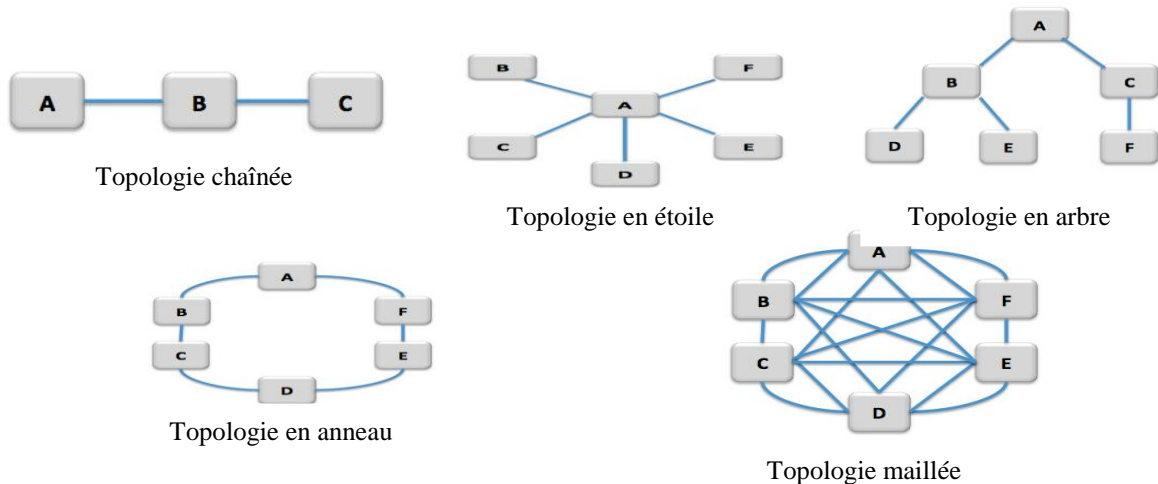


Figure 5 : les formes de topologie.

### 2.1. Les types de protection

La sécurité de la technologie SDH prévoit qu'en cas de coupure de ligne, le signal est automatiquement réacheminé sur un réseau "secours". Plusieurs configurations de ce réseau sont possibles. [6]

#### Protection 1+1

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

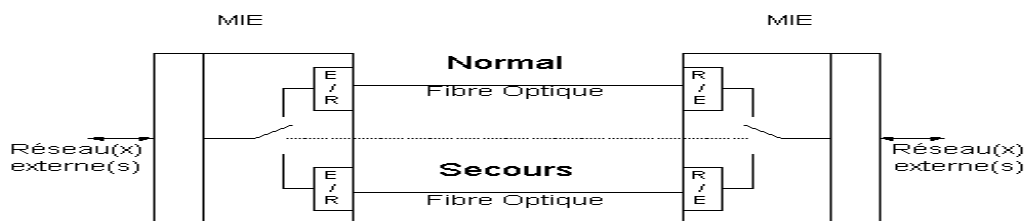


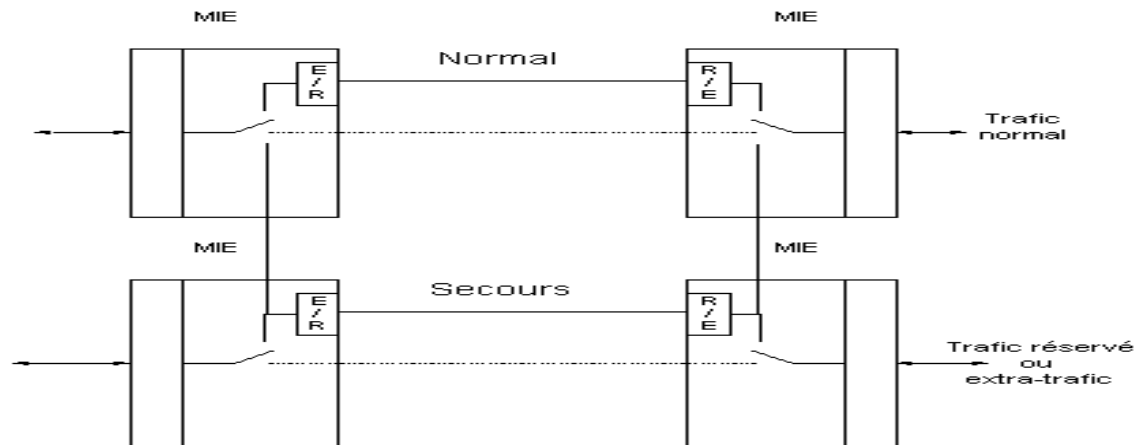
Figure 6 : Protection 1+1

R : Réception

E : Emission

#### Protection 1:1 ou 1:n

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



**Figure 7: Protection 1: n.**

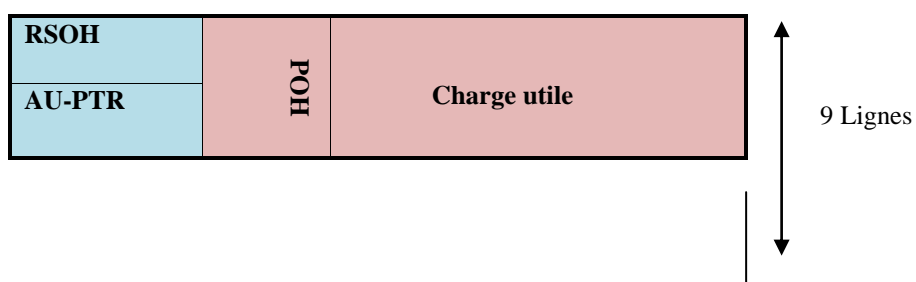
Il existe d'autres types de protection dont on cite la protection MS-PRING et la protection SNCP qui s'orientent vers le même objectif de la protection de trafic.

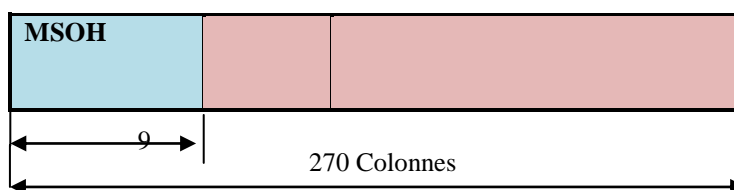
## 2.2. Les trames SDH

Il existe différentes trames en SDH qui se diffèrent en termes de débit. La trame de base est appelée STM-1 (Synchronous Transport Module, niveau 1).

- Le STM-1 correspond à un débit de 155,520 Mbit/s.
- Le STM-4 correspond à un débit de 622,08 Mbit/s.
- Le STM-16 correspond à un débit de 2488,32 Mbit/s.
- Le STM-64 correspond à un débit de 9953,28 Mbit/s.
- Le STM-256 correspond à un débit de 40 Gbit/s.

La trame de base STM-1 comporte 2430 octets émise avec une période de récurrence de 125µs soit un débit de 155 Mbit/s. la trame est divisée en neuf rangées de 270 octets. Chaque rangée est divisée en deux champs, un champ de sur débit de neuf octets par rangée (SOH Section Overhead) contient les informations de supervision notamment les pointeurs. Les données sont disposées dans les champs utiles de chacune des rangées. La trame SDH de base, STM-1 est représentée par une matrice de neuf lignes et 270 colonnes.





**Figure8 : Structure d'une trame STM-1**

- **La charge utile :** Aussi connue comme conteneur virtuel de niveau 4 (VC-4), contient des signaux à débit bas et des en-têtes de parcours (Path Overhead) POH.

Elle est utilisée pour transporter les signaux tributaires à vitesse bas.

- **POH :** sur débit utilisé pour la gestion du conteneur.
- **RSOH :** contrôle la section de régénération.
- **MSOH :** contrôle la section de multiplexage.
- **AU-PTR :** indique le premier octet du VC4.

### 2.3.Définition des éléments de la hiérarchie synchrone

Lors du multiplexage, les données sont encapsulées dans des blocs qui seront multiplexés pour donner des blocs de plus en plus grands jusqu'à l'obtention d'une trame STM-1.

Chaque bloc porte un nom, on trouve : Conteneur, Conteneur Virtuel (VC), Tributary Unit (TU), Tributary Unit Group (TUG), Administrative Unit (AU), Administrative Unit Group (AUG) et STM-N.

- **Le conteneur Cn**

Le conteneur Cn est une entité dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un débit défini par le C.C.I.T.T. Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plésiochrone de départ. Le n de Cn dépend de débit entrant, par exemple C4 correspond à 139264 kbit/s, le C3 pour 34368 kbit/s, le C12 pour 2048 kbit/s, le C11 pour 1544kbit/s.

- **Le conteneur virtuel VCn**

Le conteneur virtuel VCn est obtenu à partir du conteneur en lui ajoutant un sur débit de conduit POH utilisé pour la gestion du conteneur. C'est le conteneur virtuel VC qui est l'entité gérée par le réseau SDH.

- **L'unité d'affluent TUn (Tributary Unit)**

L'unité d'affluent TUn est composée du VCn et d'un pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VCn dans la trame de transport utilisée.

- **Le groupe d'Unité d'Affluent TUGn (Tributary Unit Group)**

Le groupe d'Unité d'Affluent TUGn représente une structure virtuelle de la trame permettant le multiplexage de TUn. Il constitue un regroupement de TUn dans un espace réservé d'une entité supérieure. On peut considérer que le TUG définit des règles de rangement des TUn dans cette entité supérieure.

On peut avoir :

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

- **L'unité administrative AU (Administrative Unit)**

L'unité administrative, AU4, est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du VC4 dans la trame de transport utilisé.

- **Le groupe d'Unité Administrative AUG (Administrative Unit Group)**

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

### **2.4.Le multiplexage SDH**

Le principe de multiplexage pour la SDH est le multiplexage synchrone. Ce type de multiplexage procure une visibilité directe des signaux transportés à l'intérieur d'une trame à 155 Mbit/s. on peut alors extraire ou insérer des affluents, réorganiser le multiplex sans effectuer des opérations de multiplexage / démultiplexage.

Les trames de transport STM-n sont obtenues en multiplexant n AUG et non n STM-1 et en rajoutant un sur débit dit sur débit de section SOH. La trame de base STM-1 contient 1 AUG et son SOH, la trame STM-4 contient 4 AUG et son SOH, la trame STM16 contient 16 AUG et son SOH.

Le multiplexage SDH inclut :

- De débit bas au débit élevé des signaux (STM-1 -> STM-n)
- De signaux PDH aux signaux SDH (2Mbit/s, 34 Mbit/s, 140Mbit/s, -> STM-n)
- Autre signaux hiérarchiques aux signaux SDH (IP -> STM-n)

Trois opérations principales sont effectuées lors de l'insertion des affluents à bas débit dans la trame STM-1 :

- **Projection (Mapping)** : un processus a employé quand des tributaires sont adaptés

dans VCs en ajoutant les bits de justification et l'information de POH.

- **Alignement (Aligning)** : Ce processus a lieu quand un indicateur est inclus dans une unité tributaire (TU) ou une unité administrative (AU), pour permettre au premier bit du VC d'être localisé.
- **Multiplexage (Multiplexing)** : ce processus est employé quand des signaux multiples d'ordre réduit du trajet sont adaptés dans un signal d'ordre évolué du trajet, ou quand des signaux d'ordre élevé du trajet sont adaptés dans une section multiplex. [4], [9], [10] , [11]

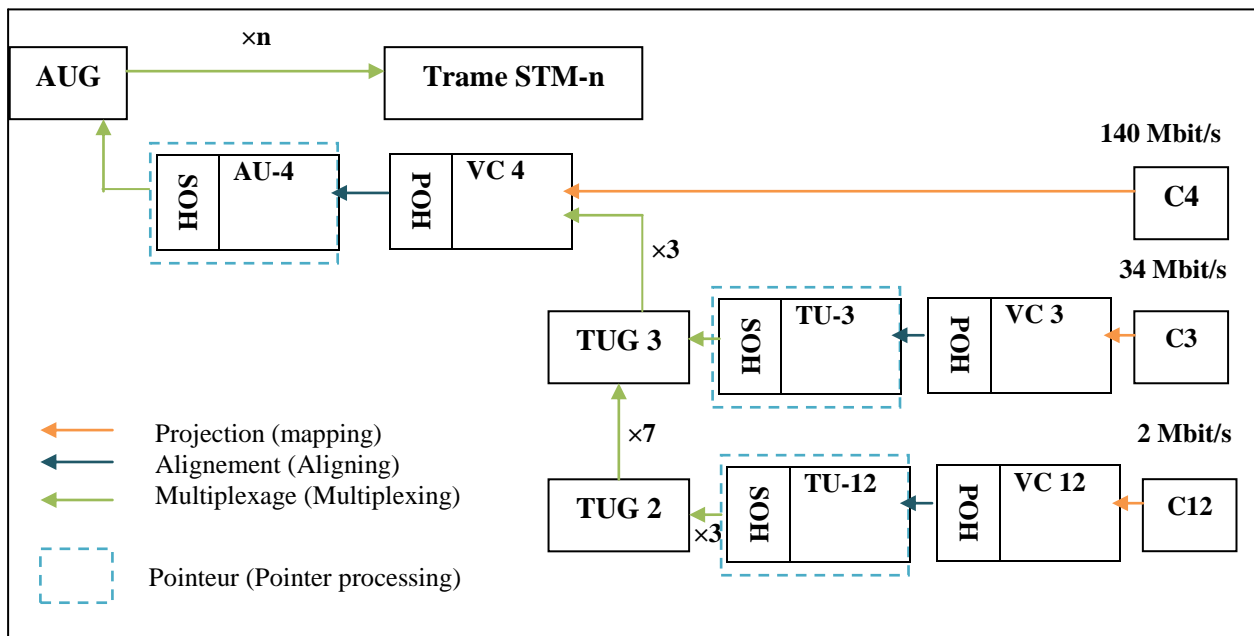


Figure 9 : structure de multiplexage synchrone.

### 2.5. Les équipements SDH

Voir l'annexe C.

### 3. Réseau de transmission actuel à l'ONCF

Au début, l'ONCF n'utilise que la technique PDH pour le transport de son trafic, mais avec l'augmentation du nombre des services et le besoin croissant en bande passante, l'ONCF a déployé le SDH comme nouvelle couche de transport complétant la couche PDH.

#### 3.1. Architecture du réseau de transmission de l'ONCF

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

## Chapitre III : le réseau de transmission SDH

- Respect du débit et du synchronisme
- Assurer le transport dans un temps minimum
- Capacité du réseau à palier automatiquement à ses défaillances au moins partiellement

pour assurer le transport des données vitales.

L'architecture en anneau bidirectionnel est celle utilisée dans le réseau ONCF et qui répond mieux à ces considérations. L'ONCF a mis en exploitation dans un premier lieu son réseau de transmission SDH sur la tranche de Casablanca Voyageurs – Fès, comme il est présenté dans la figure suivante :

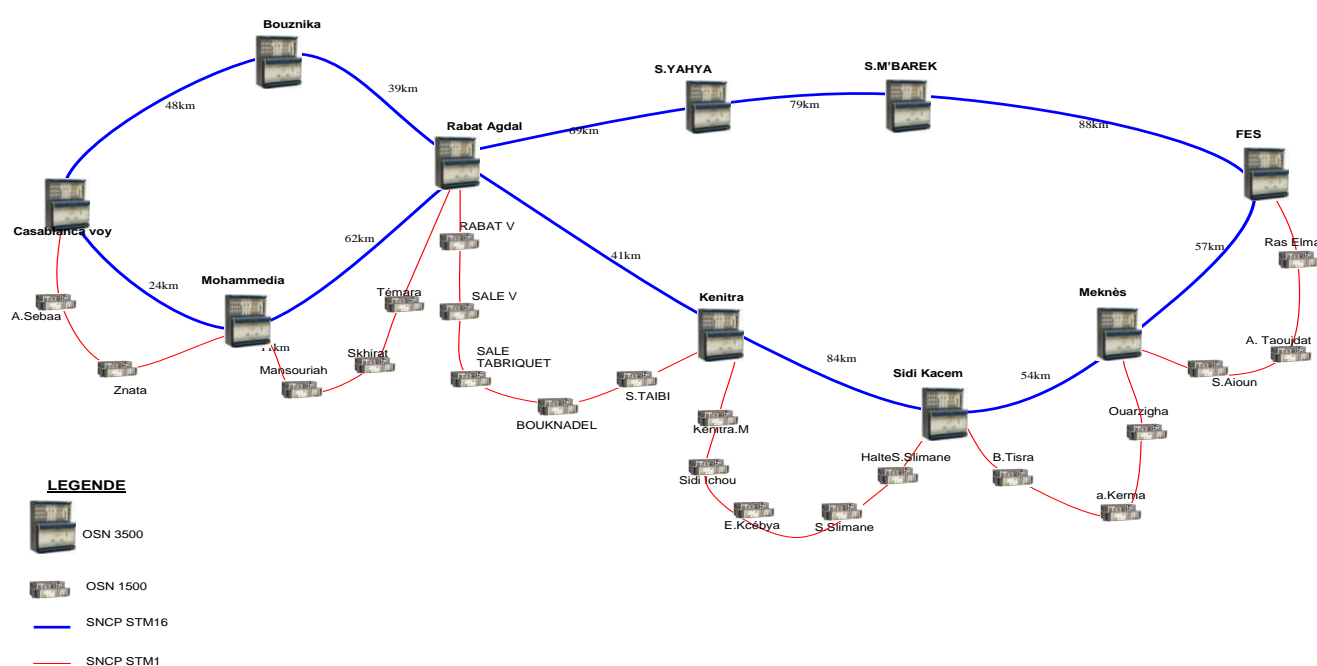


Figure 10 : Réseau de transmission – tranche Casablanca Voyageurs-Fès

La structure actuelle du réseau de transmission de l'ONCF a été découpée en plusieurs boucles interconnectées entre elles afin de couvrir la majorité des gares du Maroc.

- Boucle Nord entre Sidi Kacem-Tanger
- Boucle Est entre Rabat Agdal-Sidi Kacem-Fès
- Boucle Centre entre Rabat Agdal-Casablanca Voyageurs
- Boucle Sud entre Casablanca Voyageurs-Marrakech
- Boucle Sidi El Aidi-Oued Zem et Benguérir-Safi
- Boucle Fès-Oujda

Ces boucles géantes utilisent une capacité de l'ordre du STM-16 et du STM-1 suffisante pour véhiculer le trafic national. Je constate très bien qu'entre les grandes gares (centres) on trouve un lien STM-16. Par contre entre les petites gares il y a un chemin STM-1.

### 3.2. Description

Cette architecture d'anneau bidirectionnel ne possède pas l'inconvénient de la configuration unidirectionnel (celui du temps de transmission entre deux nœuds est différent selon le sens du flux). Elle est constituée d'une paire de fibre, chaque fibre transporte le trafic dans un sens. Elle permet aussi une meilleure gestion des trafics sur les différents tronçons du réseau. Chaque nœud reçoit un flux de données, il extrait le trafic qui lui est réservé et l'achemine vers l'extérieur de l'anneau et relaie le reste du flux vers le nœud suivant. Et s'il y a une coupure entre deux nœuds je remarque que les deux flux n'auront pas les mêmes délais et qu'il faut prendre les précautions nécessaires suivant la situation. Le conduit le plus court est dit conduit mineur, l'autre est désigné par conduit majeur.

### 3.3. Les équipements mise en service dans le réseau de transmission d'ONCF

Dans le réseau de transport de l'ONCF, je trouve deux composants essentiels : le SDH et le MIC.

#### ▪ Les équipements SDH de fabrication Huawei

Optix OSN 1500, insertion / extraction à 155 Mbit/s est un multiplexeur de la hiérarchie numérique synchrone SDH avec migration vers STM-4 à 622 Mbit/s de fabrication Huawei pour les liaisons directes.



Figure 11 : Optix OSN 1500

Optix OSN 3500, insertion / extraction à 2.5 Mbit/s est un multiplexeur de la hiérarchie numérique synchrone SDH avec migration vers STM-64 à 10 Gbit/s de fabrication Huawei pour les boucles.





**Figure 12 : Optix OSN 3500**

### **3.4. Les protections utilisées**

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH-ONCF réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission comme la rupture d'une fibre ou la défaillance d'un équipement de réseau. Dans certaines architectures, les circuits de réserve, peuvent en temps normal, servir à transporter des débits supplémentaires (moins prioritaires). En cas de défaillance, des délais de reprise sont générés, ils sont généralement compris entre 50 et 100 ms et peuvent atteindre dans certains cas critiques des durées allant jusqu'à 10 s.

Dans le même contexte, l'ONCF prend en charge le protocole de protection SNCP (subnetwork connection protection) conformément à la Recommandation G.841 de l'UIT-T. Même si plusieurs opérations de commutation de service se produisent simultanément, le délai de commutation peut rester inférieur à 50 ms.

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

Cette technique est illustrée sur la figure suivante, duplique la totalité du trafic. Pour limiter la bande passante nécessaire, le trafic peut être réparti en deux composantes : une sécurisée et une non sécurisée, la protection SNCP ne s'appliquant qu'à la composante sécurisée. En conséquence, si X est la quantité de trafic sécurisé à faire passer entre deux nœuds quelconques de l'anneau, il faut réserver X unités de capacité sur tous les arcs de l'anneau. [5]

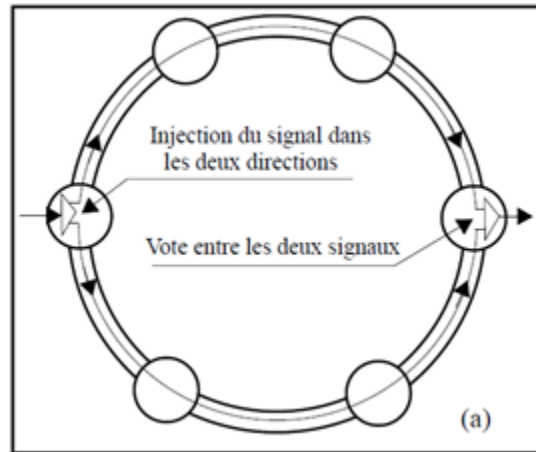


Figure 13 : le protocole SNCP.

#### 4. Les caractéristiques des cartes et fonctionnalités

##### 4.1. Description des systèmes

L'OPTIX OSN 1500 et OPTIX OSN 3500 se sont les deux systèmes utilisés par l'ONCF pour la transmission des données. Ces deux équipements se composent de plusieurs unités telles :

- ✚ Une unité d'interface SDH.
- ✚ Une unité d'interface PDH / ETH / ATM.
- ✚ Une unité de matrice de commutation SDH.
- ✚ Une unité de synchronisation.
- ✚ Une unité de traitement de sur débit.
- ✚ Une unité d'interface auxiliaire.

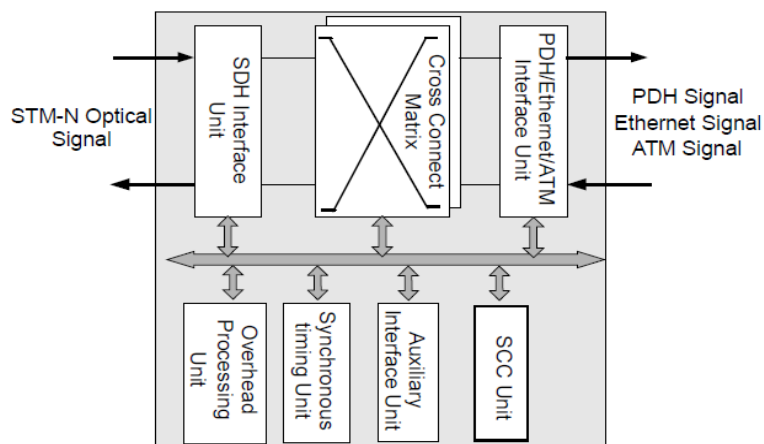
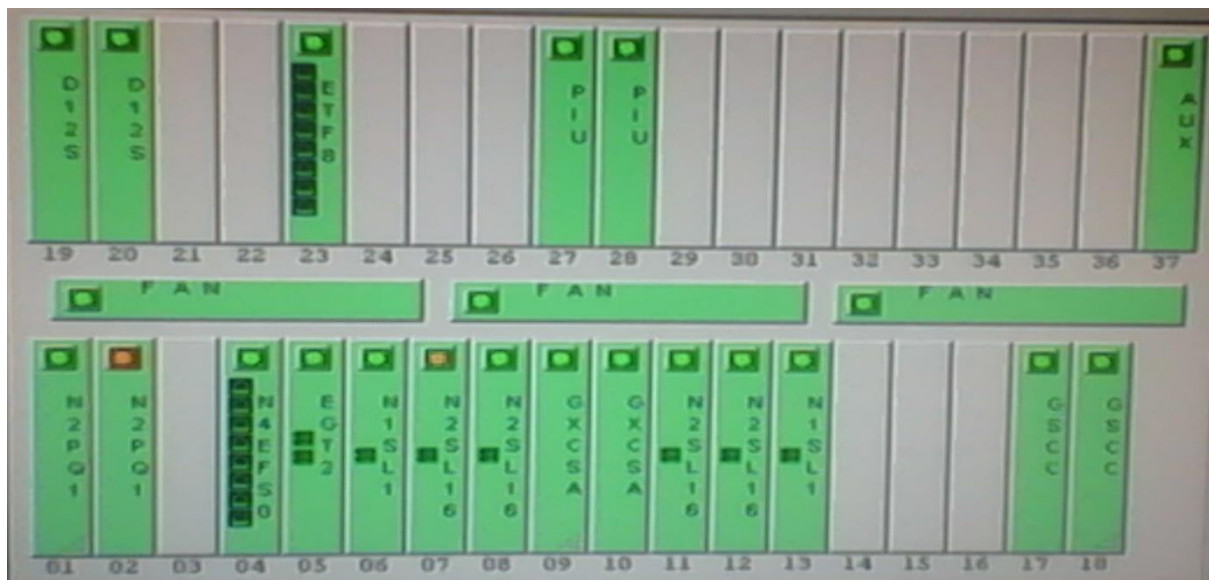


Figure 14 : la répartition des unités.

## Chapitre III : le réseau de transmission SDH

Ces différentes unités se composent elles aussi de plusieurs cartes : un type accède aux signaux STM1 /STM16 et aux signaux concaténés (cartes d'interface) et l'autre type les traite (cartes de traitement). Dans cette logique la figure suivante montre l'architecture interne du système OSN 3500 installé dans le poste de commandement Rabat.



**Figure 15 : architecture interne de l'OPTIX de poste de commandement.**

Cette architecture est similaire pour tous les équipements installés au sein de toutes les gares, la seule différence c'est que dans un système OSN 1500 on trouve juste une seule carte STM1 par contre dans l'OSN 3500 il existe des cartes STM1 et STM16 grâce à la capacité qu'il peut avoir ce système jusqu'à 2.5 Gb/s.

Je donne par la suite un récapitulatif qui englobe les cartes principales et leurs fonctionnalités.

cartes	fonctionnalités
PQ1	Accède aux signaux électriques E1 ,les traite et leurs assure une protection
PIU	Fournit l'alimentation et protège l'équipement contre les fluctuations de tension
AUX	Fournit des interfaces auxiliaires du système
GXCSA	Carte mémoire
GSCC	Emet les alarmes au niveau de supervision
FAN	Refroidit le système

**Tableau 2 : les cartes et leurs fonctionnalités.**

### 4.2.La charge occupée

Pour connaître la charge du réseau, j'ai juste essayer de compter combien d'interfaces physiques sont configurées pour un équipement dans chaque site. Ces interfaces contiennent des capacités transportées d'une gare vers l'autre dont on trouve les circuits de

## Chapitre III : le réseau de transmission SDH

régulations, d'exploitation, téléphonie ... . D'ailleurs, je définis un lien fast-ethernet qui contient les informations concernant les différents circuits et qui occupent une capacité qui va être lancer dans le conteneur virtuel VC12 et puis vers un lien E1 pour les transporter.

Nombre des E1 et Ethernet par Gare	Casa Vgrs	Ain sebaa	Zenata	Mohammedia	Masouriah	Bouznika	Skhirat	Temara	Rabat Agdal	PC	Rabat Ville	Salé Ville	Salé Tabriquet	Bouknadel	Sidi Taybi	Kenitra	Kenitra Medina	Sidi Yahya	El Kcébya	Sidi Slimane Medina	Sidi Slimane	Sidi Kacem	Bab Tisra	S.Mbarek	A.Kerna	Ouarzigha	Meknes Amir	Meknes	S.Aioun	A.Taoujdat	Ras.El.Ma	Fès
E1 utilisés (carte PQ1/PD1)	21	10	12	14	12	14	12	12	14	34	22	6	12	12	12	22	6	4	12	6	12	33	12	13	12	12	6	24	12	12	10	17
E1 libre (carte PQ1/PD1)	42	22	20	49	20	49	20	20	18	29	10	26	20	20	20	41	26	59	20	26	20	30	20	50	20	20	26	39	20	20	22	46
Pourcentage des ports utilisés	33%	31%	38%	22%	38%	22%	38%	38%	44%	54%	69%	19%	38%	38%	38%	35%	19%	6%	38%	19%	38%	52%	38%	21%	38%	38%	19%	38%	38%	38%	31%	27%
ports FastEthernet utilisés	0	1	2	0	2	0	2	2	0	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0
ports FastEthernet libre	8	7	6	8	6	8	6	6	8	6	6	6	6	6	6	8	6	6	6	6	6	8	6	6	6	6	6	6	6	6	7	8
Pourcentage des ports utilisés	0%	13%	25%	0%	25%	0%	25%	25%	0%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	0%	25%	25%	25%	25%	25%	0%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	13%	0%
ports GigaEthernet utilisés	0			0		0				0						0		0				0		0								0
ports GigaEthernet libre	2			2		2				2						2		2				2		2								2
Pourcentage des ports utilisés	0%			0%		0%				0%						0%		0%				0%		0%								0%

**Tableau 3 : la charge occupée dans le réseau.**

En effet, le calcul du pourcentage de la charge dépend du rapport de combien d'E1 occupé par site sur 155.52 Mb/s (STM1). Dans le tableau ci-dessous, on trouve la charge de la tranche Ferme (casa voyageurs - Fès) avec les E1 libres, les liens fast-ethernet configurés et le pourcentage de charge occupée pour qu'il soit facilement savoir l'espace qui reste pour le besoin GSM-R.

### Conclusion

Après avoir présenté les différents concepts de la hiérarchie synchrone et l'architecture du réseau de transmission ONCF aussi que la charge consommée dans le réseau, le chapitre suivant résume et décrit le réseau GSM-R d'un côté. Et d'autre côté j'ai entamé le dimensionnement de trafic en présence de ce nouveau réseau.

*Chapitre IV :*  
*Description du*  
*système GSM-R et*  
*dimensionnement de*  
*trafic*

### **Introduction**

L'ONCF a adopté le réseau cellulaire GSM-R comme solution pour remplacer le système analogique RST. Au cours de ce chapitre je vais présenter cette nouvelle technologie et ses fonctionnalités dans une première partie. Et dans une deuxième je vais proposer la distribution des services pour la tranche Casa voyageurs – Fès.

#### **I. La technologie 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. Cette nouvelle technologie assurera à l'avenir l'ensemble des services mobiles de communication et de transfert des données du secteur ferroviaire.

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 «European 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. Avantages et fonctionnalités**

Le GSM-R assure la transmission de la voix et des données par commutation de circuits. De nombreux arguments plaident en faveur de l'introduction du GSM-R au Maroc:

- **Interopérabilité** : le standard de communication européen GSM-R simplifie le trafic international.
- **Des appels vocaux évolués** (ASCI, Advanced Speech Call Items) incluant les services d'appels d'urgence, de groupe et de diffusion pour partager des informations entre un ensemble d'abonnés du réseau GSM-R.
- **Une préemption améliorée** multi-niveaux (eMLPP) des appels en fonction de la priorité autorisée de l'abonné.
- **Un adressage fonctionnel** permettant à un abonné en service d'être appelé (il peut s'agir de la cabine de conduite). Il suffit uniquement à l'appelant de connaître le numéro du train. Les étapes suivantes seront ensuite exécutées dans le réseau GSM-R par le réseau intelligent qui recherchera l'abonné enregistré dans la "fonction" appelée à cet instant.
- **Un adressage dépendant de la position** qui permet à l'appelant d'atteindre un abonné en service (par exemple, le régulateur en chef de la ligne) à un endroit donné en composant le même numéro (par exemple, un court code numérique enregistré dans la cabine). Selon la cellule radio dans laquelle se trouve l'appelant, l'appel est dirigé vers un numéro de ligne fixe spécifique déterminé. Exemple : un conducteur de train situé dans la zone d'une ville A contacte automatiquement le régulateur en chef en appuyant sur le bouton spécifique d'appel du régulateur à partir de la cabine. En franchissant la ville B, le conducteur du train est mis en relation avec un autre régulateur responsable de cette zone en appuyant toujours sur le même bouton.
- **Des appels d'urgence ferroviaires** (REC) permettant d'établir des communications prioritaires spécifiques en cas d'urgence (radio de suivi du train ou radio de manœuvre, par exemple). [12]

### 3. Aspects techniques

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).

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. Chaque Trame TDMA est découpée en 8 intervalles de temps ("Time Slots") également appelés canaux logiques.

## II. Fonctions et applications GSM-R

Un réseau de communications ferroviaire a besoin d'applications spécifiques pour supporter les besoins sécuritaires et pour rendre les opérations ferroviaires plus efficaces.



Figure 15 : Schéma d'applications 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 :

- **Service eMLPP (Multi-Level Precedence and Pre-emption Service)**



Ce service définit des priorités pour les appels des utilisateurs. On trouve les niveaux de priorité suivant :

- A et B : Niveaux de priorité les plus importants (Réservés aux messages) : Niveau le plus prioritaire parmi le service ASCII (Principalement utilisé pour l'appel d'urgence train - REC)
- Niveau 1, 2, 3 ...

### ➤ **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.

### ➤ **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.

## **III. Conception du réseau GSM-R**

### **1. Architecture du réseau GSM-R**

Dans le réseau de téléphonie mobile GSM-R, les utilisateurs « cheminots » se déplacent et peuvent passer d'une cellule radio à une autre sans interruption de 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 suivante :

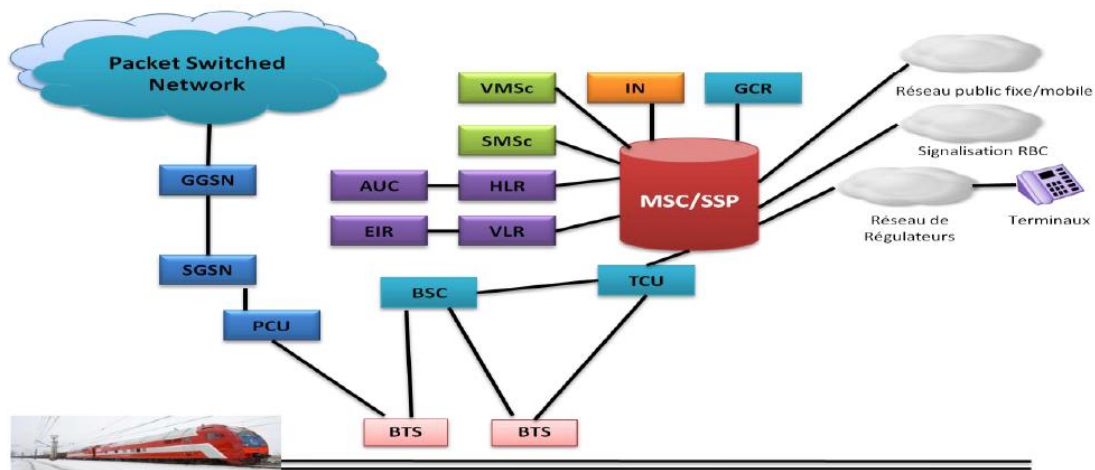


Figure 16 : Architecture général du système GSM-R

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

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.

#### ➤ 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.

#### ➤ 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

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.

### ❖ Base Station Controller

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.

### ➤ Coeur de réseau NSS

Le sous-système réseau NSS (Network SubSystem) est le coeur 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 oeuvre des services ferroviaires et de la gestion des abonnés.

### ❖ 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).

### ❖ Réseau d'exploitation et de maintenance OSS

Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation and Support Subsystem) 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).

### ❖ 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, 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).

### ❖ 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.

### Conclusion

Dans cette partie, j'ai présenté le système de communication numérique « GSM-R » en mettant l'accent sur ses différents aspects techniques et en passant par son principe de fonctionnement et les différents services offerts par ce système.

La partie suivante présentera ma proposition pour la configuration et la mise en place du réseau GSM-R.

## II. Dimensionnement du réseau

### 1. Topologie des liaisons BTS-BSC

Il existe trois principaux types de topologie de BTS, la topologie en étoile, chaînée et bouclée. Le choix de la topologie dépend essentiellement de l'architecture du réseau. L'utilisation optimale de la topologie améliore la qualité de service.

#### ✓ Configuration en étoile

La topologie en étoile est communément utilisée dans les sites à forte densité de communication.

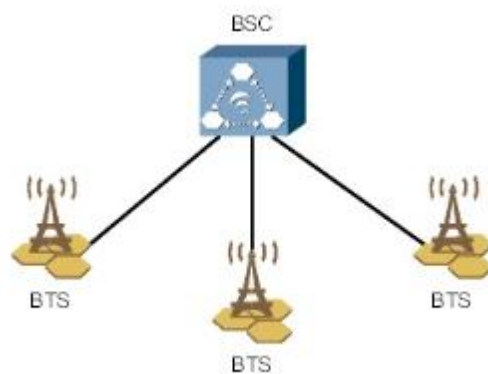


Figure 16 : La topologie en étoile

- Avantages de la topologie en étoile:
  - Chaque BTS communique directement au BSC avec les câbles E1. Cela facilite la construction et l'entretien.

- Comme les signaux sont directement transmis au BSC, l'intégrité du lien est haute.

- Inconvénients de la topologie en étoile :

- Comparé avec d'autres topologies, l'étoile exige plus de câbles de transmission.

### ✓ Configuration chaînée

La topologie chaînée est convenable pour les régions en forme rectiligne avec une densité de communication moyenne, comme les routes nationales et les chemins de fer.

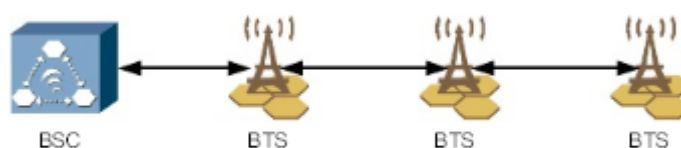


Figure 17 : La topologie chaînée

- Avantage de la topologie chaînée :

- Réduit le prix d'équipement de transmission, la construction et le lien de transmission

- Inconvénient de la topologie chaînée :

- Comme les signaux traversent beaucoup de nœuds, l'intégrité de transmission est réduite.
- Les erreurs produites dans les BTS du niveau supérieur peuvent se répercuter sur les BTS du niveau inférieur.
- Le nombre de niveaux dans un réseau en chaîne ne peut pas excéder cinq.

### ✓ Configuration bouclée

La topologie bouclée ou en anneau est convenable aussi bien pour les routes nationales que pour les chemins de fer mais avec un niveau de fiabilité supérieur à celui de la topologie chaînée.



Figure 18 : La topologie bouclée ou anneau

- Avantage de la topologie bouclée

- Une fiabilité de communication malgré une défaillance dans l'un des sites de l'anneau. Cela est garanti par l'existence de deux chemins différents.
- Inconvénient de la topologie bouclée
  - Il y a toujours une section qui ne transfère pas de données et le cout est relativement élevé.

Pour l'ONCF j'ai opté pour La configuration en anneau vu qu'elle représente à mon sens le meilleur rapport qualité prix.

### **2. Configuration des BTS.**

De point de vue projet GSM-R, j'ai distingué deux types de BTS « BTS gare » et « BTS hors gare ». Pour cette dernière, il faut disposer des équipements SDH propre plus l'alimentation qu'on va l'obtenir à partir de ceux des gares.

Les BTS gare sont les BTS qui comme leurs nom l'indique celle qui se trouve dans les gares des grandes villes « RABAT, CASA, Marrakech... », ces BTS ont comme seule spécificité le fait de disposer de l'équipement de transmission déjà installé permettant l'accès à la boucle SDH.

Les BTS hors gare comme les BTS gare devront disposer d'un équipement de transmission permettant de faire passer des trames MIC 2Mbits.

Je recommande à l'ONCF que pour le besoin GSM-R, chaque BTS a besoin de 2\*E1 un pour la transmission normale des données et l'autre pour la protection. L'essentiel c'est de savoir intégrer le BSS c'est-à-dire la BTS avec le BSC dans le réseau actuel SDH. je pourrai ainsi ramener les BTS hors gare aux BTS gare ou je pourrai les insérer dans une boucle SDH et donc établir le lien avec le BSC qui est relié à la même boucle.

### **3. La répartition des grappes**

L'architecture du réseau GSM-R de l'ONCF est construite par phases (tranches). Concernant les nœuds principaux, et exceptant le réseau radio dont la couverture augmente à chacune des tranches, les phases importantes seront les suivantes :

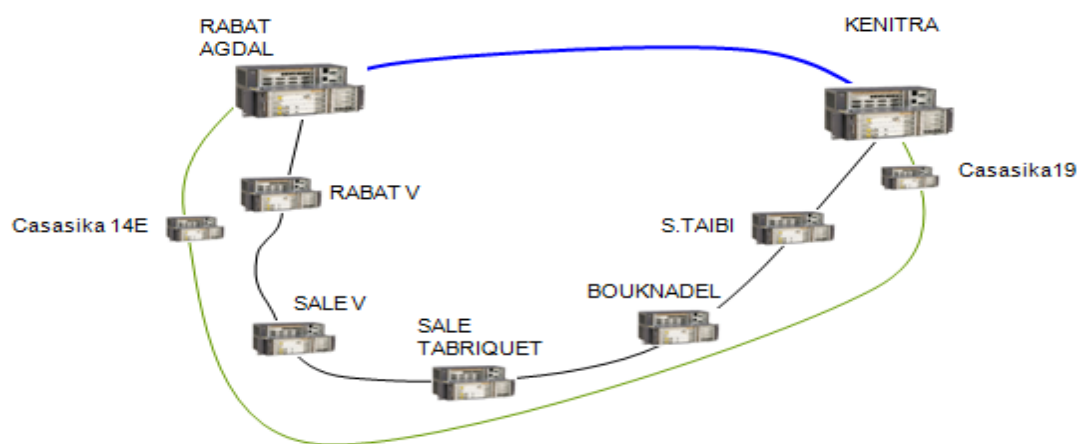
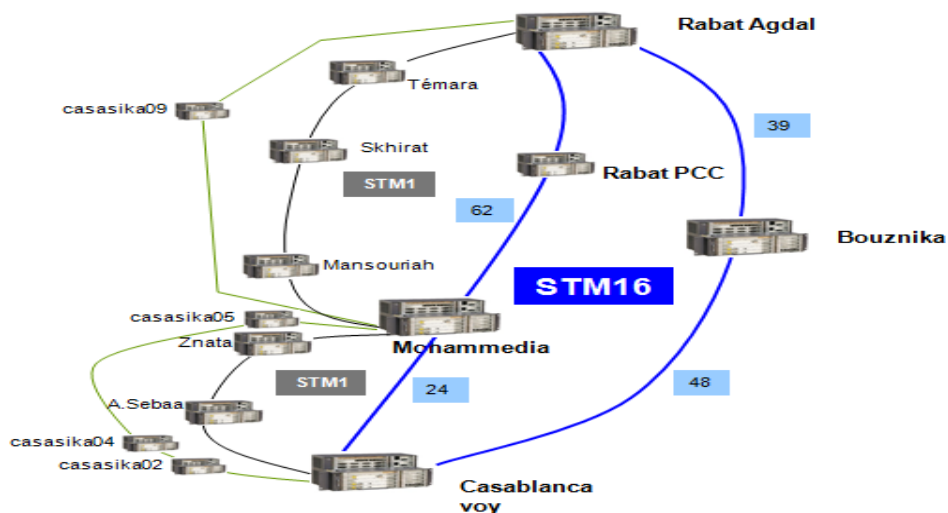
- ✚ Casa voyageurs – Kénitra
- ✚ Kénitra – Fès

## Chapitre IV : Description du système GSM-R et dimensionnement de trafic

✚ Taourirt – Nador

✚ Sidi kacem – Tanger

Pour simplifier Le schéma global du réseau de transmission SDH du tronçon Casa voyageurs – Fès, je vais essayer de le décomposer en trois figures :





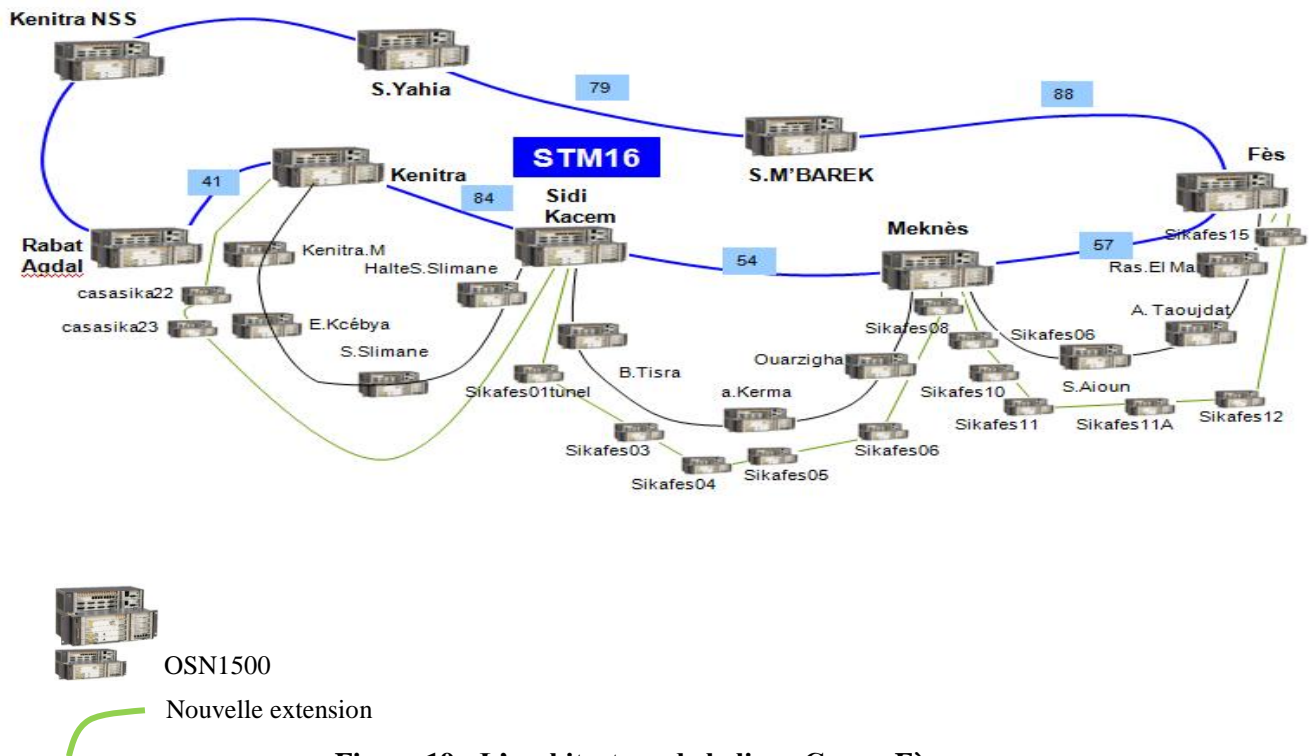


Figure 19 : L'architecture de la ligne Casa – Fès

Pour la répartition des grappes, il est important de savoir qu'une seule grappe contient au maximum cinq BTS et qu'il faut ordonner ces BTS de façon successive géographiquement à l'aide des points kilométriques (PK). Je distingue par la suite, l'ordre des sites pour les deux phases illustrés dans le tableau suivant :

Casa voyageurs – Kénitra	Kénitra – Fès
1-Casa voyageurs	1-Kénitra medina
2-Casa 02	2-Casa 19
3-Ain sbaa	3-S.ichou
4-Casa 04	4-Casa 22
5-Znata	5-S.yahia
6-Casa 05	6-Casa 23
7-Mohammedia	7-E.kcébya
8-Mansouriah	8-S.slimane
9-Bouznika	9-S.slimane medina
10-Skhirate	10-S.kacem
11-Casa 09	11-Zaouia
12-Temara	12-Fès 01 tunnel
13-Rabat agdal	13-Bab tistra
14-Rabat ville	14-Fès 03
15-Casa 14E	15-O.rommane
16-Salé ville	16-Fès 04
17-Salé tabriquete	17-S.mbarek
18-Bouknadel	18-Fes 05
19-Sidi taibi	19-A.kerma
20-Kénitra	20-Fès 06
	21-Ouarzigha
	22-Fès 08
	23-M. amir abd lkader
	24-Fès 09
	25-Méknes
	26-Fès 10
	27-Fès 11
	28-S.aioun
	29-Fès 11A
	30-Ain tawjdate
	31-Fès 12
	32-Ras lma
	33-Fès 15
	34-Fès

Tableau 4 : la répartition des grappes.

### III. Dimensionnement de nouveau réseau de transmission

#### 1. Introduction

L'interface Abis est l'interface qui existe entre la BTS et le BSC, c'est une liaison à 2 Mbit/s. Le support de transmission de cette interface est constituée de la fibre optique c'est pour cela que je vais placé un équipement de transmission du côté de la BTS et un autre du côté du BSC.

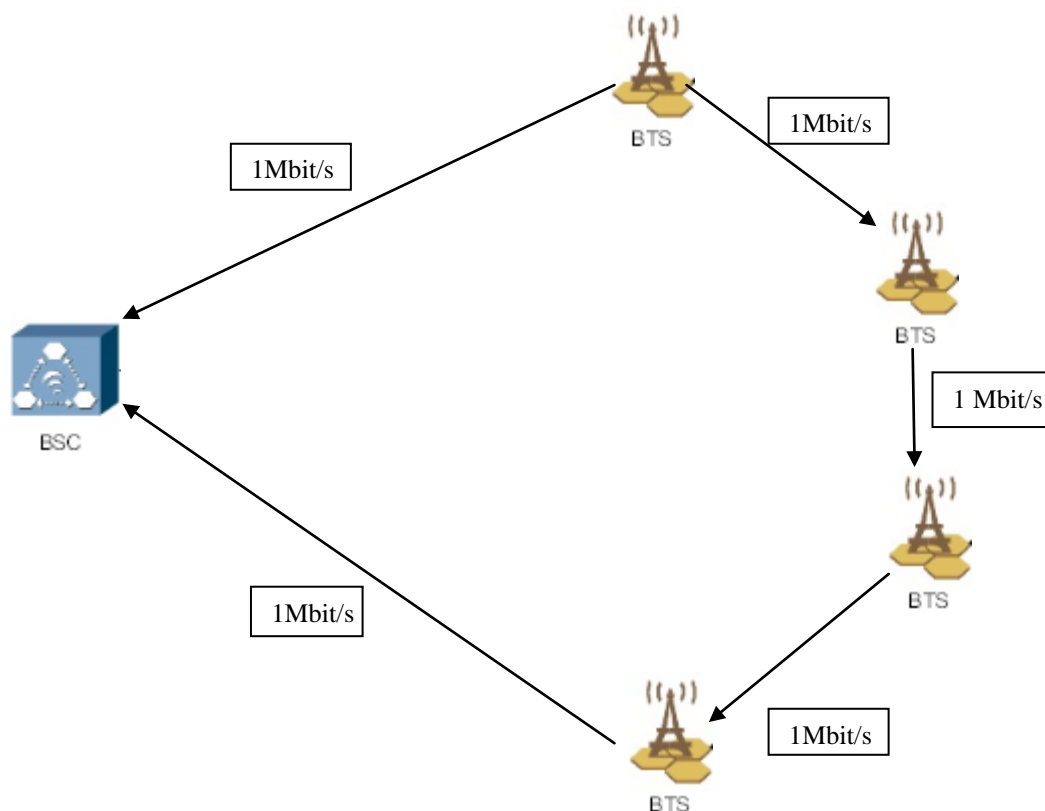


Figure 20 : interface entre BTS et BSC.

## 2. Configuration de réseau

Pour le dimensionnement je vais respecter deux principes :

- La capacité à prévoir pour chaque branche.
- La portée des équipements SDH.

En fait, la tranche ferme est divisée en branches : STM1 qui relie les petits centres et STM16 qui offre un débit de 2.5 Gbit/s relie les grands centres. Plus la boucle STM1 pour l'extension GSM-R reliant les nouveaux équipements SDH entre eux et avec les anciens.

Ainsi, le dimensionnement sera fait de la façon suivante :

- Configurer la grappe choisie en topologie anneau avec le BSC.
- Suivre le chemin optique de la gare émettrice vers le réceptrice, en tenant compte des sites concernés c'est-à-dire ceux qui se trouvent sur le chemin toute en arrivant au BSC et le nombre de E1 consommé soit dans les boucles STM déjà définis ou dans la nouvelle boucle STM1 ,aussi que les E1 utilisés pour la protection du lien . En se basant sur ces données, je vais préciser pour chaque grappe le besoin GSM-R en terme de débit.

Branche casa voyageurs – Rabat PC .

Les éléments de la grappe G1 est ceux présentés en rouge dans le schéma ci-dessous :

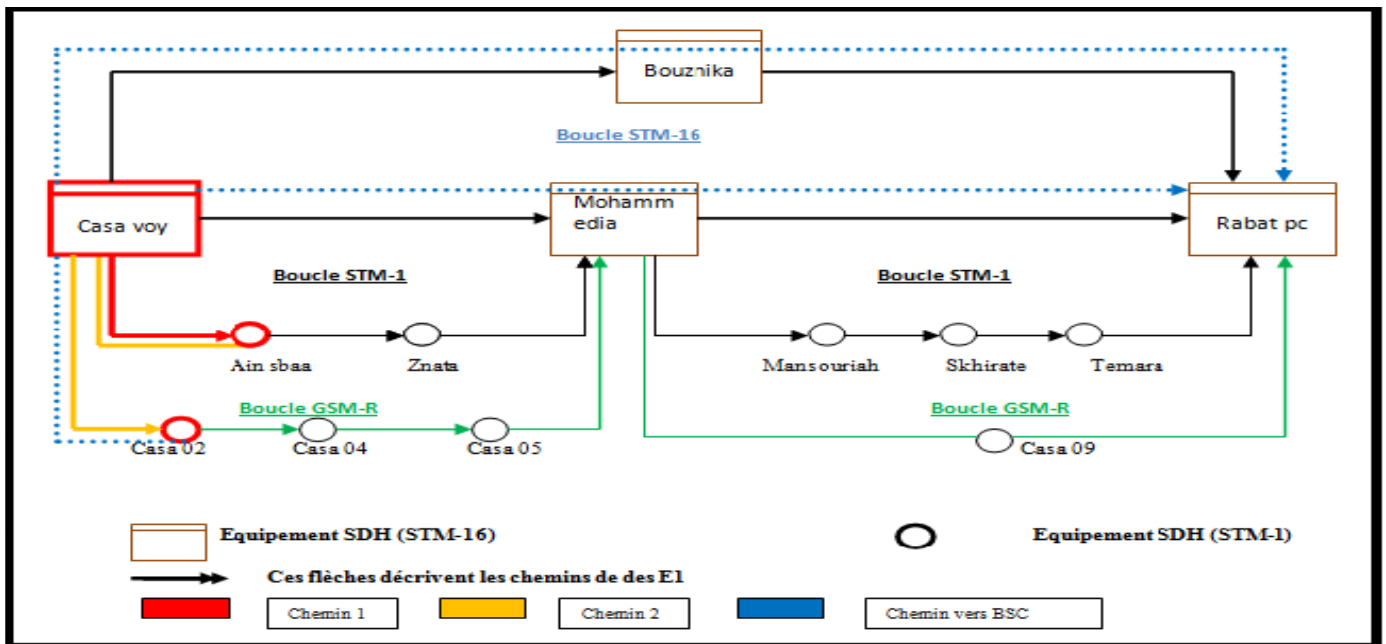
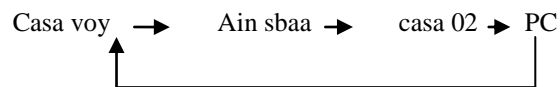


Figure 21 : représentation de la grappe G1.

L'ordre de cette grappe est :



Pour vérifier le concept général de dimensionnement de trafic, je vais compter le nombre d'E1 consommé dans chaque STM :

Les boucles STM concernées	Nombre d'E1 ajoutés dans les boucles
STM1-1 (Casa voyageurs - Mohammedia)	2*E1
STM1-N1 (Casa voyageurs - Mohammedia)	2*E1
STM16 (Casa voyageurs – Rabat PC)	3*E1

Tableau 5 : les services consommés dans G1.

Dans le schéma qui suit, je trouve les nœuds constituant la grappe G2 illustrés en rouge et les chemins E1 proposés pour le dimensionnement de cette grappe.

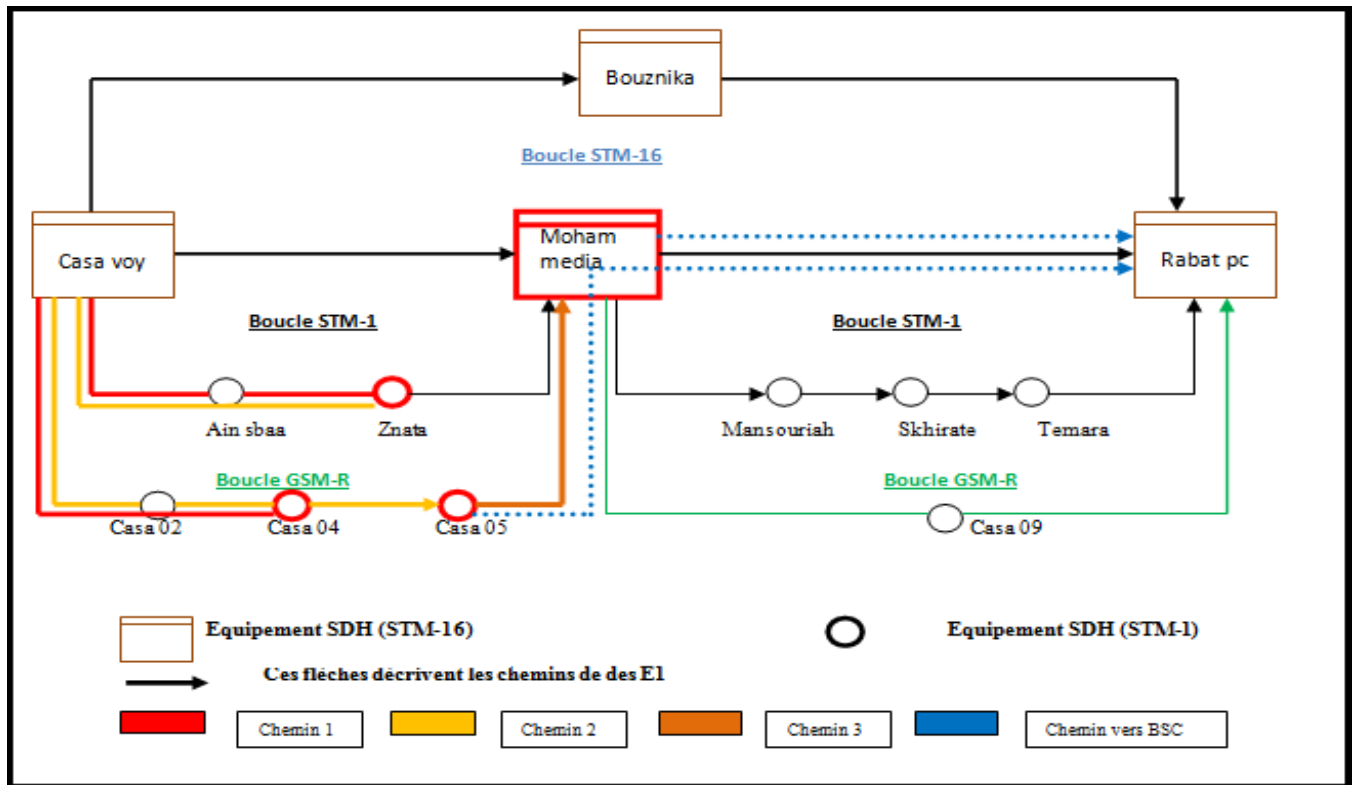
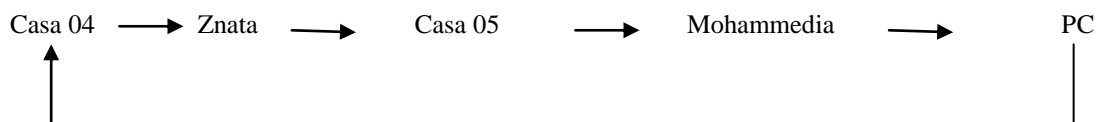


Figure 22 : représentation de la grappe G2.

L'ordre géographique de cette grappe est :



Le résultat de calcul du nombre d'E1 employé pour G2 donne :

Les boucles STM concernées	Le nombre d'E1 utilisé dans chaque boucle
STM1 (Casa voyageurs - Mohammedia)	2*E1
STM1-N (Casa voyageurs - Mohammedia)	3*E1
STM16 (Casa voyageurs – Rabat PC)	3*E1

Tableau 6 : les services consommés dans G2.

Les équipements constituant la grappe G3 sont présentés dans le schéma ci-dessous :

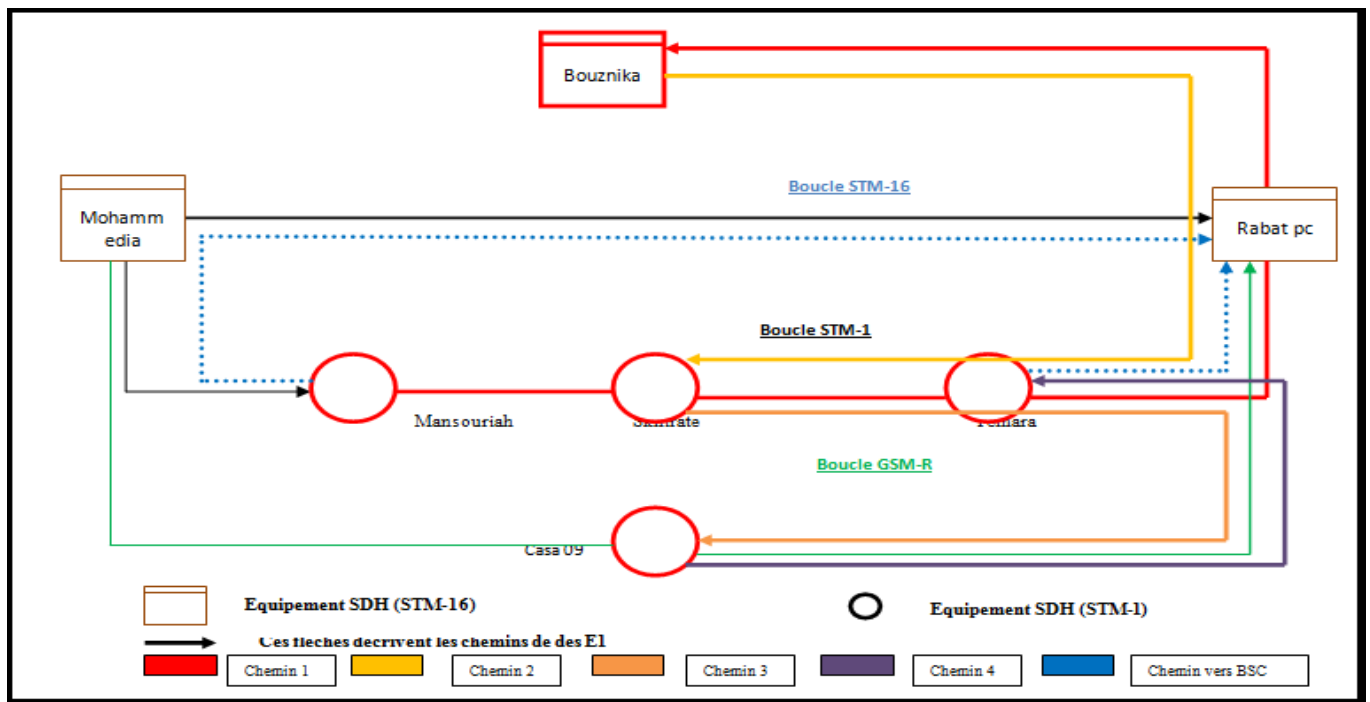
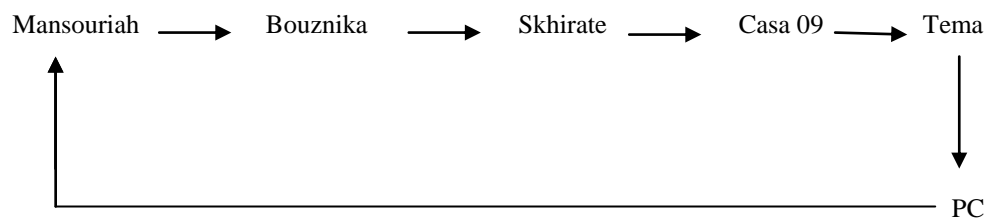


Figure 23 : représentation de la grappe G3.

L'ordre de la grappe est dans le sens suivant :



Pour dimensionner le trafic, je vais compter le nombre d'E1 consommés dans les STM mises en place.

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-2 (Mohammedia – rabat PC)	4*E1
STM1-N2 (Mohammedia – Rabat PC)	2*E1
STM16 (Casa voyageurs – Rabat PC)	3*E1

Tableau 7 : les services consommés dans G3.

Branche Rabat PC – Kénitra

Les éléments de la grappe G4 sont illustrés dans la figure suivante avec les liens proposés pour la répartition des E1 :

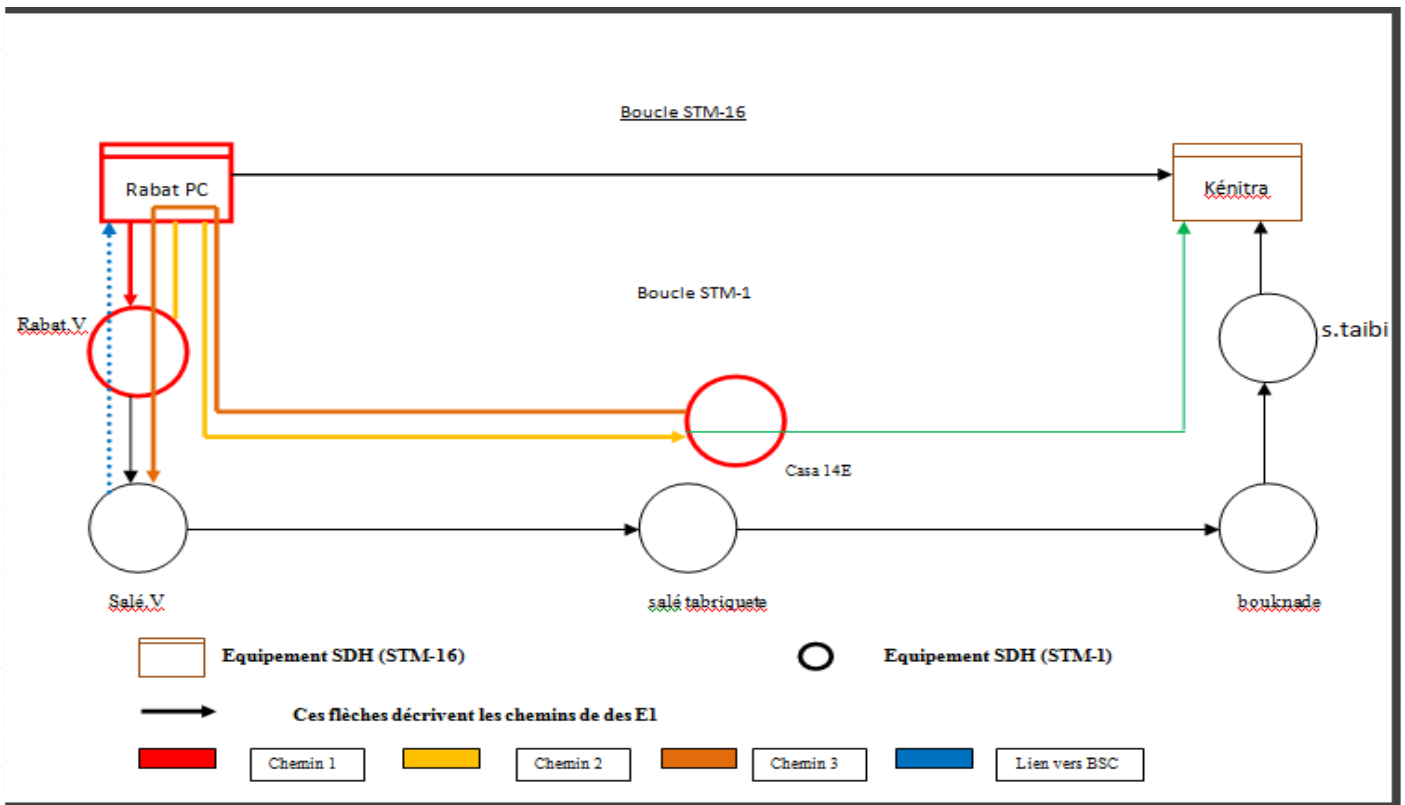
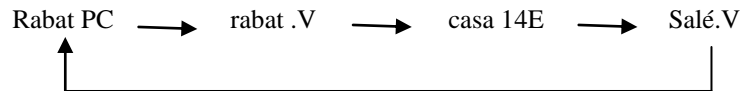


Figure 24 : représentation de la grappe G4.

Ils sont ordonnés comme suit :



Le tableau suivant montre les services consommés :

Les boucles STM nécessaires	Nombre de E1 consommés
STM1-3 (Rabat PC – Kénitra)	3*E1
STM1-N (Rabat PC – Kénitra)	2*E1

Tableau 8 : les services consommés dans G4.

Je présente la grappe G5 dans le schéma suivant :

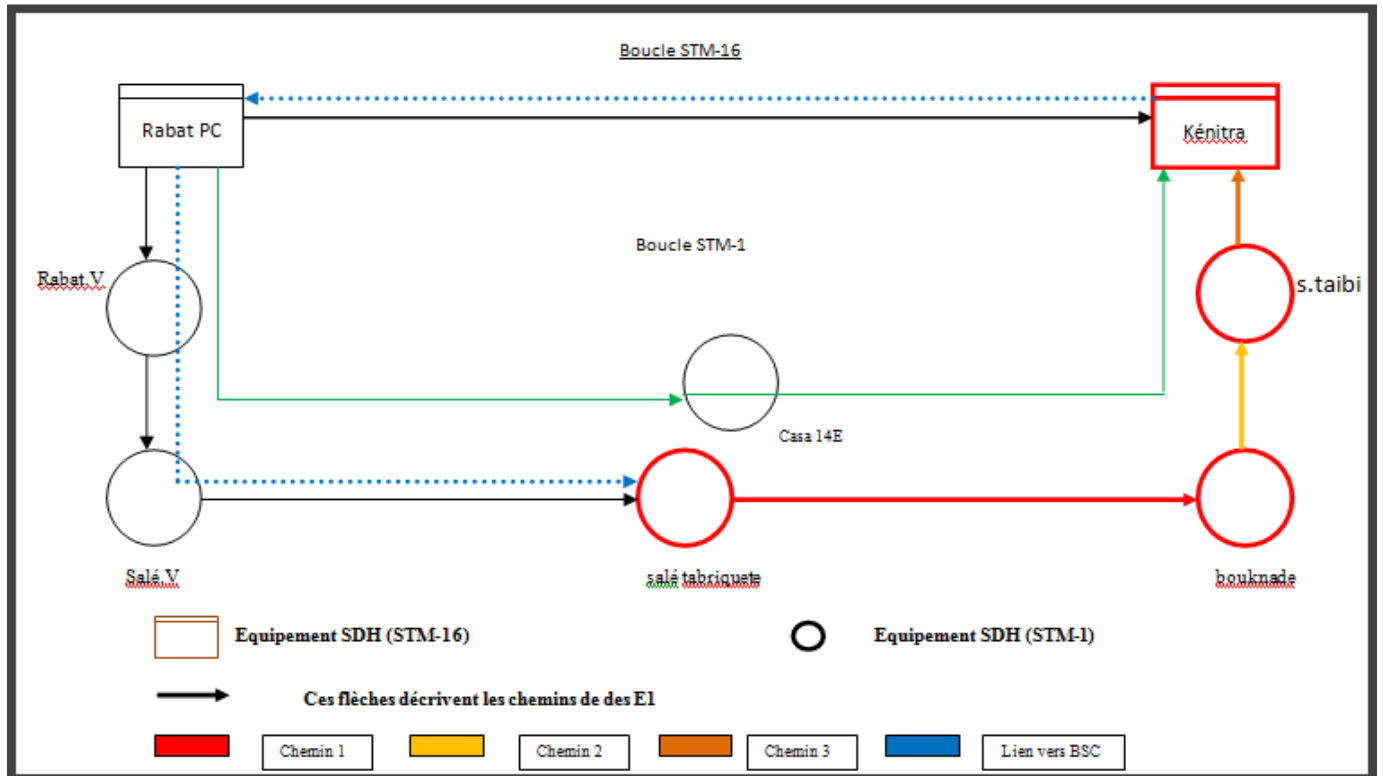
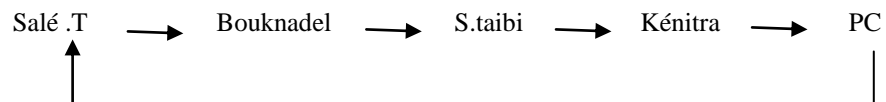


Figure 25 : représentation de la grappe G5.

D'autre manière, G5 se présente simplement par :



Les boucles STM nécessaires	Nombre d'E1 consommés
STM1-3 (rabat PC – Kénitra)	4*E1
STM16 (rabat PC – Kénitra)	1*E1

Tableau 9 : les services consommés dans G5.

Pour conclure, la charge de BSC sera augmentée de 10 E1 pour la ligne (Casa voyageurs - Kénitra). Autrement dit tous les BTS ont un lien E1 avec le BSC, donc la charge du BSC sera améliorée par une quantité égale au nombre de grappe dans une phase fois deux E1.

### BRANCHE Kénitra – Fès

Les nœuds de la grappe G1 dans cette tranche est colorée en rouge dans la figure suivante :



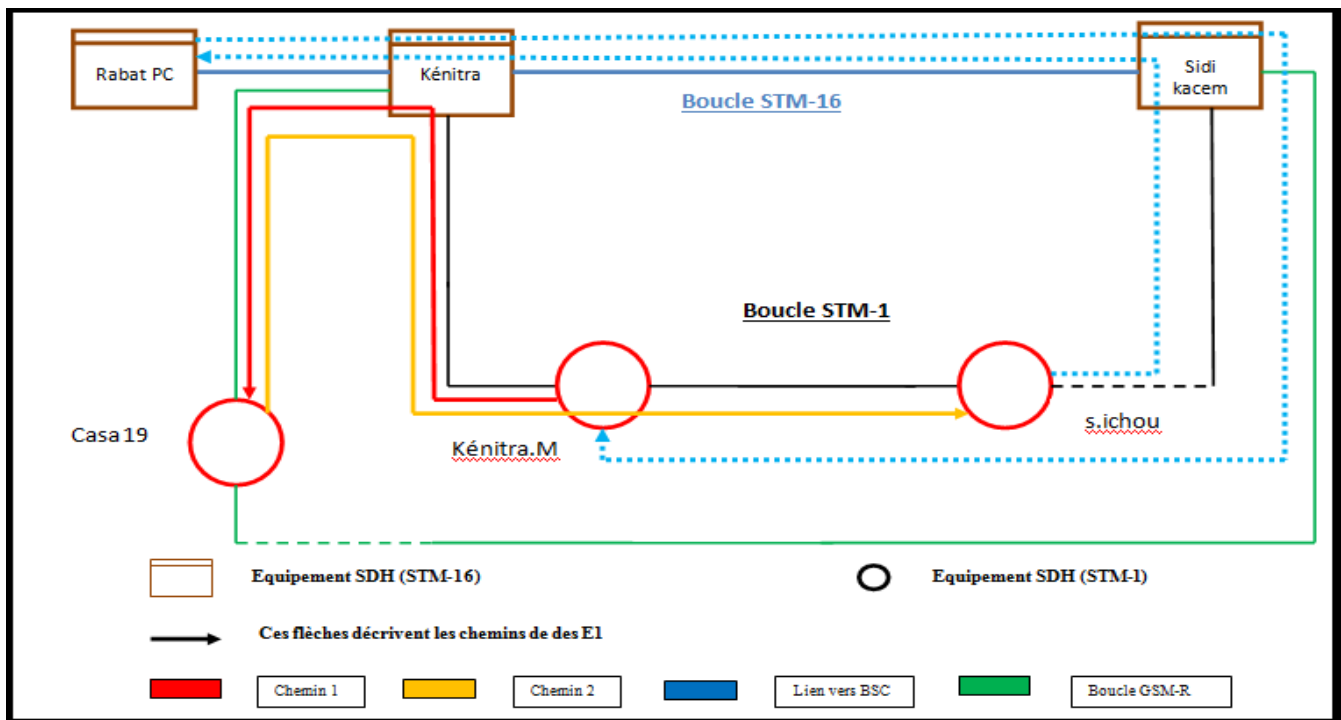
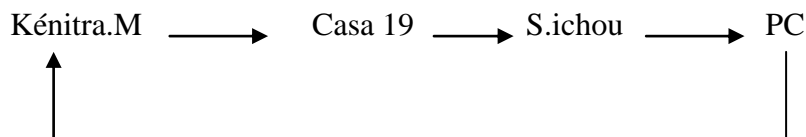


Figure 26 : représentation de la grappe G1.

Les BTS de la grappe G1 sont ordonnés comme suit :



Le tableau suivant résume le calcul des services consommés :

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-4 (Kénitra – Sidi kacem)	3*E1
STM1-N3 (Kénitra – Sidi kacem)	2*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	2*E1

Tableau 10 : les services consommés dans G1.

Les nœuds constitutifs de la grappe G2 sont illustrés dans la figure suivante :

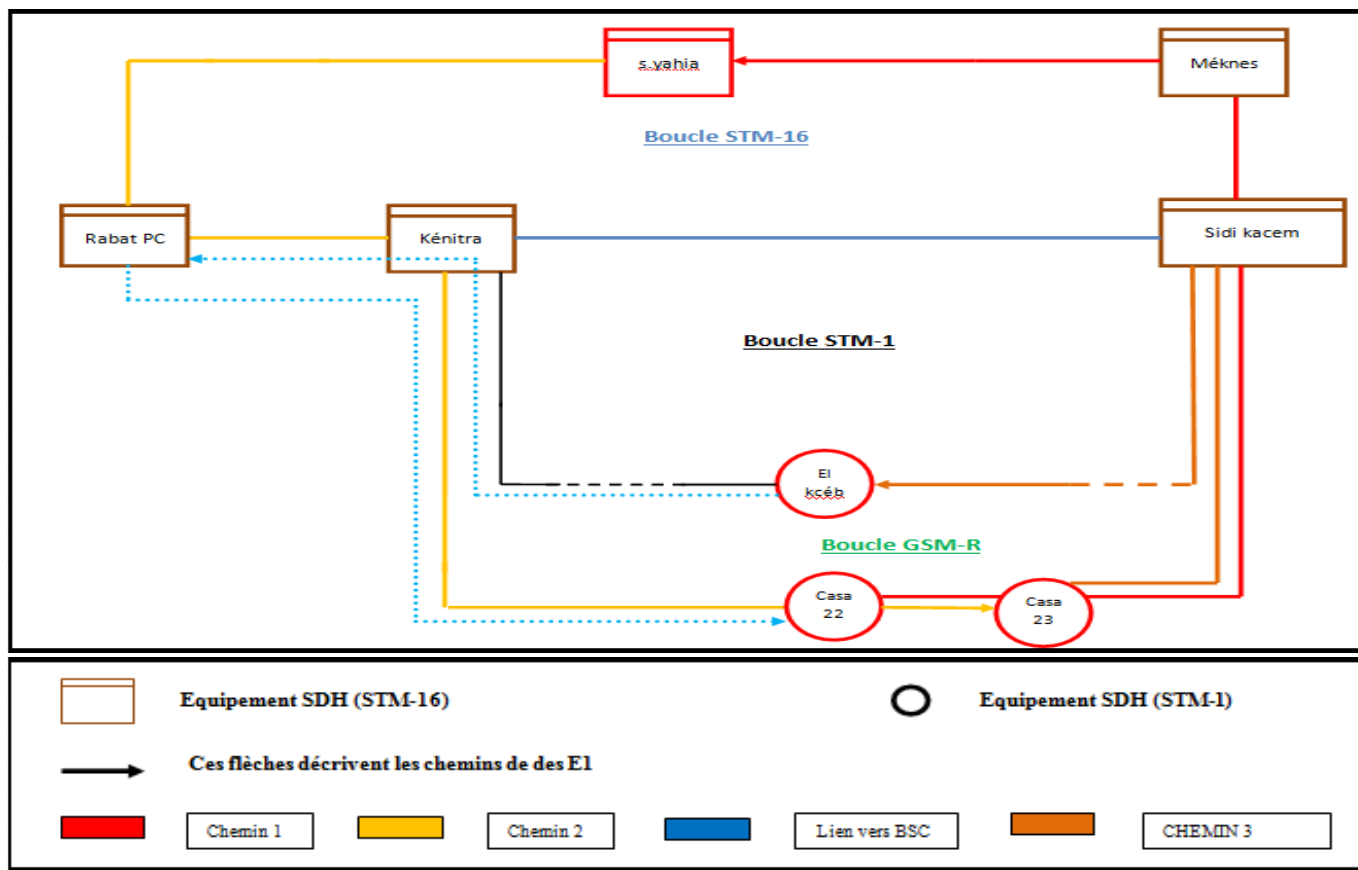


Figure 27 : représentation de la grappe G2.

Je donne dans le tableau suivant le nombre d'E1 rajoutés aux boucles STM.

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-4 (Kénitra – Sidi kacem)	2*E1
STM1-N3 (Kénitra – Sidi kacem)	3*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	5*E1

Tableau 11 : les services consommés dans G2.

Je présente par la suite la grappe G3 :

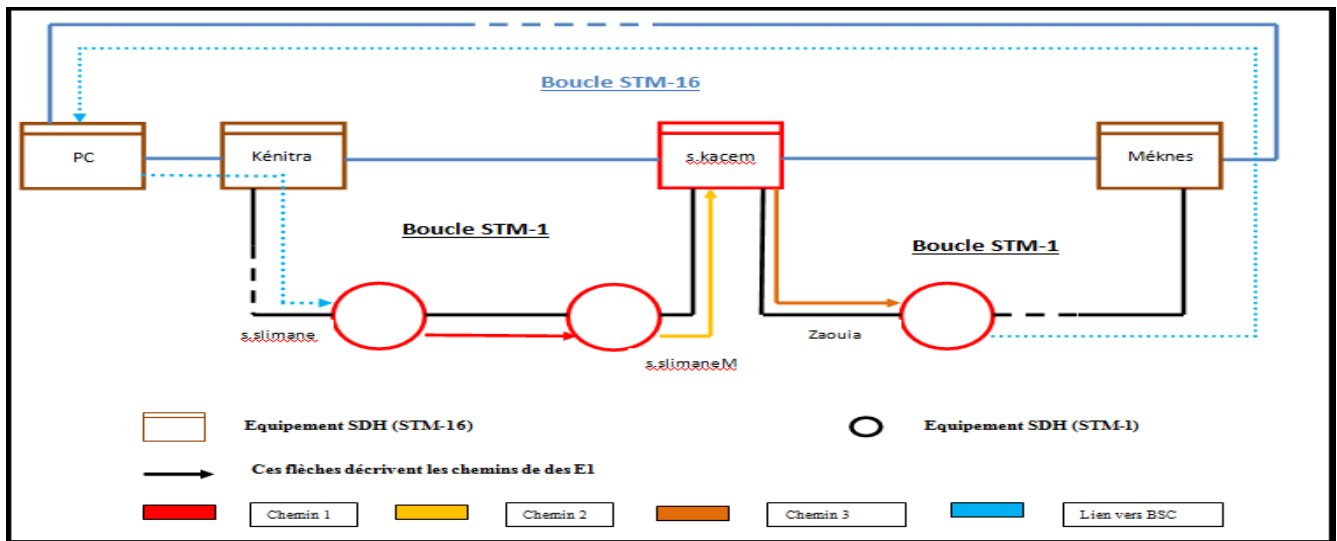


Figure 28 : représentation de la grappe G3.

Voilà le tableau concernant cette grappe :

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-4 (Kénitra – Sidi kacem)	3*E1
STM1-5 (Sidi kacem –Méknès )	2*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	5*E1

Tableau 12 : les services consommés dans G3.

Dans ce qui suit, je vais présenter chaque grappe avec le tableau constituant les services qui vont être rajoutés aux boucles existantes ou aux nouvelles.

La grappe G4 :

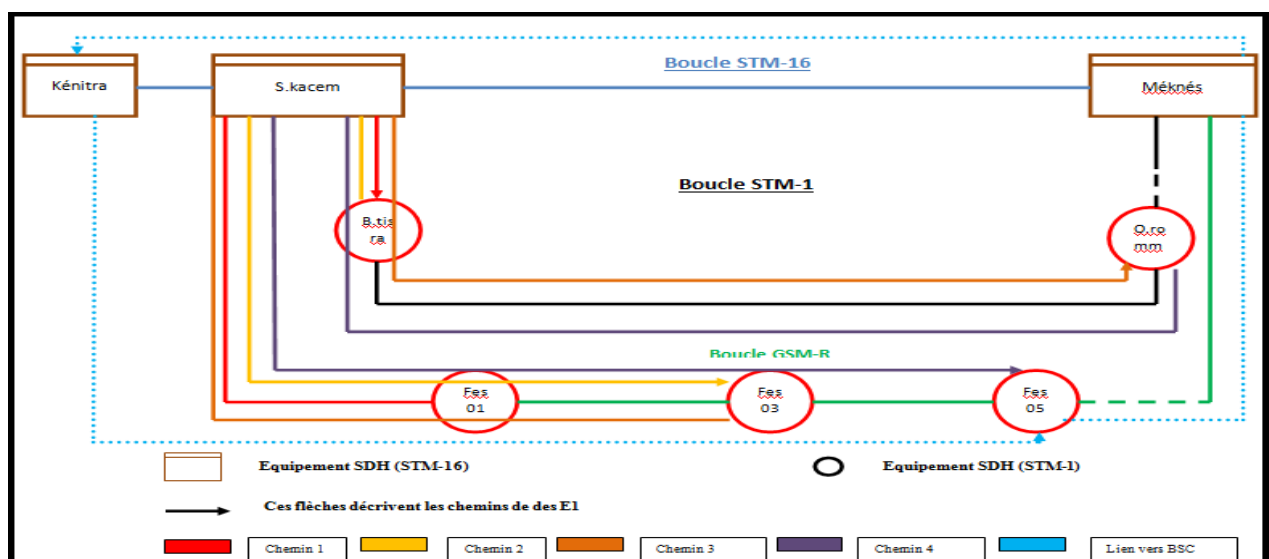


Figure 29 : représentation de la grappe G4.

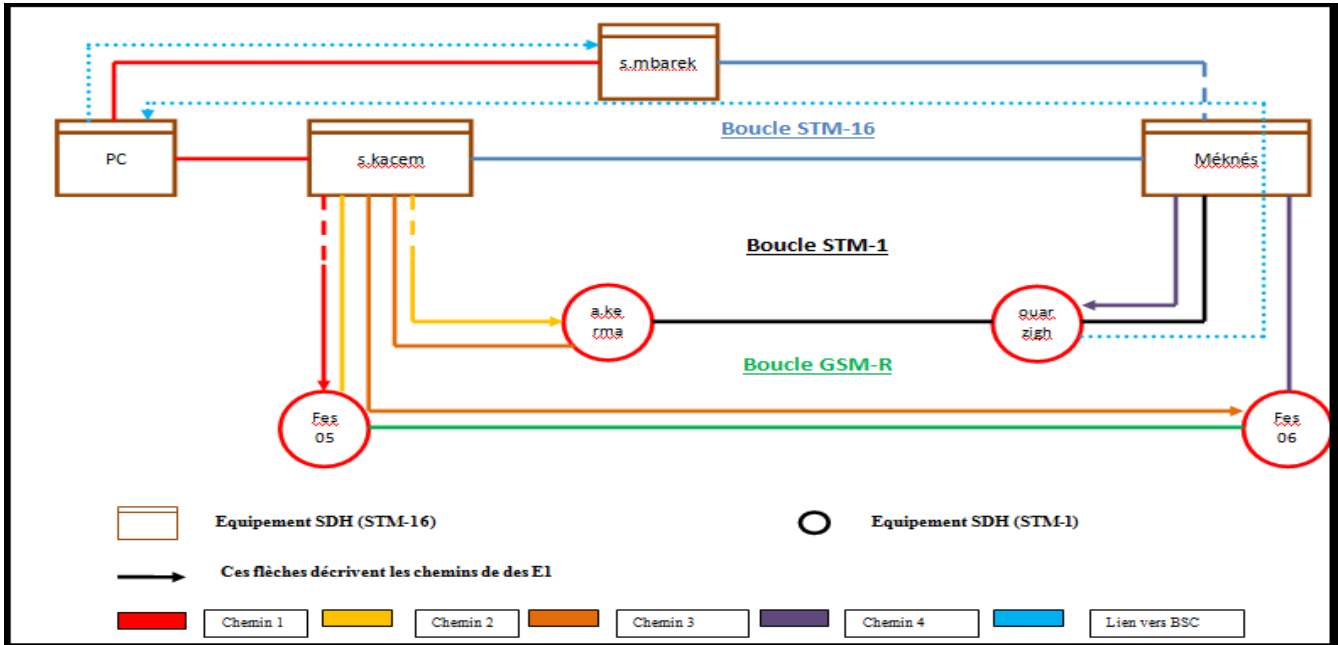
Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
----------------------------	--

## Chapitre IV : Description du système GSM-R et dimensionnement de trafic

STM1-N4 (Sidi kacem –Méknes )	4*E1
STM1-5 (Sidi kacem –Méknes )	4*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	2*E1

**Tableau 13 : les services consommés dans G4.**

La grappe G5 :



**Figure 30 : représentation de la grappe G5.**

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-N4 (Sidi kacem –Méknes )	4*E1
STM1-5 (Sidi kacem –Méknes )	3*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	3*E1

**Tableau 14 : les services consommés dans G5.**

La grappe G6 :

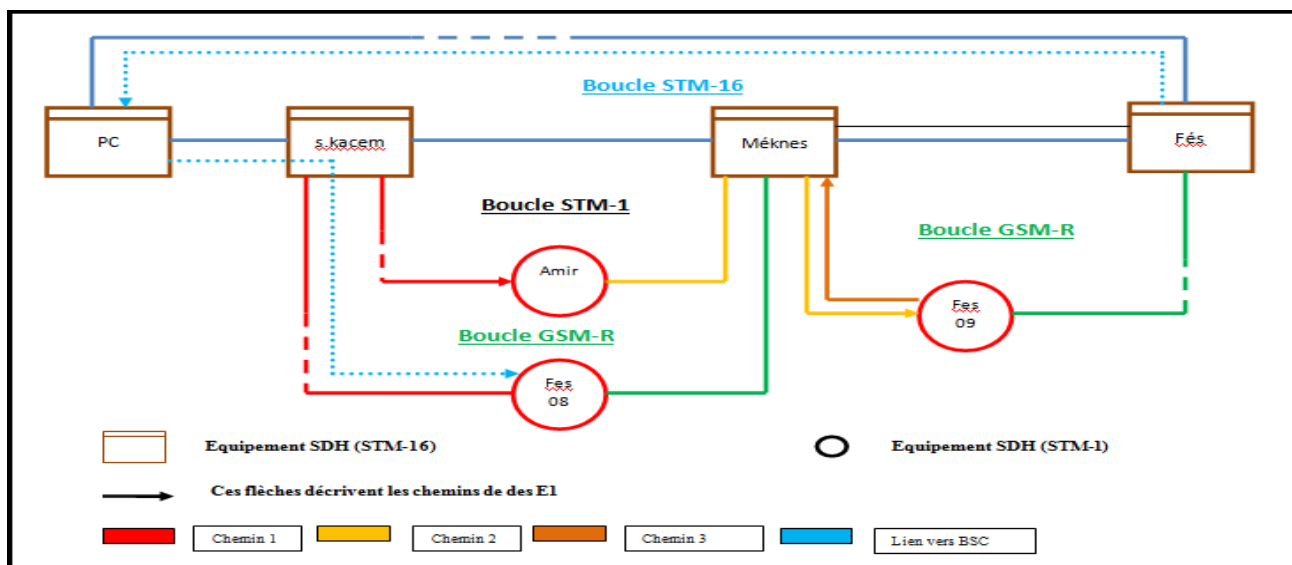


Figure 31 : représentation de la grappe G6.

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-N4 (Sidi kacem –Méknes )	2*E1
STM1-5 (Sidi kacem –Méknes )	2*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	4*E1
STM1-N5 (Méknes - Fès )	2*E1

Tableau 15 : les services consommés dans G6.

La grappe G7:

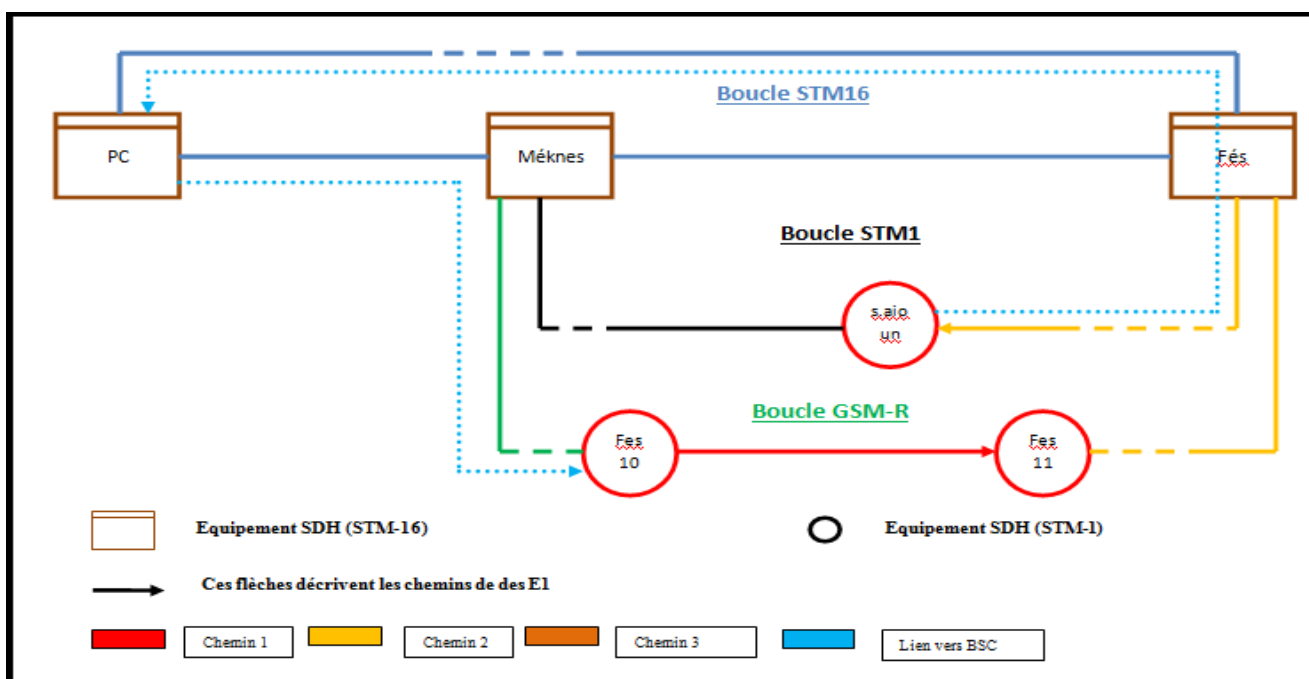


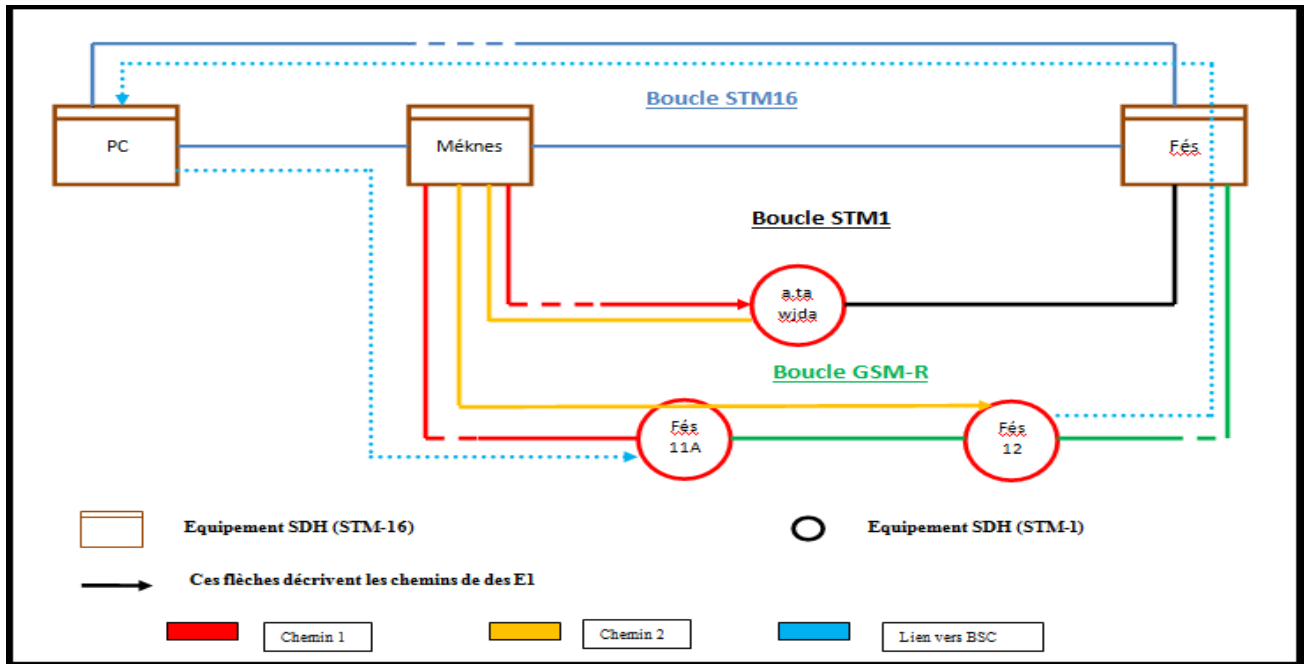
Figure 32 : représentation de la grappe G7.

## Chapitre IV : Description du système GSM-R et dimensionnement de trafic

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-6 (Méknes - Fès )	2*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	3*E1
STM1-N5 (Méknes - Fès )	3*E1

**Tableau 16 : les services consommés dans G7.**

### La grappe G8:



**Figure 33 : représentation de la grappe G8.**

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-6 (Méknes - Fès )	2*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	2*E1
STM1-N5 (Méknes - Fès )	3*E1

**Tableau 17 : les services consommés dans G8.**

La grappe G9:

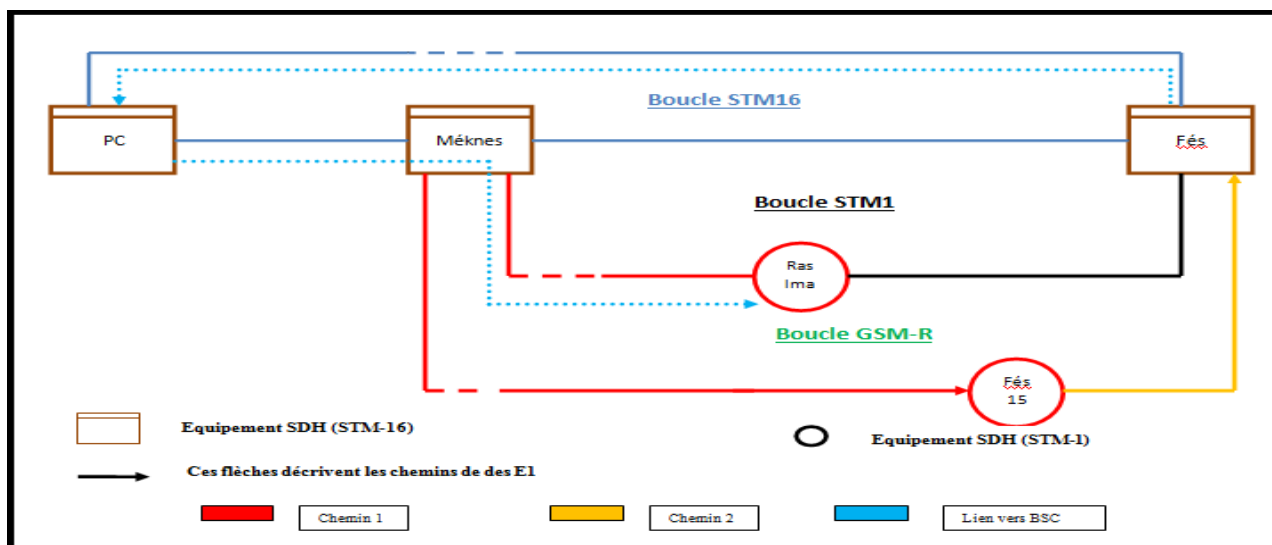


Figure 34 : représentation de la grappe G9.

Les boucles STM concernées	Le nombre de services consommés dans les boucles
STM1-6 (Méknes - Fès )	2*E1
STM16 (Rabat PC - Fès)	3*E1
STM1-N5 (Méknes - Fès )	2*E1

Tableau 18 : les services consommés dans G9.

Pour cette tranche Kénitra – Fès, la charge du BSC sera augmentée de :  $9 \times 2 \times E1 = 18 E1$ .

Je cite par la suite un tableau englobant tous le calcul fait au paravent.

## Chapitre IV : Description du système GSM-R et dimensionnement de trafic

	VC4 Associé		Timslot occupé (VC12)		Timslot GSMR			Timslot Libre (VC12)		
	STM1	STM16	Nombre	Pourcentage	Nombre	somme	pourcentage	Nombre	Pourcentage	
STM16-A (Casa Vgrs-Rabat PC)	STM1-1 (Casa Vgrs-Mohammadia)	VC4/1	VC4/1	20	31,7%	4,00	24	38,10%	39	61,9%
	STM1-N1(casa vgr - mohammedia)	VC4/1	VC4/4			5,00	5	7,94%	58	92,1%
	STM1-2 (Mohammadia-Rabat PC)	VC4/1	VC4/2	42	66,7%	4	46	73,02%	17	27,0%
	STM1-N2 (Mohammedia - Rabat PC)		VC4/5			2	2	3,17%	61	96,8%
	STM16-1 (Casa Vgrs-Rabat PC)	N/A	VC4/3	13	20,6%	9,00	22	34,92%	41	65,1%
	Libre	N/A	VC4/6	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/7	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/8	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/9	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/10	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/11	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/12	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/13	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/14	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/15	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/16	0	0,0%				63	100,0%
STM16-B (Rabat PC-Fés)	STM1-3 (Rabat PC-Kenitra)	VC4/1	VC4/1	47	74,6%	6	53	84,13%	10	15,9%
	STM1-N4 ( sidi kacem - meknes)	VC4/1	VC4/6			10	10	15,87%	53	84,1%
	STM1-N ( rabat - kenitra )	VC4/1	VC4/7			2	2	3,17%	61	96,8%
	STM1-N5 ( meknes - fés )	VC4/1	VC4/8			10	10	15,87%	53	84,1%
	STM1-N3 ( kenitra - sidi kacem)	VC4/1	VC4/9			5	5	7,94%	58	92,1%
	STM1-4 (Kenitra-Sidi Kacem)	VC4/1	VC4/2	35	55,6%	8	43	68,25%	20	31,7%
	STM1-5 (Sidi Kacem-Meknes)	VC4/1	VC4/3	41	65,1%	11	52	82,54%	11	17,5%
	STM1-6 (Meknes-Fés)	VC4/1	VC4/4	27	42,9%	6	33	52,38%	30	47,6%
	STM16-B (Rabat PC-Fés)	N/A	VC4/5	22	34,9%	31	43	68,25%	20	31,7%
	Libre	N/A	VC4/10	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/11	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/12	0	0,0%				63	100,0%
	Libre	N/A	VC4/13	0	0,0%				63	100,0%
Libre	N/A	VC4/14	0	0,0%				63	100,0%	
Libre	N/A	VC4/15	0	0,0%				63	100,0%	
Libre	N/A	VC4/16	0	0,0%				63	100,0%	

Tableau 19 : récapitulatif de calcul.

### Conclusion

Au long de cette partie, j'ai proposé une méthode de configuration des grappes. Bien sûr il existe plusieurs méthodes et elles sont tous correctes.

En se basant sur ce que j'ai calculé, j'entame le dernier chapitre qui comporte l'influence de l'intégration du réseau SDH-GSMR dans l'existant puis ma solution proposée pour éviter les impacts sur les interfaces ou les configurations déjà faites.



***Chapitre V :***  
***Intégration des deux***  
***réseaux SDH-ONCF***  
***et SDH- GSMR.***

## I. Intégration des deux réseaux SDH-ONCF et SDH-GSMR

### 1. Introduction

Il est vrai qu'une configuration a été faite pour la répartition de trafic en présence de réseau GSM-R, mais il est nécessaire de compléter ceci par l'étude des différentes contraintes engendrées grâce à l'intégration des deux réseaux SDH-ONCF et SDH-GSMR, dont je cite la sécurité des équipements réseau de transmission et aussi bien leurs quantitatifs.

D'abord, au niveau de ces équipements qu'ils auront installés plus tard, les problèmes techniques ou de compatibilité n'ont plus d'existence puisque les anciens ou les nouveaux équipements du même constructeur HUAWEI.

### 2. Sécurité des équipements réseau

Même si aujourd'hui le temps moyen de fonctionnement d'un équipement réseau écoulé entre chaque panne est de l'ordre de plusieurs années, il est très important de faire une étude de sécurité avant la mise en place du réseau GSM-R pour l'ONCF.

Pour cela il existe deux méthodes (fiabilisation ou dédoublement des équipements), je vais décortiquer ces deux méthodes, afin de pouvoir choisir la plus adéquate pour sécuriser le réseau d'accès (BTS, BSC) et le réseau de transmission SDH.

#### ✓ **Fiabilisation des équipements actifs**

La solution de fiabilisation consiste à doubler les composants essentiels d'un équipement, afin d'éviter que la panne de l'un de ces composants entraîne son indisponibilité. Cette redondance des éléments peut être de deux types :

- **Redondance 1 à 1** : chaque carte possède un secours qui prendra automatiquement le relais en cas de défaillance.
- **Redondance 1 à N** : pour N carte de même type dans l'équipement, il existe un secours qui prendra automatiquement le relais si un parmi ces N composants tombe en panne.

#### ✓ **Doublement des équipements actifs**

La deuxième solution consiste à mettre en œuvre un deuxième équipement du même type qui assurera le service, si le premier tombe en panne. L'ONCF prend en considération cette solution pour la ligne Casa voyageurs – Fès.

### 3. Estimation du quantitatif

Pour l'estimation de nombre de systèmes de transmission pour assurer la communication avec les différents BTS, je dois prendre en considération l'extension future du réseau ferroviaire.

L'élément principal qui assure la gestion des BTS est le BSC, situé à Rabat PC.

Afin de déterminer le nombre des équipements SDH et radio selon les sites GSM-R, je vais dresser un tableau qui contient l'ensemble et la quantité d'équipements nécessaires faisant objet du présent projet.

Equipements	Quantité
Equipement de transmission des BTS hors gare	20
BTS	25
BSC	2

Tableau 20 : le quantitatif des équipements.

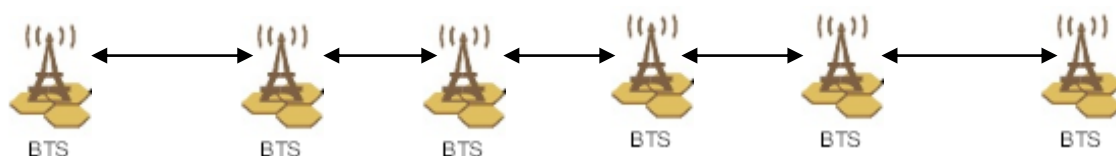
#### 4. Les prestations à prévoir dans le BACKBONE ONCF après l'implémentation

Pour répondre au besoin GSM-R, des fournitures prennent de la place au sein de réseau ONCF au niveau de la transmission aussi qu'au niveau financier.

##### 4.1.Côté transmission

Comme c'était déjà mentionné, la configuration des grappes proposées impose l'ajout d'un nombre important des E1 consommés soit dans les boucles STM déjà existantes ou dans la nouvelle boucle implémentée.

De point de vue communication chaque BTS communique avec deux autres en amont et en aval, et avec le BSC qui communique lui aussi avec toutes les BTS. Donc chaque site quelque soit gare ou hors gare consomme 2Mbit/s. D'où la charge des sites et des branches va augmenter tout en tenant compte de la marge de prévision de 30%. Ce qui provoque une amélioration de la bande passante du réseau.



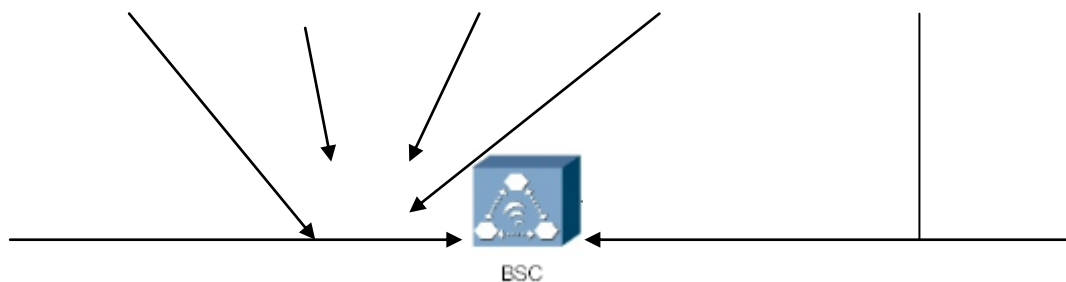


Figure 35 : liens entre les BTS et le BSC

Ceci indique que les services au sein du BSC va être augmenter de 28 E1.

je cite par la suite, les services des différentes villes de la tranche ferme après l'implémentation :

Nombre des E1 et Ethernet par Gare	Casa Vgrs	Ain sebaa	Zenata	Mohammedia	Masouriah	Bouznika	Skhirat	Temara	Rabat Agdal	PC	Rabat Ville	Salé Ville	Salé Tabriquet	Bouknadel	Sidi Taybi	Kenitra	Kenitra Medina	Sidi Yahya	El Kcébya	Sidi Slimane Medina	Sidi Slimane	Sidi Kacem	Bab Tisra	S.Mbarek	A.Kerma	Ouarzigha	Meknes Amir	Meknes	S.Aioun	A.Taoujdat	Ras.El.Ma	Fès
E1 utilisés (carte PQ1/PD1)	23	12	14	16	14	16	14	14	16	62	24	8	14	14	14	24	8	6	14	8	14	35	14	15	14	14	8	26	14	14	12	19
E1 libre (carte PQ1/PD1)	40	20	18	47	18	47	18	18	16	1	8	24	18	18	18	39	24	57	18	24	18	28	18	48	18	18	24	37	18	18	20	44
Pourcentage des ports utilisés	37%	38%	44%	25%	44%	25%	44%	44%	50%	98%	75%	25%	44%	44%	44%	38%	25%	10%	44%	25%	44%	56%	44%	24%	44%	44%	25%	41%	44%	44%	38%	30%

Tableau 21 : la charge occupée et le pourcentage après l'implémentation.

#### 4.2.Côté financier

Dans mon étude j'ai estimé un budget total pour la mise en place de la boucle dimensionnée précédemment, tenant compte des l'installation des boucles SDH pour la transmission. Donc le coût proposé sera pour la mise en place du réseau sans redondance au niveau du système.

Le tableau suivant présente le coût des différents terminaux pour le besoin GSM-R.

Equipements nécessaires		Quantité	Prix unitaire (DH)	Total (DH)
NSS	MSC	1	32 897 375	32897375

BSS	BSC	2	3 289 738	6579476
	BTS	25	696 638	17415950
Equipement de transmission des BTS hors gares		20	80 000	1600000
Installation des BTS		25	58 000	1450000
TOTAL				59942801

Tableau 22 : l'estimation du budget pour le besoin GSM-R.

## II. Solution proposée pour implémenter la nouvelle boucle STM1

### 1. Introduction

La qualité de fonctionnement d'un réseau SDH dépend de sa configuration qui doit respecter le nombre maximum des E1 soit dans un OSN 1500 ou 3500. Dans ce qui suit, je vais présenter ma solution pour que l'implémentation de réseau GSM-R dans le réseau existant n'agisse pas sur le fonctionnement de ce qui est déjà mis en place.

### 2. Solution proposée et perspectives

Après avoir une étude sur le réseau de transmission de l'ONCF, j'ai configuré la tranche casa voyageurs - Fès pour le transport de trafic.

Pour ce nouveau dimensionnement que j'ai fait, j'aurai comme conséquence la charge au sein de quelques sites et/ou branches qui va être dépassée .Par exemple pour le poste de commandement la consommation des services va jusqu'à 98%. Ce qui provoque l'utilisation des E1 au delà de la marge de 30% qui est n'est pas respectée et par conséquence toute la STM16 est employée.

Donc je propose comme solution d'intégration, des cartes STM16 au niveau du poste de commandement et Rabat ville qui ont comme pourcentage de charge occupée respectivement 98% et 75% ou bien l'insertion d'une carte STM64 au sein du PC. Et pour les branches (Rabat PC-Kénitra) et (Sidi kacem-Méknes), je remarque que la marge de prévision n'est pas respectée, donc j'ai proposé d'intégrer des cartes STM16 au niveau de Sidi kacem, Kénitra et Méknes pour équilibrer la charge circulant dans ces branches. Ces propositions auront lieu et seront pris en compte lors de l'implémentation de système GSM-R, et dans le but d'augmenter de plus en plus la sécurité dans les gares et de protéger

## Chapitre V : Intégration des deux réseaux SDH-ONCF et SDH- GSMR

---

ses biens l'ONCF lancera prochainement dans une politique d'acquisition de vidéosurveillance qui permet une amélioration de la gestion des incidents ainsi qu'une augmentation de l'efficacité et de la rapidité d'intervention.

D'où, l'insertion des cartes proposées vont servir aussi pour les futurs projets de l'ONCF.

### **Conclusion**

Au cours de ce chapitre, j'ai expliqué comment l'implémentation de GSM-R a influencé le réseau existant sur la transmission de données. J'ai aussi présenté une étude financière pour estimer le budget de l'implémentation du système GSM-R.

J'ai par ailleurs proposé une solution pour implémenter la solution de la nouvelle boucle STM-1.

## *Conclusion générale*

Enfin et pour dresser un bilan général, le travail effectué à l'ONCF s'est avéré très enrichissant pour mon expérience professionnelle, en ce qui concerne le domaine des télécommunications.

Mon projet de fin d'études vient combler les besoins actuels et futurs de l'ONCF pour améliorer et garantir une bonne qualité de transmission des données, en fait mon projet consiste à proposer une solution optimale pour implémenter le système GSM-R au sein de L'ONCF, à travers une étude globale de son réseau de transmission qui m' a permis de toucher les principes de base et la connaissance de l'architecture ferroviaire.

Dans ce projet j'ai proposé une solution adéquate à l'existence et aux futurs projets de l'ONCF. Ma solution consiste à installer une carte STM16 supplémentaire à Rabat Agdal, Rabat ville, Kénitra, Méknes et Sidi kacem pour que le système ne soit pas à la limite et qu'il sera accessible aux futurs projets.

Au terme de ce travail, ce projet m'a été d'un grand apport. En effet, il m'a permis de m'intégrer dans des équipes de professionnels, d'approfondir mes connaissances techniques. Il m'a également offert l'opportunité de découvrir les conditions de travail de l'ingénieur et d'acquérir une expérience très riche aussi bien au niveau technique qu'au niveau relationnel.

## **Bibliographie.**

- [1] Claude SERVIN, Réseau et télécoms 2ed, DUNOD, p : 49→53.
- [2] Danièle Dromard et Dominique Seret, Architecture des réseaux, PEARSON Education France 2009, p : 3.
- [3] Claude SERVIN, Réseau et télécoms 2ed, DUNOD, p : 368→370
- [4] Claude SERVIN, Réseau et télécoms 2ed, DUNOD, p : 370→373.

## **Webographie.**

- Document propre à la LGV
- Présentation de GSM-R
- [5] <http://acronymsandslang.com/definition/1047259/SNCP-meaning.html>
- [6] <http://www.epinard.free.fr/SDH/Protections.php>
- [6] <https://fr.scribd.com/doc/72252322/Sncp-Protection#scribd>
- [7] <http://igm.univ-mlv.fr/~duris/NTREZO/20032004/Adamus-Copin-Panetta-SonetWDM.pdf>
- [8] <http://www.oumnad.123.fr/RTCP/RTCP.pdf>
- [9] <https://fr.scribd.com/doc/44691068/cours-SDH-00>
- [10] <http://igm.univ-mlv.fr/~duris/NTREZO/20032004/Adamus-Copin-Panetta-SonetWDM.pdf>
- [11] <http://igm.univ-mlv.fr/~duris/NTREZO/20022003/SDH.pdf>
- [12] <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=14875>



# Annexes

## Annexe A

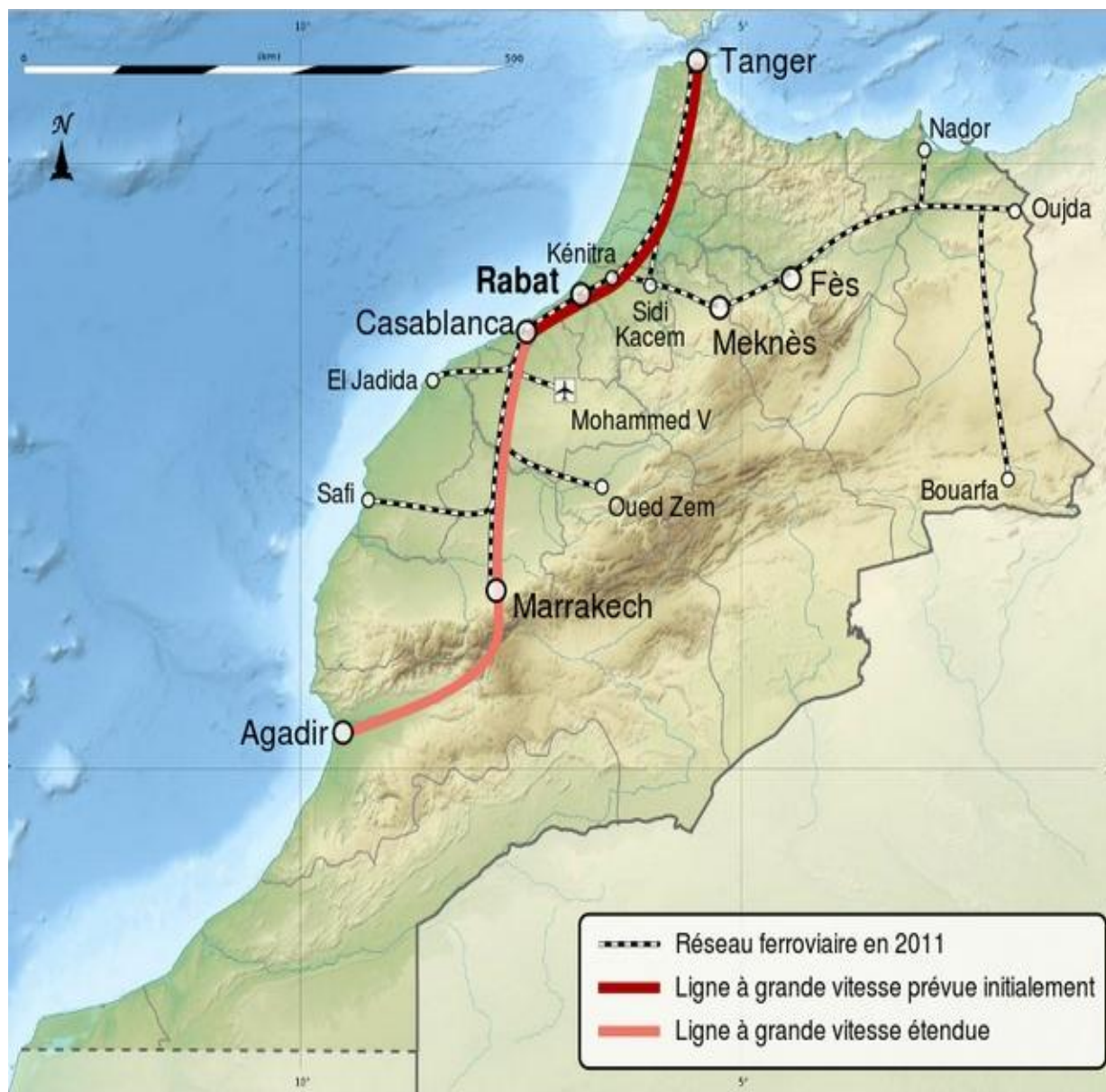


Figure A.1 : Réseau ferré de l'ONCF

Annexe B

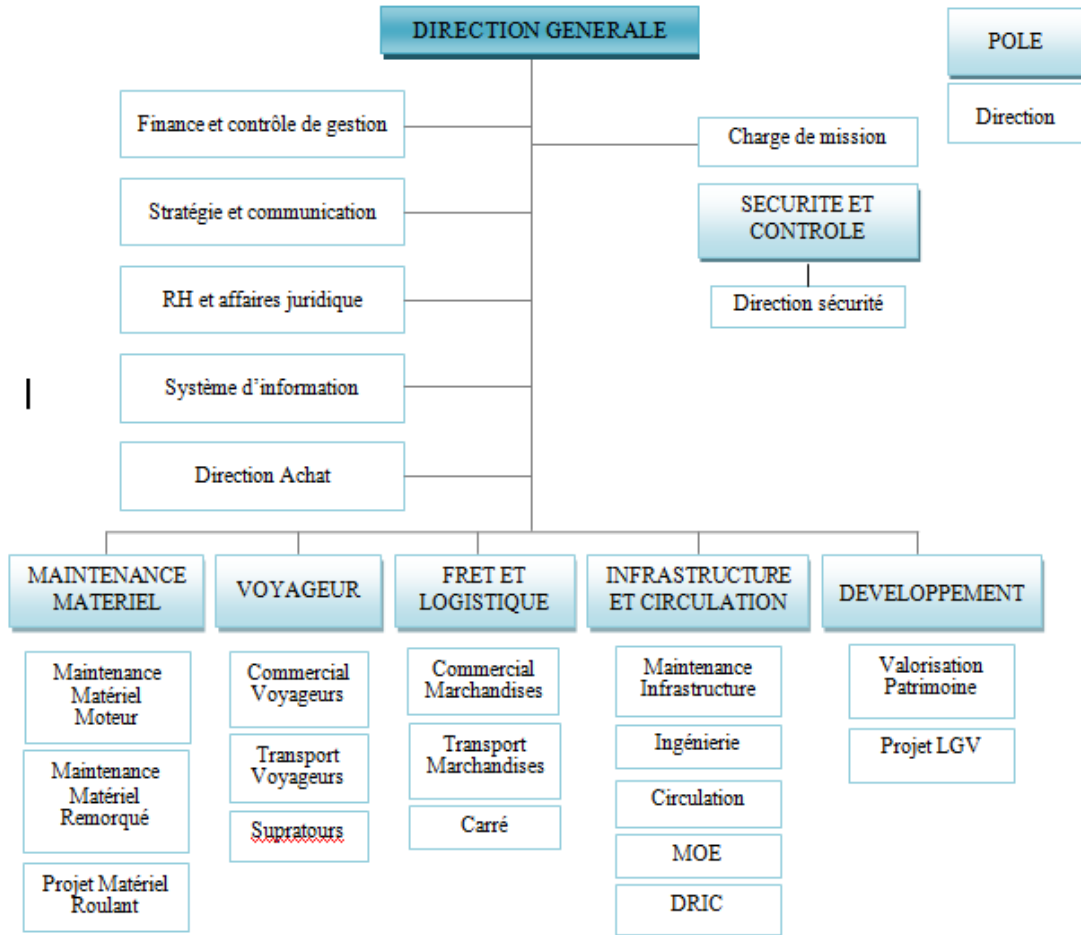


Figure A.2 : Organigramme global de l'ONCF

Annexe C

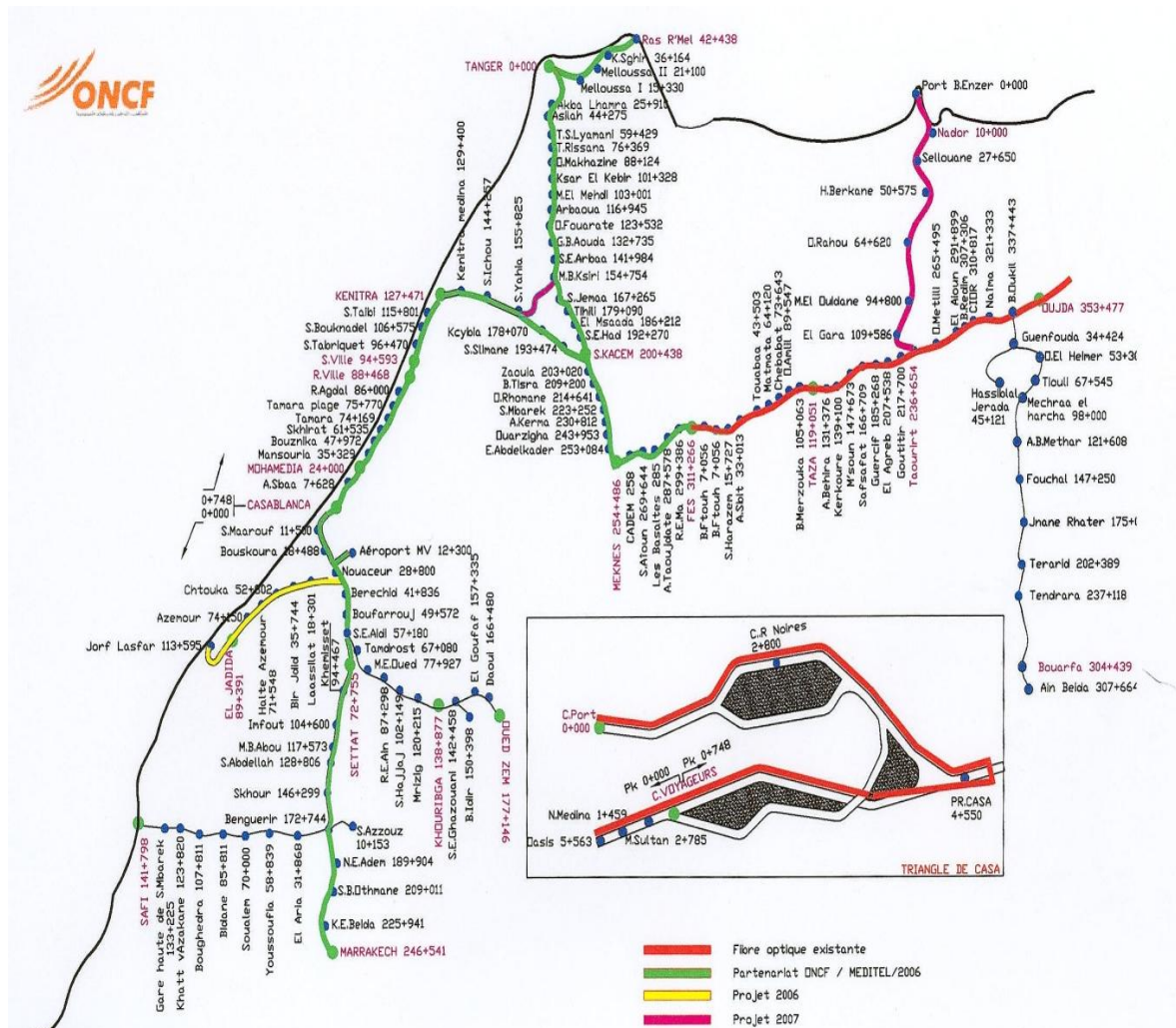


Figure A.3 Réseau optique de l'ONCF

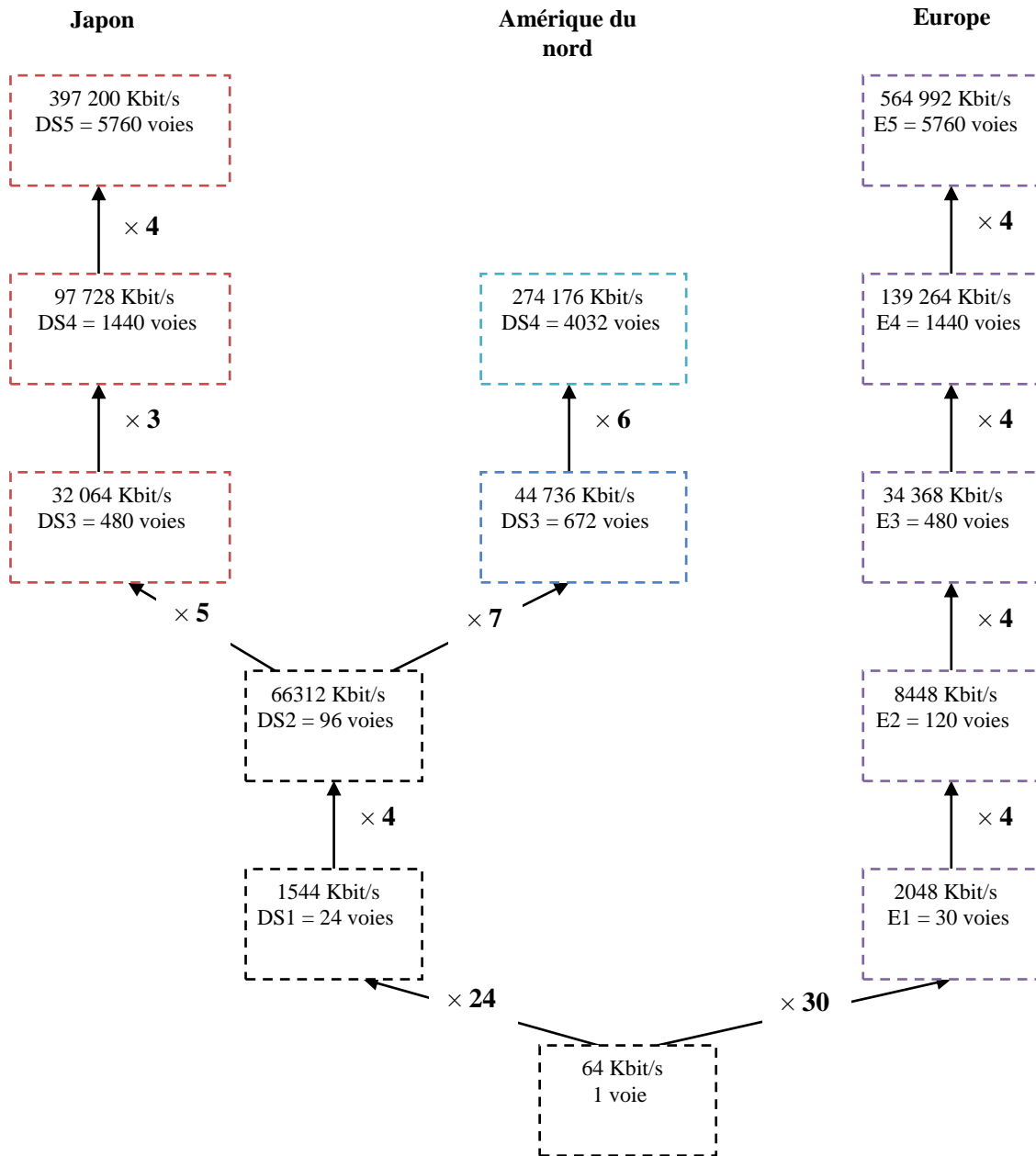


Figure A.4 Différents regroupements en hiérarchie PDH

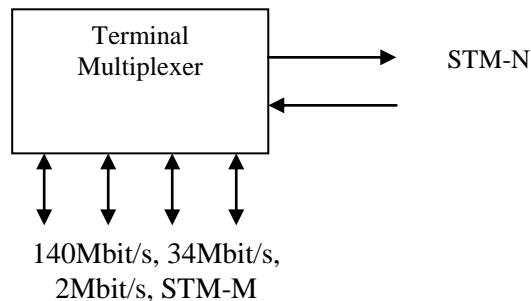
### Les équipements SDH.

Le réseau de transmission SDH est composé de différents types de NE (Network Element) qui sont reliés par fibre optique. Ces NE ont plusieurs fonctions telles que Add/Drop, Cross/Connect...

je donnerai dans ce qui suit une description des caractéristiques et des fonctions de base des NE dans le réseau SDH.

- **Le multiplexeur terminal (Terminal Multiplexer TM)**

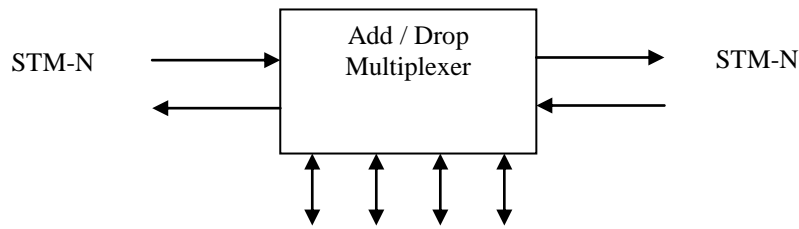
Le multiplexeur terminal est utilisé dans les terminaisons du réseau. Sa fonction est de multiplexer les signaux à bas débit dans les signaux à haut débit STM-N, ou d'extraire le plus faible débit de la trame STM-N.



**Figure A.5 Multiplexeur terminal**

- **Multiplexeur d'insertion et d'extraction (Add / Drop Multiplexer (ADM))**

Un ADM est utilisé dans la station de transfert de réseau de transmission SDH, par exemple le nœud intermédiaire de la liaison ou le nœud dans l'anneau. C'est un dispositif à deux ports de ligne et plusieurs ports d'affluent. Les deux ports de ligne sont respectivement liés à la fibre à chaque côte, pour simplifier la description on les classe en partie Est « E » et partie Ouest « W ». Sa fonction est de multiplexer ou démultiplexer des affluents de bas débit dans E ou W d'une trame STM-N. ce composant est le plus important composant dans un réseau SDH, par le fait qu'il peut être équivalent à d'autres NE, par exemple un seul ADM peut remplacer plusieurs TMs.



140Mbit/s, 34Mbit/s,  
2Mbit/s, STM-M

**Figure A.6 Multiplexeur d'insertion et d'extraction.**

- **Les brasseurs numériques (DXC, Digital Cross Connect) :**

Modifient l'affectation des flux d'information entre un affluent d'entrée et un affluent de sortie. Le croisement de flux est défini par l'opérateur, il est permanent.

- **Régénérateur**

Avant de dépasser une distance qui donnerait un signal trop dégradé, on place des régénérateurs de signal. Ils remettent en forme le signal en fréquence et en amplitude. Le régénérateur à deux ports « E » et « W », pour régénérer le signal il utilise la partie RSOH de la trame STM-N.

## Annexe D

Les points kilométriques (PK) des gares de la tranche (Casa voyageurs - Fès)

CASA – SIDI KACEM	
GARES	PK
Casablanca	0+000
A.Sbaa	7+628
Mohammedia	24+000
Mansouriah	35+329
Bouznika	47+972
Skhirat	61+535
Témara	74+169
Rabat Agdal	86+000
Rabat Ville	88+468
Salé Ville	94+593
Salé Tabriquet	96+470
S.Bouknadel	106+575
S.Taibi	115+801
Kénitra	127+471
Kénitra medina	129+400
S.Ichou	144+257
S.Yahia	155+825
E.Kcébya	178+070
S.Slimane	193+474
S.Kacem	211+978

SIDI KACEM - FES	
GARES	PK
S.Kacem	200+438
Zaouia	203+020
Bab Tisra	209+200
O.Rommane	214+641
S.Mbarek	223+253
A.Kerma	230+812
Ouarzigha	243+935
Amir Abdelkader	253+084
Meknes	254+486
S.Aioun	269+644
A.Taoujdat	287+578
Ras.El Ma	299+386
Fès	311+266