



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

BOUTAIB zakaria

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

**Étude du réseau radio cellulaire GSM-R sur
le Réseau ferroviaire de l'ONCF**

Encadré par :

Pr H. El Moussaoui (FSTF)

Mr D.Massbahi (ONCF)

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

Pr A. AHAITOUF..... : Examinateur

Pr A. MECHAQRANE..... : Examinateur

Pr H. EL MOUSSAOUI..... : Encadrant

Dédicace

Je dédie ce travail

A mes parents :

Qui m'ont toujours apporté soutien, encouragement et réconfort.

A ma famille :

Qui m'ont toujours entouré d'amour et d'affection.

A tous Ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

A tous ceux qui se dévouent sans cesse pour m'éclairer la voie et les immenses horizons du savoir et dont la vocation mérite largement mes respects.

Remerciement

Je tiens d'abord à exprimer mon profonde gratitude à mon encadrant Monsieur Driss Massbahi, qui a accepté de m'encadrer durant mon stage, pour sa disponibilité, ses conseils, son encouragements.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Monsieur Hassane El Moussaoui mon encadrant interne, aux côtés de Monsieur Mohamed LAHBABI, chef de la filière de Systèmes Electroniques et Télécommunications.

Mes sincères remerciements s'adressent à Madame Khittam Lyoubi pour son aide et son accueil dès mon arrivée à l'ONCF.

Je remercie toutes les personnes qui ont aidé à l'aboutissement de ce travail et qui ont toujours été présentes pour répondre à mes questions. Je cite Monsieur Younes HOUSNI et Madame Meriem.

Finalement, J'adresse mes vifs remerciements à tous le personnels de l'ONCF d'avoir été généreux, accueillants, grand merci à tout le corps professoral de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès qui a participé à notre formation, en particulier les membres du jury.

ملخص

في إطار مشروع نهاية الدراسة من أجل الحصول على الدبلوم, أنجزت تدريبا في إدارة المكتب الوطني للسكك الحديدية « ONCF » بمدينة الرباط.

يهدف هذا التدريب المقترح من طرف مصلحة دراسة الاتصالات للمكتب الوطني للسكك الحديدية إلى دراسة إدخال شبكة اتصالات خلوية جديدة « GSM-R », لتعويض نظام الاتصالات قطار أرض الحالي « RST », هذا النظام الحالي يعرف عدة مشاكل و صعوبات و التي تتمثل في الخدمات المحدودة المتوفرة, الجودة الضعيفة للمكالمات , تدهور حالة أسلاك الربط , قدم الأجهزة و عدم توفرها في السوق ... كل هذه العوامل توضح عدم قدرة هذه التقنية على توفير وسيلة للتحكم في أمان سير القطارات من حيث المكالمات الهاتفية و خصوصا مع المشاريع المرتقبة من طرف المكتب و التي تتمثل في إنجاز خطوط جديدة ذات سرعة كبيرة (LGV).

نظرا لهذا العدد من المشاكل التي تعرفها الشبكة « RST », كان الهدف من هذا التدريب دراسة الشبكة الخلوية « GSM-R », من أجل إبراز الخدمات الجديدة التي ستوفرها, مع دراسة الأجهزة اللازمة لإدخال هذه التقنية من حيث العدد و تقدير الميزانية الإجمالية لوضع الشبكة « GSM-R ».

كلمات مفاتيح: شبكة خلوية « GSM-R », شبكة قطار أرض « RST ».

Résumé

Dans le cadre de mon projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état du Faculté des Sciences et Techniques, j'ai effectué mon stage de fin d'études à la direction de l'Office National des Chemins de Fer de Rabat. Ce stage avait pour objectif d'introduire la technologie GSM-R. Il a été proposé par le service ingénierie télécoms qui voulait remplacer le réseau radio RST existant par un réseau radio cellulaire GSM-R.

En effet, Le réseau radio RST de l'ONCF est confronté à de nombreuses difficultés (Limitation des services fournis, Mauvaise qualité d'audibilité, dégradation des liaisons en câbles de cuivre, Vieillesse des équipements et non présence au marché), ce qui prouve le dépassement de ce moyen de communication pour le contrôle de la sécurité des trains.

Vu la panoplie de problèmes causés par ce réseau existant RST, le but du stage était d'étudier la mise en place d'un réseau cellulaire GSM-R pour servir la sécurité des trains en communications téléphoniques et permettre d'introduire des nouveaux services offrant ainsi une augmentation de la part du marché de transport pour l'Office et la fourniture d'une meilleure qualité de service aux clients.

Pour bien mener ce travail, il a d'abord été question de prendre connaissance des technologies radio existantes dans le domaine des chemins de fer, ensuite d'étudier le dimensionnement des éléments du système et de proposer un budget total du projet.

Finalement, l'étude a abouti à l'élaboration d'un cahier de charge pour la mise en place du système GSM-R.

Mots clés : Réseau Radio Sol-Train « RST », réseau cellulaire GSM-R.

Abstract

In order to obtain the Engineer Degree of FSTF (**Faculty of sciences and Technique of Fez**), I did my Graduation Project in ONCF Rabat. Our project concerns the Planification of the establishment of the GSM-R technology inside the railway network. The purpose was to replace the existing RST network by the GSM-R network.

Indeed, the existing RST network is confronted to many difficulties (Limitation of provided services, Bad quality of audibility, degradation of links in copper cables, the Ageing and lack of equipments on the market), which prove the limit of this system for the communication destined to secure the circulation of trains.

Considering these many problems caused by the classical RST network, the internship objective was to planificate the setting up of a cellular GSM-R network for the railway network of ONCF. In order to reach the fixed goal, we have first strengthened our knowledge of the GSM-R technology. In a second step, I planificate the telecommunication environment and proposed the dimension of the necessary equipments for the installation of a GSM-R network.

Finally, I have carried out a total budget for the setting up of the GSM-R system.

Keywords: Cellular Network GSM-R, RST network.

Table de matière

DEDICACE.....	1
REMERCIEMENT	2
ملخص	3
RESUME	4
ABSTRACT.....	5
TABLE DE MATIERE	6
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX	10
INTRODUCTION GENERALE	11
CHAPITRE 1 CONTEXTE GENERAL DU PROJET	13
I. Présentation de l'organisme d'accueil ONCF.....	14
I.1/ Historique	14
I.2/ Statut et Missions ONCF	14
I.3/ Réseau ferré et domaines d'activité.....	15
I.4/ Organigramme global du groupe ONCF	16
I.5/ Présentation du pôle Infrastructure et Circulation (PIC)	18
I.6/ Présentation du projet.....	18
I.7/ Définition et découpage du projet	19
I.8/ Planification du projet	19
CONCLUSION	20
CHAPITRE 2 : RESEAU DE TELECOMMUNICATIONS ACTUEL	21
I. Rôle des télécoms à l'ONCF.....	22
II. Le système de radiocommunications RST	23
II.1/ Définition du système RST	23
II.2/ Équipements de la RST.....	23
II.2.1/ Une antenne.....	23
II.2.2/ Un coffret Radio	23
II.2.3/ Un coffret de connexion	23
II.3/ Fonctionnement de la RST	25
II.3.1/ La couverture	25
II.3.2/ Les liens possibles	25

II.4/ Limites de la RST	26
CONCLUSION	27
CHAPITRE 3 : DESCRIPTION DU SYSTEME GSM-R.....	28
I. Présentation du système GSM-R	29
I.1/ Définition et aperçue général	29
I.2/ Avantages et Fonctionnalités	29
I.3/ Aspects techniques	30
I.3.1/ Bande de fréquence	30
I.3.2/ Équipements mobiles	31
II. Fonctions et applications GSM-R.....	33
II.1/ ASCI (Advanced Speech Call Items)	33
II.1.1/ Service eMLPP (Multi-Level Precedence and Pre-emption Service)	34
II.1.2/ VGCS (Voice Group Call Service)	34
II.1.3/ VBS (Voice Broadcast Service)	34
III. Conception du réseau GSM-R.....	35
III.1/ Architecture du réseau GSM-R.....	35
III.2/ Équipements du réseau GSM-R.....	36
III.2.1/ Les Terminaux	36
III.2.2/ Réseau d'accès radio BSS.....	36
III.2.2.1/ Base Transceiver Station	37
III.2.2.2/ Base Station Controller	37
III.2.2.3/ L'unité de transcodage TCU	37
III.2.2.4/ L'unité de contrôle de paquets PCU	37
III.2.3/ Cœur de réseau NSS	38
III.2.3.1/ MSC	38
III.2.3.2/ HLR	38
III.2.3.3/ GCR	38
III.2.3.4/ Le Centre d'authentification AuC.....	39
III.2.3.5/ Le registre des terminaux EIR	39
III.2.3.6/ Le registre de localisation des visiteurs VLR	39
III.2.3.7/ Le réseau intelligent IN	40
III.2.3.8/ Réseau d'exploitation et de maintenance OSS.....	40
III.2.3.9/ NMC.....	40
III.2.3.10/ OMC.....	41
III.3/ Les canaux de l'interface radio.....	41
III.3.1/ Les canaux physiques	41
III.3.2/ Les canaux logiques	42
CONCLUSION	42
CHAPITRE 4 : CAHIER DES CHARGES DU RESEAU GSM-R.....	43
I. Synthèse des Paramètres et Exigences de Planification	44
CONCLUSION	46
CHAPITRE 5 : PLANIFICATION ET DIMENSIONNEMENT DU RESEAU 2G « GSM-R »	47

I. Méthodologie et principe de la planification cellulaire	48
II. Dimensionnement du sous-réseau BSS	51
II.1/ Dimensionnement des BTS	51
II.1.1/ Contraintes radio :	51
II.1.2/ Paramètres du bilan de liaison	51
II.1.3/ Bilan de liaison	52
II.1.4/ Estimation du rayon de la cellule	53
II.1.5/ Calcul de la taille du motif	56
II.1.6/ Contraintes de trafic	59
III. Fonctionnalités du réseau GSM-R à l'ONCF	60
III.1/ Département de circulation :	60
III.1.1/ Les Exigences de qualité et de performance	61
III.1.2/ Calcul du trafic transporté par le GSM-R	62
III.1.3/ Constitution de la trame TDMA	64
III.1.4/ Couverture dans les tunnels	65
III.1.5/ Estimation du nombre total de BTS	66
III.1.6/ Simulation du tronçon rabat agdal-Tanger sur ATOLL	67
III.1.7/ Dimensionnement du tronçon Tanger-Rabat Agdal	68
III.2/ Dimensionnement du BSC	71
III.2.1/ Sécurité des équipements réseau	71
III.2.2/ Fiabilisation des équipements actifs	72
III.2.3/ Doublement des équipements actifs	72
III.2.4/ Estimation du nombre de BSC	73
III.2.5/ Dimensionnement des MSC et OMC	73
CONCLUSION	74
CHAPITRE 6 : ÉTUDE BUDGETAIRE DE LA MISE EN PLACE DU SYSTEME GSM-R	75
I. Étude Budgétaire de la mise en place du réseau GSM-R	76
I.1/ Prix de l'ensemble des équipements du réseau GSM-R	76
I.2/ Prix d'Installation du réseau GSM-R	77
I.3/ Différentes Autres prestations	78
I.4/ Budget total de la mise en place du réseau GSM-R	79
CONCLUSION	79
CONCLUSION GENERALE	80
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	81
LISTE DES ACRONYMES	82
ANNEXE A : SIGNALISATION ET EXIGENCES	87
ANNEXE B : LA NORME EIRENE	89
ANNEXE C : NUMEROS D'APPEL	90

Liste des figures

<i>Figure 1: Gare marocaine en 1925</i>	<i>Figure 2: Ligne Ferroviaire Tanger-Fès</i>	<i>14</i>
<i>Figure 3: Réseau ferré de l'ONCF.....</i>		<i>16</i>
<i>Figure 4: Organigramme global du groupe ONCF.....</i>		<i>17</i>
<i>Figure 5: Diagramme de GANTT.....</i>		<i>20</i>
<i>Figure 6: Coffret de connexion et coffret RST.....</i>		<i>24</i>
<i>Figure 7: Équipements du réseau RST.....</i>		<i>24</i>
<i>Figure 8: Exemple des conséquences de la limite de couverture dans la RST.....</i>		<i>26</i>
<i>Figure 9: Bande de fréquence GSM-R.....</i>		<i>31</i>
<i>Figure 10: Schéma d'application GSM-R.....</i>		<i>33</i>
<i>Figure 11 : Architecture général du système GSM-R.....</i>		<i>36</i>
<i>Figure 12 : Processus de la planification cellulaire en six phases.....</i>		<i>50</i>
<i>Figure 13: Motif de réutilisation.....</i>		<i>59</i>
<i>Figure 14: Structure de la trame TDMA.....</i>		<i>65</i>
<i>Figure 15: Les principaux types d'installation des BTS et répéteur dans un tunnel</i>		<i>66</i>
<i>Figure16 : Environnement Atoll.....</i>		<i>68</i>
<i>Figure 17: Paramètres configurés sur Atoll</i>		<i>69</i>
<i>Figure 18: Simulation du tronçon Tanger-Rabat agdal.....</i>		<i>70</i>
<i>Figure 19: Niveaux de signal en dBm.....</i>		<i>70</i>
<i>Figure 20: Histogramme du rapport C/I</i>		<i>71</i>

Liste des Tableaux

<i>Tableau 1: Exigences de Planification.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 2: Exigences techniques pour le calcul de la PIRE et l'affaiblissement.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 2: Rayon des cellules pour les milieux ruraux open et les milieux suburbains ...</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 4: Paramètres qualité de service.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau 5: Besoin de l'ONCF en terme de trafic.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau 6: Trafic nécessaire pour chaque cellule</i>	<i>63</i>
<i>Tableau 7: Distribution des canaux TCH pour les différentes voies.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau 8: Nombre total de BTS et de TRx et de sites dans la ligne étudiée</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 9: Prix des terminaux GSM-R</i>	<i>76</i>
<i>Tableau 10: Prix des équipements GSM-R</i>	<i>76</i>
<i>Tableau 11: Prix d'installation du réseau GSM-R.....</i>	<i>77</i>
<i>Tableau 12: Prix de maintenance du réseau GSM-R</i>	<i>78</i>
<i>Tableau 13: Budget total de la mise en place</i>	<i>79</i>

Introduction générale

Les technologies des télécommunications ne cessent d'évoluer pour servir les besoins de sécurité de circulations des trains. Avec l'augmentation des vitesses sur les lignes ferroviaires, les communications ne peuvent plus être assurées par le réseau radio sol train analogique. D'où la nécessité d'utilisation d'un nouveau système de communication de plus en plus fiable. La technologie GSM-R est le système qui répond bien à ce besoin.

Le GSM-R est une technologie qui envahit le marché des chemins de fer grâce à ses services spécifiques. Elle apporte aux entreprises un gain significatif par rapport aux structures analogiques classiques.

Dans le cadre du développement de son réseau et en vue d'améliorer davantage sa compétitivité, l'ONCF a élaboré des Schémas Directeurs pour le développement du réseau ferré marocain, en préparant la mise en œuvre de nouveaux projets tel que l'installation de nouvelles lignes à grandes vitesses.

Le système de télécommunications GSM-R sera déployé sur l'ensemble des lignes couvertes actuellement par la radio-Sol-Train. Outre sa fonction de remplacement de la radio analogique, le GSM-R permettra d'assurer les contraintes d'interopérabilité et servira de support aux applications de l'ERTMS. Le réseau GSM-R doit avoir un très haut niveau de qualité et de disponibilité afin de garantir la transmission des informations en permanence et en temps réel, tout particulièrement pour les applications liées aux lignes à grandes vitesses.

Dans ce mémoire de fin d'études, je vais planifier la mise en place de cette technologie cellulaire au sein du réseau ferroviaire de l'ONCF. Il est scindé en cinq parties. Dans la première, la présentation de l'organisme d'accueil et la gestion de projet qui m'a permis de planifier, d'organiser le travail durant toute la période du stage.

La synthèse bibliographique sur le réseau radio sol train des chemins de fer fera l'objet de la deuxième partie. La troisième partie aura comme but de mettre l'accent sur la technologie GSM-R, son architecture, ses différents services, ses avantages... Dans la quatrième et la cinquième partie, toutes les étapes de la planification cellulaire qui m'ont permis de réaliser mon projet, ainsi que le bordereau de prix détaillant les différents budgets nécessaires pour la mise en place du réseau dimensionné. Je signale bien que cette planification fait partie du métier « Ingénierie Radio ».

Chapitre 1 Contexte général du Projet

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

I. Présentation de l'organisme d'accueil ONCF

I.1/ Historique

Les Chemins de Fer au Maroc ont fait leur apparition sous le Protectorat français à partir de 1911. Trois compagnies concessionnaires françaises se partageaient, à l'époque l'exploitation du chemin de fer marocain : la Compagnie des Chemins de Fer Marocains (CFM) sur le réseau de Marrakech à Oujda, Tanger-Fès (TF) concernant la ligne du même nom et la Compagnie du Maroc Oriental (CMO) pour la ligne Oujda-Bouarfa.



Figure 1: Gare marocaine en 1925



Figure 2: Ligne Ferroviaire Tanger-Fès

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

I.2/ Statut et Missions ONCF

- ONCF : Établissement Public, depuis 1963

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

- L'exploitation du réseau ferroviaire national,
- L'étude, la construction et l'exploitation des nouvelles lignes des chemins de fer,

- L'exploitation de toutes les entreprises se rattachant directement ou indirectement à l'objet des missions de l'Office.

- **SMCF : Société Marocaine des Chemins de Fer, bientôt**

La future SMCF est une société anonyme dont le capital sera détenu à 100% par l'État. Elle aura pour missions, dans le cadre d'une convention de concession :

- La gestion des infrastructures ferroviaires exploitées,
- L'exploitation technique et commerciale des services de transport ferroviaire sur le réseau qui lui est concédé.

Le nouveau statut prévoit l'ouverture du secteur ferroviaire à la concurrence en autorisant l'arrivée de nouveaux opérateurs qui pourront :

- investir dans des projets de nouvelles extensions d'infrastructures,
- nouer des partenariats avec l'opérateur historique pour assurer des prestations complémentaires aux missions qui lui sont dévolues où la SMCF estime qu'un prestataire peut effectuer de manière plus avantageuse qu'elle-même [1].

I.3/ Réseau ferré et domaines d'activité

L'ONCF, qui emploie actuellement près de 10000 collaborateurs, gère et exploite un réseau de 1907 Km de ligne, dont 1022 Km sont électrifiées (3000 Volt Continu) et 418 Km sont à double voie. 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 comme c'est présenté sur la figure 3. Il dessert les grandes villes et les principaux ports du Royaume à l'exception d'Agadir au Sud et de Nador au Nord. Quant au parc matériel roulant exploité, il se compose de 257 engins de traction (voyageurs et marchandises), 529 voitures à voyageurs et 5328 wagons à marchandises. S'agissant de l'activité de transport, l'ONCF opère sur trois marchés stratégiquement indépendants, à savoir :

- Le transport des voyageurs,
- Le transport des marchandises diverses,
- Le transport des phosphates.

Il dessert plus de 100 gares en faisant circuler quotidiennement environ 220 trains dont 148 réservés au trafic voyageurs.

En 2014, l'Office a transporté :

- 39 Millions de voyageurs,
- 34 Millions de tonnes de marchandises diverses,
- 45 Millions de tonnes de phosphates.



Figure 3: Réseau ferré de l'ONCF

I.4/ Organigramme global du groupe ONCF

A compter du 1er Juillet 2014, une nouvelle organisation de l'Office National des Chemins de Fer a été mise en place dans l'objectif de :

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

En effet, la nouvelle organisation repose sur la mise en place de six pôles soutenus dans leurs missions par divers directions supports (voir la figure 4).

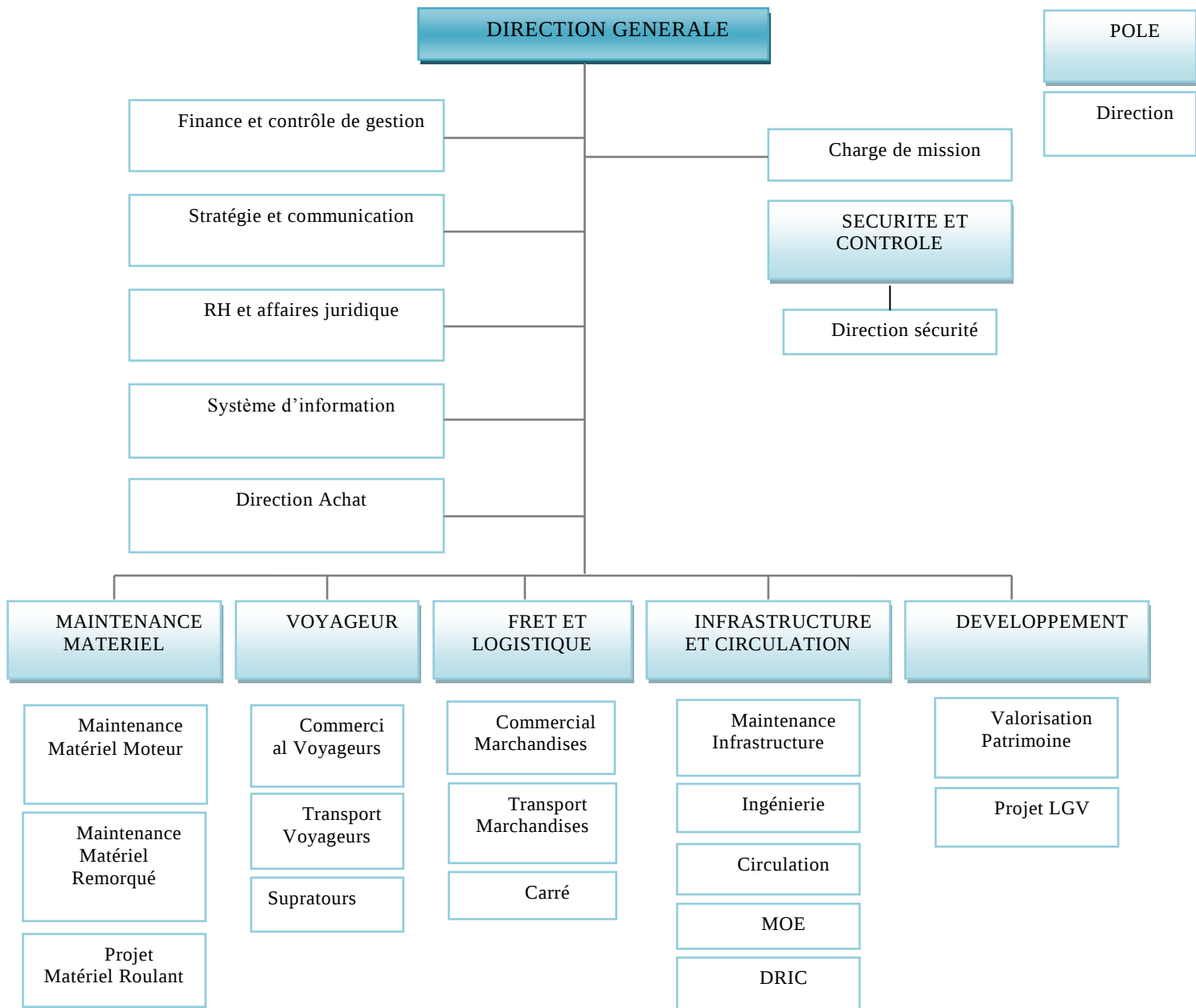


Figure 4: Organigramme global du groupe ONCF

Comme c'est indiqué dans la figure 4, il existe actuellement six pôles au sein de l'ONCF. Et c'est au sein du service INGENIEURIE TELECOMS du pôle INFRASTRUCTURE et CIRCULATION que s'est déroulé mon stage de fin d'étude dont je donnerai une description dans la deuxième section de ce chapitre.

I.5/ Présentation du pôle Infrastructure et Circulation (PIC)

Ce pôle a plusieurs axes de visions :

- ✓ Axe de vision n°1 :
 - Améliore la sécurité des personnes,
 - Offre des équipements sécurisés (automatismes),
 - Offre des services sûrs et sécurisés selon les standards internationaux.
- ✓ Axe de vision n°2 :
 - Réalise la liaison Tanger - Tanger Med (fait),
 - Réalise la liaison Taourirt – Nador (fait),
 - Optimise la capacité de ses lignes à forte fréquentation.
- ✓ Axe de vision n°3 :
 - Aménage les lignes à haute prestation,
 - Améliore l'impact visuel des ouvrages ferroviaires,
 - Facilite la mobilité dans les villes,
 - Étend son réseau ferré.

I.6/ Présentation du projet

La gestion de projet est l'art de diriger et de coordonner des ressources humaines et matériels tout au long de la vie d'un projet en utilisant des techniques de gestion modernes pour atteindre des objectifs prédéfinis d'envergure, de coût, de temps, de qualité et de satisfaction des participants. Elle est aussi utilisée pour mener à terme un projet tout en respectant les règles de la réalisation d'un objectif dans un délai déterminé avec un minimum de coût et une meilleure qualité.

I.7/ Définition et découpage du projet

Mon projet de fin d'études consiste à traiter l'ingénierie de la mise en place d'un réseau radio cellulaire GSM-R sur le réseau ferroviaire de l'ONCF (lignes classiques et lignes à grande vitesse). Dans ce but, j'ai découpé le projet en plusieurs grandes parties sous forme de chapitres. Premièrement, une étude bibliographique (2^{ème} chapitre) sur le système radio utilisé par les chemins de fers, puis dans le 3^{ème} chapitre, je détaillerais le système GSM-R, ainsi que ses différents apports pour les chemins de fer, en présentant son fonctionnement, ses nouveaux services et ses avantages.

Le 5^{ème} chapitre se focalisera sur l'ingénierie de la mise en place d'un réseau GSM-R, comme un nouveau système qui remplacera la RST classique du réseau ferroviaire de l'ONCF. Dans ce chapitre, je dimensionnerai les différents sous-systèmes du nouveau réseau GSM-R, en commençant par la partie radio (BSS), puis le réseau cœur (NSS), ensuite le réseau de gestion et de maintenance du système et finalement, l'étude de la sécurité des différents éléments de notre système GSM-R.

Enfin, le dernier chapitre abordera l'étude financière afin de proposer le budget nécessaire pour la mise en place du nouveau système GSM-R sur les lignes ferroviaires de l'ONCF.

I.8/ Planification du projet

La planification consiste à déterminer et à ordonnancer les tâches du projet et à estimer leurs charges. Parmi les outils de planification de projet, nous avons utilisé le diagramme de GANTT, c'est un outil qui permet de planifier le projet et de rendre plus simple le suivi de son avancement. Ce diagramme permet aussi de visualiser l'enchaînement et la durée des différentes tâches durant le projet.

La figure 5 présente le diagramme de GANT des tâches planifiées, pour mieux gérer notre projet, en respectant le critère de temps de notre stage ainsi que la réalisation des différentes missions demandées.

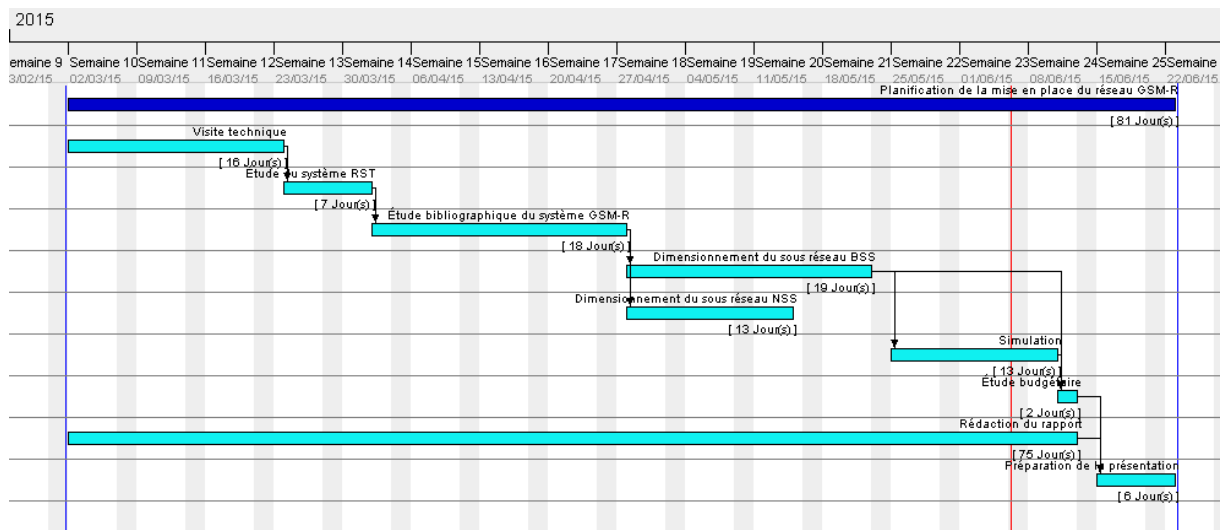


Figure 5: Diagramme de GANTT

Conclusion

Ce chapitre introductif a été consacré essentiellement à la présentation de l'environnement de stage. Cette présentation décrit l'ONCF ainsi que la politique mise en place par la société pour mieux moderniser son réseau, satisfaire ses clients, et améliorer son chiffre d'affaires sur le marché. Elle met aussi l'accent sur la présentation de mon projet, son découpage et sa planification pour une meilleure réalisation de la planification en respectant le délai du projet.

Avant de détailler les différentes phases qui m'ont permis de mener à bien le projet, il serait judicieux de commencer d'abord par étudier le système radio actuel de l'ONCF.

Chapitre 2 : Réseau de télécommunications actuel

L'activité des réseaux ferroviaires s'étend sur de vastes espaces et sur de grandes distances : les gares, les ports, les zones industrielles ainsi que les lignes parcourues par les trains. Des ordres et des informations doivent de ce fait être transmis, soit entre des agents travaillant en un point fixe (chefs de sécurité, régulateurs) et des agents mobiles (mécaniciens, agents de manœuvre), soit entre les agents mobiles eux-mêmes. D'où l'utilité d'avoir, outre des systèmes de transmission par câble, des systèmes radio fiables permettant de satisfaire le besoin des chemins de fer.

Des moyens de télécommunications se révèlent donc indispensables afin d'assurer l'exploitation du système technique ferroviaire.

Ce chapitre abordera le principe de fonctionnement de la radio d'exploitation RST, ainsi que les différentes liaisons offertes par ce système. Cette étude va me permettre par la suite de dégager tous les points faibles de ce système, qui ont poussé l'ONCF à migrer vers d'autres solutions.

I. Rôle des télécoms 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 : c'est le problème de l'espacement (ou cantonnement).

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.

Il est donc impossible de concevoir la sécurité et le mouvement des trains sans un moyen de communication sûr, fiable et d'une disponibilité quasi-totale.

Ceci est nécessaire pour l'application des principes de base à savoir :

- Sur un canton exploité en cantonnement téléphonique (portion de voie entre deux gares) ne doit exister qu'un seul train. Une gare ne doit lâcher un train qu'après s'être assuré que le « canton » est libre.
- Le poste de commandement dont le siège est à Rabat, relié à toutes les gares assurent la coordination et la gestion du trafic.
- Un train arrêté en pleine voie ainsi que les équipes de maintenance des installations doivent pouvoir contacter la gare la plus proche.
- Toutes les dispositions et messages téléphoniques sont réglementés, y compris le contenu des textes qui sont dénommés « dépêches ».

Tout cela a incité, depuis le début, l'ONCF à s'équiper d'un réseau propre sur toute son étendue, desservant toutes ses gares ainsi que ses installations vitales.

II. Le système de radiocommunications RST

II.1/ Définition du système RST

La Radio Sol train (RST) est un système radio analogique, datant des années 80, conçu pour assurer la régulation et la sécurité du système ferroviaire. Il permet au régulateur d'exploitation de communiquer avec les trains, quelles que soient leurs positions dans le réseau câblé, et avec les différents chantiers du réseau ferroviaire.

II.2/ Équipements de la RST

Les principaux équipements qui constituent la Radio Sol Train sont les suivants :

II.2.1/ Une antenne

Une première se situe au niveau de la voie ferrée pour assurer la couverture au sein d'un canton, et une deuxième se situe au niveau du train pour assurer le lien avec le mécanicien du train. Toutes les deux sont dédiées à l'émission et la réception.

II.2.2/ Un coffret Radio

Il assure l'utilisation de la ressource radio, il est présent dans les sous stations se situant le long de la voie ferrée, dans toutes les machines, ainsi que les portables de maintenance. Il est relié à l'antenne pour l'émission - réception, au poste de gare et au coffret de connexion.

II.2.3/ Un coffret de connexion

C'est l'équipement qui assure le lien de chaque canton avec le régulateur concerné via un lien qui lui est dédié.

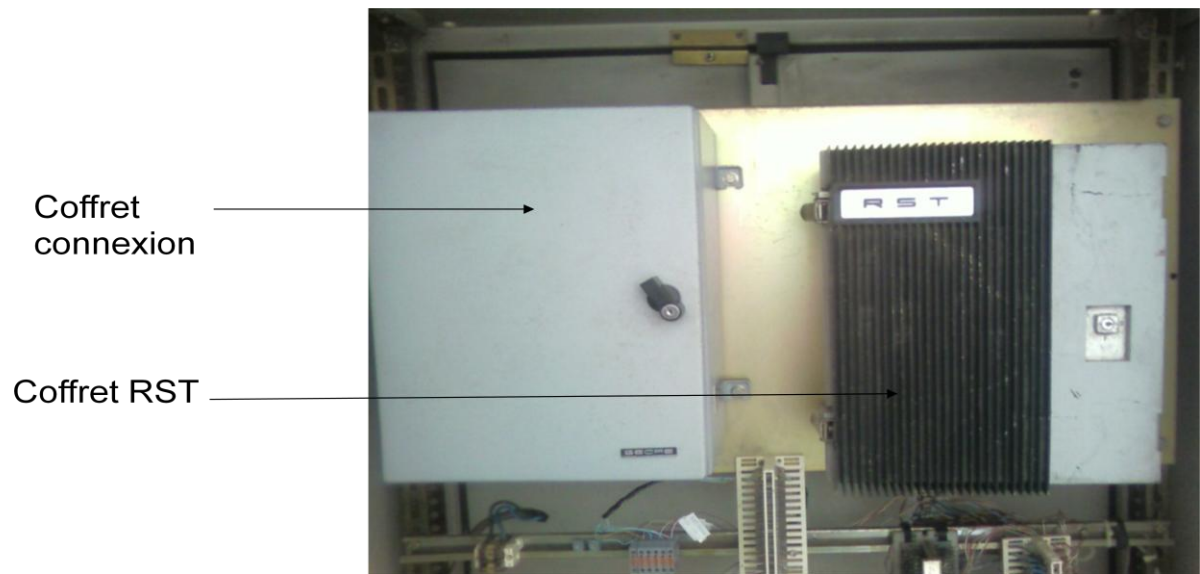


Figure 6: Coffret de connexion et coffret RST

Le lien entre ces équipements est schématisé dans la figure 7:

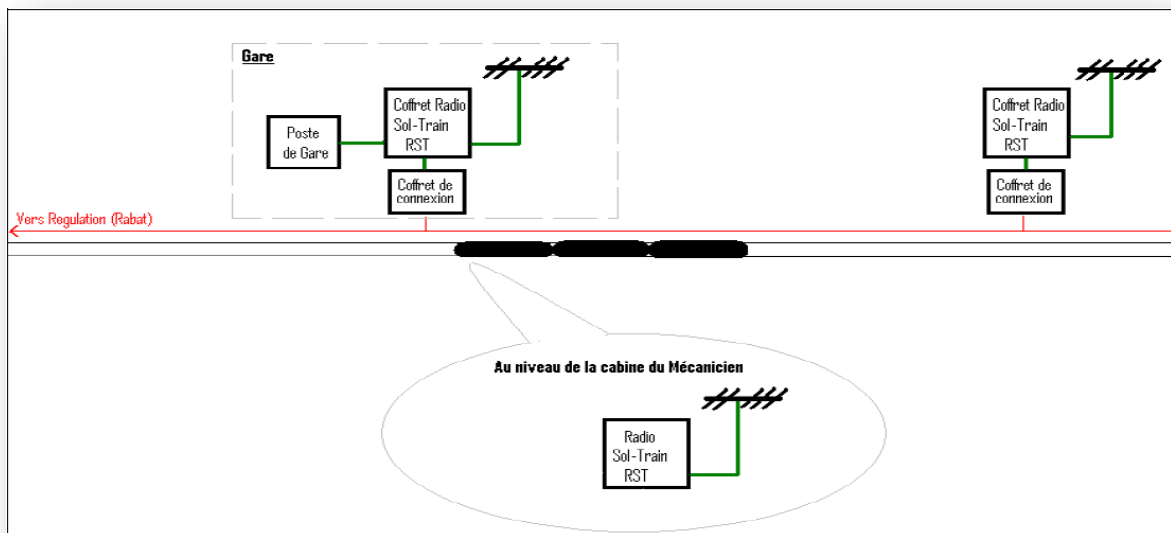


Figure 7: Équipements du réseau RST

II.3/ Fonctionnement de la RST

II.3.1/ La couverture

Chaque antenne dessert une parcelle de la voie ferrée bien déterminée que l'on appelle Canton. Chaque canton peut atteindre une quinzaine de kilomètres de rayon, et ceci dépend de la zone géographique où il se situe.

II.3.2/ Les liens possibles

La RST consiste à établir quatre types de liaisons principales, et ceci en alternat. A noter que toutes les communications d'un canton sont écoutées par l'ensemble des radios présentes dans ce dernier.

- **Train-Régulateur :**

Pour communiquer avec le régulateur concerné par le canton où se trouve le train, le mécanicien appuie sur le bouton correspondant à l'appel de la régulation.

- **Train-Gare :**

Cette liaison s'effectue en appuyant sur le bouton d'appel gare présent sur l'équipement radio du train. Le mécanicien doit s'identifier à chaque fois qu'il prend la parole.

- **Gare-Canton :**

La radio du chef de gare ne possède aucune sélection, il suffit de décrocher le combiné, et de parler en précisant le destinataire. Si celui-ci est présent dans le même canton, il répondra via son combiné.

- **Régulateur-Canton :**

Le régulateur possède sur son pupitre des boutons correspondant à tous les cantons dont il est responsable. Pour établir la communication avec un train ou une équipe de maintenance, il sélectionne le canton où ces derniers se trouvent, et ceci en émettant

un signal contenant le code du canton qui sera reçu par tous les coffrets de connexion, qui à leur tour vont analyser le signal reçu et le comparer avec le code de la station radio avec laquelle il est branché, si c'est le bon, le régulateur est branché sur la radio de ce canton et donc peut communiquer avec tous les équipements radio présents dans ce même canton.

II.4/ Limites de la RST

Parmi les points faibles du système RST : la limite de la couverture, cette dernière peut avoir de graves conséquences sur la sécurité. Dans la situation de la figure 8, l'alerte émise par le train numéro 1 n'arrive pas à destination du train numéro 2 qui se dirige directement vers le danger présent sur la voie.

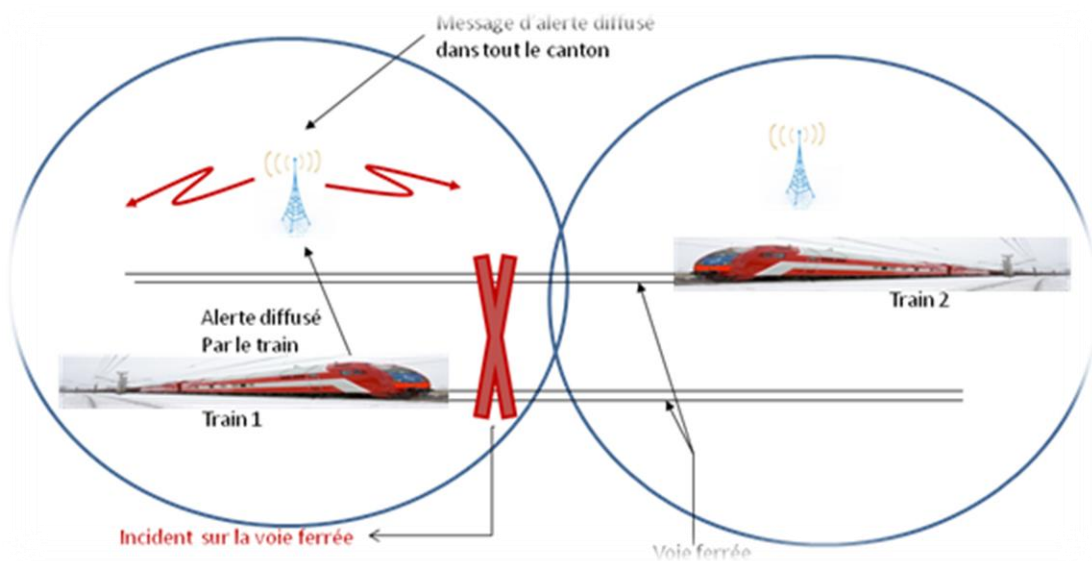


Figure 8: Exemple des conséquences de la limite de couverture dans la RST

On dénombre d'autres limites de la radio sol train, à savoir :

- Services offerts limités : Transmission de données absente,
- Couverture médiocre dans quelques zones, à cause aux obstacles (hauteur des pylônes limitée à 20m) ce qui peut causer des incidents,

- Fiabilité faible : vieillissement du matériel et pas de pièces de rechange,
- Système non sécurisé : violation de la confidentialité,
- Système mono – canal : deux agents ne peuvent communiquer simultanément sauf s'ils sont sur le même canton.

Conclusion

Comme j'ai présenté dans ce chapitre, l'ONCF est doté d'un système de télécommunication analogique non interopérable et très limitée par les services qu'il offre. D'où la nécessité de se doter d'un réseau qui répond à toutes les exigences nécessaires pour une meilleure exploitation du réseau ferroviaire et permettant de s'adapter avec les nouveaux besoins tel que les lignes à grande vitesse.

Dans les chapitres qui suivent, je vais présenter les différentes phases de la planification de la mise en place d'un réseau radio cellulaire GSM-R, comme un nouveau système, qui remplacera le réseau radio classique RST dans tout le réseau ferroviaire de l'ONCF.

Chapitre 3 : Description du système GSM-R

Depuis les premiers jours de la communication dans les chemins de fer, chaque opérateur ferroviaire national a utilisé au moins un système de radiocommunication breveté, le plus souvent dans la bande de fréquences allant de 440 à 470 MHz, mais avec de nombreux et différents types de modulation, de code et de signalisation. Avec la croissance du nombre de lignes ferroviaires à grande vitesse dans tout le monde et du fait que les trains franchissent de nombreuses frontières au cours de leurs trajets, la nécessité de développer un système de radiocommunication unique pour les chemins de fer est apparue.

En 1993, l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) a décidé de mettre en place un nouveau système de communication ferroviaire. Pour ce fait, une nouvelle technologie nommée GSM-R proche du système GSM 900 « légèrement modifiée » a ensuite été spécifiée par l'ETSI en 1999 et en 2000 par l'EIRENE.

I. Présentation du système GSM-R

I.1/ Définition et aperçue général

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

L'appellation GSM-R désigne un système radio numérique spécialement mis au point pour les chemins de fer. Il est basé sur le standard «Global System for Mobile Communications» (GSM), très répandu dans le secteur des télécommunications mobiles. Le GSM-R est en quelque sorte un système GSM perfectionné, dans la mesure où il dispose de fonctions spécifiques aux chemins de fer. Le GSM-R représente un grand pas en avant pour les chemins de fer marocains.

Cette plateforme répond aux critères imposés par le nouveau système de signalisation en cabine «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.

I.2/ Avantages et Fonctionnalités

Le GSM-R assure la transmission de la voix et des données par commutation de circuits (jusqu'à 14,4 kbit/s). 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.
- 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)

I.3/ Aspects techniques

I.3.1/ Bande de fréquence

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

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



Figure 9: Bande de fréquence GSM-R

I.3.2/ Équipements mobiles

Les équipements mobiles du GSM-R sont répartis en deux catégories et en trois types de fonctions.

Les catégories sont :

- les radios de cabine installées à bord des trains dans les postes de conduite destinés aux conducteurs.
- les équipements portables qui donnent accès à toutes les fonctionnalités évoluées du réseau radio numérique GSM-R.

Les trois types de fonctions, intégrées dans des portables spécifiquement développés pour ces applications, sont :

- l'usage général dénommé GPH,
- l'usage opérationnel appelé OPH,
- l'usage pour des manœuvres nommé OPS.

Le GPH est destiné à un usage général et, par conséquent, il ressemble à un mobile GSM standard.

L'OPH est un GSM portable conçu pour le personnel des chemins de fer qui travaillent dans des conditions sévères. Il est spécialement conçu pour résister aux

chocs et vibrations, ainsi que la température et l'humidité différentes. Il est équipé de batteries à haute capacité adaptées aux basses températures. Il est également conçu pour être utilisé dans des environnements bruyants (haut-parleur haute puissance), et comprend une grande taille d'affichage à haut contraste pour le soleil direct et la visibilité de nuit.

Enfin, l'OPS est principalement basé sur l'OPH, mais est spécialement conçu pour l'application de manœuvre et équipé d'un microphone supplémentaire.

Ces différentes possibilités sont utilisées par cinq types d'utilisateurs prioritaires qui sont:

- les trains de marchandises,
- les trains de voyageurs,
- les trains en manœuvre,
- les urgences,
- le personnel d'information.

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.

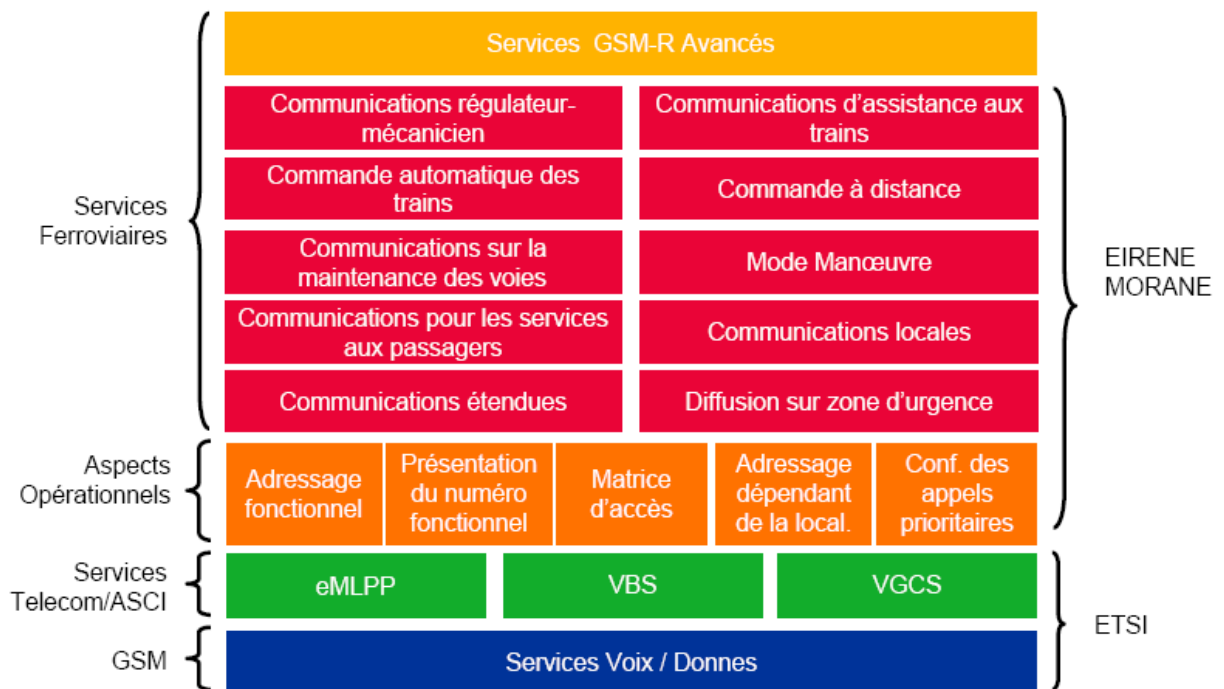


Figure 10: Schéma d'application GSM-R

II.1/ ASCI (Advanced Speech Call Items)

Le GSM-R a été développé sur la base du standard GSM 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 ASCII se composent des services suivants :

II.1.1/ 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 important (Réservés au message) : Niveau le plus prioritaire parmi le service ASCII (Principalement utilisé pour l'appel d'urgence train - REC)
- Niveau 1, 2, 3 ...

II.1.2/ VGCS (Voice Group Call Service)

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

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

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

II.1.3/ VBS (Voice Broadcast Service)

Le VBS est un appel de diffusion : à la différence d'un VGCS, seule la personne ayant initié cet appel peut parler, les autres participants à l'appel ne peuvent qu'écouter. Ce

type d'appel est utilisé principalement pour diffuser des messages préenregistrés ou faire des annonces.

III. Conception du réseau GSM-R

III.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 11 :

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

Dans le système GSM-R, la cellule radio est orientée le long de la voie. Un certain chevauchement garantit la couverture radio même si une antenne tombe en panne. Chaque station de base (BTS) est raccordée à un équipement de commande de station de base (BSC) qui surveille les liaisons radio et initie un changement de cellule (handover) le cas échéant [6].

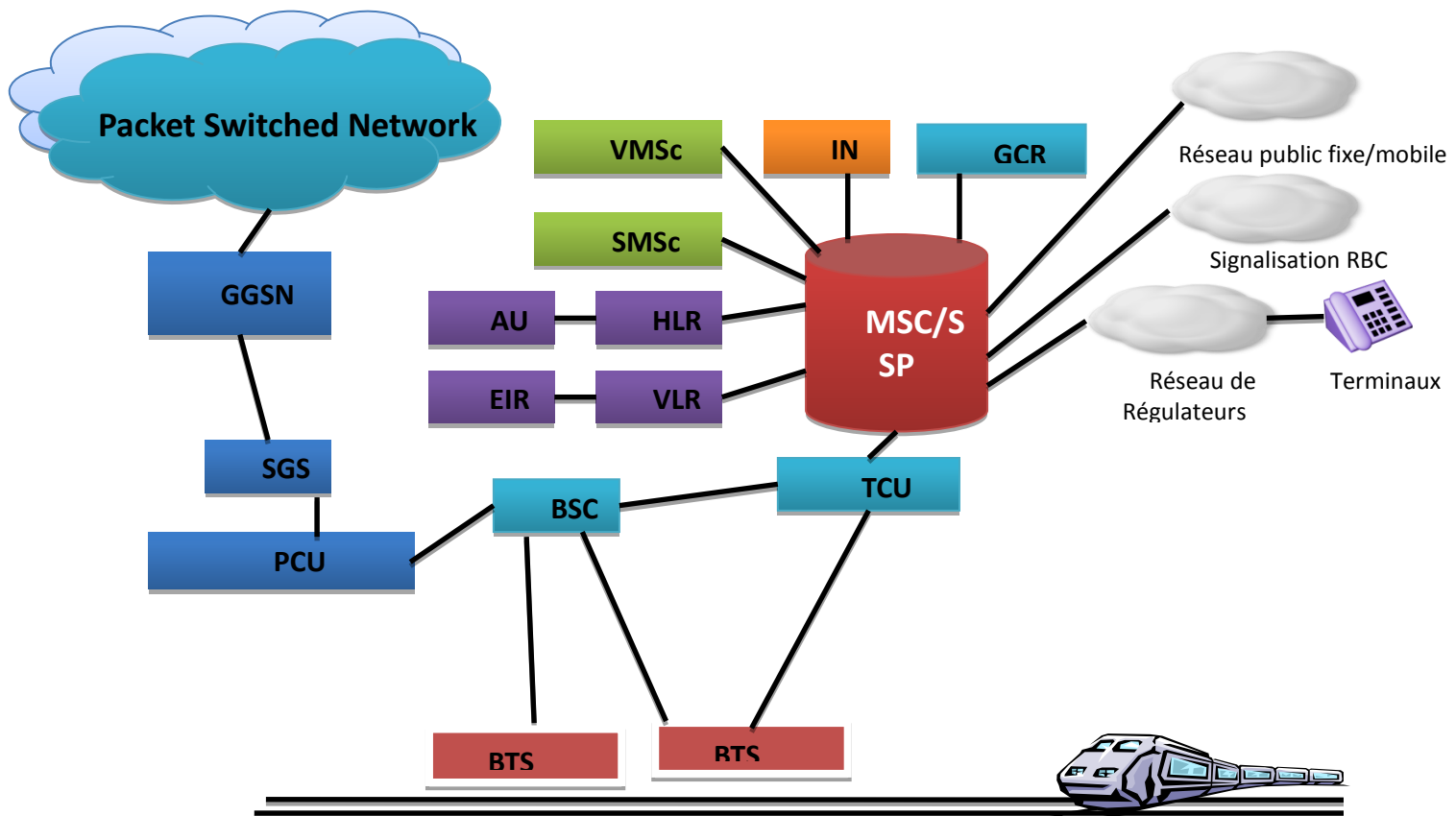


Figure 11 : Architecture général du système GSM-R

III.2/ Équipements du réseau GSM-R

Le système GSM-R offre différents services suivant une série de fonctions requises dans tout réseau de mobiles 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.

III.2.1/ Les Terminaux

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

III.2.2/ Réseau d'accès radio BSS

Le Sous-système radio BSS (Base Station Subsystem) représente le réseau d'accès du système GSM-R. Fonctionnellement, ce système est divisé en deux principaux éléments,

un contrôleur de stations de base BSC (Base Station Controller) et des stations de base BTS (Base Transceiver Station).

III.2.2.1/ 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.

III.2.2.2/ Base Station Controller

Alors que 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.

III.2.2.3/ L'unité de transcodage TCU

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

III.2.2.4/ L'unité de contrôle de paquets PCU

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

- il dirige le trafic de données vers le réseau GPRS ;

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

III.2.3/ Cœur de réseau NSS

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

III.2.3.1/ MSC

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

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

III.2.3.2/ HLR

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

III.2.3.3/ GCR

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

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

III.2.3.4/ Le Centre d'authentification AuC

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

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

Il travaille en étroite collaboration avec le HLR.

III.2.3.5/ Le registre des terminaux EIR

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

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

III.2.3.6/ Le registre de localisation des visiteurs VLR

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

Cette base de données dynamique échange en permanence des informations avec tous les HLR auxquels les "visiteurs" sont normalement rattachés. Les données

mémorisées par un VLR suivent l'abonné lorsqu'il pénètre dans une zone couverte par un autre VLR.

III.2.3.7/ Le réseau intelligent IN

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

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

III.2.3.8/ 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 et de 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).

III.2.3.9/ NMC

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

introduction de nouveaux équipements et de nouvelles fonctionnalités), la maintenance (détection des défauts, tests d'équipements).

III.2.3.10/ 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[6].

III.3/ Les canaux de l'interface radio

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

III.3.1/ Les canaux physiques

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

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

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

III.3.2/ Les canaux logiques

L'interface radio représente la partie délicate de la chaîne de transmission et le système doit faire face aux différents problèmes du lien mobile-réseau au niveau de la propagation (atténuation, évanouissements, interférences...), mais aussi au niveau de la gestion du réseau ; il est donc nécessaire d'avoir des fonctions de contrôle pour que le mobile se rattache à la station de base la plus favorable, établit et surveille le déroulement d'une communication ou encore assure le handover.

On distingue alors deux grandes classes de canaux logiques: les **canaux dédiés** et les **canaux non dédiés**.

Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai présenté le système de communication numérique « GSM-R » en passant en revue ses différents aspects « techniques et légaux » et en mettant en évidence son principe de fonctionnement et les différents services offerts par ce système.

Chapitre 4 : Cahier des Charges du Réseau GSM-R

Ce chapitre concerne les exigences et prérequis du réseau réalisés dans l'étude de dimensionnement dans le cadre d'étude GSM-R ONCF.

Le dimensionnement est basé sur les paramètres de système des fournisseurs (NSN, Kapsch, Huawei, ZTE), sur les paramètres d'ingénierie de quattron sur d'autres réseaux et sur les exigences de l'ONCF. Les paramètres de design spécifiques des équipements sont pris en considération conformément au principe de ne pas favoriser un des fournisseurs potentiels.

Le chapitre contient des informations, auquel Les études faites on basant sur ces informations. Les exigences de planification peuvent changer partiellement en raison de précisions techniques en cours de traitement.

I. Synthèse des Paramètres et Exigences de Planification

Le tableau ci-dessous met en évidence les paramètres principaux de planification et les suppositions de planification qui sont utilisés pour le dimensionnement du réseau dans le cadre de l'étude GSM-R pour l'ONCF :

Tableau 1: Exigences de Planification

Paramètres/Exigences	Valeur
Trafic et capacité	
Source de trafic et charge (voix et données non critiques pour la sécurité)	Modèle de Trafic
ETCS charge de trafic (radios de cabine train actives par secteur)	4 ... 6
Modèle de calcul de trafic	Erlang B
Nb. de CU (TRX) par cellule pour les lignes conventionnelles	1+1 (ligne libre) (Note 1) 2+1 (grande station)
Nb. de CU (TRX) par cellule pour la LGV	2(1+1)
Couverture	
Les lignes qui exigent la couverture GSM-R	Liste des lignes
Ligne à grande vitesse LGV	Couverture double
Centre de triage/manœuvre, espaces de maintenance et de travail	Liste des espaces (Note 2)
Stations avec système de radio analogue existant	Liste des stations
Autres espaces	ONCF siège social
Qualité et exigences de performance	
Niveau de signal minimum (probabilité de 95 %)	
Lignes conventionnelles (LC)	-98 dBm (voir la note 3 et 4)
Ligne à grande vitesse (LGV)	-92 dBm (voir la note 3 et 4)
Taux d'appel abandonnés (Dropped call rate)	≤ 1%
Taux de réussite de tentative d'appel (Call attempt success rate)	
Priorité 1 et Priorité 2	≥ 99%
Autres	≥ 98%
Taux de réussite de passage (Handover success rate)	≥ 99%
RxQual (95% probabilité)	≤ 3 (voir la note 8)
Blocage canal de trafic (Traffic channel blocking)	≤ 2%
Co-canal (Co-channel) C/I	
Lignes conventionnelles (LC), dépôts et maintenance (à l'intérieur)	≥ 12 dB
Ligne à grande vitesse (LGV)	≥ 15 dB
Opérationnel	
Zones de contrôleur de train (lignes conventionnelles)	4 (Casa et 3 à l'extérieure de Casa)
Zones de contrôleur de train (LGV)	2 (Tanger LGV et Kenitra LGV)

	(voir note 5)
zone transfrontalière	Non
Vitesse de train maximum (lignes conventionnelles)	220 km/h
Vitesse de train maximum (LGV)	350 km/h
Fréquences	
Bande	4 MHz paired (876.0-880.0) (voir note 6)
Autres Systèmes	(voir note 7)

Note 1: 1 +1 signifie une CU en opération permanente et 1 CU en mode hot-standby

Note 2: La couverture intérieure devra être atteinte dans ces zones avec la même qualité qu'à l'extérieur

Note 3: recommandation EIRENE SRS

Note 4: Le niveau de signal minimum nécessaire pour la radio de cabine train devra permettre la couverture de portable dans les conditions suivantes:

Portable mobile 1.5 m au-dessus du niveau du sol

Une perte de corps de 4 dB est considérée

Une probabilité de couverture extérieure au bord de cellule de 80% pour les lignes conventionnelles (LC) et de 95% pour la ligne grande vitesse (LGV)

Note 5: Les sections où la ligne à grande vitesse LGV est parallèle aux lignes conventionnelles (LC) sont exploitées par les contrôleurs associés en parallèle.

Note 6: Les négociations avec l'ANRT sont en cours pour faire le spectre complet de 4 MHz disponible pour l'ONCF. Jusqu'à la décision finale en attente la bande de 4 MHz est utilisée pour la ligne à grande vitesse (LGV), aux croisements et les zones à fort trafic des lignes conventionnelles.

Note 7: Une demande a été portée à l'ANRT pour la fourniture de toutes les informations techniques nécessaires sur les autres systèmes radio (par exemple, CDMA) en exploitation adjacente à la bande de fréquence attribuée à l'ONCF.

Note 8 : L'équivalence entre RXQUAL et BER :

RXQUAL	Valeur représentative du BER
3	1.13 %

Conclusion

Pour conclure, ce chapitre s'articule et met l'accent sur la nécessité de respecter les exigences et les paramètres exprimés sur le tableau ci-dessus à cause de son criticité et unicité.

En effet, les valeurs et/ou les matériels sont choisis après une étude profonde qui est totalement différente à celle du réseau GSM-P car cette nouvelle plateforme à des applications et des fonctionnalités supplémentaires au réseau normal.

Le chapitre suivant présentera les différentes étapes de la planification d'un réseau GSM-R « dimensionnement des différents sous-systèmes ».

Chapitre 5 : Planification et Dimensionnement du réseau 2G « GSM-R »

Le dimensionnement des réseaux mobiles est un problème complexe qui met en jeu à la fois des aspects théoriques et pratiques. Il s'agit de trouver la meilleure architecture cellulaire au regard de plusieurs critères, principalement la qualité de couverture, l'absorption de la charge, la mobilité, l'évolutivité et finalement le déploiement du réseau fixe.

Ce présent chapitre abordera l'analyse et le dimensionnement des différents sous-systèmes GSM-R, pour couvrir l'ensemble des lignes ferroviaire de l'ONCF, commençant par la partie radio, ensuite le réseau cœur, le réseau de gestion et de maintenance du système et finalement les liaisons entre ces différentes entités.

I. Méthodologie et principe de la planification cellulaire

La planification est la première étape de la mise en œuvre d'un réseau. Elle est indispensable et critique puisqu'elle est la base de tous les travaux qui vont avoir lieu par la suite. Elle se compose de plusieurs parties de collection d'information, d'analyse et de simulation qui sont bien détaillées par la suite, et consiste à définir la capacité du réseau en termes de trafic ainsi que sa couverture.

Cette planification constitue un facteur déterminant pour la qualité du service et le retour sur investissement du projet, dont les performances déterminent la qualité de service de tout le réseau. Celle du système GSM-R est orientée client, recherchant l'équilibre entre couverture réseau, capacité, qualité et coûts, et répondant aux exigences des différents types de clients et de services.

Les paramètres à prendre en compte lors de la planification varient et doivent être réajustés au fur et à mesure de la conception du réseau.

La problématique de la planification cellulaire se présente comme suit :

Étant donnée :

- ⇒ L'environnement à couvrir,
- ⇒ Les abonnés à desservir,
- ⇒ La bande de fréquence allouée.

Il faut minimiser le coût de l'infrastructure en fonction :

- ⇒ De la couverture radio,
- ⇒ De la taille du motif,
- ⇒ Du plan de fréquences,
- ⇒ ...

En respectant des contraintes de qualité de service prédéterminée.

La planification cellulaire repose sur une étude marketing préalable. Les informations collectées suite à cette étude sont les suivantes :

- ⇒ Besoin en couverture indoor/outdoor,
- ⇒ Trafic par abonné,
- ⇒ Bande de fréquence disponible,
- ⇒ Minimum d'interférences « rapport C/I »,
- ⇒ Topologie et nature du terrain,
- ⇒ Hauteur maximale des antennes,
- ⇒ ...

Après cette étude, il en résulte :

- ⇒ Le nombre et la localisation des sites,
- ⇒ La configuration de chaque site,
- ⇒ Nombre de secteurs,
- ⇒ Nombre de fréquence,
- ⇒ Type d'antennes,
- ⇒ Azimut,
- ⇒ Tilt,
- ⇒ Hauteur d'antennes,
- ⇒ Puissance d'émission,
- ⇒ Le nombre de cellules par site,
- ⇒ Le plan de fréquences des sites.

La figure 12 représente, dans le cas général, l'enchaînement des tâches à effectuer pour planifier un réseau radio mobile. Le processus de planification est cyclique puisque la structure du réseau doit être actualisée selon l'évolution des données marketing ou l'analyse des performances du réseau [6].

Remarque :

Pour le dimensionnement, j'ai choisi un tronçon de ligne ferroviaire des lignes classiques, pour les lignes à grande vitesse, c'est prévu de l'effectuer dans quelques mois.

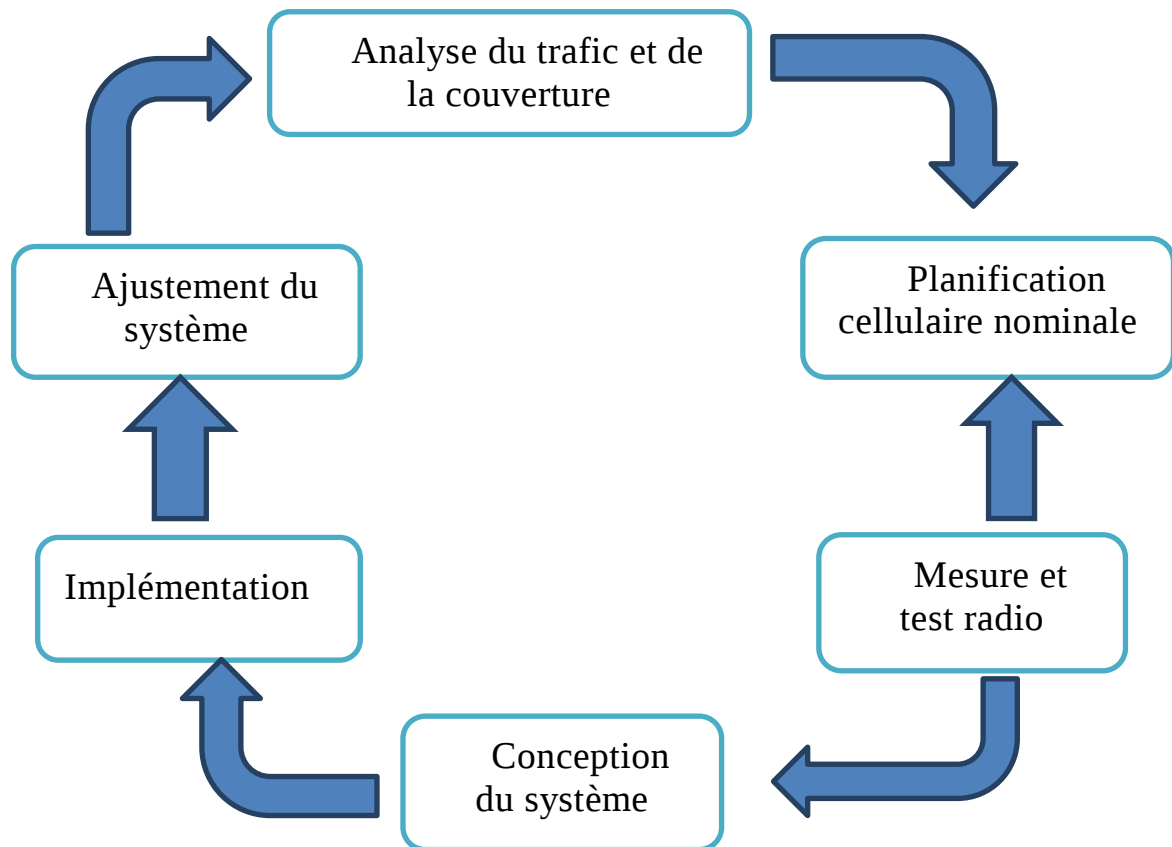


Figure 12 : Processus de la planification cellulaire en six phases

II. Dimensionnement du sous-réseau BSS

II.1/ Dimensionnement des BTS

Le dimensionnement de cette partie du réseau 2G doit respecter deux types de contraintes : contraintes radio et contraintes de trafic.

II.1.1/ Contraintes radio :

Le dimensionnement par la couverture permet essentiellement de calculer la taille de la cellule. De ce fait, le rayon des cellules est obtenu suite à la réalisation d'un bilan de liaison qui permettra de déterminer la valeur de l'affaiblissement. Cette valeur servira pour le modèle de propagation afin de déterminer le rayon des cellules. Sachant la taille de la cellule, on pourra donc déterminer pour la zone à planifier le nombre de stations de base nécessaires.

II.1.2/ Paramètres du bilan de liaison

La réalisation du bilan de liaison repose principalement sur différents paramètres qui se présentent comme suit :

- **Les Paramètres de transmission :**

Cette catégorie englobe l'ensemble des marges de fading et qui dépendent de la probabilité de couverture de la cellule, de localisation du mobile, du Gain de Handover, de la qualité de service requise et de la nature de l'environnement auquel appartient le mobile.

- **Les Paramètres de l'équipement :**

Qu'il s'agit de la station mobile ou de la BTS, ces paramètres concernent précisément la sensibilité de l'équipement, son gain ainsi que les pertes au niveau des câbles d'alimentation, des connecteurs et des feeders.

II.1.3/ Bilan de liaison

Pour le calcul du bilan de liaison, il faut tout d'abord déterminer EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*). Elle correspond à la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope pour obtenir le même champ à la même distance. Cette donnée est obtenue à partir de l'expression suivante :

$$\boxed{PIRE = P + G - Pertes} \quad (1)$$

Où :

- ⇒ P est la puissance moyenne de sortie de l'équipement, et qui en constitue une caractéristique,
- ⇒ G est le gain, et qui vaut 18 dB pour une antenne directionnelle à une ouverture de 30°,
- ⇒ Pertes : ce facteur regroupe l'ensemble des pertes au niveau des filtres, des connecteurs, des câbles et des séparateurs.

Par la suite, on calcule l'affaiblissement. Ce paramètre tient compte de la sensibilité de l'équipement, de son gain et de l'ensemble de pertes déjà cités. Aussi, nos calculs doivent prendre en considération les marges de transfert et les marges d'interférences qui correspondent au niveau d'augmentation du bruit dû à l'augmentation de la charge dans la cellule.

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des données nécessaires pour le calcul du PIRE tout d'abord, ainsi que l'affaiblissement. Ces deux valeurs vont nous servir par la suite à déterminer le rayon de la cellule GSM-R.

Tableau 2: Exigences techniques pour le calcul de la PIRE et l'affaiblissement

Extrémité d'émission	Unite	MS	BS
Puissance de sortie moyenne	dBm	39	47
Isolateur, combineur, perte de filtre	dB	0	1
Pertes de câble et connecteur	dB	3	3,5
Pertes de séparateur	dB	0	3
marge supplémentaire	dB	3	0
TX gain d'antenne	dBi	0	18
PIRE	dBm	33	57,5
Extrémité de réception	Unite	BS	MS
RX RF sensibilité d'entrée	dBm	-114	-104
Perte de câble et connecteur	dB	3,5	3
Perte de séparateur	dB	3	3
marge supplémentaire	dB	6	6
RX gain d'antenne	dBi	18	0
Marge pour transfer	dB	2,5	2,5
Pertes de polarisation	dB	2,5	2,5
Marge d'interférence / de qualité	dB	3	0
Marge effacement (Fading margin)	dB	11	11
Niveau de signal reçu	dB	-100.5	-76
L'affaiblissement	dB	133,5	133,5

II.1.4/ Estimation du rayon de la cellule

Une fois nous avons déterminé la valeur de l'affaiblissement dans une cellule, il ne reste plus qu'appliquer n'importe quel modèle de propagation connu pour estimer son rayon. Le modèle de propagation doit être choisi de tel sorte qu'il soit conforme à la région planifiée. Les critères de choix du modèle de propagation sont :

- ⇒ la distance par rapport à la station de base,
- ⇒ la hauteur des antennes,
- ⇒ et la fréquence liée au mobile.

Pour nos calculs, nous avons choisi le modèle OKUMURA HATA, puisque les conditions de son utilisation correspondent parfaitement à notre cas. Ces conditions sont les suivantes :

- ⇒ Hauteur de l'antenne de la station de base h_b : 30-200 m,
- ⇒ Hauteur de l'antenne du mobile h_m : 1-10 m,
- ⇒ Distance entre le mobile et la station de base d : 1- 20 km,
- ⇒ Bande de fréquence : 150-1500 MHz.

Aussi, ce modèle est valable pour des cellules de moyenne ou de grande taille.

Suivant ce modèle, l'affaiblissement en milieu urbain est donné par :

$$l_u = 69,55 + 26,16\text{Log}(f) - 13,82\text{Log}(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55\text{Log}(h_b)]\text{Log}(d) \quad (2)$$

Cette formule d'affaiblissement peut s'exprimer aussi sous la forme suivante :

$$l_u = A + 10 * \gamma * \text{Log}(d) \quad (3)$$

Où γ est la constante de propagation. Ce qui nous donne une valeur de γ de 3.44.

Le paramètre $a(h_m)$ est un facteur de correction dépendant de la hauteur de l'antenne de la station mobile et de l'environnement. Sa valeur varie selon qu'il s'agit d'une:

- ⇒ ville Moyenne :

$$a(h_m) = [1,1\text{Log}(f) - 0,7]h_m - [1,56\text{Log}(f) - 0,8] \quad (4)$$

- ⇒ ville Grande :

$$a(h_m) = 3,2[\text{Log}(11,75h_m)]^2 - 4,97 \quad (5)$$

Dans le cas d'un utilisateur au sol, c'est-à-dire pour une hauteur de 1,5 m, le coefficient $a(h_m)$ est tout à fait négligeable.

En milieu suburbain, l'affaiblissement l_{su} , exprimé en dB, est donné en appliquant la formule du milieu urbain affectée d'une correction :

$$l_{su} = l_u - 2 \left[\text{Log} \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (6)$$

En milieu rural, on distingue le cas où l'environnement est totalement dégagé comme dans un désert (affaiblissement l_{ro}) ou bien semi-dégagé comme dans une campagne sympathique l_{rqo} :

$$l_{ro} = l_u - 4,78[\text{Log}(f)]^2 + 18,33\text{Log}(f) - 40,94 \quad (7)$$

$$l_{rqo} = l_u - 4,78[\text{Log}(f)]^2 + 18,33\text{Log}(f) - 35,94 \quad (8)$$

⇒ Applications numériques :

Pour une valeur de $h_m = 1,5 \text{ m}$, $h_b = 40 \text{ m}$, $f = 900 \text{ Mhz}$, $a(h_m) = 0,01588$ et $L = 133,5 \text{ dB}$, les valeurs sont les suivantes :

Tableau 2: Rayon des cellules pour les milieux ruraux open et les milieux suburbains

	L_{ro}	L_{su}	L_{rqo}	L_u
R (Km)	20,25	5,847	14,49	2,996

On a trouvé dans cette partie les valeurs du rayon des cellules dans divers milieux à partir de la formule d'OKUMURA-HATTA. Dans ce qui suit, nous allons calculer le nombre de cellules par motif.[11]

II.1.5/ Calcul de la taille du motif

⇒ **Motif de réutilisation :**

Un motif est un ensemble connexe de cellules dans lequel toute fréquence de la bande allouée est utilisée une et une seule fois.

⇒ **Rapport signal à interférences C/I :**

Les interférences sont de 3 types : les interférences inter-symboles (IIS), les interférences inter-fréquences (IIF, encore appelées interférences canaux-adjacents), et les interférences co-canal (ICC).

Les interférences co-canal (ICC) sont forcément importantes en GSM-R et sont directement liées à la norme elle-même. Le choix d'un partage de ressources de type FTDMA (Frequency and Time Division Multiple Access) impose une répartition des ressources en temps et en fréquence. Sur un canal en fréquence, on peut avoir jusqu'à 8 voix multiplexées en temps (8 slots par trame). Pour augmenter la capacité globale d'un système, les fréquences sont réparties entre les cellules, avec un certain facteur de réutilisation.

Les cellules utilisant les mêmes fréquences sont appelées « cellules homologues ou cellules co-canal ».

Ainsi, toutes les cellules co-canal et les stations de base associées sont susceptibles d'interférer entre elles.

Le rapport C/I est donné par le rapport entre la puissance utile du signal reçu par un mobile en provenance de la station de base (BTS) à laquelle il est associé, et la somme des puissances des signaux reçus par le même mobile en provenance de toutes les BTS utilisant la même fréquence.

⇒ **Facteur de réutilisation des ressources :**

Pour dimensionner notre réseau GSM-R, nous allons partir d'un modèle théorique rectiligne vu que nos cellules seront placées tout au long de la voie ferrée. Dans ce cas, on cherche à répartir les ressources de façon régulière et optimale, minimisant les interférences.

On appelle distance de réutilisation la distance entre les cellules co-canal. Son expression en fonction du motif est la suivante :

$$D = 2 * k * R \quad (9)$$

Où :

- k est la taille du motif,
- R est le rayon de la cellule.

Aussi, on appelle $Q=D/R$ le facteur de réutilisation, où D est la distance entre 2 cellules co-canal, et R le rayon des cellules.

On va maintenant calculer le rapport C/I en fonction de ce facteur de réutilisation. On tient compte ici uniquement des interférences co-canal. Le rapport C/I est alors donné par:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_i I_i} \quad (10)$$

Considérons un mobile en limite de cellule, la puissance utile reçue est donnée par :

$$C = P_e * R^{-\gamma} \quad (11)$$

La puissance en provenance de chacun des interférents peut être approchée par la distance entre les deux stations de bases, soit la distance D. on a alors :

$$\sum_i I_i = 2 * P_e * D^{-\gamma} \quad (12)$$

Ce qui permet d'estimer le C/I par :

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{2} * \left(\frac{R}{D}\right)^{-\gamma} = \frac{1}{2} * Q^\gamma \quad (13)$$

D'autre part :

$$Q = \frac{D}{R} = \frac{2*k*R}{R} = 2 * k \quad (14)$$

D'où :

$$C/I = \frac{1}{2} * (2 * k)^\gamma \quad (15)$$

Or, l'ONCF exige un rapport $\frac{C}{I}$ de 12 dB, qui vaut 15.85 Watt. De ce fait, pour une valeur de $\gamma = 3.44$, on trouve :

$$k = 1.36$$

En arrondissant la valeur, on trouve un motif de deux cellules que nous schématisons sur la figure 13 :

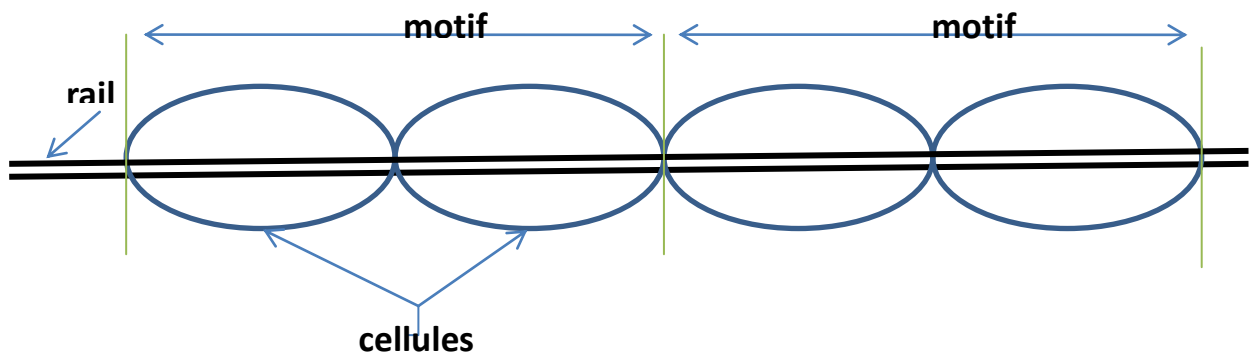


Figure 13: Motif de réutilisation

Nous allons passer maintenant, à la deuxième contrainte « contrainte de trafic » qui nous permettra de déterminer le nombre de TRX.

II.1.6/ Contraintes de trafic

Pour assurer un bon dimensionnement du réseau GSM-R, il faut tenir compte également de la densité de trafic à écouler dans chaque cellule. Le trafic est estimé statistiquement à partir des besoins en communications et du type de services nécessaire dans chaque région.

Par exemple, la probabilité d'appel dans une zone rurale loin des gares est très différente de la probabilité d'appel dans une gare à forte densité d'activité « zone urbaine », de même le trafic nécessaire pour une ligne LGV utilisant le système ETCS et GPRS différera d'une ligne classique ne supportant pas ces deux systèmes. Dans ce cas, les lois d'Erlang sont utilisées pour caractériser le taux d'appels téléphoniques.

Pour calculer ce trafic on s'est basé sur un cahier de charge de l'ONCF où chaque pôle a défini ses propres fonctionnalités du réseau GSM-R et des exigences de qualité et de performances.

III. Fonctionnalités du réseau GSM-R à l'ONCF

III.1/ Département de circulation :

Ce département a défini ses propres fonctionnalités d'utilisation du réseau GSM-R en donnant les acteurs et les types de communications utilisés ainsi que les zones de responsabilités de chaque régulateur.

- **ACTEURS :**

- ✓ **Chef de sécurité :** Collaborateur chargé d'assurer le service de la sécurité dans une gare conformément à la réglementation de sécurité,
- ✓ **Régulateur circulation :** Collaborateur qualifié chargé d'organiser et contrôler la circulation des trains sur le réseau ferroviaire,
- ✓ **Régulateur voie :** Collaborateur chargé du suivi et de coordinations avec les acteurs de la maintenance voie et signalisation,
- ✓ **Régulateur caténaire et sous stations :** Collaborateur chargé du suivi et de coordinations avec les acteurs de la maintenance des lignes caténaires et les chefs de postes sous station.

- **COMMUNICATIONS**

- ✓ **Chef de sécurité**

Le chef de sécurité doit communiquer avec :

- Les chefs de sécurité des gares encadrantes,
- Les brigades des trains circulant dans les sections encadrant sa gare,
- Les brigades de manœuvre évoluant dans sa gare et dans les embranchements,
- Les brigades des trains stationnant ou œuvrant dans sa gare,
- Les réalisateurs de travaux dans les chantiers œuvrant dans les sections encadrant la gare.

✓ **Régulateur de circulation**

Le régulateur circulation doit communiquer avec tous les opérateurs de sécurité, en particulier :

- Les chefs de sécurité des gares de tout le réseau,
- Les brigades des trains en circulation,
- Les équipes de travaux,
- Tous les collaborateurs ONCF autorisés à utiliser le GSM-R depuis leur bureau où se trouvant dans ses champs.

Type de communication :

- Liaison radio,
- Messagerie.

✓ **Régulateur voie**

Le régulateur voie doit communiquer avec :

- Les chefs de sécurité des gares de tout le réseau,
- Les équipes de travaux.

✓ **Régulateur caténaire**

Le régulateur caténaire doit communiquer avec :

- Les chefs de postes sous stations,
- Les brigades des trains,
- Les chefs de sécurité des gares de tout le réseau,
- Les équipes de travaux.

III.1.1/ Les Exigences de qualité et de performance

Le réseau GSM-R doit fournir un service de qualité (QoS) pour répondre aux exigences des différents pôles de l'ONCF et assurer toutes les fonctionnalités pour lesquelles ce réseau sera mis en place.

Ces exigences se traduisent par des paramètres de QoS qui ne doivent pas dépendre de la charge du réseau :

Tableau 4: Paramètres qualité de service

Paramètre qualité de service (QoS)	Valeur
Taux de réussite de tentative d'appel (Call attempt success rate)	$\geq 98\%$
Taux de réussite de passage (Handover success rate)	$\geq 99\%$
Taux d'appel abandonnés (Dropped call rate)	$\leq 2\%$

Maintenant à partir de la connaissance de la densité de trafic et de la surface couverte par un émetteur, il est possible de prédire le nombre de canaux à affecter à une cellule pour garantir un taux de blocage inférieur à 2%.

On comprend bien alors que le déploiement d'un réseau GSM ne repose pas seulement sur une couverture radio mais aussi sur une répartition intelligente des ressources radio sur un ensemble de stations de base.

III.1.2/ Calcul du trafic transporté par le GSM-R

Le tableau suivant résume les besoins de l'ONCF en termes de trafic :

Tableau 5: Besoin de l'ONCF en terme de trafic

Type de trafic	Les besoins en mE	Densité du trafic
Communication radio du train (voix)	75/train	2-5 trains/cellule
Réparation et entretien (voix)	60/abonné	5 abonnés/ cellule
Administration (voix)	25/abonné	5 abonnés/cellule
Manœuvre (voix)	750/équipement	1 équipe/cellule
Appel urgent (voix)	10/équipement	1 équipe/cellule
Diagnostic train (données)	25/train	2-5 trains/cellule
Abonnés fixes (voix)	30/abonné	2 abonnés/cellule
Fax (données)	5/abonné	2 abonnés/cellule

A partir de ces données nous avons calculé le trafic nécessaire pour chaque cellule :

Tableau 6: Trafic nécessaire pour chaque cellule

	Voie simple	Voie double	Gare et manœuvre
Communication radio du train	75*2	75*4	75*5
Réparation et entretien	-	-	60*5
Administration	25*5	25*5	25*5
Manœuvre	-	-	750*1
Appel urgent	-	-	10*1
Diagnostic train	25*2	25*2	25*5
Abonnés fixes	30*2	30*2	30*2
Fax	-	-	5*2
Total	385	535	1755

Les paramètres de la QoS exigent un taux de réussite de tentative d'appel supérieur à 98% ce qui nécessite l'utilisation de la loi d'Erlang B avec un taux de blocage de 2%.

La formule de l'Erlang B donne le nombre de canaux de trafic TCH :

Tableau 7: Distribution des canaux TCH pour les différentes voies

	Voie simple	Voie double	Gare et manœuvre
Nombre de canaux	3TCH	3TCH	6TCH

En ce qui concerne les données « données GPRS », le dimensionnement des canaux PDCH repose sur la règle et les étapes suivantes:

- Définir tout d'abord la qualité de service demandée,
- Estimer le nombre d'utilisateur par cellule,
- Estimer le trafic offert par utilisateur,
- Calculer le trafic total offert par cellule,
- Calculer le nombre désiré de PDCH [7].

$$\text{PDCH} = \text{Trafic offert estimé} / \text{trafic acceptable par PDCH}$$

(16)

Pour notre cas, on a les données suivantes:

- Une valeur de 12.5Kbit/s du débit descendant, donc le trafic acceptable est 3.5 Kbit/s.
- Un nombre de 1 à 3 abonnés par cellule,
- Un trafic par abonné de 540Kbyte/h.

On pourrait en déduire :

- Un trafic par abonnée de 1.2Kbit/s,
- Un trafic par cellule de :
 - > 1,2 Kbits/s pour une voie simple,
 - > 2,4 Kbits/s pour une voie double,
 - > 3,6 Kbits/s pour les gares et manœuvres.
- Et enfin en utilisant la formule (16), on trouve un nombre de :
 - > Pour voie simple : **1 PDCH** qui Doit être alloué pour la transmission des données GPRS,
 - > Pour voie double : **1 PDCH** qui Doit être alloué pour la transmission des données GPRS,
 - > Pour les gares : **2 PDCH** qui Doivent être alloués pour la transmission des données GPRS.

III.1.3/ Constitution de la trame TDMA

Chaque canal en fréquence est susceptible de fournir 8 canaux de données TCH (chaque trame contient 8 slots multiplexés) : le nombre total de canaux est donc égal à 8 fois le nombre de canaux en fréquence. Cependant, certains canaux communs, et en particulier la voix balise, nécessitent des ressources. On considère en général, qu'1/8ième des ressources est utilisé pour les canaux communs y compris la voix balise (BCCH).

Un time slot doit être également réservé au canal SDCCH pour la signalisation d'établissement d'appel et la mise à jour de localisation.

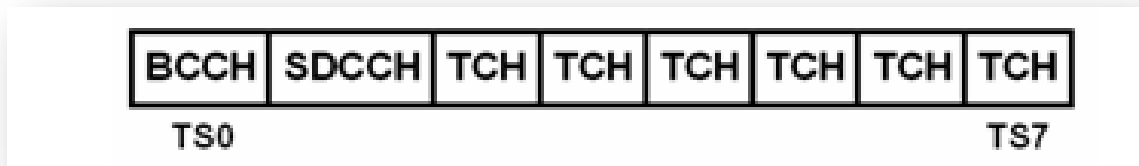


Figure 14: Structure de la trame TDMA

Les besoins des utilisateurs en terme de trafic, données et signalisation se traduisent par :

- 3TCH+1BCCH+1SDCCH+1PDCCH pour la voie simple —————> Un seul TRX
- 3TCH+1BCCH+1SDCCH+1PDCCH pour la voie double. —————> Un seul TRX
- 6TCH+1BCCH+1SDCCH+2PDCCH pour les gares et manœuvres. —————> 2TRXs.

III.1.4/ Couverture dans les tunnels

Parmi les problèmes qui freine le déploiement de la Solution GSM-R, le grand nombre de tunnels de longueur différente qui se situent le long des voies ferrées de l'ONCF. Le but est d'assurer une couverture radio GSM-R à l'intérieur de ces tunnels. Pour cela nous proposons, comme solution, plusieurs techniques d'installations de BTS et de répéteur qui dépendent bien évidemment de la longueur des tunnels pour pouvoir assurer la continuité de couverture de tout le réseau ferré de l'ONCF.

La première solution permet d'assurer la couverture à l'intérieur du tunnel en utilisant un câble rayonnant ou des répéteurs, alors que la 2ème solution se base sur l'installation de petites antennes BTS à l'entrée et à la sortie des tunnels permettant la couverture entière du tunnel.

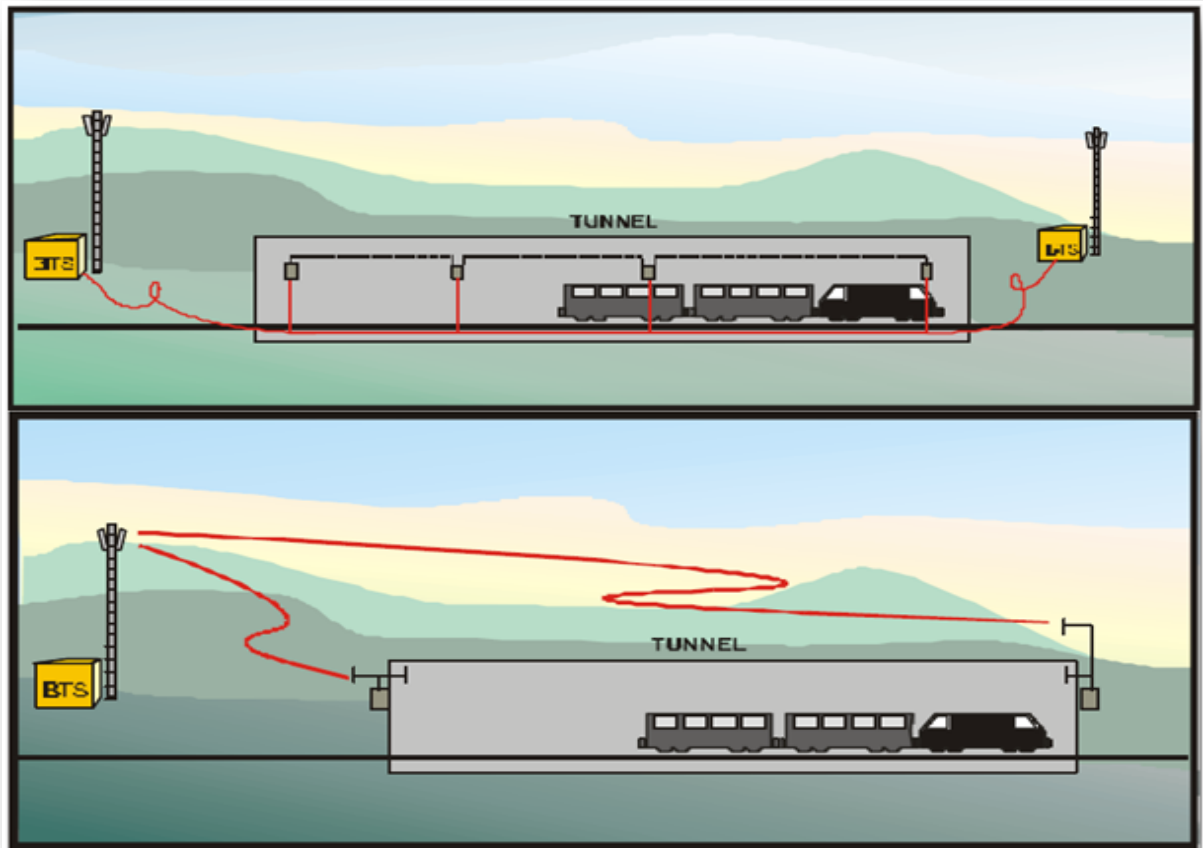


Figure 15: Les principaux types d'installation des BTS et répéteur dans un tunnel

III.1.5/ Estimation du nombre total de BTS

Avant de présenter la simulation du tronçon choisie 'Tanger-Rabat Agdal' sur le logiciel de dimensionnement et planification et de déterminer le nombre de BTS nécessaire pour couvrir le réseau ferré de l'ONCF, il s'avère essentiel de présenter les caractéristiques des antennes déployées.

Pour la planification, j'ai choisi pour la mise en place du réseau GSM-R au sein de l'ONCF des antennes directionnelle puisque le nombre des utilisateurs est limité ainsi qu'on travaille sur la voix ferré donc on doit assurer une couverture rectiligne.

III.1.6/ Simulation du tronçon rabat agdal-Tanger sur ATOLL

Présentation d'Atoll

ATOLL est un environnement de planification radio multi-technologies. Fonctionnant sous Windows, il soutient les opérateurs mobiles durant toute la durée de vie du réseau, dès le design initial jusqu'à la densification et l'optimisation. Il supporte les technologies suivantes :

- ⇒ GSM/GPRS/EDGE/TDMA,
- ⇒ UMTS/HSDPA,
- ⇒ CdmaOne/CDMA 2000 1xRTT et 1xEV-DO,
- ⇒ TD-SCDMA,
- ⇒ Faisceaux hertziennes.

ATOLL permet la simulation de couverture en se basant sur une interface graphique intuitive, son utilisation et sa prise en main est relativement aisée. Il dispose de Quatre niveaux hiérarchiques imbriqués : Carte Numérique, Type d'antenne, Modèle de propagation, type de terminaux [9].

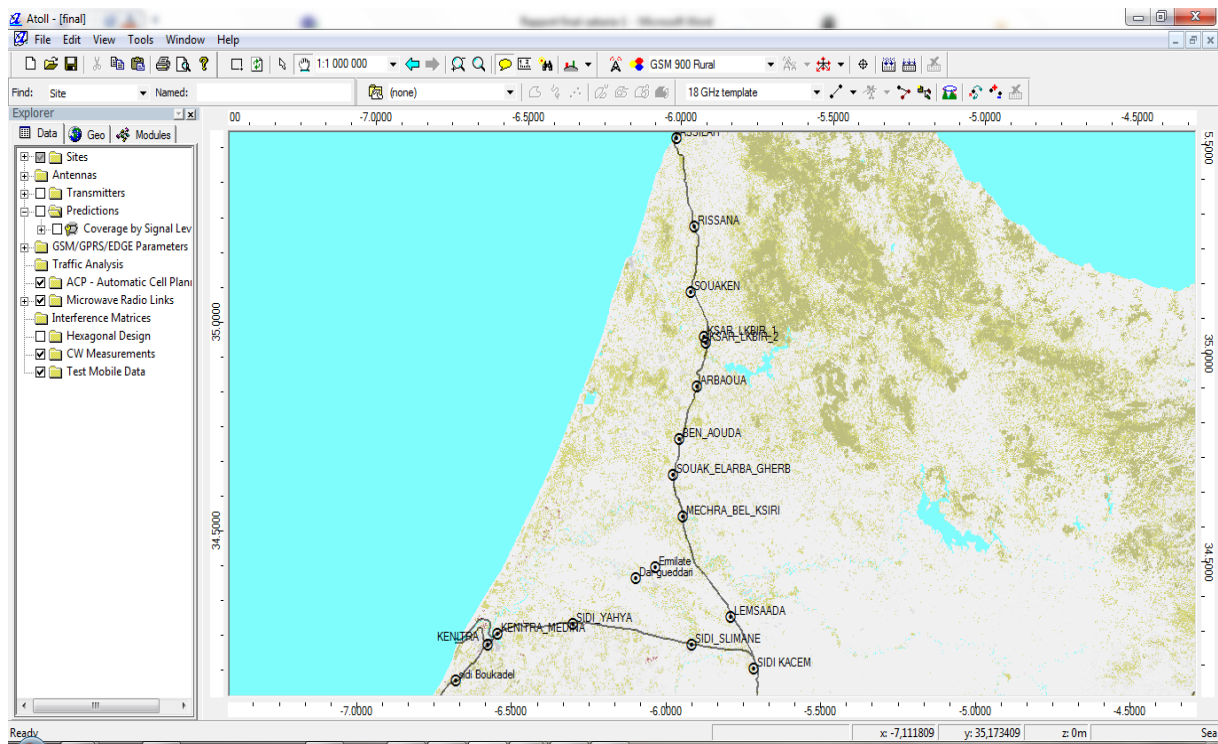


Figure16 : Environnement Atoll

III.1.7/ Dimensionnement du tronçon Tanger-Rabat Agdal

Pour estimer le nombre total des BTS ainsi que le nombre de TRX dont nous aurons besoin, on doit se baser sur les deux contraintes déjà détaillées dans les parties précédentes. Pour cela, j'ai établi le bilan de liaison, qui m'a permis de déterminer une valeur de l'affaiblissement. À partir de cette dernière, j'ai obtenu différents valeurs de rayons de cellule selon la nature du milieu (suburbain, dégagé). Ainsi et avec les contraintes de trafic, j'ai pu estimer statistiquement le trafic, à partir du nombre d'abonnés et du type d'activité associée à chaque région : Par exemple, la probabilité d'appel dans une zone à forte densité de trafic est très différente de la probabilité d'appel dans une zone à faible densité.

Dans la pratique, le déploiement d'un réseau GSM nécessite l'optimisation du placement des sites, sous les 2 contraintes de type radio et trafic. Il s'agit de tester, en fonction du type d'antenne et de sa puissance d'émission, la zone couverte par l'émetteur. Une approche pas à pas m'a permis progressivement de faire converger le réseau vers une bonne configuration, sachant que la norme EIRENE exige un niveau de signal minimal de -98 dBm à 95% .

Le principe est le suivant (en simulation avec Atoll):

- répartir les émetteurs sur le terrain en se basant sur les valeurs du rayon déjà calculées,
- établir les zones de couverture, et les adapter en déplaçant les sites, tout en respectant la contrainte portant sur le niveau du signal.

Avant de mettre en place les BTS il y a plusieurs paramètres qui doivent être réglés tel que le mode de propagation, la hauteur du pylône, le nombre de TRX, la puissance d'émission, le type de coordonnées utilisé. La figure ci-dessous montre quelques paramètres.

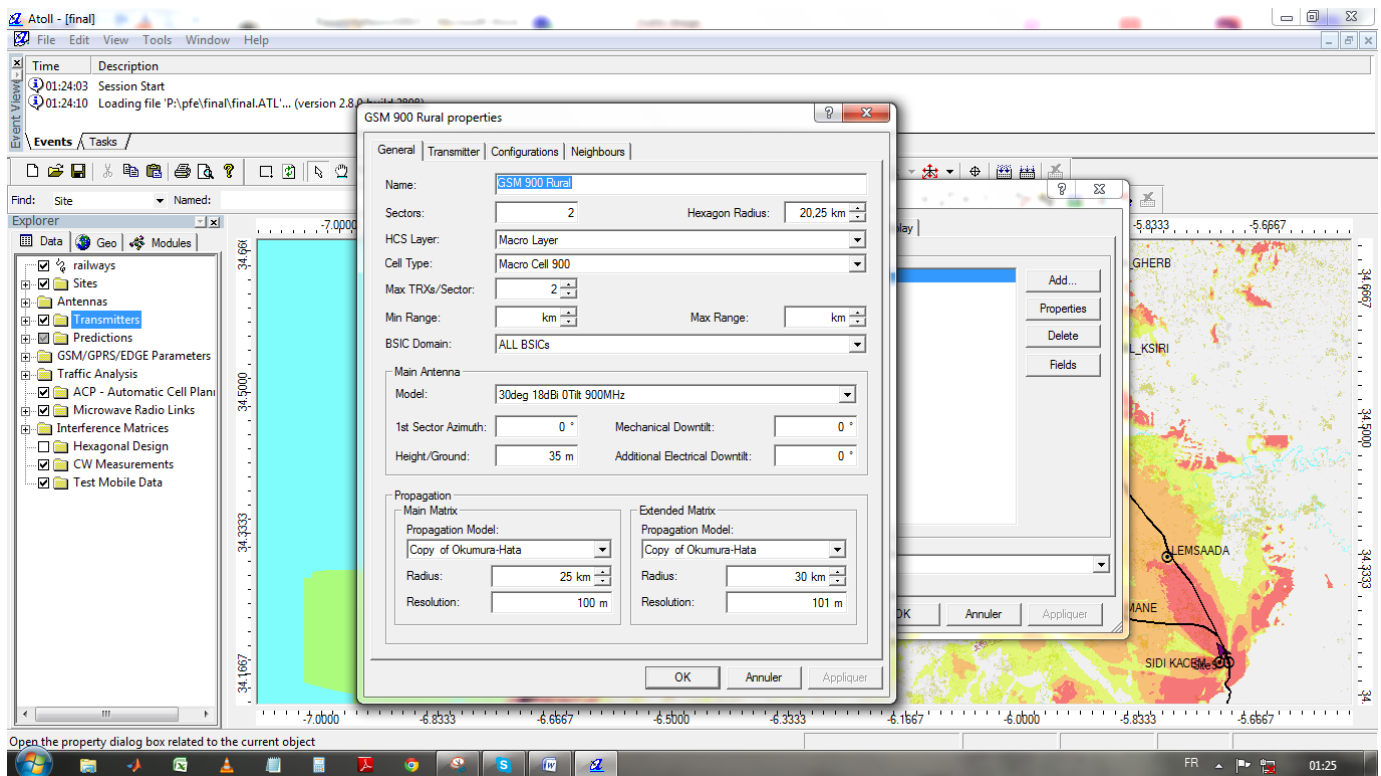


Figure 17: Paramètres configurés sur Atoll

En suivant, la démarche citée ci-dessus, nous avons pu assurer la couverture exigée par la norme EIRENE en déployant 27 sites tout au long de la voie Tanger-Rabat Agdal.

La figure suivante illustre une partie de la simulation réalisée :

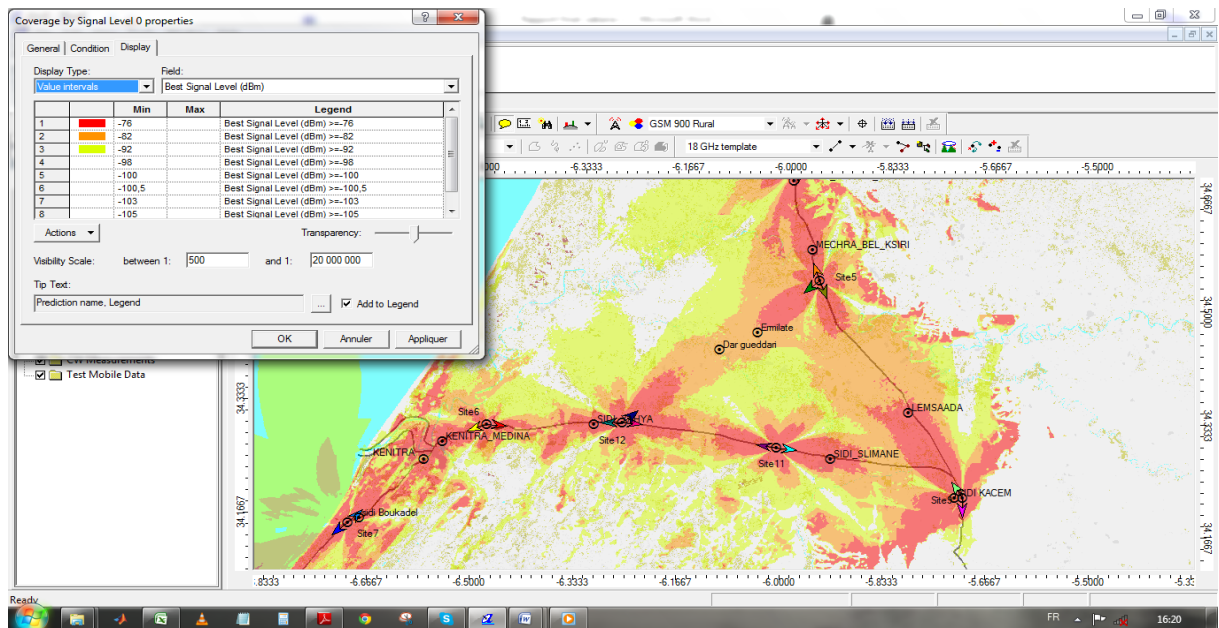


Figure 18: Simulation du tronçon Tanger-Rabat agdal

On peut voir sur la figure 19 les différents niveaux de signal qui sont clairement identifiable par les couleurs et les valeurs en dBm qui leurs corresponde. On remarque que le positionnement calculé assure une bonne couverture radio qui répond parfaitement aux exigences de la qualité de service (un niveau de signal minimal de -98 dBm) tout en optimisant le nombre de BTS utilisé.

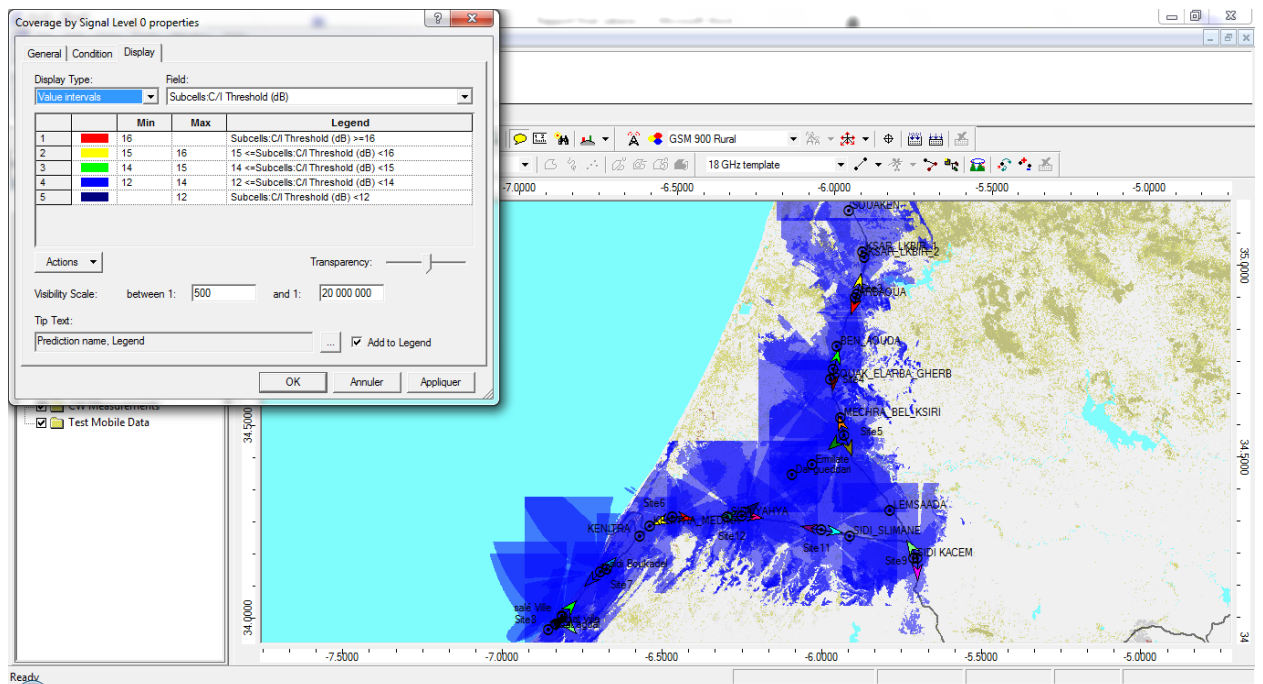


Figure 19: Niveaux de signal en dBm

La figure 20 est un histogramme qui montre le niveau du rapport signal sur bruit (C/I) en dB, on prend deux transmetteurs ayant la même fréquence porteuse et on remarque que le niveau respect les exigences de l'ONCF $C/I > 12\text{dB}$.

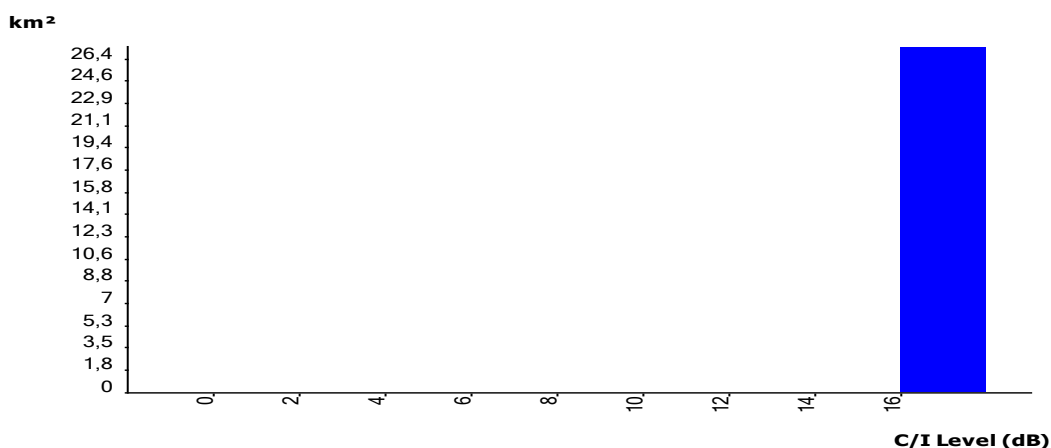


Figure 20: Histogramme du rapport C/I

Le tableau suivant regroupe les résultats concernant le nombre de BTS et de TRX sur les différents tronçons du réseau ferré de l'ONCF :

Tableau 8: Nombre total de BTS et de TRx et de sites dans la ligne étudiée

Ligne	Nombre de station BTS	Nombre de site	Nombre de TRx
Tanger ville-Belksiri	7	12	29
Belkisiri – Sidi Kacem	1	2	5
Sidi Kacem - Kenitra	3	6	11
Kenitra – Rabat Agdal	3	5	14
TOTAL	14	25	59

III.2/ Dimensionnement du BSC

III.2.1/ 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 l'étude de mise en place de notre réseau GSM-R pour l'ONCF.

Pour cela il existe deux méthodes (fiabilisation ou doublement des équipements) et je vais présenter ces deux méthodes, afin de bien choisir la méthode la plus adéquate soit pour sécuriser le réseau d'accès (BTS, BSC), soit pour sécuriser le réseau cœur (essentiellement le MSC).

III.2.2/ 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 composantes entraîne son indisponibilité. Cette redondance des éléments peut être de plusieurs 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 cartes du même type dans l'équipement, il existe un secours qui prendra automatiquement le relais si un parmi ces N composants tombe en panne.

III.2.3/ 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 équipement tombe en panne. On pourra pour cela utiliser deux modes différents:

- **Actif/Passif** : Dans ce mode qui est aussi appelé Maître/Esclave, l'équipement primaire sera le seul à assurer le service jusqu'à ce que le deuxième détecte une défaillance et qu'il prenne alors automatiquement en charge toutes ou une partie des fonctions que l'autre assurait jusqu'à présent. Le principal inconvénient de cette solution est qu'il n'est pas toujours possible de détecter que l'un des composants de l'équipement en attente est tombé en panne.
- **Partage de charge** : Compte tenu de ce que nous avons vu précédemment, il est donc généralement préférable de répartir les traitements entre les deux

équipements, ce qui permet de s'assurer de leur bon fonctionnement. Si l'un des vient de tomber en panne, alors l'autre prendra en charge automatiquement la gestion de la totalité du trafic jusqu'à ce que le problème soit résolu.

III.2.4/ Estimation du nombre de BSC

Pour l'estimation du nombre de BSCs nécessaires pour assurer la gestion des différentes BTS du réseau ferroviaire, on aura besoin d'un seul BSC qui a la possibilité de gérer plus de 500 BTS et plus de 2000 TRx.

En prenant en considération la sécurité des équipements, on proposera comme solution le doublement du BSC prévus, sachant que la méthode de partage de charge permettra une meilleure sécurité du fonctionnement de l'équipement BSC.

Pour l'emplacement des deux BSC, on peut supposer dans un premier temps deux gares des grandes villes Casablanca et Rabat, mais ceci entrainera un coût élevé pour la liaison entre les deux équipements BSC, donc comme solution pour réduire ce coût et en considérant par mesure de sécurité que les deux équipements ne doivent pas être présent dans un seul local, on propose comme solution optimale, après analyse des différentes solutions possibles, les deux gares Rabat Ville et Rabat Agdal vue la courte distance de 2,47 km entre ces deux sites et leur position géographique permettant une centralisation pour réduire le coût de liaison avec les différents sites BTS.

III.2.5/ Dimensionnement des MSC et OMC

Un seul équipement MSC servira pour permettre la commutation de tout le trafic GSM-R nécessaire pour l'ONCF, le MSC est un équipement caractérisé par son importance dans le réseau GSM-R et son intelligence permettant la commutation d'un grand nombre d'appels simultanés. Il est le plus cher équipement dans le système. Notre proposition, en tenant compte de la sécurité de l'équipement, sera d'installer un seul MSC avec une **fiabilisation 1 à 1** au niveau de tous les éléments de l'équipement.

Alors que pour le sous-système OMC qui permettra une gestion centralisée pour l'exploitation et la maintenance du système GSM-R, on propose d'installer le système OMC à Rabat dans l'un des locaux de télécommunications de l'ONCF destiné pour la régulation et la supervision du réseau télécommunication. La liaison sera donc optimisée entre l'OMC et les équipements BSC et MSC.

Conclusion

Après étude et analyse des différentes contraintes et critères intervenant dans le dimensionnement du système GSM-R, j'ai estimé dans ce chapitre le nombre des différents équipements nécessaires pour couvrir toutes les lignes ferroviaires de l'ONCF, soit au niveau infrastructure soit au niveau accès.

J'ai aussi étudié les différents aspects de sécurité du réseau, en me basant sur des redondances au niveau de ces différents sous-systèmes.

Pour pouvoir achever mon projet, je dois estimer un budget global pour la mise en place du système dimensionné, le chapitre qui suit fera donc l'objet de cette étude budgétaire en détaillant les différents coûts nécessaires.

Chapitre 6 : Étude budgétaire de la mise en place du système GSM-R

Ce dernier chapitre fera l'objet d'une étude budgétaire globale de la mise en place du système GSM-R proposé dans le chapitre précédent. L'étude sera divisée selon plusieurs aspects. Je commencerai par le budget nécessaire pour l'achat des différents terminaux GSM-R, puis les équipements de l'infrastructure du réseau GSM-R, ensuite le coût d'installation de ses différents équipements et finalement les différents coûts nécessaires pour la maintenance futur du réseau. La somme globale de ses différents budgets constituera donc le coût total de la mise en place du système GSM-R pour le réseau ferroviaire.

I. Étude Budgétaire de la mise en place du réseau GSM-R

Dans mon étude budgétaire globale, j'ai estimé un budget total pour la mise en place du réseau GSM-R dimensionné dans le chapitre précédent.

I.1/ Prix de l'ensemble des équipements du réseau GSM-R

Le tableau 9 présente le coût des différents terminaux GSM-R ainsi que le matériel nécessaire pour le stock de réserve.

Tableau 9: Prix des terminaux GSM-R

Terminaux GSM-R				
	Unité (U)	Quantité	Prix U (DH HT)	Total DH HT
Pupitre Régulateur (dispatcher)	E	4	7 000	28 000
Cab-radio GSM-R	E	382	7 500	2 865 000
Poste GSM-R pour les gares	E	75	8 000	600 000
Portatifs GSM-R	E	490	9 300	4 557 000
Totale DH				8 050 000

Le tableau 10 présentes le coût des différents équipements du réseau GSM-R, les prix sont calculés de la même façon que les terminaux.

Tableau 10: Prix des équipements GSM-R

Équipements du réseau GSM R				
	Unité	Quantité	Prix U (DH HT)	Total DH HT
Switch MSC (Hardware/Software) et OMC	E	2	500 000	1 000 000
Station BSC	E	2	700 000	1 400 000
Station BTS avec antennes	E	60	100 000	6 000 000
Totale DH				5 400 000

I.2/ Prix d'Installation du réseau GSM-R

Pour l'installation des différents équipements GSM-R, il est nécessaire de prévoir d'autres coûts, tels que le coût d'étude de la couverture radio, le coût des équipements de transmission et des liaisons permettant d'assurer la transmission entre les éléments du réseau GSM-R, et les coûts nécessaires pour les différents travaux de génie civil lors de l'installation du réseau. Le tableau 11 résume ces différents coûts.

Le coût des travaux de génie civil contient les coûts de construction des regards, de travaux de terrassement, de pose des buses et tubes nécessaires pour la fibre optique et des travaux de forage.

Tableau 11: Prix d'installation du réseau GSM-R

	Unité	Quantité	Prix unitaire (DH HT)	Total DH HT
Station d'énergie solaire	E	111	20 000	2 220 000
Equipement de transmission des BTS	E	60	20 000	1 200 000
Câbles coaxiaux	m	1200	100	120 000
Câbles optique armé	Km	2 000	1 000	2 000 000
Boite de raccordement	E	60	5 000	300 000
Pylônes	E	60	80 000	4 800 000
Installation des BTS	-	60	58 745	3 524 700
Construction des guérites	E	111	80 000	8 880 000
Travaux de génie civil	-	1	3 667 900	3 667 900
Étude de la couverture radio	Km	1 910	1 500	2 865 000
TOTAL				25 909 700

I.3/ Différentes Autres prestations

Afin d'assurer un bon fonctionnement du réseau à installer, il faudra prévoir des matériels de maintenance, ainsi que des formations sur le réseau GSM-R pour les différents collaborateurs des districts télécommunication de l'office.

Dans notre estimation, nous avons considéré deux types d'appareillage de mesure : des appareillages de mesure radio incluant des bancs de mesure radio, des Wattmètres radio, des analyseurs de spectres, et des appareillages de transmission incluant des bancs MIC, et des multimètres. Ces différents appareillages doivent être présents dans l'ensemble des directions régionales de l'office.

Tableau 12: Prix de maintenance du réseau GSM-R

	Quantité	Prix unitaire (DH HT)	Total DH HT
Formation GSM-R	1	500 000	500 000
Appareillage de mesure radio	3	500 000	1 500 000
Formation de transmission	1	300 000	300 000
Appareillage de transmission	3	1 000 000	3 000 000
TOTAL			5 300 000

I.4/ Budget total de la mise en place du réseau GSM-R

Le budget total en Dirhams nécessaire pour la mise en place du réseau GSM-R est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 13: Budget total de la mise en place

Type de budget	Budget (DH HT)	TVA (20%)	Budget (DH TTC)
Terminaux GSM-R	8 050 000	1 610 000	9 660 000
Infrastructure GSM-R	5 400 000	1 080 000	6 480 000
Installation du réseau GSM-R	25 909 700	5 181 940	31 091 640
Différentes autres prestations	5 300 000	1 060 000	6 360 000
Budget Total			47 231 640

D’où coup, la mise en place du réseau GSM-R nécessitera un budget total de
47 231 640 TTC

Conclusion

Le travail effectué à ce stade m’a permis de donner une estimation du budget nécessaire pour la mise en place du réseau GSM-R le long du réseau ferré de l’ONCF.

Conclusion générale

Avec l'arrivée de la nouvelle technologie GSM-R, l'histoire des télécommunications ferroviaires entrera dans une nouvelle ère, elle deviendra un investissement essentiel pour assurer la sécurité des lignes classiques et les lignes à grande vitesse. Ce réseau radio remplacera progressivement la technologie analogique, et assurera l'interopérabilité entre les systèmes de télécommunications des réseaux ferroviaires.

Le réseau radio numérique GSM-R constitue un système de transmission continu hautement disponible et fiable. Cette solution permettra aux différents réseaux radio utilisés par les chemins de fer d'évoluer vers des grandes vitesses de déplacement pouvant servir en communications téléphoniques les lignes à grandes vitesses et pouvant aussi offrir des services très avancés.

Mon travail au sein de l'ONCF a consisté en la planification de la mise en place d'un réseau GSM-R sur le réseau ferroviaire de l'ONCF. J'ai abordé les fondements de la technologie GSM-R, qui est à la base de mon projet. Le dimensionnement GSM-R proposé a été dégagé à partir des documentations dont dispose l'ONCF et les différents fournisseurs de la technologie. Ce dimensionnement du réseau GSM-R répond aux conditions environnementales du réseau ferroviaire de l'ONCF.

En conclusion, mon PFE s'est résumé dans la proposition d'une estimation globale du coût d'installation d'un réseau GSM-R. Ce projet reste toujours sujet d'amélioration. Effectivement, même en déployant le réseau GSM-R sur les lignes ferroviaires, il existe d'autres perspectives pour améliorer ce projet, en intégrant de nouveaux services destinés aux voyageurs au bord du train, et cela en déployant les systèmes de 3^{ème} génération en adoptant une infrastructure réseau de type BICN (the Bearer Independent Core Network).

Références Bibliographiques

- [1] : Site officiel de l'ONCF, www.oncf.ma version 20.6.2015.
- [2] : 'Référentiel des missions de l'ONCF', version 05.05.2015.
- [3] : Site officiel du réseau ferroviaire de la Belgique, www.b-rail.com
version 01.06.2015
- [4] : Infra-telecom-gsm-r_systembeschreibung, Edition: 07.04.2015
- [5] : F.Riouch, 'Dimensionnement des réseaux mobiles', Laboratoire
Propagation Microonde et optique.
- [6] : Site officiel de LEBGUIDE, www.lebguide.com (30.05.2015)
- [7] : 'Supporting Circuit- and Packet-Switched Services'.
- [8] : J.Delmas, 'Les relais GSM'.
- [9] : ATOLL_UserManual 'Atoll/RF Planning & Optimisation Software',
version 2.8.0, FORSK 1997-2003.
- [10] : Site officiel de EIREN, www.synerail.com (20.6.2015)
- [11] : 'Réseaux GSM 5 édition revue et augmentée-Xavier Lagrange,
Philippe Godlewski, Sami Tabbane.

Liste des Acronymes

A

ANRT	Agence Nationale de réglementation des télécommunications
ASCI	Advanced Speech Call Items
Auc	Authentication Centre
AGCH	Access Grant Channel

B

BCCH	Broadcast Control Channel
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station

C

CBCH	Cell Broadcast Channel,
CFM	Compagnie des Chemins de Fer Marocains
CDMA	Code Division Multiple Access
C/I	Carrier/Interferer
C/N	Carrier/Noise

E

EIR	Equipments Identity Register
EIRENE	European Integrated Railway Radio Enhanced Network

eMLPP	enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute

F

FCCH	Frequency Control Channel
FC	Function Code

G

GCR	Group Call Register
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Services
GSM-R	Global System for Mobile communications - Railways
GTC	Gestion Technique Centralisée
GPH	General Purpose Handheld

H

HLR	Home Local Register
-----	---------------------

I

IC	International Code
ICC	Interferences Co-Canal
IEN	International EIRENE Number

IIS	Interferences Inter-Symboles
IIF	Interferences Inter-Frequences
IN-SCP	Intelligent Network – Service Control Point

L

LGV	Lignes a Grande Vitesse
-----	-------------------------

M

MIT	Maintenance Interventions Travaux
MORANE	Mobile Radio for Railways Networks in Europe
MS	Mobile Station
MSC	Mobile services Switching Center

N

NMC	Network Management Center
NSS	Network Subsystem

P

PC	Poste de commandement
PIC	Pôle Infrastructure et Circulation
PIRE	Puissance Isotrope Rayonnee Equivalente
PMR	Private Mobile Radio
PN	Passage à Niveau
PTT	Push-to-Talk

O

ONCFM	Office National des Chemins de Fer Marocain
OMC	Operations and Maintenance Center
OA	Opérations Aériennes
OSS	Operation and Support Subsystem
OPS	Operational Purpose Handheld Shunting
OPH	Operational Purpose Handheld

Q

QOS	Quality of service
-----	--------------------

R

RACH	Random Access Channel
RBC	Radio Block Center
REC	Railways Emergency Call
RF	Radio Frequency
RST	Radio Sol Train

S

SMCF	Société Marocaine des Chemins de Fer
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control CHannel
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SIM	Subscriber Identity Module

SMS	Short Message Services
SMS-C	Short Message Services - Center

T

TCH	Traffic Channel
TCU	Transcoder Unit
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time-Division Multiple Access
TRAU	TransCoder Rate Adapter Unit
TRX	Transmission/Reception Unit

U

UIC	Union Internationale des Chemins de fer
UL	Up Link

V

VBS	Voice Broadcast Services
VGCS	Voice Group Call Service
VLR	Visitor Local Register

Annexe A : Signalisation et exigences

Pour garantir une circulation des trains sûre et sans entrave, un système de commande et de sécurité a été mis au point depuis 1996 sur la base de la directive 96/48 de l'Union européenne concernant l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen. Ce système est connu sous l'appellation ETCS acronyme de **E**uropean **T**rain **C**ontrol **S**ystem ou encore Système Européen de Contrôle des Trains.

ETCS :

⇒ **Définition :**

Le **système européen de contrôle des trains** est une composante de l'ERTMS qui est prévu pour remplacer à terme le grand nombre de systèmes de répétition des signaux et de signalisation en cabine actuellement utilisés sur les différents réseaux de chemins de fer européens. Ce système doit permettre un passage rapide des frontières tout en garantissant la sécurité des circulations. Sa transposition est prévue dans une première phase sur les lignes à grande vitesse et à plus long terme sur l'ensemble du réseau classique.

⇒ **Objectifs :**

L'introduction de l'ETCS doit non seulement simplifier la conduite des trains et rendre plus intelligente et plus sûre la signalisation, mais aussi :

- réduire les charges d'investissements et d'entretien des installations fixes (par exemple, les signaux),
- remplacer les différents systèmes nationaux de protection automatique des trains dans le transport à grande vitesse, et ainsi :
 - permettre l'interopérabilité des lignes à grande vitesse,
 - augmenter la capacité des lignes,
 - améliorer la vitesse moyenne des transports.

⇒ **Principe :**

L'ERTMS se décline en trois niveaux distincts, en fonction de la manière suivant laquelle l'autorisation de mouvement est fournie au train, pour cela le principe de fonctionnement du système ETCS diffère selon ces niveaux :

Niveau 1 : Un système unique de transmission des données : les Eurobalises.

Ce niveau fonctionne sur le principe des Eurobalises, émetteurs/récepteurs placés à intervalles réguliers sur le réseau qui transmettent au train et au conducteur des informations lors de son passage sur la balise.

Niveau 2 : De nouvelles possibilités grâce au GSM-Rail

Le niveau 2 utilise les Eurobalises comme système de repérage de la position du train, mais, à la différence du niveau précédent, le reste des informations transite en continu par le GSM-Rail. La circulation fonctionne toujours avec les Eurobalises et la notion de tronçons comme au niveau 1 de l'ETCS.

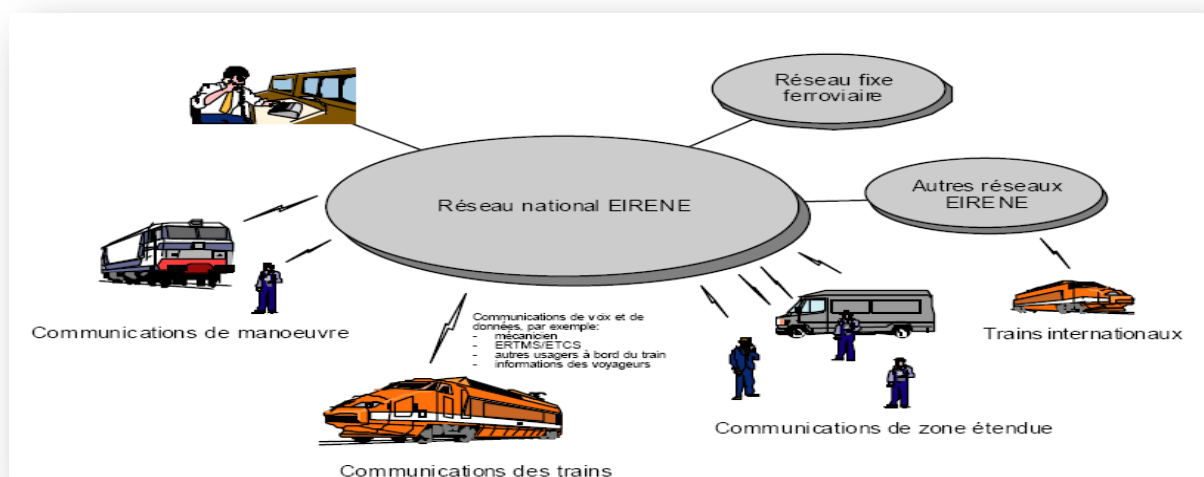
Niveau 3 : une gestion fine des circulations ferroviaire

Le niveau 3 est la phase finale du déploiement de l'ETCS, la signalisation en bordure de voie n'est plus indispensable car le GSM-Rail relaie l'ensemble des informations de circulation au conducteur. La notion de circulation par tronçon est abandonnée grâce à la transmission de la position du train en temps réel. La réception des informations au fur et à mesure de son avancée offre aux conducteurs de train une visibilité instantanée sur l'état du réseau.

Annexe B : La norme EIRENE

La norme EIRENE a été préparée au sein du projet EIRENE de l'UIC. Elle spécifie les besoins fonctionnels d'une norme radio numérique pour les Chemins de Fer Européens et forme une partie de la Spécification Technique d'Interopérabilité.

La Spécification des Besoins Fonctionnels d'EIRENE définit les besoins d'un système radio, satisfaisant les besoins en communications mobiles des Chemins de Fer. Elle comprend des communications sol-train de voix et de données et satisfait les besoins en communications mobiles des personnels au sol (agents de la voie, personnel du dépôt et de la gare, personnel d'administration et de gestion).



Le but de cette spécification est d'assurer l'interopérabilité des trains et des personnels traversant des frontières nationales ou des frontières entre des systèmes. Elle permet également d'offrir, là où c'est possible, des économies d'échelle lors de la fabrication. Il a fallu se baser également sur cette norme radio numérique pour les Chemins de Fer Européens pour assurer un bon fonctionnement du réseau GSM-R au sein de l'ONCF et une interopérabilité avec les systèmes GSM-R voisins. [10]

Annexe C : Numéros d'appel

Plan de numérotation des utilisateurs mobiles

Le plan de numérotation d'un réseau GSM-R est en principe conçu de la même façon que celui d'un réseau GSM public. Le numéro MSISDN est le numéro d'appel de l'utilisateur dans le réseau GSM-R, il se compose du code de pays (3 chiffres au Maroc), de l'indicatif national (2 chiffres), et du numéro d'abonné (6 chiffres).

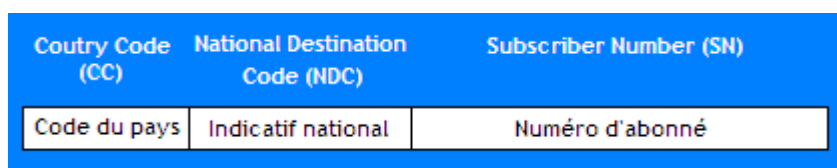


Schéma représentant le numéro MSISDN

Plan de numérotation du numéro fonctionnel

Dans le cas du numéro fonctionnel, l'appel est adressé à la fonction assurée par l'interlocuteur désiré et non pas au moyen d'un numéro identifiant le terminal de l'utilisateur.

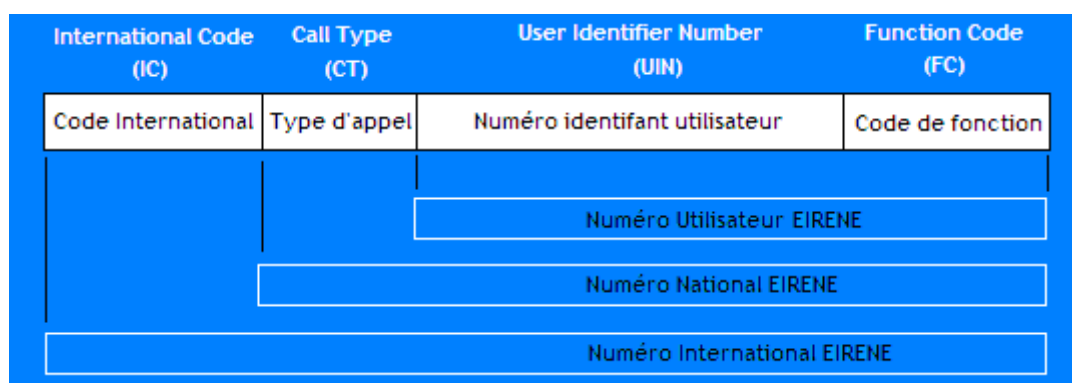


Schéma représentant le numéro EIRENE International (IEN)

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