

**Mémoire de Projet de fin d'étude**

**Préparé par**

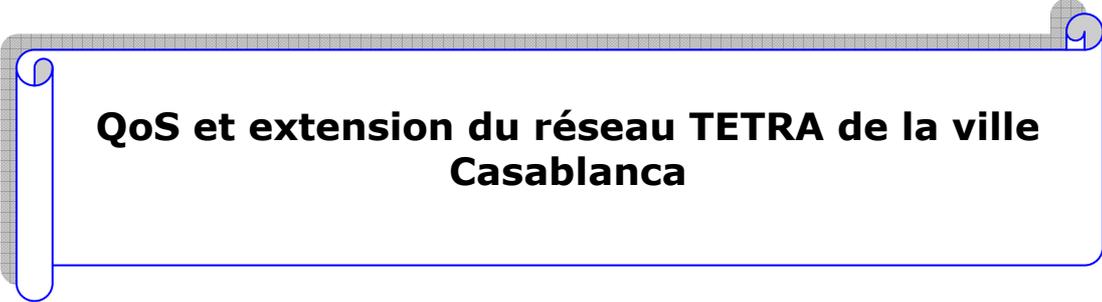
**MEHDAOUI Khadija**

**Pour l'obtention du diplôme**

**Ingénieur d'Etat en**

**SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS**

**Intitulé**



**QoS et extension du réseau TETRA de la ville  
Casablanca**

**Encadré par :**

**Pr M. RAZI (FSTF)**

**Mme D. SALMANE (Moratel)**

**Soutenu le 24 Juin 2014, devant le jury composé de :**

**Pr M. RAZI : Encadrant**

**Pr F. ABDI : Examineur**

**Pr H. GHENNIQUI : Examineur**

## *Dédicaces*

*À tous les membres de ma famille, qui m'ont soutenu tout le long de mes études et qui m'ont poussé jusqu'au bout.*

*À tous mes proches et mes amies pour leur encouragement et leur soutien.*

*À tous ceux qui le sont chers.*

*MEHDAOUI Khadija*

## *Remerciement*

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet.

J'exprime mes remerciements à Madame **SALMANE Doha** dans le département Qualité Pour sa disponibilité et son soutien.

Mes remerciements s'adressent, également, à tout le personnel de MORATEL et particulièrement à Mr **N.MANNANE**, Mr **M.NBERI** et Mr **A.ARRACHE** pour leurs soutiens moral et technique en mettant à ma disposition leurs temps et leurs savoirs faire.

Je tiens également à adresser mes remerciements et ma gratitude à Monsieur **M .RAZI**, mon encadrant et maitre-assistant à la FST de Fès pour le temps consacré à la lecture et aux réunions qui ont rythmées les différentes étapes de mon projet. Je le remercie aussi pour sa disponibilité, sa coordination, pour l'apport qu'il a donné à ce projet par ses importantes contributions.

Je suis particulièrement reconnaissante à toute l'équipe pédagogique de la faculté des sciences et techniques de Fès et les intervenants professionnels responsables de la filière systèmes électroniques et télécommunications pour nous avoir assuré une bonne formation.

Mes vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils font en acceptant de juger ce travail.

# Résumé

La technologie TETRA (Terrestrial Trunked RAdio), le célèbre standard européen de radiocommunication numérique à ressources partagées permet de fournir un service professionnel de voix et de données en faveur d'une large classe d'utilisateurs (police, transport, dans les usines industriels,...etc.). Elle se différencie des systèmes publics de téléphonie mobiles tels que le GSM ou l'UMTS surtout par la rapidité d'établissement de la communication, les appels de groupe, les appels prioritaires et la possibilité de relier deux stations mobiles sans passer par une station de base.

L'outil de simulation « ATOLL », nous a permis de mener à bien cette phase qui a consisté à l'extension du réseau TETRA de la ville grand Casablanca, afin d'améliorer la qualité de service dans la ville.

Une phase préliminaire d'étude de la qualité de service permet de définir les trous de couverture réseaux. Dans cette partie nous avons réalisé une application qui facilite le calcul et l'analyse des paramètres KPIs entrants dans l'évaluation de la qualité de service.

Le bilan de liaison TETRA d'une autre part consiste à calculer les seuils de prédiction utilisés par l'outil de simulation afin de réaliser des plots de niveaux de champs.

Nous avons proposé un plan de fréquence pour la ville Casablanca en intégrant les nouveaux sites dans ce plan , et cela en utilisant judicieusement les couples de fréquences assignés par l'ANRT et une simulation d'interférences pour pouvoir examiner l'impact des interférences Co-canal de l'architecture cellulaire adoptée durant la phase de planification.

---

# Abstract

The famous European standard digital trunked TETRA (Terrestrial Trunked Radio) technology helps a professional provide service for voice and data for a wide class of users (police, transport in industrial plants, ... etc.). It differs from public mobile telephony systems such as GSM or UMTS primarily by the rapid establishment of communication, group calls, priority calls and the ability to connect two mobile stations without going through a station base.

The simulation tool "ATOLL" has enabled us to complete this stage that consists to extend the TETRA network to Casablanca and to improve the quality of service in the city.

A preliminary study phase of the quality of service that specifies the network coverage holes. This part was made an application that facilitates the analysis and calculates parameters in incoming KPIs evaluating quality of service.

The link budget of TETRA connection is used to calculate the prediction thresholds used by the simulation tool in order to achieve pads of fields levels.

We proposed a frequency plan for Casablanca integrating new sites in this plan, and the judicious use of frequency pairs assigned by the ANRT and simulation of interference in order to examine the impact of Co channel interference of the cellular architecture adopted during the planning phase.

## Liste des figures

Figure 1:L'organigramme de Moratel.....	4
Figure 2: Couverture de Moratel.....	5
Figure 3: Les partenaires de Moratel.....	8

Figure 4:Les clients potentiels de Moratel .....	8
Figure 5: Diagramme de GANTT .....	10
Figure 6: Réseaux sans site fixe .....	13
Figure 7:Réseaux mono-site.....	13
Figure 8: Réseaux à couverture multi-site.....	14
Figure 9:Exemple des organisations utilisatrices .....	14
Figure 10:Communication au sein d'une même organisation .....	15
Figure 11: Architecture de réseau TETRA .....	17
Figure 12: les différentes liaisons de DXT.....	19
Figure 13: TBS sans extension.....	20
Figure 14: TBS avec extension .....	20
Figure 15: liaison entre le BTS et le Répéteur .....	22
Figure 16: Quelques sources de dégradation d'un signal .....	30
Figure 17: Equilibrage des liaisons montantes et descendantes.....	32
Figure 18: exemple de motif de réutilisation de fréquences .....	34
Figure 19: Interférence des canaux adjacents .....	34
Figure 20: Une fréquence f1 est utilisée par des BSs très proche.....	35
Figure 21: Interférence Co-canal.....	35
Figure 22: le processus du calcul manuel des KPIs .....	39
Figure 23: Le processus de calcul automatique des KPIs .....	40
<b>Figure 24: Requête d'indicateur Taux d'échec de groupe call Handover.....</b>	<b>42</b>
<b>Figure 25:L'état d'évolution du taux d'échec de groupe call Handover .....</b>	<b>43</b>
Figure 26: Chaîne de mesure Drive Test.....	44
Figure 27: Résultats du drive test de Casablanca.....	44
Figure 28: Carte de trafic de la zone à planifier .....	46
Figure 29: les significations des couleurs de la zone à planifier.....	46
Figure 30: Composition de la zone à planifier .....	47
Figure 31: Fenêtre de mise en place des sites existants .....	47
Figure 32: Diagrammes de rayonnement de l'antenne [(a) : vertical, (b) : horizontal] .....	48
Figure 33: Résultat de Simulation Atoll.....	52
Figure 34: Résultat de simulation après l'ajout des nouveaux sites.....	53
Figure 36: TBS de MOHAMMEDIA .....	60
Figure 37: Exemple de rapport radio network .....	62

Figure 38: Exemple de rapport Individuel call.....	63
Figure 39: Exemple de rapport Group call.....	63
Figure 40: Exemple de rapport Group management .....	64
Figure 41: Exemple de rapport Handover .....	65
Figure 42: Exemple de rapport packet data.....	66
Figure 43: Exemple de rapport status and sds messages.....	67
Figure 44: Exemple de rapport mobility management.....	67
Figure 45: Exemple de rapport isdn ressource management.....	68
Figure 46: Modélisation conceptuelle de la base de données .....	73
Figure 47: Structure de la base de données MySQL.....	74
Figure 48: Interface d'accueil de l'outil .....	75
Figure 49: Fenêtre de données .....	76
Figure 50: Traffic channel usage graph.....	76
Figure 51: Traffic Channel usage.....	77
Figure 52: Résultat du test indoor dans le 1ère sous sol .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 53: Résultat du test indoor dans le 2ème sous sol.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 54: Résultat du test indoor dans le Rez-de-chaussée .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 55: Résultat du test indoor dans le 1ème étage.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 56: Résultat du test indoor dans le 2ème étage.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 57: Coordonnées de la zone à planifier.....	79
Figure 58: paramètres des sites de Casablanca (transmetteur, antenne et longueur de pylône) ...	81
Figure 59: paramètres des sites de Casablanca (type de cellule, la bande de fréquence, la PIRE et le model de propagation).....	81
Figure 60: Résultat de simulation d'étude d'interférence entre le site 12 et Ain Sbaa .....	83
Figure 61: Résultat de simulation d'étude d'interférence entre le site 10 et Maarif.....	83

## Liste des tableaux

Tableau 1: Principaux indicateurs de qualité de service .....	25
Tableau 2: Les niveaux de champ .....	26
Tableau 3: Correspondance entre RxQual et BER.....	26
Tableau 4: Exemple de convention de RxQual .....	27
Tableau 5: Les seuils des KPIs.....	28

Tableau 6:Les différents rapports de statistique réseau .....	39
Tableau 7: Bilan de liaison dans le cas portatif.....	49
Tableau 8: L'affaiblissement le plus contraignant pour le bilan de liaison .....	49
Tableau 9: Bilan de liaison dans le cas des stations mobiles .....	50
Tableau 10:Seuils utilisés pour la simulation de couverture.....	51
Tableau 11: Plan de fréquences pour la ville de Casablanca .....	54

## Liste des Acronymes

<b>ANRT</b>	Agence Nationale de réglementation des télécommunications
<b>BER</b>	Bit ErrorRatio
<b>BS</b>	Base Station
<b>BTS</b>	Base Transmitter Station
<b>CDMA</b>	Code Division Access Multiple

---

<b>DMO</b>	DirectModeOperatio
<b>DRMC</b>	Multi-coupleurs double réception
<b>DWS</b>	Dispatcher Workstation
<b>DWS</b>	Dispatcher Workstation
<b>DWSi</b>	Dispatcher Workstation (Consoledetravail
<b>DWSr</b>	Radio Data Dispatcher Workstation d'EADS
<b>DWSx</b>	DWSx Dispatcher Workstation d'EADS
<b>DXT</b>	Digital Exchange for TETRA
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates For GSM Evolution
<b>EPCO</b>	E1/ISDN Protocol converter
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>FXC</b>	FlexibleCrossConnect
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSM</b>	Global System for Mobil
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access
<b>ICC</b>	Les interférences Co-canal
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network
<b>KPI</b>	Key Performance Indicateur
<b>LAN</b>	Switching and Management Infrastructure
<b>MMI</b>	Man Machine Interface
<b>MMI</b>	Man Machine Interface
<b>MML</b>	Man Machine Language
<b>MS</b>	Mobile station
<b>PABX</b>	Private Automatic Branch Exchange
<b>PI</b>	Portatif incar
<b>PIRE</b>	Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente
<b>PMR</b>	Private Mobile Radio
<b>PO</b>	portatif outdoor
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network
<b>PTT</b>	Pushto talk
<b>QoS</b>	Quality of service
<b>RF</b>	RadioFrequency
<b>RSSI</b>	Receiving signal strength indicator
<b>RTC</b>	Real Time Clock
<b>RXLEVEL</b>	Receiver level
<b>RXQual</b>	Receiver Quality

---

<b>SDS</b>	Short Data Service
<b>SwMI</b>	Switching and Management Infrastructure
<b>TBBM</b>	TETRA Base Band Module(part of the TTRX)
<b>TBC</b>	TETRA Base Station Controller
<b>TBS</b>	TETRA base station
<b>TCH</b>	Traffic Channel
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>TETRA</b>	Terrestrial Trunked Radio
<b>THR</b>	TETRA Handportable Radio
<b>TMO</b>	Trunked Mode Operation
<b>TMR</b>	TETRA Mobile Radio
<b>TTRX</b>	TETRA Transceiver
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunication System
<b>VPN</b>	Virtual Private Network
<b>WAN</b>	Wireless Application Protocol.
<b>WAP</b>	Wireless Application Protocol.
<b>WBC</b>	Wide Band Combiner
<b>WIMAX</b>	World Wide Interoperability For Microwave Access

## SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
<a href="#">Chapitre 1:Contexte du projet</a> .....	2
Introduction .....	2
I.    Présentation de la société d'accueil.....	3
1.    Historique.....	3
2.    L'organigramme de la société.....	4
3.    Technologie.....	4
4.    Couverture.....	5
5.    Produits et services .....	5

---

6. Partenaires .....	8
7. Les clients potentiels .....	8
II. Présentation du projet .....	8
III. Déroulement de stage .....	9
Conclusion.....	10
<a href="#">Chapitre 2: Système de Radiocommunication Professionnelle Privé PMR et Architecture du Réseau TETRA</a> .....	11
Introduction .....	11
I. Système de Radiocommunication Professionnelle Privé PMR.....	12
1. Définition des systèmes PMR .....	12
2. Classification des systèmes PMR .....	12
a) Réseaux sans site fixe.....	12
b) Réseaux mono-site .....	13
c) Réseaux multi-sites .....	13
3. Organisation des utilisateurs et des organismes sous le système PMR .....	14
4. Caractéristiques des systèmes PMR.....	15
II. Définition et architecture des réseaux TETRA .....	16
1. Définition de réseaux TETRA .....	16
2. Description de réseaux TETRA .....	16
a) L'unité de gestion : Commutateur numérique pour TETRA (DXT) .....	18
b) Les stations de base TBS.....	19
c) Le dispatcher .....	21
d) Les répéteurs TETRA.....	22
Conclusion.....	22
<a href="#">Chapitre 3: QoS et Propagation en contexte radio mobile</a> .....	23
Introduction .....	24
I. Notion et critères d'évaluation de la QOS des réseaux TETRA .....	24

---

---

1.	Définition et intérêt de la qualité de service .....	24
2.	Critères d'évaluation de la qualité de service (QoS) .....	24
3.	Indicateurs qualité du réseau TETRA.....	25
4.	Les indicateurs clés de performances (KPI) .....	27
II.	Propagation en contexte radio-mobile.....	28
1.	Propagation dans l'environnement radio .....	28
a)	Atténuation de parcours (path loss).....	29
b)	Effets de masques (shadowing).....	29
c)	Evanouissements (Fading) .....	29
d)	Propagation en intérieur .....	29
2.	Les modèles de propagation pour ingénierie radio mobile .....	30
a.	Le modèle Okumura-Hata.....	30
b.	Modèle de COST 231-Hata.....	31
3.	Bilan de liaison .....	32
4.	Allocation des fréquences .....	34
5.	Etude des interférences .....	34
a)	Interférence sur canal adjacent.....	34
b)	Interférence Co-canal .....	35
	Conclusion.....	35
	<a href="#">Chapitre 4:QoS et Extension du réseau TETRA de Moratel de la ville grand Casablanca</a> .....	37
	Introduction .....	37
I.	Etude de la qualité de service de la ville grand Casablanca.....	37
1.	Statistique réseau .....	38
a)	Les outils de développement.....	40
b)	Structure de la base de données.....	41
c)	Réalisation.....	41

---

---

d) Exemple de manipulation des données .....	41
e) Analyse des indicateurs clés de performances(KPI) .....	42
2. Drive test et analyse des résultats .....	43
II. Extension du réseau TETRA de Moratel de la ville grand Casablanca .....	45
1. Présentation des outils.....	45
2. Conception et simulation du réseau TETRA .....	45
Conclusion.....	55
Conclusion et perspectives .....	55
Bibliographie .....	56
Annexes.....	58

---

## *INTRODUCTION GENERALE*

Il est important de noter que les télécommunications représentent la révolution la plus innovante qui a marqué la vie de l'humanité moderne durant ce dernier siècle. En effet, cette avancée technologique a absolument changé la vie de l'homme grâce aux différents services mise en œuvre en faveur de l'utilisateur.

Parmi les différentes technologies, on trouve les radiocommunications professionnelles à la norme TETRA. Cette technologie est caractérisée par des systèmes radio voix et données destinés aux équipes de sécurité et intervention (police, pompiers, ambulances), au personnel d'usines, ou à tout autre groupe privé d'utilisateurs.

La tendance à répondre aux besoins du client pousse les opérateurs à améliorer la qualité de service offerte .Il s'avère donc que la qualité de service, dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, constitue une source fondamentale de différenciation, aussi déterminante que le prix du service fourni ou l'étendue de la couverture. D'où, le besoin de suivre de près les dégradations ou les améliorations du réseau, ainsi l'identification des nœuds signalant des problèmes à travers des différentes méthodes : Les réclamations clients, statistiques réseau, Mesures manuelles et Automatiques (les Drive Test). Il faut aussi trouver la solution optimale pour améliorer la qualité de service dans les nœuds présentant des problèmes.

Le présent rapport, préparé dans le cadre du Projet de Fin d'études au sein de la société Moratel a pour objectif l'étude de la qualité de service et l'extension du réseau TETRA pour améliorer la couverture de la ville grand Casablanca.

Ce mémoire sera divisé en quatre chapitres : le premier dédié à la présentation de la société d'accueil Moratel.

Le second chapitre donnera un aperçu global sur le concept du système de radiocommunication professionnelle privé PMR et la norme TETRA.

Le troisième chapitre visera la définition des paramètres d'évaluation de la qualité de service et la planification radio.

Finalement, le dernier chapitre présentera d'une façon détaillée l'étude de la qualité de service de Casablanca, l'application réalisée pour automatiser le calcul des KPIs et les démarches de mise en place de la planification à l'aide du fameux logiciel de planification ATOLL.



**Chapitre**

**1**

## *Contexte du projet*

### **Introduction**

Dans cette partie nous présenterons l'organisme d'accueil Moratel, on donnera une description du projet et les différentes étapes de son déroulement.

## I. Présentation de la société d'accueil



### 1. Historique

Moratel est un opérateur de télécommunication en activité depuis 2004, opérant sous licence de l'Agence Nationale de réglementation des télécommunications concédée en 2003.

Moratel se donne comme mission d'aider les entreprises à augmenter leur efficacité tout en optimisant le coût y afférant [1].

- Garantie une communication entre et intra équipes pour une meilleure collaboration ;
- Une offre simple à utiliser et facile à gérer.

#### ➤ MORATEL en chiffre.

- Un capital de 11 Millions MAD ;
- Un chiffre d'affaire de 14 Millions MAD (2008) ;
- 25 stations de base ;
- Une capacité actuelle de 20000 clients ;
- Une couverture sur 6 grandes villes au Maroc.

## 2. L'organigramme de la société

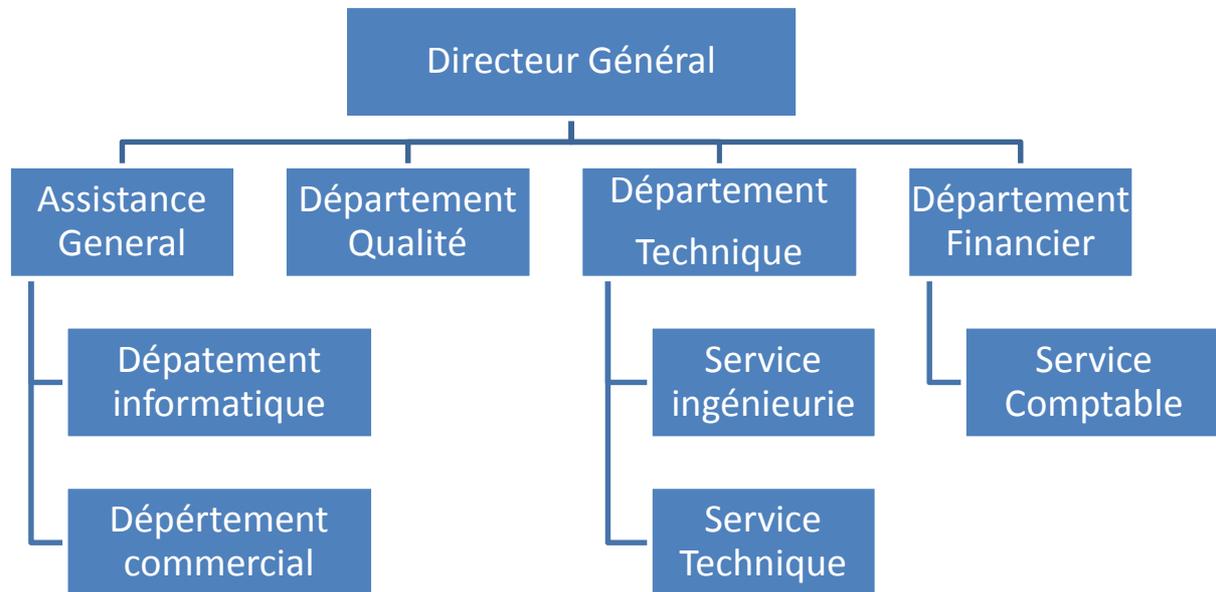


Figure 1:L'organigramme de Moratel

## 3. Technologie

Réussir les communications professionnelles à base de la technologie radio numérique avancée.

Face aux exigences des professionnels, Moratel a sélectionné le meilleur de la technologie en mettant en place un réseau national basé sur une technologie numérique standardisée et hautement performante.

Les services de radiocommunication mobile professionnelle de Moratel apportent une réponse adaptée aux différents secteurs d'activités et offrent des avantages concrets pour les professionnels :

- Communication radio de grande qualité ;
- Haut niveaux de sécurité et de disponibilité ;
- Communication de groupes instantanée ;
- Terminaux utilisateurs adaptés aux opérations terrain.

Le réseau de Moratel permet une utilisation optimisée des ressources de fréquences qui sont devenues à la fois rares et onéreuses.

Le système de Moratel remplace donc les systèmes conventionnels, analogiques et propriétaires qui ne correspondent plus aux besoins actuels de la communication radio professionnelle. Cette solution a été pensée pour les besoins de communication radio des organismes opérant aussi dans les services publics, les services de sécurité que dans les différentes opérations industrielles, assurant les fonctionnalités les mieux adaptées à leurs besoins [1].

La solution de Moratel bénéficie non seulement des fonctionnalités avancées de la radiocommunication numérique mais aussi d'un partenariat privilégié avec des leaders mondiaux de l'industrie ce qui lui permet de disposer d'infrastructures réseau à la hauteur des exigences de fiabilité, sécurité et professionnalisme [1].

#### 4. Couverture

Moratel a entrepris un plan ambitieux d'investissement en infrastructure pour la construction et l'extension de son réseau pour répondre à la forte demande des organismes publics et privés dans le royaume.

Aujourd'hui, le périmètre de couverture du réseau de Moratel s'étend à Casablanca, Mohammedia, Rabat, Salé, Fès, Oujda, Jorf Lasfar, Marrakech, Tanger et Agadir.



Figure 2: Couverture de Moratel

#### 5. Produits et services

Les atouts toujours inégalés des solutions Moratel en font l'outil indispensable des équipes assurant des missions d'interventions urgentes ou nécessitant une parfaite coordination (maintenance, régulation de trafic, secours, gestion de flotte, logistique, etc.) [1].

Grace à sa technologie numérique, Moratel offre aujourd'hui des solutions flexibles, économiques et très performantes pour les utilisateurs à la recherche d'un moyen simple et efficace de communiquer en temps réel avec des équipes multidisciplinaires ou une flotte de véhicules.

Les services de Moratel s'articulent autour de plusieurs fonctionnalités :

➤ **Réseau privé virtuel : votre propre réseau sécurise**

La solution de Moratel permet de partager le réseau en utilisant l'infrastructure de l'opérateur tout en assurant à chaque organisme son réseau privé. Ceci est rendu possible grâce au concept du réseau privé virtuel VPN en créant un ensemble de réseaux virtuels sur un même réseau physique et assurant ainsi une étanchéité entre les différents organismes utilisateurs et un haut niveau de sécurité.

➤ **Solutions Moratel : communication de groupe**

Les radiocommunications Moratel se déroulent entre membres de groupes de communication prédéfinis. La communication de groupe est possible via une interface Push To Talk très intuitive. La création de groupes s'effectue de manière dynamique et permet d'ajouter des membres aux groupes en toute flexibilité.

➤ **Solutions Moratel : communication individuelle**

Vos équipes auront au-delà, delà communication de groupe de base, la possibilité d'effectuer des conversations individuelles avec leurs correspondants de la flotte d'une manière similaire à la communication téléphonique normale.

➤ **Solutions Moratel : communication intra et inter organisations**

Vous pouvez définir des groupes de communication mixtes avec d'autres services ou d'autres structures partenaires. Parallèlement, chaque utilisateur peut, dans le cadre de ses tâches, faire partie de différents groupes de communication au sein de sa propre organisation.

➤ **Solution Moratel : communication téléphonique**

Vos utilisateurs peuvent bénéficier d'une parfaite intégration avec le réseau téléphonique de votre entreprise et pourront ainsi joindre des correspondants aussi bien en interne qu'en externe.

➤ **Service Data : transmission de données pour des communications encore plus riches**

En plus des services de communications vocales, la solution Moratel fournit un ensemble de possibilités de communication de données :

- Possibilité d'échanger des messages textuels SDS ;
- Transmission des données par paquets IP ;
- Transmission des photos et d'autres informations graphiques du terrain (plans, cartes, etc.) ;
- Support du WAP professionnel.

➤ **Service de dispatching : gestion de flotte pour piloter efficacement les opérations des équipes**

Dans les réseaux de radiocommunication mobile professionnelle(PMR), le dispatching est une fonction fondamentale. Il s'agit d'un poste de commande doté d'une station de travail qui aide d'une façon graphique à contrôler et piloter les activités de communication entre les membres de la flotte.

La solution Moratel est dotée d'une station de dispatching supportant les fonctions nécessaires au contrôle et pilotage des communications radio ainsi que toutes les fonctions administratives de création des groupes et des utilisateurs.

La solution de Moratel prévoit également des services de localisation pour un meilleur déploiement, mobilité et coordination entre les équipes sur le terrain

➤ **Gammes de terminaux**

Moratel propose une gamme de terminaux qui s'adapte aux différents besoins de déploiement de la flotte des clients. Les terminaux sont proposés dans trois catégories :

- Terminaux Radio mobiles à la fois robustes et ergonomiques ;
- Terminaux Radio Fixes pour équiper les différents sites et stations de contrôle ;
- Solutions embarquées sur véhicules et engins, pour résoudre des problématiques métiers très spécifiques.

## 6. Partenaires

La figure suivante présente les partenaires de Moratel.



Figure 3: Les partenaires de Moratel

## 7. Les clients potentiels

Moratel est le fournisseur exclusif en métier des réseaux télécoms dans des PME marocaines.



Figure 4: Les clients potentiels de Moratel

## II. Présentation du projet

Dans le cadre d'un projet d'étude de la qualité de service du réseau TETRA de la ville Casablanca, vu les problèmes du réseau rencontré. Moratel a pensé d'ajouter des stations de base du réseau de communication mobile TETRA dans cette ville.

C'est dans ce contexte s'inscrit mon projet de fin d'étude, qui a pour but de faire une étude sur la qualité de service et la planification du réseau TETRA de Casablanca, afin de projeter cette étude sur un cas réel à l'aide de L'outil de planification ATOLL.

### **III. Déroulement de stage**

En vue de rendre compte de manière analytique cette période passée au sein de la société Moratel, il apparaît logique de présenter les différentes étapes par lesquelles le travail doit passer :

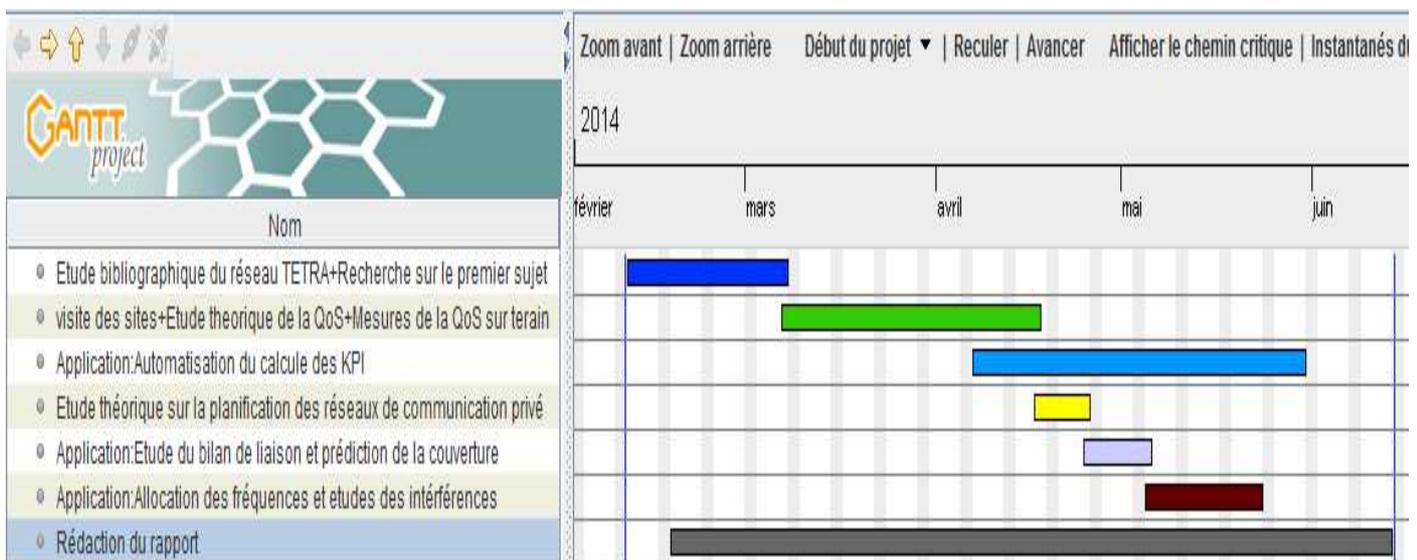
Premièrement, vu que le projet exige des connaissances de base sur les réseaux mobiles privé PMR et plus précisément les réseaux TETRA, une première étape de documentation et les visites des sites est nécessaire pour mieux formuler une base d'étude et d'analyse importante.

L'étape qui suit exige une étude détaillée sur la qualité de service de Casablanca (faire des sortie de Drive test, analyse des statistiques réseaux) et réalisation de l'application d'automatisation de calcul des KPIs en utilisant les logiciels Access et MySQL.

La troisième étape consiste à cerner les données nécessaires au processus de planification.

La dernière étape décrira l'application réalisée ayant comme objectif, la couverture de la ville Casablanca avec le logiciel de planification ATOLL.

La figure suivante présente le diagramme de GANTT de notre projet de fin d'étude :



**Figure 5: Diagramme de GANTT**

## Conclusion

Cette partie ayant comme objectif de décrire le positionnement du projet, son intérêt et le traitement des étapes de son déroulement. Dans le chapitre suivant nous essayerons d'aborder les aspects théoriques de système de radiocommunication privé PMR et l'architecture de la norme TETRA.

A graphic consisting of a black rounded rectangle at the top containing the word "Chapitre" in white, and a white rounded rectangle below it containing a large black number "2".

**Chapitre**

**2**

*Systeme de Radiocommunication Professionnelle Privé*  
*PMR et Architecture du Réseau TETRA*

**Introduction**

Ce chapitre présente une vue générale sur le système de radiocommunication professionnelle Privé et l'architecture de la norme TETRA.

## **I. Système de Radiocommunication Professionnelle Privé PMR**

### **1. Définition des systèmes PMR**

Le terme Private Mobile Radiocommunications (PMR) signifie « réseau mobile privé de radiocommunication ». C'est un système de communication mobile par ondes radio utilisé sur une courte ou moyenne distance, et dont le talkie-walkie, inventé en 1943 par Motorola. Il est notamment utilisé dans des milieux professionnels par des services de sécurité (armées, polices, pompiers), les entreprises de bâtiments, travaux publics, et l'industrie.

Le principe sur lequel est basé le PMR consiste à allouer une seule fréquence pour un ensemble d'utilisateurs. Généralement les systèmes PMR étaient analogiques jusqu'à l'apparition des nouvelles normes comme TETRA et ACP025 au cours de ces dernières années [2].

### **2. Classification des systèmes PMR**

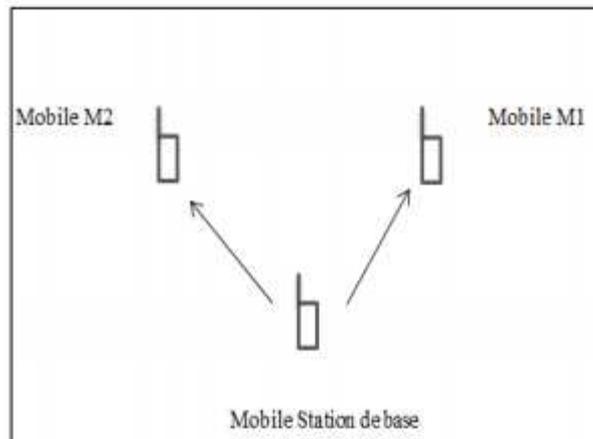
La couverture d'un réseau de radiocommunication professionnelle PMR est réalisée en fonction des besoins de l'entreprise. Les réseaux professionnels utilisent souvent plusieurs sites afin de couvrir une région ou un pays, comme ils peuvent utiliser un site unique notamment dans les zones résiduelles.

La surface couverte et la taille du réseau d'un système PMR varie en fonction de l'usage auquel il est destiné. On peut définir trois classes de PMR : réseaux sans sites fixes, réseaux mono-site et réseaux multi-site [2].

#### **a) Réseaux sans site fixe**

Ce sont les systèmes les plus simples, les mobiles communiquent entre eux directement sans un relai, ou par l'intermédiaire d'un mobile qui joue le rôle de la station de base.

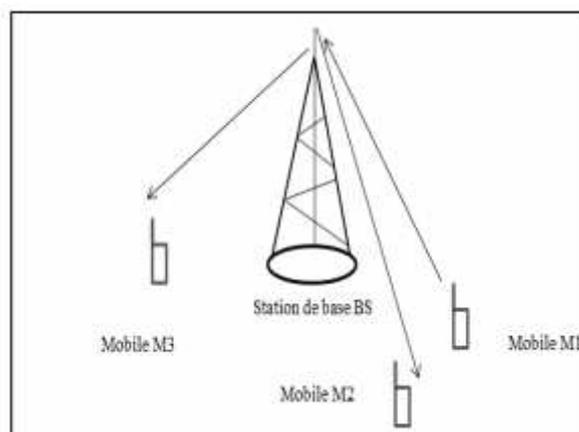
La figure suivante montre l'architecture des communications courtes portées.



**Figure 6: Réseaux sans site fixe**

### b) Réseaux mono-site

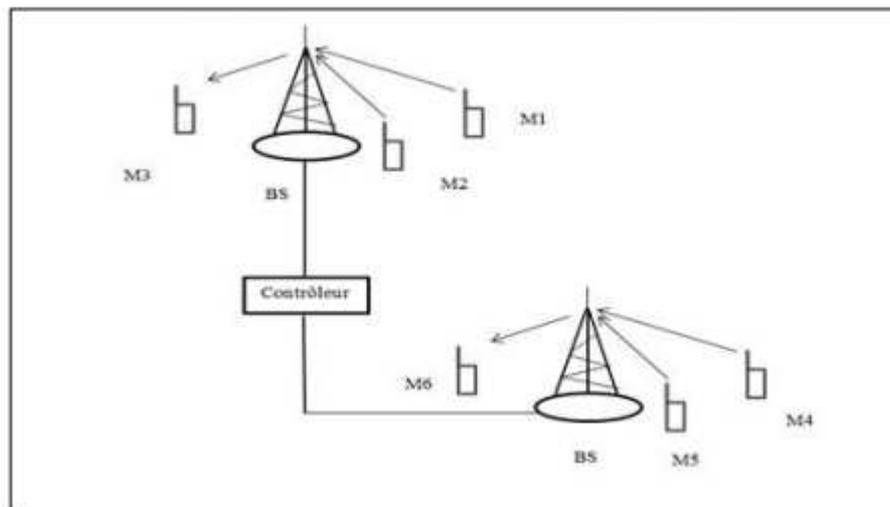
Dans ce type de réseaux, la zone de couverture peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres à l'aide d'un relai. Ce type de configuration convient aux entreprises à zone d'intervention limitée : aéroport, sites industriels, plate-forme pétrolière, centrales électriques.



**Figure 7: Réseaux mono-site**

### c) Réseaux multi-sites

Il se peut que les utilisateurs interviennent sur des zones plus étendues (autoroutes) où l'utilisation de plusieurs sites est nécessaire. Les relais sont reliés entre eux soit par faisceaux hertziens, soit par fibre optique afin de permettre les communications entre zones différentes.

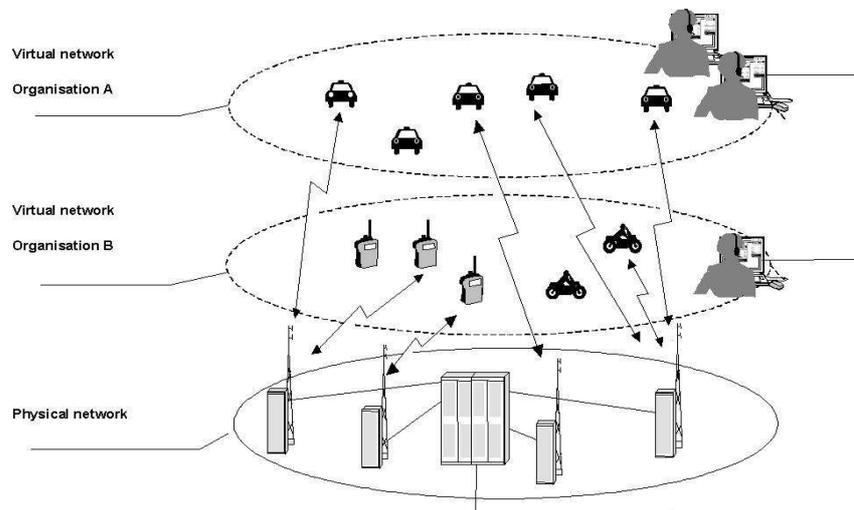


**Figure 8: Réseaux à couverture multi-site**

### 3. Organisation des utilisateurs et des organismes sous le système PMR

Afin de structurer les échanges entre les utilisateurs, les systèmes PMR se basent sur une hiérarchie reprenant souvent la structure de l'organisme utilisateur ce qui est très différent aux systèmes de communication cellulaires où les usagers sont considérés par le système de façon individuelle.

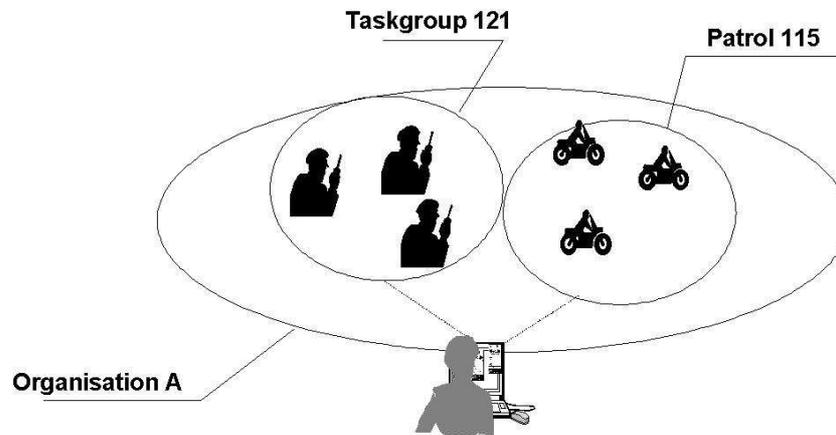
La figure 9 montre une structure type de plusieurs organisations, tout en ayant la possibilité d'être groupées pour des incidents spécifiques.



**Figure 9: Exemple des organisations utilisatrices**

Chaque organisation peut grouper ses abonnés et opérateurs (dispatchers) selon ses besoins. Dans la pratique, chaque organisation peut avoir de nombreux groupes avec plusieurs dispatchers et des centaines

d'utilisateurs radio. La figure suivante montre une organisation qui consiste en deux groupes. Le dispatcher est membre des deux groupes.



**Figure 10: Communication au sein d'une même organisation**

Un groupe doit être prédéfini dans le système et le terminal radio avant de pouvoir être utilisé pour communiquer.

Les attributs de base d'un groupe sont les suivants:

- Une adresse ;
- Un nom de groupe ;
- Des membres (abonnés radio, postes de travail dispatcher);
- Une zone de couverture (permet de définir la zone où le groupe peut fonctionner).

Les communications à l'intérieur des groupes peuvent être :

- des communications de groupe ;
- des communications individuelles ;
- des demandes de rappel.

#### **4. Caractéristiques des systèmes PMR**

Historiquement, les services de sécurité furent les premiers intéressés par les communications privés ; le système permet en effet à leurs agents de rester sur terrain en contact permanent avec un centre opérationnel.

On peut citer plusieurs caractéristiques des systèmes PMR qui sont :

##### **➤ Communication à l'alternat**

Dans les systèmes PMR les communications ont essentiellement lieu à l'alternat, à un instant donné un seul utilisateur de groupe peut parler sur le canal alloué à son groupe. Cette discipline impose aux utilisateurs d'adopter des règles de communication très stricte. C'est pour cela la durée de communication est limitée seulement à l'échange d'informations opérationnelles. Elle permet donc d'éviter les conversations inutiles et longues et réduire les échanges au strict nécessaire. De ce fait, comparé aux systèmes cellulaires, le système de radiocommunication professionnelle PMR constitue un système très efficace en termes d'utilisation de spectre.

#### ➤ Temps d'établissement court

Les systèmes PMR était à l'origine utilisé par les organismes de sécurité et d'urgence qui devaient entrer très rapidement en communication. Cette rapidité est importante pour les entreprises dont les agents opèrent sur terrain.

Les temps d'établissement sont généralement de l'ordre de la fraction de seconde ou de la seconde et les numéros d'appel sont courts permettent de leur côté de réduire la procédure de la numérotation.

#### ➤ Sécurité des postes

Les terminaux radio utilisés au niveau des systèmes PMR doivent répondre à des normes de sécurité renforcées. Pouvant être utilisés dans des environnements particuliers (industrie, utilisation des gaz) et dans des conditions spéciales (de température et de pression). A cet égard les systèmes PMR doivent répondre à des caractéristiques bien adaptées.

## II. Définition et architecture des réseaux TETRA

### 1. Définition de réseaux TETRA

Les radiocommunications professionnelles à la norme TETRA (Terrestrial Trunked Radio), standard européen finalisé en 1995 par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute), ont été déployées dans une soixantaine de pays. Ces systèmes radio voix et données, à ressources partagées, sont destinés aux équipes de sécurité (police, pompiers, ambulances), au personnel d'usines, ou à tout autre groupe fermé d'utilisateurs.

Ils se différencient des systèmes publics de téléphonie mobile, tels que le GSM ou l'UMTS, par la rapidité d'établissement des communications, la possibilité, d'une part, de chiffrement de bout en bout et, d'autre part, d'appels prioritaires, appels d'urgence et de groupe en plus de fonctionnement en mode direct.

TETRA offre un service de transfert de données à avaler l'utilisation combinée de la voix et des données.

Un réseau de type TETRA offre un canal radio partagé ouvert en permanence, et réservé à un groupe d'utilisateurs. Chaque utilisateur peut pousser sur un bouton de son appareil pour parler, et tous les autres utilisateurs entendront sa voix. Ceci permet d'établir une communication immédiate entre un utilisateur sur le terrain et un dispatcher, ou un groupe d'utilisateurs. Les appels de groupe sont essentiels lorsque les instructions d'un officier ou d'un dispatcher doivent être entendues immédiatement par un groupe d'utilisateurs.

### 2. Description de réseaux TETRA

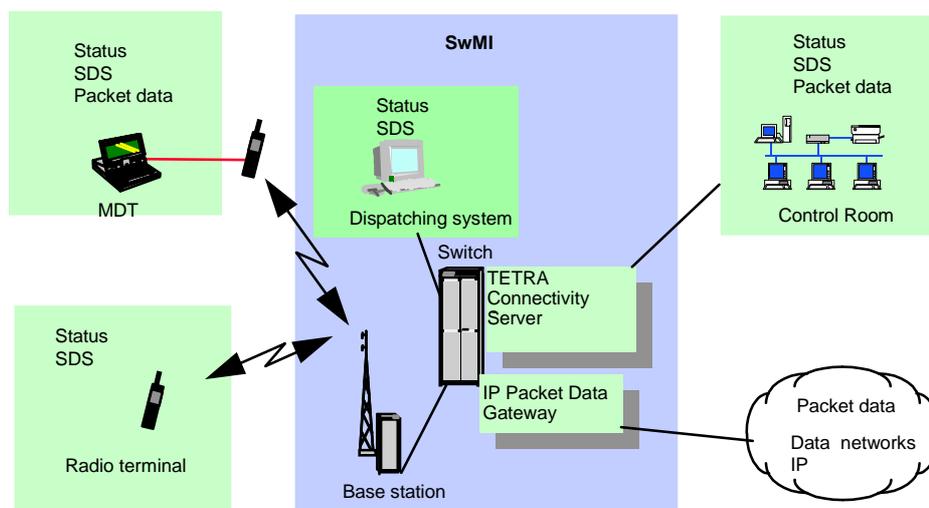
Les équipements radio portatifs TETRA peuvent fonctionner comme téléphone portable, avec un raccordement direct au réseau téléphonique (RTC). L'utilisation normale pour un groupe d'appel est d'appuyer une fois sur le bouton PTT (Push to Talk). L'utilisateur sera relié au dispatcher et à tous les autres utilisateurs dans ce groupe. Le terminal radio peut aussi fonctionner comme un Talkie Walkie entre deux personnes, mais sans la limitation de portée puisque l'appel circule toujours via le réseau. Le bouton de secours se trouvant sur le terminal radio permet à l'utilisateur de transmettre des signaux de secours prioritaires au dispatcher, en interrompant si nécessaire toute autre activité radio en cours.

TETRA opère à l'intérieur de la bande de fréquences des 380-400 MHz. Comme le GSM, le réseau TETRA exploite les transmissions TDMA (Time Division Multiple Access). Il utilise jusqu'à quatre canaux temporels par porteuse, chacune étant séparée des autres par 25 ou 150kHz.

Les stations mobiles TETRA (MS) peuvent communiquer en mode direct ou employer. L'infrastructure du réseau (commutation et infrastructure de gestion ou SwMI) faite de stations de base TETRA (TBS). Cela permet des communications directes dans les situations où la couverture radio du réseau a été perdue. Ce mode direct (DMO) inclut également la possibilité d'employer un terminal (ou une chaîne de terminaux) TETRA comme relais pour un signal. Cette fonctionnalité s'appelle passerelle DMO (de DMO à TMO) ou répéteur DMO (DMO à DMO). Dans des opérations de secours, ce dispositif a pu permettre des communications directes en sous-sol ou dans des secteurs avec une mauvaise couverture radio [4].

En plus des services voix et gestion des services, le système TETRA peut acheminer plusieurs types de communication de données. Les messages de statut et les services courts de données (SDS) sont fournis sur le canal principal de contrôle du système. Les données de paquet ou la communication de données avec commutation de circuit utilisent des canaux spécifiquement dédiés à ce trafic.

Le réseau TETRA consiste, dans sa forme la plus simple, en des stations de base reliées à un commutateur. Il peut être étalé géographiquement (par exemple s'il faut couvrir plusieurs sites) en passant par l'infrastructure d'un opérateur, la figure suivante montre l'architecture d'un réseau TETRA.



**Figure 11: Architecture de réseau TETRA**

L'architecture du réseau est composée des éléments suivants :

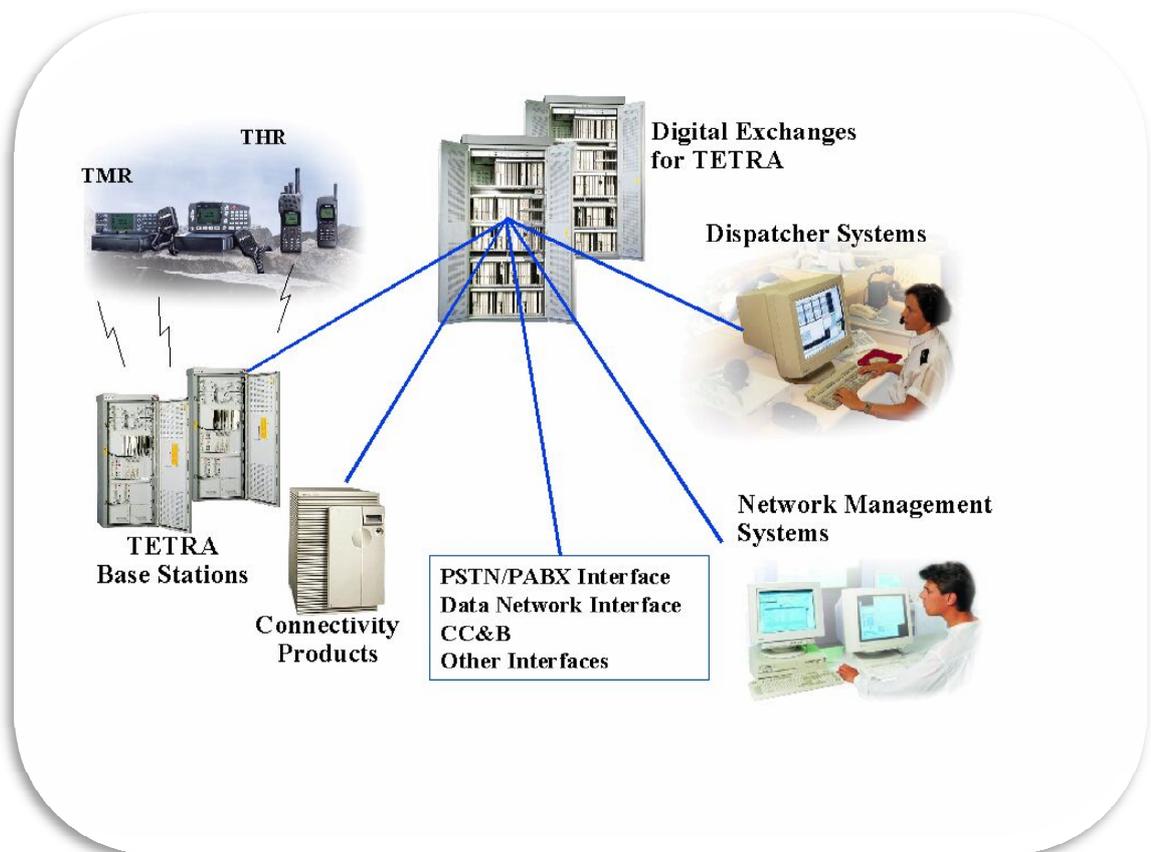
- **L'unité de commutation DXT et ses serveurs associés:** Eléments permettant la commutation des appels et la mise en place des communications, les interfaces avec les applications IP et les systèmes connectés au système TETRA (RTCP, PABX, LAN WAN Intranet, Internet...).
- **Les stations radio TBS :** éléments permettant la communication avec les mobiles.
- **Les répéteurs TETRA :** permettent l'extension de la couverture du réseau TETRA notamment à l'intérieur bâtiment ou de sous-sols.
- **Les dispatchers :** permettant la gestion opérationnelle du réseau (Gestion des abonnés et des appels).
- La supervision technique du réseau.

#### **a) L'unité de gestion : Commutateur numérique pour TETRA (DXT)**

Le commutateur numérique TETRA DXTip est le cœur du réseau TETRA. Ses principales fonctions sont:

- Gestion des abonnés ;
- Gestion des canaux radio ;
- Gestion des établissements d'appel...etc.

La figure suivante montre les différentes liaisons de DXT



**Figure 12: les différentes liaisons de DXT**

Le centre de commutation est connecté:

- Aux stations radio de base (TBS, TETRA Base Station) qui communiquent par voie radio avec les terminaux TETRA ;
- Au centre de dispatcher qui assure la gestion opérationnelle des communications et des utilisateurs radio ;
- Aux applications spécifiques éventuelles (localisation fine des terminaux par exemple) ;
- Aux réseaux Intranet et/ou Internet à travers le protocole standard IP (L'interface IP est disponible, proposé en option) ;
- Aux réseaux téléphoniques et radio externes (RTCP/PABX).

La capacité du commutateur peut évoluer par l'ajout successif de modules logiciels et matériels (ajout de carte ou de cabinet d'extensions).

## **b) Les stations de base TBS**

Le TBS permet la liaison avec les mobiles via l'interface air et le commutateur (DXT). La fonction de la TBS est de convertir les informations numériques bande basse en signaux radio fréquence (RF) et vice versa. La liaison entre le mobile et la TBS est conforme à la norme TETRA.

Les caractéristiques de la TBS sont :

- Bande de fréquence 380/400 MHz ;
- Ecart duplex est de 10 MHz ;
- Consommation pour 4 TTRX : 2.3 kW max ;
- La TBS peut gérer en standard jusqu'à 4 porteuses. Il est possible d'augmenter la capacité de 4 porteuses supplémentaires en ajoutant un bâti d'extension.

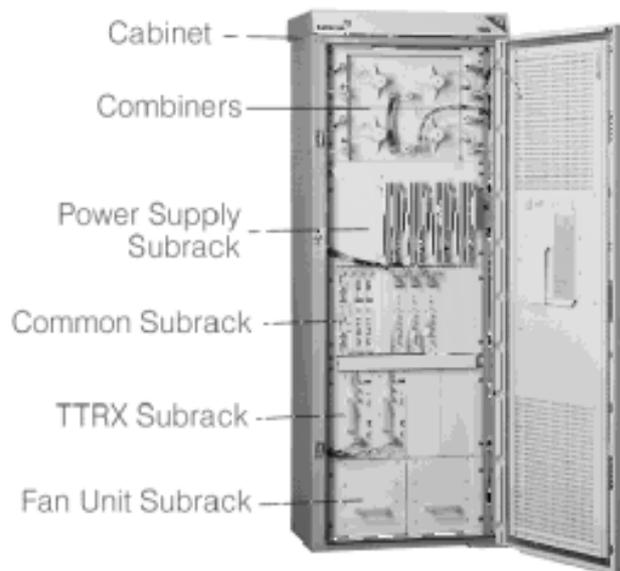


Figure 13: TBS sans extension

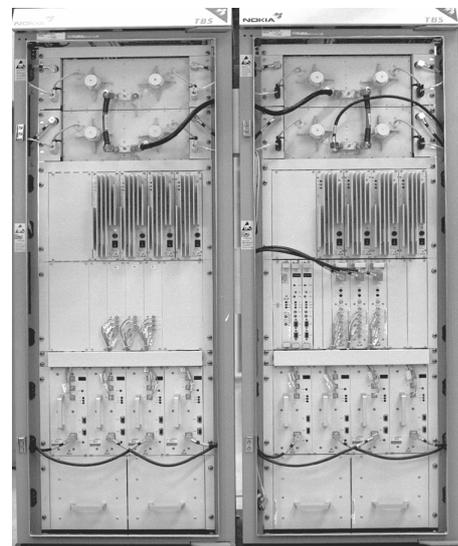


Figure 14: TBS avec extension

La figure 36 présentée dans l'annexe 1 montre les différentes composantes de TBS.

- **Multi-coupleurs double réception (DRMC)** : La fonction du récepteur multi couplage est de filtrer et amplifier le signal reçu par une antenne, puis le diviser en sorties égales, séparées pour l'alimentation des entrées RX des unités TTRX.
- **TTRX** : Le TTRX est une unité d'extension comprenant les éléments suivants:
  - **Module émetteur (TX)** : est l'Unique sortie qui produit le signal RF, et qui est alimenté par l'intermédiaire du sous-système émetteur-combinez, à l'antenne d'émission.

- Module récepteur (RX) : comprend six récepteurs, chacun avec un connecteur d'entrée séparé sur le panneau avant de TTRX.
- Module de bande de base (TBBM) : Les principales fonctions de la TBBM sont:
  - codage / décodage canal ;
  - Cryptage / décryptage ;
  - entrelacement / dés entrelacement ;
  - multiplexage / démultiplexage.
- **Combiner** : La fonction de la combiner est de produire un seul signal RF à l'antenne en additionnant les sorties de RF individuels de deux ou plusieurs TTRXs. Le sous-système combiner-émetteur devrait introduire un minimum de perte possible de la puissance RF et assurer une isolation Suffisante entre les sorties de TTRX individuels.
- **TBC** (contrôleur de station de base): est le contrôleur principal de la TBS. Il contrôle / supervise le fonctionnement de la station de base sous le contrôle de DXT. Le TBC est une interface intégrée pour une unité antenne GPS et fournit également une interface pour le raccordement d'un analyseur D de bus externe. Les principales fonctions de la TBC sont:
  - supervision de la station de Base et la gestion des alarmes ;
  - Le contrôle des fonctions de test ;
  - L'interface MMI qui est utilisé pour la connexion de TBC et le PC ;
  - interface de l'unité d'antenne GPS.
- **PWR** : il est utilisé pour l'alimentation des TTRX. Pour chaque TTRX on trouve un PWR qu'il l'alimente.

### c) Le dispatcher

Le dispatcher est un ordinateur doté d'une application DWS Management qui permet de gérer et de contrôler l'ensemble des usagers déclarés dans cette station. Il contrôle toutes les fonctions de gestion et d'administration liées aux communications. Les principales fonctions du dispatcher sont :

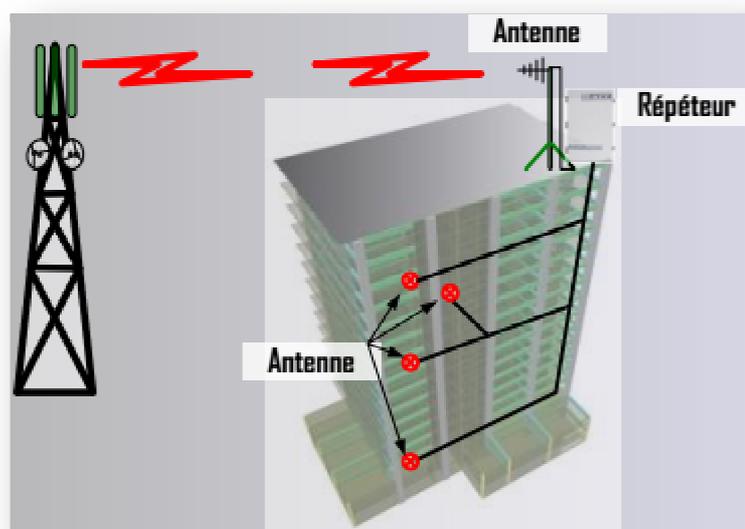
- **Communication**
  - Reçoit les appels et les demandes d'appels ;
  - Génère des appels individuels ;
  - Gère les appels d'urgences ;
  - Communique avec un ou plusieurs groupes ;
  - Envoi et reçoit des messages courts de données.

➤ Gestion Contrôle

- Ajoute et supprime des usagers dans les groupes ;
- Création de nouveaux groupes et des groupes temporaires ;
- Ajoute de nouveaux usagers et définit l'ensemble des paramètres de ceux-ci ;
- Gère les groupes et leurs zones.

#### d) Les répéteurs TETRA

Les répéteurs TETRA sont des dispositifs électroniques combinant un récepteur et un émetteur, qui compense les pertes de transmission d'un média (ligne, fibre, radio) en amplifiant et traitant éventuellement le signal, sans modifier son contenu. Permettant aussi l'extension de la couverture du réseau TETRA notamment à l'intérieur des bâtiments ou de sous-sols.



**Figure 15: liaison entre le BTS et le Répéteur**

#### Conclusion

Les systèmes PMR étaient majoritairement analogique jusqu'à l'intérêt suscité par des nouvelles normes comme TETRA qui peut être considérée comme une boîte à outils, car elle offre aux planificateurs des systèmes de nombreuses possibilités permettant d'adapter le réseau de façon optimale aux besoins des utilisateurs.

**Chapitre**

**3**

*QoS et Propagation en contexte  
radio mobile*

## Introduction

L'exploitation d'un réseau intervient après la phase de déploiement et l'ouverture commerciale. L'opérateur commence alors un nouveau cycle qui consiste à observer la qualité de service et à optimiser le réseau pour améliorer d'une part, la qualité de service dans les zones où cela est nécessaire et d'autre part, pour augmenter l'efficacité du réseau de point de vue trafic. Nous introduisons dans ce chapitre deux grandes parties : la première portant sur les indicateurs et les paramètres de la qualité de service du réseau TETRA et la deuxième traite les notions de la propagation en contexte radio mobile nécessaire pour l'optimisation du réseau.

## I. Notion et critères d'évaluation de la QoS des réseaux TETRA

### 1. Définition et intérêt de la qualité de service

La QoS (Quality of Service) est la capacité à adapter un service aux besoins d'une application. Elle est évaluée d'une part, du point de vue du consommateur qui permet de déterminer la réussite ou l'échec du service et d'autre part, du point de vue opérateur d'une façon objective à travers l'analyse des indicateurs de qualité de service suivant certains critères. Les classes d'indicateurs comportent l'accès au réseau, l'accès au service, l'intégrité du service et le maintien du service. Ces classes d'indicateurs de qualité de service sont évaluées par les indicateurs clés de performances KPI (Key Performance Indicateur) [8].

La qualité de service dans les réseaux mobiles s'intéresse à deux aspects principaux séparés :

- Disponibilité des ressources en termes de taux de congestion qui se traduit par un taux de blocage ;
- Qualité du signal radio selon la qualité de couverture (possibilité d'établissement du lien radio) et selon la qualité du signal radio (BER) qui se traduisent par une probabilité de coupure.

### 2. Critères d'évaluation de la qualité de service (QoS)

Les critères qui rentrent dans l'estimation de la qualité d'un réseau peuvent globalement être classés en deux grandes catégories selon le point de vue adopté : opérateur ou utilisateur. Ces critères sont directement à mettre en rapport avec les attentes des abonnés et affectent profondément leur degré de satisfaction des services.

Dans le réseau Tétr, ces attentes sont principalement liées à :

- La disponibilité du réseau (probabilité d'obtention d'un nouvel appel) ;

- Le maintien des communications (la probabilité de coupure d'une communication) ;
- La qualité de la communication (puissance du signal, brouillage...).

Du coté utilisateur, les critères les plus courants pour lesquels un abonné TETRA peut juger la qualité de service sont :

- La couverture du réseau (puissance du signal reçu en tout point de la couverture) ;
- L'établissement d'appel (taux de congestion du réseau ou taux de blocage) ;
- La qualité de communications ou qualité vocale (taux d'erreurs binaires, microcoupures et interférence) ;
- L'interruption de communication ou coupure d'appel (perte totale de communication en cours, taux de coupure).

Du point de vue opérateur, il cherche à minimiser ses coûts tout en garantissant une bonne qualité de services qui est évaluée par les moyens déclarés dans le tableau suivant :

Indicateurs de qualité de service	Mode d'évaluation
Couverture	Mesures radio, plaintes des abonnés
Taux d'appels réussis	Mesures système
Qualité de la communication pendant l'appel	Mesures radio
Taux de coupure d'appels	Mesures système

**Tableau 1: Principaux indicateurs de qualité de service**

### 3. Indicateurs qualité du réseau TETRA

#### ➤ Niveau de champ (RxLevel ou RSSI)

Une mesure de niveau de champ est en effet faite immédiatement après chaque tentative d'accès au réseau. La correspondance entre RxLevel et l'appréciation de la couverture dépend des choix de l'opérateur comme le montre le tableau suivant :

Niveau de couverture	RxLevel (en dBm)
Pas de couverture	-110 → -95
Mauvaise couverture	-95 → -85

Assez bonne couverture	-85 → -75
Bonne couverture	-75 → -65
Très bonne couverture	-65 → -46

**Tableau 2: Les niveaux de champ**

➤ **Qualité radio (RxQual)**

Ces mesures consistent à évaluer la valeur RxQual enregistrée par le mobile. Elle est obtenue en quantifiant le taux d'erreurs binaires BER (Bit Error Rate) sur 8 niveaux (3 bits) suivant la correspondance précisée dans le tableau suivant. RxQual est mesuré uniquement à l'état dédié et sur la cellule serveuse il est codé sur trois bits et prend des valeurs entre 0 et 7.

RxQual	BER(%)
0	< 0.2
1	0.2 → 0.4
2	0.4 → 0.8
3	0.8 → 1.6
4	1.6 → 3.2
5	3.2 → 6.4
6	6.4 → 12.8
7	>12.8

**Tableau 3: Correspondance entre RxQual et BER**

La correspondance entre RxQual et l'appréciation de la qualité dépend des choix de l'opérateur, le tableau suivant donne un exemple de convention de qualité de service.

Qualité correspondante	RxQual
Très bonne	0 → 2
Bonne	2 → 4

Acceptable	4 → 6
Mauvaise	6 → 7

**Tableau 4: Exemple de convention de RxQual**

### ➤ Rapport C/I

Le rapport signal sur interférence est le rapport de l'intensité du signal de la cellule de service courante par celle des composants du signal non désiré (interfèrent). La fonction de mesure du C/I permet l'identification des fréquences qui sont particulièrement exposées à des hauts niveaux d'interférence, ce qui devient utile dans la vérification et l'optimisation des plans de fréquence.

## 4. Les indicateurs clés de performances (KPI)

Un KPI est une valeur représentative permettant d'évaluer la performance de système. Cette valeur est obtenue à partir d'une ou de plusieurs mesures brutes relevées par des compteurs spécifiques. Ces indicateurs permettent d'analyser, de détecter et d'identifier les éventuels problèmes des réseaux pour évaluer d'une part la qualité et la performance des réseaux et d'autre part pour orienter les recherches et les décisions permettant l'optimisation des réseaux [1]. Les KPI sont réparties sur quatre parties :

**Les KPI liés à l'accessibilité au réseau :** Elle est définie comme étant l'aptitude d'un usager à obtenir un service demandé au système. Il est possible que le taux de réussite de l'accès pour quelques cellules puisse montrer un taux de réussite parfait. Les principaux sont : le taux de succès/d'échec d'établissement d'appel.

**Les KPI liés au maintien du service :** Elle est définie comme étant la capacité de maintenir l'appel en cours jusqu'à ce que l'abonné mette fin à son appel. une coupure d'appel est l'événement quand un appel est terminé anormalement ou résilié par le réseau.

**Les KPI liés à l'intégrité du contenu :** Elle est définie comme étant l'aptitude de l'utilisateur à recevoir un service demandé à la qualité de service souhaitée. Pour la voix, l'intégrité est mesurée par le taux d'erreur par bite.

**Les KPI liés à la mobilité :** Ces indicateurs permettent de mesurer les performances de la gestion de la mobilité au sein du réseau TETRA. Ils expriment la réussite et l'échec des transferts cellulaires.

Ainsi, les objectifs d'un opérateur de réseaux mobiles sont donc les suivant :

- Disponibilité du réseau (probabilité d'obtention d'un nouvel appel) ;
- Maintien des communications (la probabilité de coupure d'une communication voix ou data) ;
- Qualité auditive de la communication (puissance du signal, brouillage, débit,...).

Si un des KPI dépasse des seuils fixés par l'opérateur, le superviseur du réseau remarque qu'un problème est parvenu au niveau de la fonctionnalité qu'assure cet indicateur. Généralement, la cause de ce problème peut être un problème de couverture, interférence, insuffisance de capacité, mauvais paramétrage du réseau...etc.

Par exemple, si le taux de coupure de l'appel est supérieur à 2% alors on a un problème de maintien d'appel qui peut être causé soit par la mauvaise couverture, l'interférence, soit par un problème lors du Handover (dans ce cas on consultera les taux de succès de Handover) ou un mauvais paramétrage du réseau. Aussi, si le taux de succès de l'établissement d'un service est inférieur à 95%, dans ce cas on a un problème d'accès au réseau par la capacité, l'interférence ou un problème de paramétrage du réseau. Le tableau suivant illustre les seuils de quelques KPI :

Indicateur	Seuils
Taux d'appels perdus	<5%
Taux de retransmission d'appels	<5%
Taux d'appels Réussis	>95%
Taux de coupure d'appels	<2%
Taux d'échec de Handover	<2%
Taux d'échec de localisation	<1%

**Tableau 5: Les seuils des KPIs**

## II. Propagation en contexte radio-mobile

Le signal transmis entre un émetteur et un récepteur subit à de nombreux phénomènes dont la plus part a un effet destructif, cette dégradation de signal amène à des pertes d'informations.

### 1. Propagation dans l'environnement radio

La perte d'information est due aux effets de la propagation radio en environnement radio-mobile qui peuvent être classés en différents catégories :

- Les pertes de propagation due à la distance parcourus par l'onde radio (pathloss) ;
- Les obstacles rencontrés par le signal sur le trajet parcouru entre l'émetteur et le récepteur amène aux effets de masques (shadowing) ;
- Les évanouissements ou (fading) dont la puissance du signal dus aux nombreux effets induits par le phénomène de multi trajets ;

- Les brouillages dus aux interférences (co-canal ou sur canal adjacent) créés par d'autres émissions, ce type de perte est très important dans les systèmes à réutilisation de fréquence.

#### **a) Atténuation de parcours (path loss)**

La fréquence utilisée lors de l'émission d'un signal détermine le degré d'atténuation, pour le cas d'un système de communication radio. La perte de la propagation est mesurée par la différence entre la puissance émise et la puissance reçue, celle-ci est faible pour les basses fréquences et importante pour les hautes fréquences.

#### **b) Effets de masques (shadowing)**

La puissance peut altérer en fonction du milieu de propagation ; plus le trajet entre l'émetteur et le récepteur contient des obstacles, plus l'atténuation du signal à la réception devient importante. Selon la position de l'émetteur par rapport au récepteur et vice versa, on peut distinguer plusieurs situations qui déterminent les cas de la visibilité entre les deux :

- Vision directe (in-line-of-sight), cas où aucun obstacle n'est rencontré entre l'émetteur et le récepteur ;
- Non visibilité (non-line-of-sight), cas où il n'y a pas un trajet direct entre l'émetteur et le récepteur.

#### **c) Évanouissements (Fading)**

Le phénomène d'évanouissement ou de fading amène à des variations temporelles des phases qui varient aléatoirement dans le temps, on peut distinguer deux cas :

- Le cas destructif : la variation de la phase résulte des signaux multiples s'ajoutant d'une façon destructive, le signal reçu sera très mauvais ;
- Le cas constructif : les signaux peuvent s'ajouter d'une façon constructive et le signal reçu est plus puissant que le signal du trajet en visibilité directe.

#### **d) Propagation en intérieur**

La présence de personnes autour des mobiles peut entraîner des évanouissements du signal. Dans le phénomène indoor les prédictions de propagation du signal sont encore plus difficiles à réaliser que dans le cas de la propagation outdoor (en extérieur).

Deux facteurs principaux caractérisent la propagation pour les systèmes de communication indoor :

- L'effet de masque (personne, meubles, murs, etc.) ;
- La distorsion par multi trajets (par réflexion sur les murs, le sol, les plafonds, etc.).

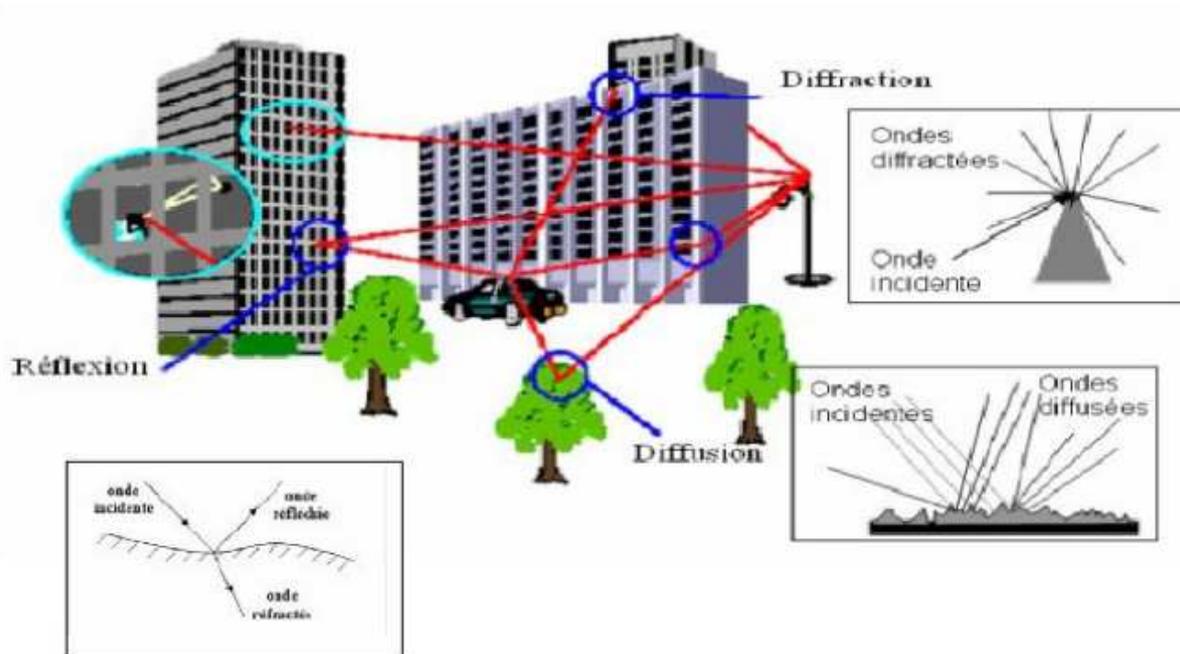


Figure 16: Quelques sources de dégradation d'un signal

## 2. Les modèles de propagation pour ingénierie radio mobile

Le modèle de propagation est une procédure essentielle au début de déploiement du réseau car elle permet des prédictions précises sur la couverture.

### a. Le modèle Okumura-Hata

C'est le modèle le plus utilisé. Il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (Urbain, Suburbain ou Rural).

- Pour un environnement urbain, l'affaiblissement de parcours (Path Loss) a pour expression :

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d)$$

$$a(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f) - 0.8)$$

Avec :

- ht: Hauteur de l'antenne émettrice en m ;
- hm: Hauteur de l'antenne du mobile en m ;
- d : Distance en Km.

➤ Pour un environnement Suburbain, les pertes ont pour expression :

$$L_{\text{suburbain}} = 1_0 - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4$$

➤ Pour un environnement rural, les pertes ont pour expression :

$$L_{\text{rural}} = 1_0 - 4.78 \left[ \log(f/2) \right]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94$$

Le modèle Okumura-Hata a la plage de validité suivant:

- Fréquence: 150 MHz ... 1500 MHz ;
- Distance: 1 Km ... 30 km ;
- Hauteur de l'antenne émettrice: 30 m ... 200 m ;
- Hauteur de l'antenne mobile: 1 m ... 10 m.

### b. Modèle de COST 231-Hata

Le modèle COST 231-Hata a les mêmes conditions que le modèle d'Okumara-Hata sauf qu'il est développé pour étendre l'utilisation de ce modèle pour les bandes jusqu'à 2000 MHz. L'affaiblissement de parcours (Path Loss) est donné par l'expression suivante:

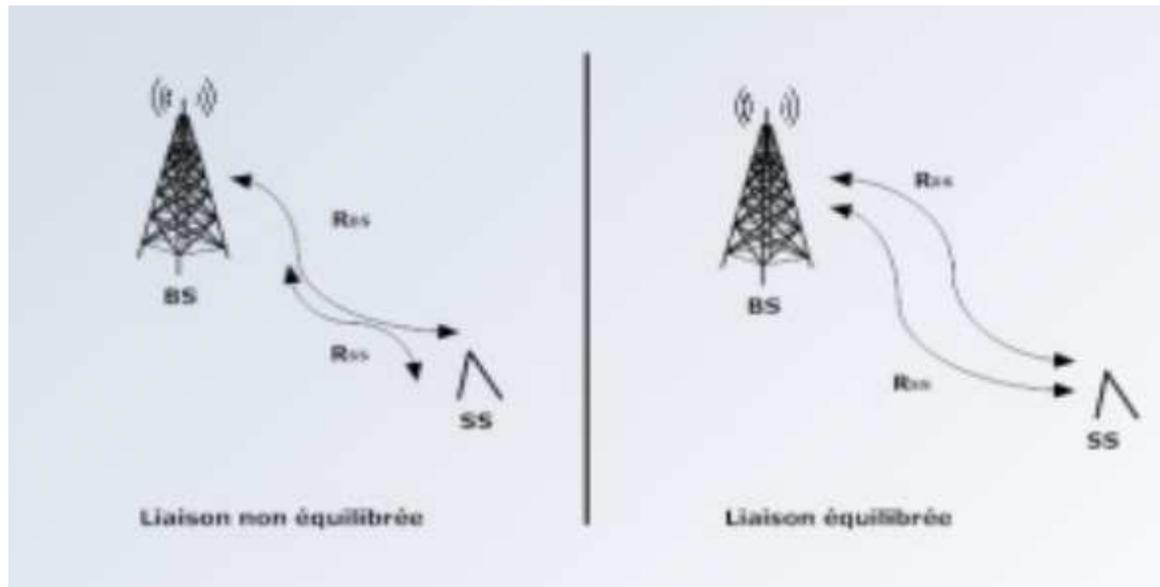
$$L_{50}(\text{urbain}) = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) + C_M$$

Avec :

- d : distance (km) ;
- f : fréquence de transmission (MHz) ;
- hte: Base Station Antenne hauteur effective (m) ;
- hre: hauteur d'antenne de station mobile efficace (m) ;
- Cm:  $\begin{cases} 0 \text{ dB pour des villes de taille moyenne et les banlieues.} \\ 3 \text{ dB pour les grands centres métropolitains.} \end{cases}$

### 3. Bilan de liaison

Un équilibrage de puissance est nécessaire pour les liaisons montantes et descendantes, pour cela un ajustement des paramètres des liaisons est nécessaire pour les équilibrer. Une liaison équilibrée signifie un fonctionnement symétrique du système en tout point de la couverture, comme il est illustré dans la figure suivant :



**Figure 17: Equilibrage des liaisons montantes et descendantes**

Le but de bilan de liaison est de calculer l'atténuation de parcours maximale permise entre la station de base et le récepteur pour un service donné. L'atténuation de parcours maximale est alors employée pour choisir des antennes et des configurations pour les stations de base, et pour la planification de la puissance de sortie sur les différents canaux des stations de base. L'atténuation de parcours maximale détermine la portée de chaque BS et ainsi sa couverture et le nombre requis de station de base pour couvrir une zone donnée.

Parmi les paramètres utilisés pour établir le bilan de liaison on trouve :

- Puissance d'émission ;
- Gain d'antennes d'émission ;
- Gain d'antennes de réception ;
- Pertes duplexeur+Combiners+câble ;
- Marge d'évanouissement (Fading) ;
- Marge Incar ;
- Rx Sensitivity.

A partir de ces paramètres on peut calculer :

- **Rx à l'entrée du récepteur** : Pour que le signal reçu soit intelligible par le récepteur, il faut que celui-ci ait une sensibilité suffisante. Là encore, c'est l'ensemble appareil-câble-antenne qu'il faut prendre en compte. Rx à l'entrée du récepteur est une retransmission de la sensibilité de l'appareil Rx Sensitivity et les pertes duplexeur+Combiners+câble du gain de l'antenne.

$$\text{Rx à l'entrée du récepteur} = \text{Gain de l'antenne} - \text{Rx sensitivity} - \text{Pertes}$$

- **Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE)** : Est définie comme la puissance nécessaire à fournir à une antenne isotrope pour obtenir la même puissance que celle fournie par l'antenne considérée et dans la direction considérée. Elle dépend de la chaîne appareil-câble-antenne et on peut la calculer par la formule suivante :

$$\text{PIRE} = \text{Puissance d'émission} - \text{Les Pertes duplexeur+Combiners+câble} + \text{Gain de l'antenne}$$

Tel que :

- la puissance d'émission est en dBm (dB milliwatts) ;

$$\text{Avec : } [P]_{(dBm)} = 10 \log \left( \frac{P}{0.001} \right) \quad \text{Si } (P \text{ en Watts}).$$

$$[P]_{(dBm)} = 10 \log (P) \quad \text{Si } (P \text{ en milliwatts}).$$

- Les Pertes duplexeur+Combiners+câble en dB ;
  - Gain de l'antenne en dBi.
- **Affaiblissement de propagation** : La différence entre la puissance de l'émetteur et la sensibilité du récepteur (Rx Sensitivity) donne l'affaiblissement maximum qu'on peut tolérer. Comme il y a 2 stations qui sont à la fois émettrices et réceptrices, on fait ce calcul pour les 2 cas, et on prend le plus petit des deux. On prend en considération la marge d'évanouissement et la marge Incar, qu'on retransmission à l'affaiblissement maximum tolérable, et on obtient l'affaiblissement de propagation.

$$\text{Affaiblissement de propagation} = \text{PIRE} + \text{Rx à l'entrée du récepteur} - \text{Totale des Marges}$$

#### 4. Allocation des fréquences

La découpe d'une zone en plusieurs cellules impose, en raison des interférences, de séparer par une certaine distance deux cellules utilisant les mêmes fréquences.

Pour résoudre le problème d'allocation de fréquences, on repose essentiellement sur les modèles des réseaux à structure régulière. Dans ce type de modèle chaque fréquence est réutilisée selon un motif régulier et fixe. Sur le terrain, malgré qu'il est difficile d'appliquer le motif de réutilisation tel qu'il est défini théoriquement.

La figure suivante montre un exemple de motif de réutilisation de fréquences :

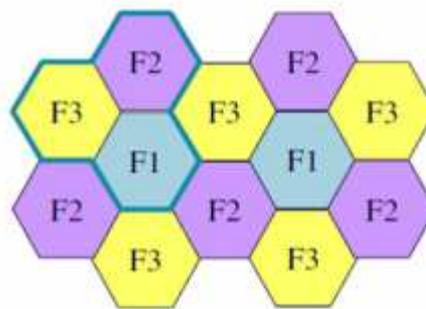


Figure 18: exemple de motif de réutilisation de fréquences

#### 5. Etude des interférences

On distingue deux types d'interférences pris en compte au moment de la planification :

- Les interférences sur canal adjacent ;
- Les interférences Co-canal (ICC).

##### a) Interférence sur canal adjacent

L'origine principale de l'interférence sur canal adjacent est l'utilisation des canaux très proches les uns des autres dans le spectre des fréquences, ce choix a pour but de maximiser l'efficacité spectrale du système.

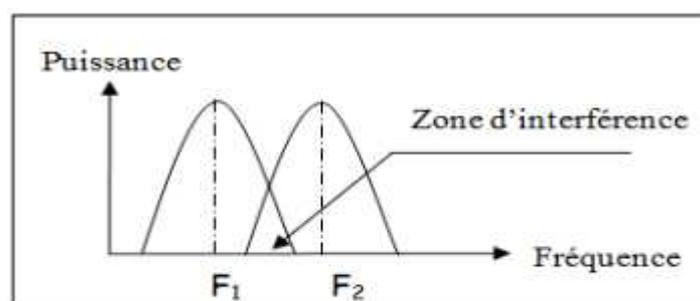
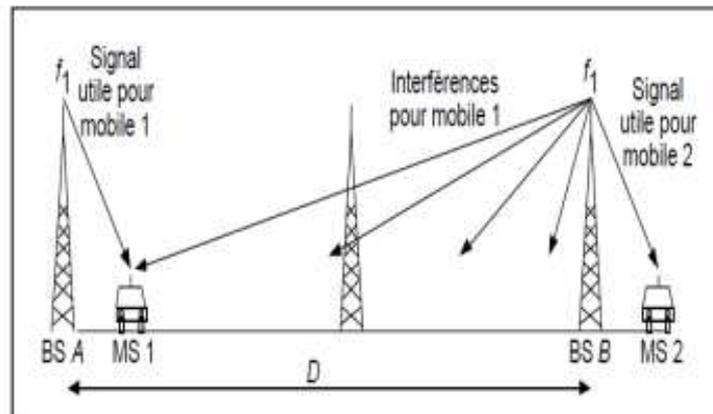


Figure 19: Interférence des canaux adjacents

## b) Interférence Co-canal

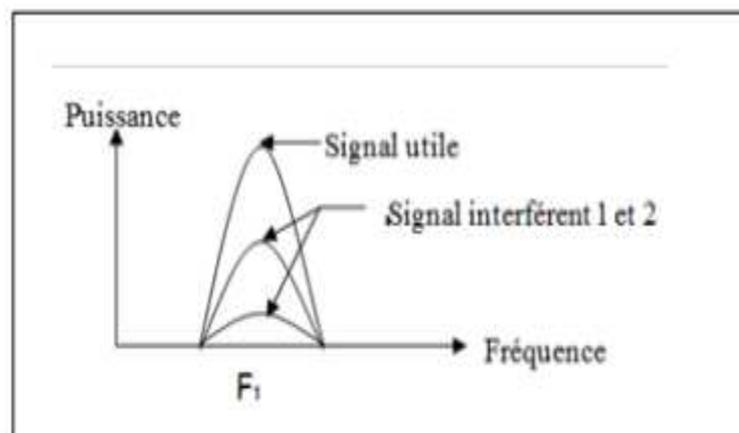
Un autre cas d'interférence a lieu quand plusieurs émissions ont lieu sur la même bande de fréquence. C'est le cas entre deux cellules qui utilisent les mêmes canaux pour leurs communications. Les signaux des deux émissions se mélangent : c'est l'interférence Co-canal.



**Figure 20: Une fréquence  $f_1$  est utilisée par des BSs très proche**

Ce phénomène se rencontre de façon importante dans les systèmes à réutilisation de fréquences comme les systèmes cellulaires.

La figure ci-dessous représente le phénomène d'interférence Co-canal :



**Figure 21: Interférence Co-canal**

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons cerné les données indispensables à la mesure de la qualité de service des réseaux TETRA et au processus de planification. Toutes ces notions seront adoptées par la suite pour faire la planification d'une façon fiable et optimisée.

A graphic element for a chapter header. It consists of a black rounded rectangle at the top containing the word "Chapitre" in white. Below this is a white rounded rectangle with a black border containing the number "4" in a large, bold, black font.

**Chapitre**

**4**

---

# *QoS et Extension du réseau TETRA de Moratel de la ville grand Casablanca*

## **Introduction**

Dans le cadre d'amélioration de la qualité de service du réseau TETRA de la ville Casablanca, vu les problèmes de réseau rencontrés dans la ville (anomalies de couverture, anomalie de Handover et des drops calls...). Moratel a pensé d'ajouter des stations de base de réseaux de communication mobile TETRA dans la ville.

Le projet consiste à:

- Etudier la qualité de service de Casablanca en faisant des Drive test, en calculant les KPIs et en analysant les résultats (zone d'interférence, point noir....) en utilisant la chaîne Nemo D'Anite ;
- Planifier le réseau via l'outil Atoll de Forsk (calcul du bilan de liaison, choix du modèle de propagation, plan de fréquence...);
- Acquisition des sites radio, installation et configuration;
- Test de confirmation.

## **I. Etude de la qualité de service de la ville grand Casablanca**

Les mesures de la QoS mobile se font selon les méthodes suivantes :

- **Les plaintes des clients :** C'est une source importante sur la qualité de service du réseau qui ne peut pas être ignorée.

- **Mesures système** : se sont des statistiques réseaux qui peuvent être utilisé pour surveiller et analyser la performance du réseau et la qualité du service. En calculant à partir de ces statistiques réseaux les différentes KPIs.
- **Drive Tests** : Ce sont des mesures radio d'un ou plusieurs réseaux mobiles, les opérateurs prennent le rôle des utilisateurs et mesurent la qualité de service, les problèmes de cette qualité sont découverts par les employés.

## 1. Statistique réseau

Les statistiques réseaux fournir à l'opérateur réseau des informations sur ce qui se passe dans le réseau. Par exemple elles donnent des informations à propos de l'utilisation, de la disponibilité et de la charge des éléments de réseau. En analysant les informations, l'opérateur peut localiser le système de surcharge et les pièces défectueuses et surveiller la quantité de trafic dans l'échange.

L'analyse des statistiques réseaux peuvent être utilisés par exemple pour les raisons suivantes:

- la réduction de débordement du réseau ;
- la détection des pannes ;
- l'amélioration de la qualité de service ;
- fournir des données pour la planification du réseau et l'optimisation.

Le tableau suivant montre les différents rapports de statistique réseau ainsi que leur identifiant et l'intervalle pendant lequel nous avons pris ces statistique.

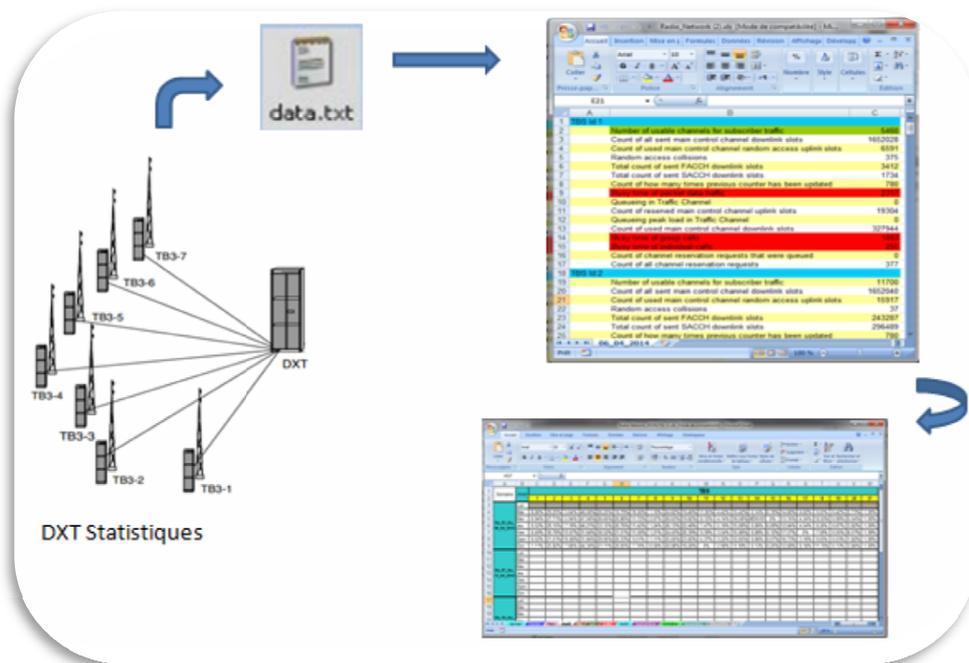
Identifiant du rapport	Rapport de statistique réseau	Intervalle
100	DXT radio network	15 min
101	Individual call	15 min
102	Group call	15 min
103	Group management	15 min
104	Roaming	15 min
105	Packet data	15 min
106	Status and SDS messages	15 min
108	Mobility management	15 min
109	ISDN resource management of DXT	15 min

### Tableau 6: Les différents rapports de statistique réseau

Chacun de ces rapport illustré dans le tableau ci-dessus présente un nombre de données (voir Annexe 2), qu'elles sont utilisées pour le calcul des KPIs à partir des formules présentées dans l'annexe 3.

Le calcul des KPIs s'effectue manuellement en prenant les données nécessaires à partir des fichiers txt et en les mettant dans un fichier Excel et à l'aide des fonctions Excel en faisant le calcul, ce qui prend beaucoup de temps .C'est pour cela nous avons pensé d'automatiser ce calcul en utilisant les outils de base de données MySQL et Access.

La figure suivante illustre le processus de calcul manuel des KPIs :



**Figure 22: le processus du calcul manuelle des KPIs**

Notre application consiste à :

- faire une liaison entre le moteur de base de données MySQL déjà existant et le logiciel Access ;
- utiliser les données de la base MySQL à partir de Microsoft Access ;
- création des requêtes qui nous a permet d'automatiser le calcul des KPIs ;
- création des états de graph qui nous a permet de faciliter l'analyse des résultats.

La figure suivante montre le processus de notre application :

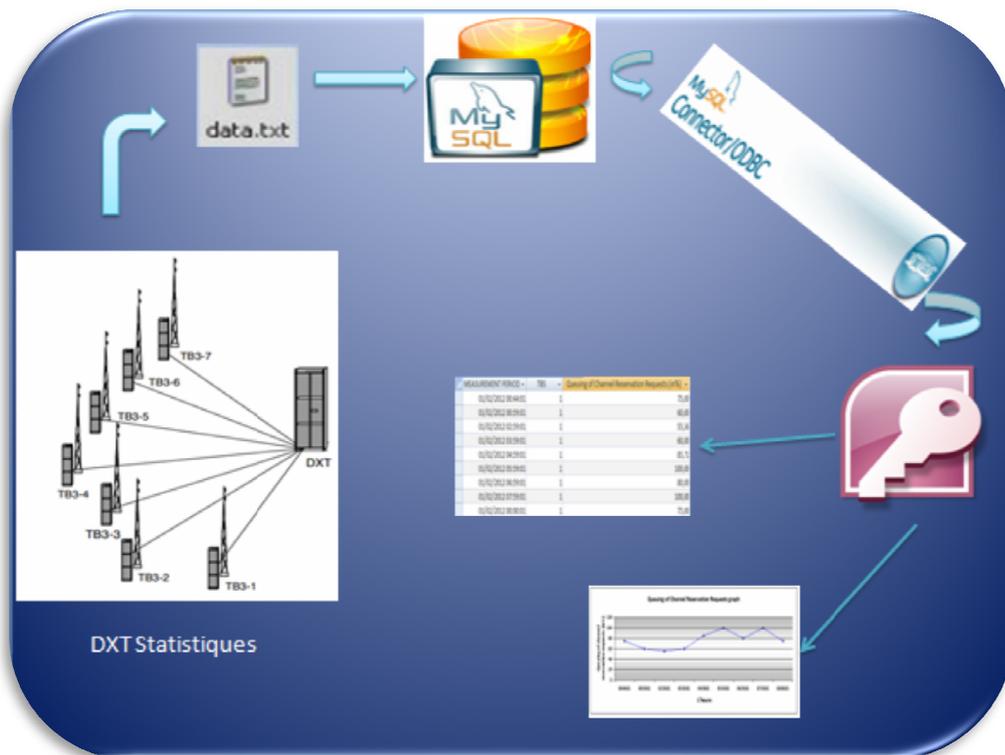


Figure 23: Le processus de calcul automatique des KPIs

#### a) Les outils de développement

- **MySQL** : MySQL est un système de gestion de bases de données relationnelles. Le SQL dans "MySQL" signifie "Structured Query Language" : le langage standard pour les traitements de bases de données.
- **Access** : c'est un SGBDR (Système de Gestion de Bases de Données Relationnelles) c'est un gestionnaire de bases de données "Orienté Utilisateur". C'est à dire qu'il n'est pas indispensable d'être un informaticien professionnel pour s'en servir étant donné que cette application est faite afin de faciliter aux opérateurs réseau le calcul et l'analyse des statistiques.
- **Le connecteur MySQL ODBC** : L'Open DataBase Connectivity (ODBC) est une interface standardisée qui permet de faire un pont entre un logiciel et un moteur de base de données. Le pilote est associé à un type de serveur SQL. Ici, ce sera un serveur MySQL dont l'installation sera présumée déjà réalisée.

## b) Structure de la base de données

La base de données se compose de plusieurs tables suivantes :

- Group\_call\_stat ;
- Group\_management\_elements\_stat ;
- Group\_management\_stat ;
- Individual\_call\_stat ;
- Isdn\_resource\_management\_elements\_stat ;
- Isdn\_resource\_management\_stat ;
- Mobility\_management\_elements\_stat ;
- Mobility\_management\_stat ;
- Packet\_data\_elements\_stat ;
- Packet\_data\_stat ;
- Radio\_network\_elements\_stat ;
- Radio\_network\_stat ;
- Roving\_elements\_stat ;
- Roving\_stat ;
- Status\_sds\_messages\_elements\_stat ;
- Status\_sds\_messages\_stat.

Les figures 45 et 46, présentées dans l'annexe 4, présentent respectivement le modèle conceptuel et la structure de la base de données sous MySQL.

## c) Réalisation

L'accès à la base de données MySQL de façon transparente à travers l'application Microsoft Access nécessite l'installation du connecteur ODBC.

Après l'établissement de la liaison MySQL/Access, nous avons créé des requêtes et des états qui nous a permis respectivement de calculer automatiquement les statistiques réseaux et afficher ces calculs sous forme de graphe à l'aide des formules SQL.

## d) Exemple de manipulation des données

L'accès à l'application, se fait via l'introduction d'un identifiant et d'un mot de passe dans le but de limiter l'accès (voir figure 48 annexe 5).

- Exemple d'affichage d'une requête : Traffic channel usage

Cette requête nous permet, après avoir entré la date de début et la date de fin de mesure des statistiques, ainsi que le numéro de TBS (voir figure 49 annexe 5), de savoir les pourcentages de l'utilisation des canaux de circulation (figure 51 annexe 5).

➤ Exemple d'affichage d'un état : Traffic channel usage graph

Un état est une représentation des enregistrements de la base de données qui est mise sur papier. Il est possible de ressortir une synthèse à partir de ces données. Dans notre cas c'est une représentation des données sous forma de graphe afin de faciliter l'analyse de ces données (figure 50 annexe 5).

### e) Analyse des indicateurs clés de performances (KPI)

Nous avons basé dans notre cas, sur les KPIs liés à la mobilité (plus précisément Le taux d'échec de Handover). Cet indicateur permet d'observer et analyser les performances de gestion de la mobilité au sein du réseau TETRA. L'objectif de la mesure de cet indicateur est d'atteindre moins de 2% du Taux d'échec de Handover, afin d'assurer la communication à un terminal mobile lors de déplacement.

Les figures 24 et 25 présentent respectivement la requête et l'état d'évolution du taux d'échec du groupe call Handover pour la station BERNOUSSI:

date_time	tbs_id	Ratio of Failed Group Call Handovers (in%)
11/03/2014 00:07:04	7	1,00
11/03/2014 00:22:04	7	34,00
11/03/2014 00:37:04	7	50,41
11/03/2014 00:52:04	7	63,57
11/03/2014 01:07:04	7	43,26
11/03/2014 01:22:04	7	41,18
11/03/2014 01:37:04	7	45,74
11/03/2014 01:52:04	7	1,00
11/03/2014 02:07:04	7	1,00
11/03/2014 02:22:04	7	1,00

Figure 24: Requête d'indicateur Taux d'échec de groupe call Handover

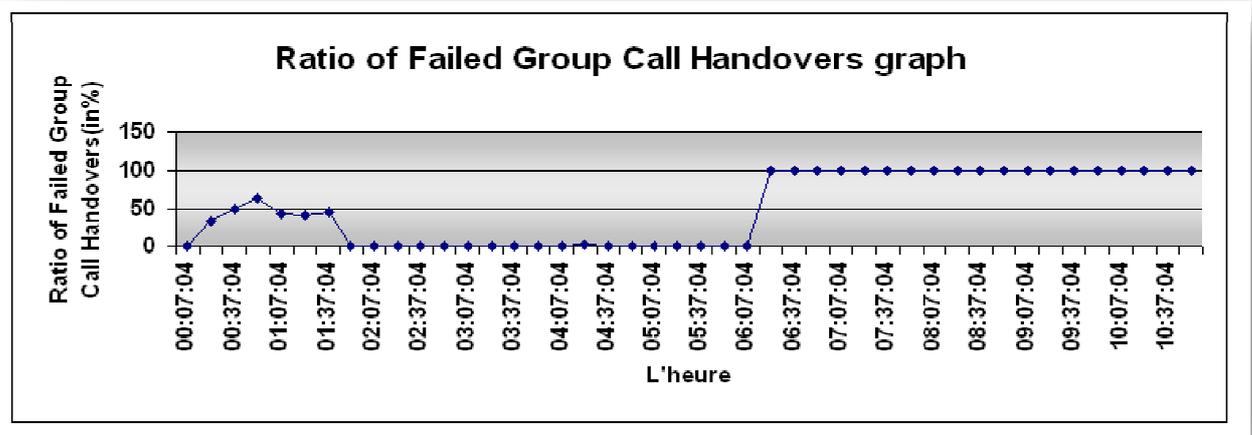


Figure 25: L'état d'évolution du taux d'échec de groupe call Handover

On remarque que le taux d'échec de group call Handover de la station BERNOUSSI est supérieur à 2%. Notre objectif est d'identifier les causes principales de ce problème.

➤ Les causes possibles :

- Trou de couverture entre la station Bernoussi et ces cellules voisines ;
- Débordement du réseau ;
- Les interférences.

L'indicateur taux d'échec de groupe call Handover ne permet pas de déterminer la cause principale du problème, ce qui nécessite une autre étude en utilisant autre une méthode.

## 2. Drive test et analyse des résultats

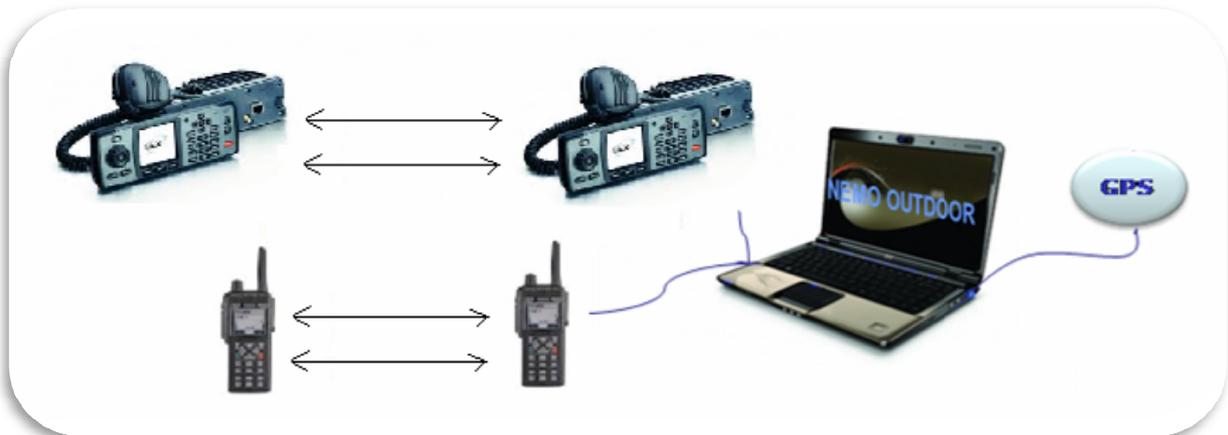
Cette méthode consiste à réaliser des mesures, on se déplace, dans une voiture, muni d'une chaîne de mesure numérique de type drive test qui comporte essentiellement :

- **Un ordinateur portable doté d'un outil de mesure (software : NEMO OUTDOOR) :** Permettant l'acquisition, le traitement et l'enregistrement des mesures récupérées du mobile à trace (paramètres radios) et du récepteur GPS (coordonnées géographiques) dans des fichiers spéciaux. En visualisant sur l'écran de l'ordinateur les différentes mesures réalisées, il permet à l'ingénieur de constater l'état du réseau en temps réel.
- **Quatre mobiles à trace :** Quatre mobiles de test (deux TMR, un fixe au local de l'opérateur et l'autre en incar, et deux THR un fixe au local de l'opérateur et l'autre en incar) utilisé pour les mesures radio (mesures numériques, les mobiles permettent de

relever les paramètres radios (niveau du signal, la qualité du signal...etc.) et les communiquer au PC via l'interface USB.

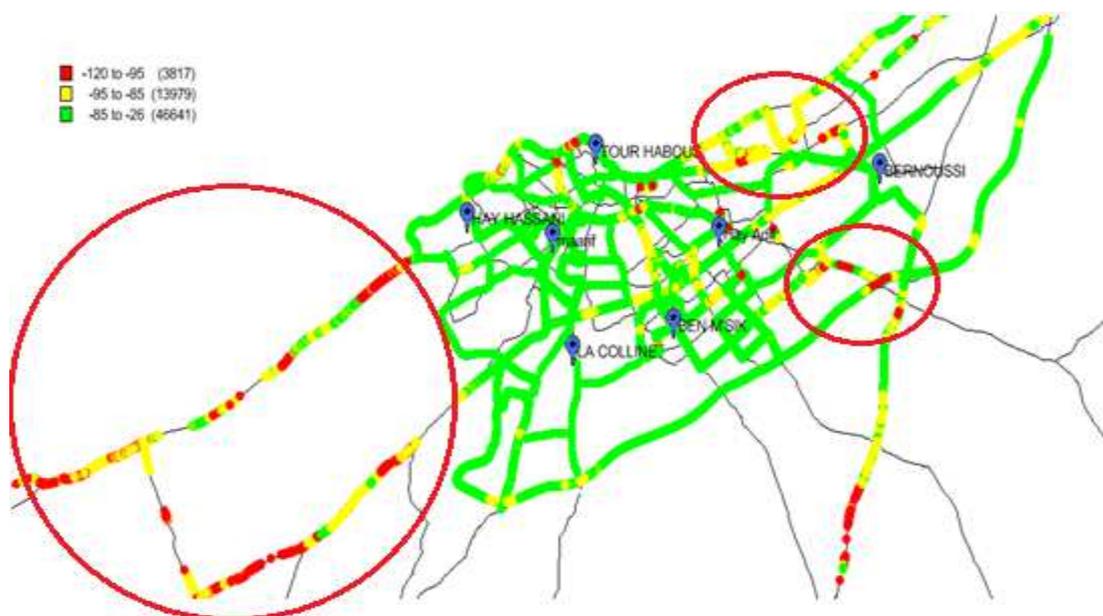
- **Un équipement GPS (Geographic Positioning System) :** Pour la localisation exacte de la position géographique de chaque point de mesure. Il est indispensable pour repérer les points de l'environnement où il y a des problèmes radios.

La figure suivante montre le scénario du drive test :



**Figure 26: Chaîne de mesure Drive Test**

La figure suivante montre les résultats du drive test donnés par les logiciels Nemo Analyse qui fait la lecture des fichiers de mesure faite par Nemo outdoor.



**Figure 27: Résultats du drive test de Casablanca**

D'après les résultats montrés dans la figure 27, on constate qu'il y a des anomalies de couverture dans la ville (les zones encerclées en rouge) dans lesquelles on trouve un niveau de champ entre -120 et -95 ( $-120 < \text{RSSI} < -95$ ). Aussi les appels que nous avons fait pendant le drive test nous ont montré qu'il existe des anomalies du Handover et des drops calls.

Pour remédier à ces problèmes il faut ajouter des stations de base dans des positions bien déterminées à fin d'éliminer la plus part des anomalies rencontrées.

## II. Extension du réseau TETRA de Moratel de la ville grand Casablanca

### 1. Présentation des outils

Ce paragraphe décrit d'une façon générale les logiciels indispensables pour réaliser la planification.

#### ➤ Le Logiciel Atoll

Atoll est un progiciel flexible et évolutif qui permet l'accompagnement du besoin d'un opérateur pendant tout le cycle de vie des réseaux (du design à l'expansion et l'optimisation), il incorpore un moteur de propagation haute performance supportant les réseaux hiérarchiques, la modélisation du trafic multiservice ainsi que le plan de fréquence automatique, il permet de gérer la majorité des systèmes cellulaires[9].

#### ➤ Google Earth

Google Earth est un outil permettant d'accéder à des photographies aérienne ou satellitaires, il suffit juste de sélectionner un lieu et de faire un agrandissement. C'est pour cela ce logiciel nous a aidé de prendre des informations plus précises sur le terrain étudié.

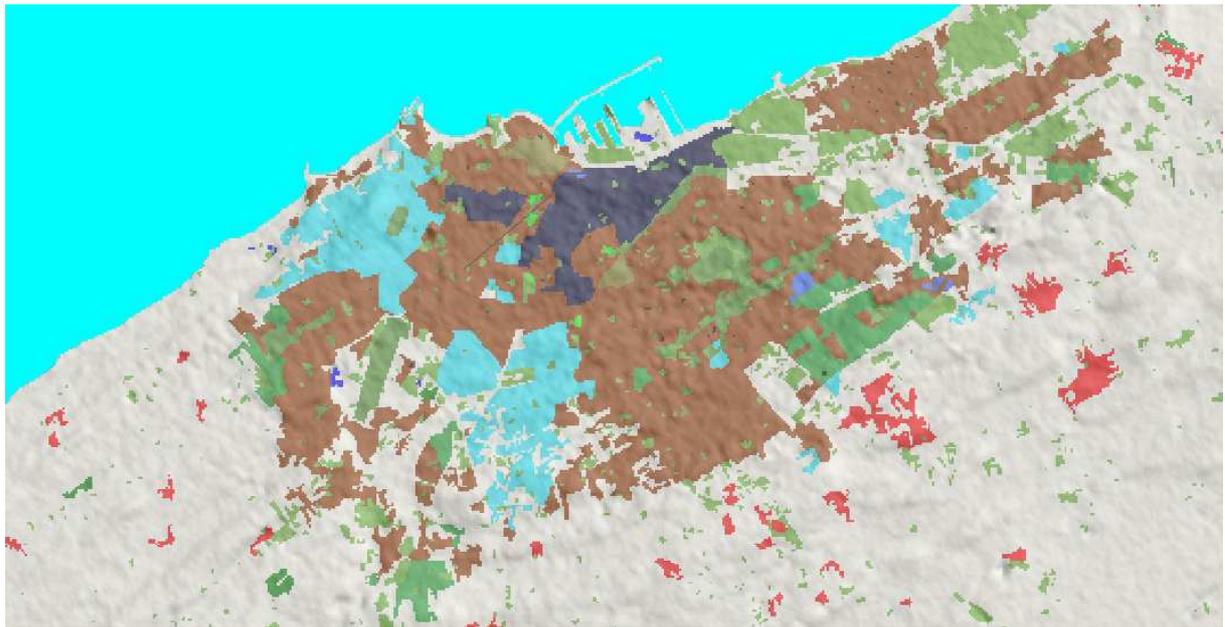
### 2. Conception et simulation du réseau TETRA

#### ➤ Carte de trafic

La carte de trafic (Traffic Map) permet d'introduire les données au niveau de la zone à planifier. Il existe divers types de cartes de trafic. Dans notre étude, nous avons défini trois cartes de trafic, height, vector et clutter qui se base sur l'environnement, c'est-à-dire les classes morphologiques caractérisant la zone à planifier. L'idée est d'associer à chaque type de classe morphologique un type d'environnement bien déterminé. Ceci se base principalement sur les caractéristiques de cette classe morphologique (nature de la classe, densité d'habitants, type d'activité,...).

Chaque environnement a été introduit en limitant les zones par leurs coordonnées géographiques altitude et longitude (voir annexe 6).

La figure suivante présente un aperçu de la zone à planifier :



**Figure 28: Carte de trafic de la zone à planifier**

Avec :

	Value
	7 - BUILDING
	14 - BLOCK BUILDING
	15 - OLD DOWNTOWN
	6 - DENSE COLLECTIVE
	5 - MEAN COLLECTIVE
	8 - VILLAGE
	13 - DENSE INDIVIDUAL
	4 - MEAN INDIVIDUAL
	9 - INDUSTRIAL
	11 - FOREST
	12 - PARK
	2 - SEA
	3 - INLAND WATER
	1 - OPEN
	10 - OPEN IN URBAN

**Figure 29: les significations des couleurs de la zone à planifier**

Cette zone se caractérise par une forte densité de population et une diversité de classes morphologiques, la figure suivante présente la composition de cette zone :

Name	Surface (km <sup>2</sup> )	Percentage
OPEN	384 710,683	45,5
SEA	432 868,998	51,2
INLAND WATER	707,532	0,1
MEAN INDIVIDUAL	154,365	0
MEAN COLLECTIVE	295,415	0
DENSE COLLECTIVE	13,275	0
BUILDING	0,772	0
VILLAGE	2 332,835	0,3
INDUSTRIAL	180,635	0
OPEN IN URBAN	98,755	0
FOREST	23 301,258	2,8
PARK	3,575	0
DENSE INDIVIDUAL	152,098	0
BLOCK BUILDING	1,888	0
OLD DOWNTOWN	9,275	0

**Figure 30: Composition de la zone à planifier**

➤ **Insertion des paramètres des sites**

Après la définition de la zone à planifier nous avons introduit les sites déjà existés dans cette zone ainsi que leurs paramètres (type d'antenne utilisé pour chaque site, la hauteur d'antenne, type de cellule...) (voir annexe 7).

La figure suivante montre l'emplacement des sites existant :



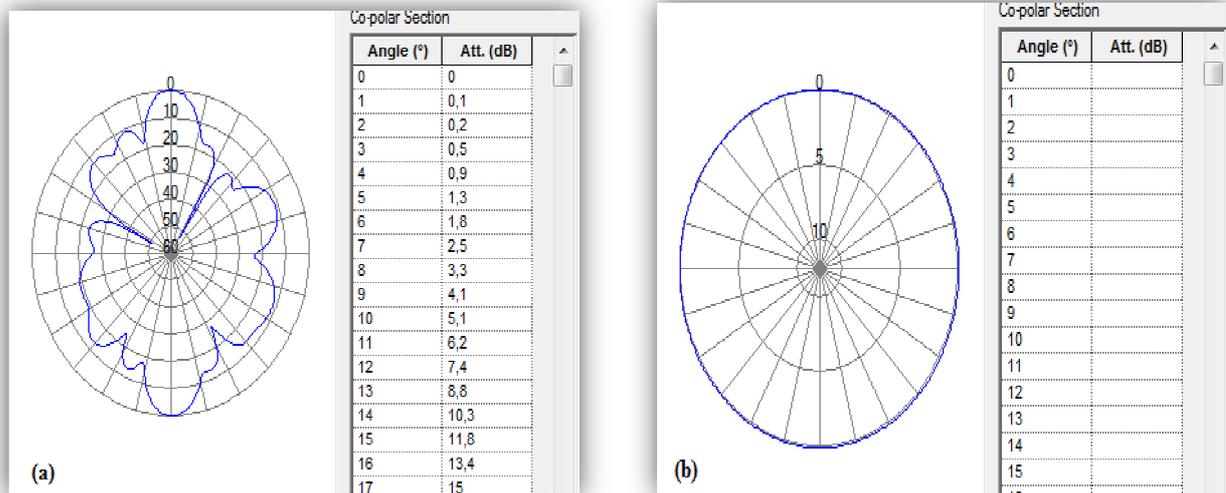
**Figure 31: Fenêtre de mise en place des sites existants**

➤ **Type d'antenne**

L'antenne utilisée dans notre projet est l'antenne Omni. Elle a les propriétés suivantes :

- Gain d'antenne de 7.5 dBi ;
- Tilt électrique de 0°.

Les diagrammes de rayonnement de cette antenne sont présentés dans la figure suivante :



**Figure 32: Diagrammes de rayonnement de l'antenne [(a) : vertical, (b) : horizontal]**

### ➤ Bilan de liaison TETRA

Nous allons procéder à l'élaboration de bilan de liaison, nous avons pris en considération tous les paramètres nécessaires pour calculer les affaiblissements dans le sens montant et le sens descendant. Par la suite ce bilan nous a permis de prédire la couverture en calculant les seuils d'ingénierie à utiliser. Les calculs sont faits en considérant le scénario dont l'équipement terminal utilisé est un portatif.

#### • Cas portatif (THR 880i)

En considérant les caractéristiques des équipements choisis présentés sur le tableau suivant :

	Unité	Downlink	Uplink
Emetteur			
Puissance d'émission	W	40	1
	dBm	46.02	30

Gain d'antennes	dBi	7.5	-
Pertes duplexeur+Combiners+câbles	dB	4	-
<b>PIRE</b>	<b>dBm</b>	<b>49.52</b>	<b>30</b>
<b>Récepteur</b>			
Gain d'antennes de réception	dBi	-	7.5
Pertes duplexeur+Combiners+câbles	dB	-	4
Rx Sensitivity	dB	-105	-112
<b>Rx à l'entrée du récepteur</b>	<b>dBm</b>	<b>105</b>	<b>115.5</b>
<b>Marges</b>			
Marge d'évanouissement (Fading)	dB	7	7
Marge Incar	dB	6	6
<b>Total Marges</b>	<b>dB</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
<b>Affaiblissement de propagation</b>	<b>dB</b>	<b>141.52</b>	<b>132.5</b>

La valeur la plus acceptable et contraignante du path loss est celle du sens montant (132.5 dB).

	Dowlink	Uplink
Affaiblissement maximal Db	141.52	132.5
Affaiblissement le plus contraignant	132.5 dB	

**Tableau 8: L'affaiblissement le plus contraignant pour le bilan de liaison**

**Tableau 7: Bilan de liaison dans le cas portatif**

- Cas station mobile (TMR 880i)

	Unité	Downlink	Uplink
<b>Emetteur</b>			
Puissance d'émission	W	40	5
	dBm	46.02	36.99
Gain d'antennes	dBi	7.5	-

Pertes duplexeur+Combiners+câbles	dB	4	-
<b>PIRE</b>	<b>dBm</b>	<b>49.52</b>	<b>36.99</b>
<b>Récepteur</b>			
Gain d'antennes de réception	dBi	-	7.5
Pertes duplexeur+Combiners+câbles	dB	-	4
Rx Sensitivity	dB	-103	-112
<b>Rx à l'entrée du récepteur</b>	<b>dBm</b>	<b>103</b>	<b>115.5</b>
<b>Marges</b>			
Marge d'évanouissement (Fading)	dB	7	7
Marge Incar	dB	0	0
<b>Total Marges</b>	<b>dB</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Affaiblissement de propagation</b>	<b>dB</b>	<b>145.52</b>	<b>145.49</b>

### ➤ Prédiction de la couverture radio

Le bilan de liaison nous a permis de calculer les seuils d'ingénieurs à utiliser pour simuler la couverture.

La perte de parcours le plus contraignant est celle de 132.5 dB. D'une autre part on peut déduire le niveau de champs requis sur Casablanca:

- Seuil = PIRE- path loss autorisé ;
- La PIRE est donnée par la formule suivante : **puissance d'émission + gain – Pertes = 46.02+7.5-4=49.52 dBm.**

### Tableau 9: Bilan de liaison dans le cas des stations mobiles

Pour le portatif on a :

- Seuil PI (portatif incar) = **49.52-132.5= - 82.98 dBm ;**
- Seuil PO (portatif outdoor)=**-82.98-6= - 88.98 dBm.**

Pour la station mobile on a :

Pour qu'on puisse faire une prédiction complète, nous avons pris en considération une station mobile avec une antenne extérieure et avec un affaiblissement de 145,52 dB déjà calculé.

- Seuil SM : **49.52-145.52= - 96 dBm**

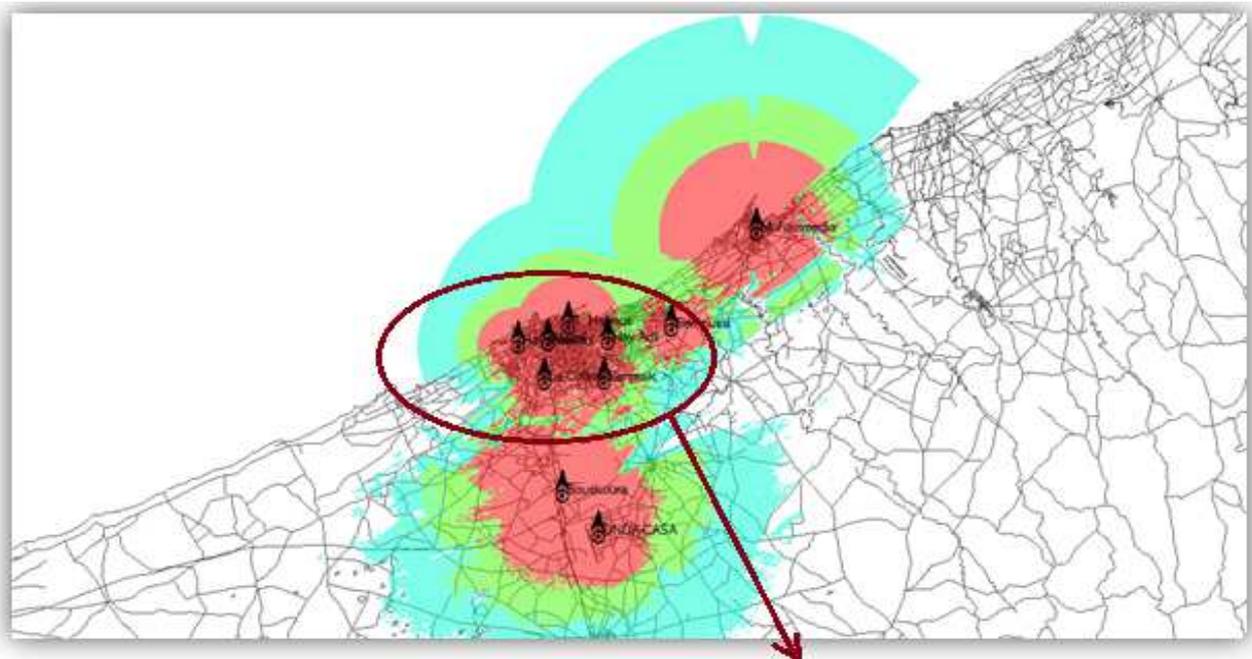
Nous avons saisi les valeurs des seuils calculées dans la fenêtre de Atoll suivante après la création d'une prédiction par niveau de champ (coverage by signal level):

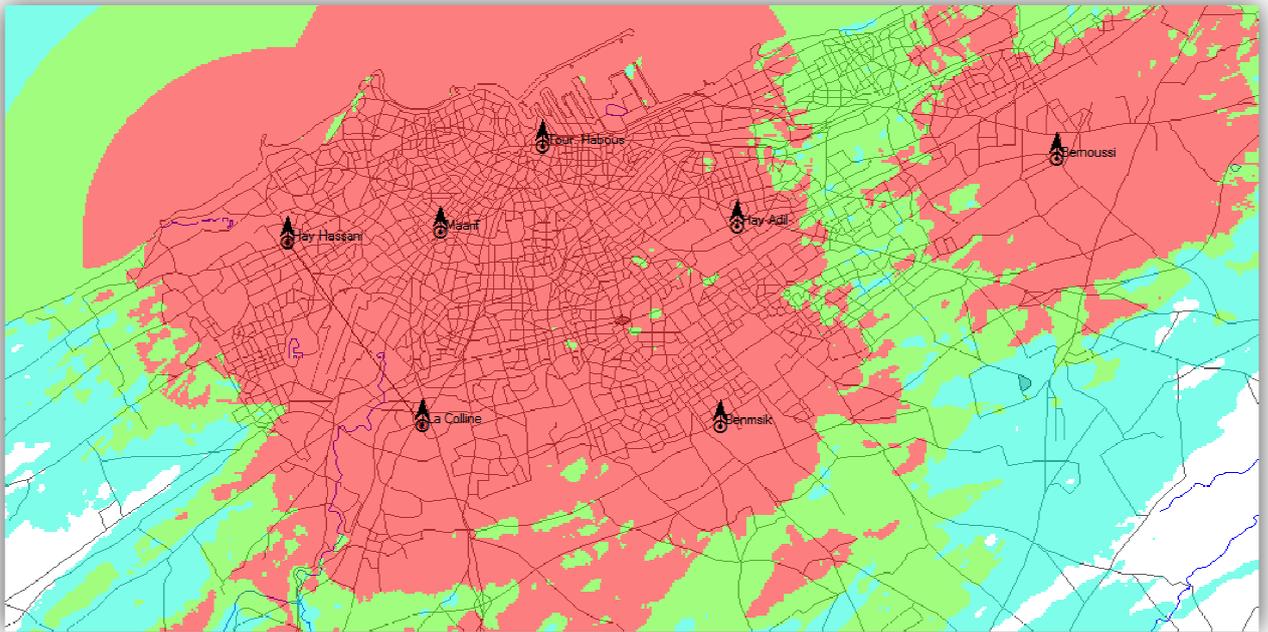
		Min	Max	Legend
1		-82,98		Best Signal Level (dBm) $\geq -82,98$
2		-88,98	-82,98	$-88,98 \leq \text{Best Signal Level (dBm)} < -82,98$
3		-96	-88,98	$-96 \leq \text{Best Signal Level (dBm)} < -88,98$

**Tableau 10:Seuils utilisés pour la simulation de couverture**

- La couleur rouge, correspondre au  $\text{RSSI} \geq -82,98$ , signifie qu'on a une très bonne couverture en utilisant les deux radios THR et TMR.
- La couleur verte, correspondre au  $-88,98 \leq \text{RSSI} < -82,98$ , signifie qu'on a une assez bonne couverture en utilisant la THR et une très bonne couverture en utilisant la TMR.
- La couleur bleu-ciel, correspondre au  $-96 \leq \text{RSSI} < -88,98$ , signifie qu'on a une mauvaise couverture en utilisant la THR et une assez bonne couverture en utilisant la TMR..

Après on lance la simulation et on obtient les résultats suivantes :



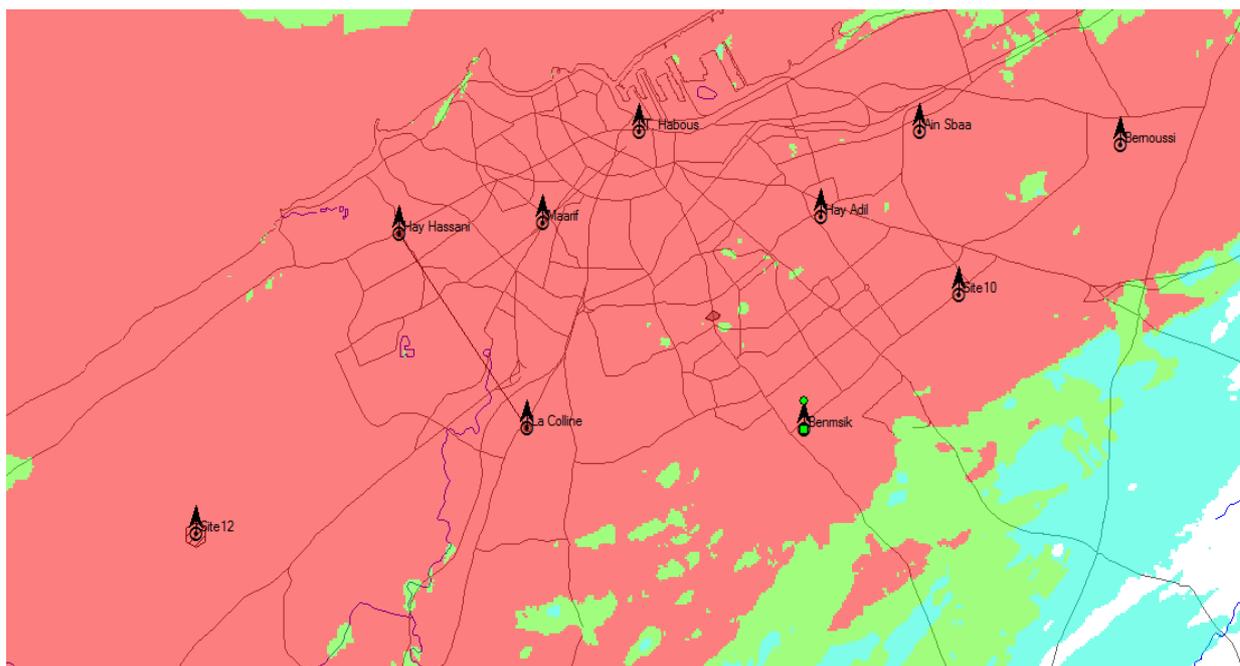


**Figure 33: Résultat de Simulation Atoll**

On constate que les résultats de simulation avec Atoll sont identiques avec les résultats de drive test montrés dans la partie étude de la qualité de service (voir figure 27).

A l'aide des résultats obtenus et Google Earth on peut définir les positions des nouveaux sites afin d'éliminer les trous de réseau.

Après avoir défini les paramètres des nouveaux sites (Ain Sbaa, site 10 et site 12) on relance la prédiction et on obtient les résultats suivants :



**Figure 34: Résultat de simulation après l'ajout des nouveaux sites**

D'après les résultats montrés ci-dessus on a constaté que l'ajout des trois nouveaux sites est suffisant pour couvrir les nœuds signalant des problèmes.

#### ➤ **Plan de fréquence**

L'utilisation des canaux des émetteurs et le nombre des canaux affectable permettent la définition d'un plan optimisé pour l'ensemble du réseau. Pour le réseau TETRA de Moratel il faut choisir des fréquences de canaux entre la bande 380MHz et 400MHz (c'est la bande de fréquence autorisé par l'ANRT).

Le tableau suivant montre le plant de fréquence des sites de Casablanca en respectant les règles de motif de réutilisation de fréquence (on ne peut pas utiliser la même fréquence pour deux sites voisins). Aussi il faut laisser une fréquence de 25KHz entre les canaux des sites voisin et une fréquence d'au moins 150KHz entre les canaux de la même station.

**NB : pour des raisons de confidentialités toutes les fréquences ont été modifiées.**

Les Sites	Les fréquences Downlink (en KH)	Les fréquences UPLink (en KH)
La Colline	393200	383200
	393350	383350
Hay Hassani	393225	383225
	393375	383375
T. Habous	393250	383250
	393400	383400

<b>Hay Adil</b>	393275	383275
	393425	383425
<b>Benmsik</b>	393300	383300
	393450	383450
<b>Maarif</b>	393325	383325
	393475	393475
<b>Bernoussi</b>	393350	383350
	393500	383500
<b>Bouskoura</b>	393375	383375
	393525	383525
<b>ONDA-CASA</b>	393400	383400
	393550	383550
<b>Mohammedia</b>	393425	383425
	393575	383575
<b>Ain Sbaa</b>	393525	383525
	393675	383675
<b>Site 10</b>	393325	383200
	393625	383625
<b>Site 12</b>	393525	383525
	393675	383675

**Tableau 11: Plan de fréquences pour la ville de Casablanca**

➤ **Etude d'interférences.**

Le logiciel Atoll nous a permis de faire des prédictions pour les interférences entre deux cellules qui utilisent les mêmes canaux pour leurs communications. Pendant la réalisation du plan de fréquence, nous avons fait des prédictions d'interférences (coverage by C/I level) (voir annexe 8) et on a constaté qu'on peut donner les mêmes fréquences au :

- Ain Sbaa et site 12.
- Maarif et Site10.

D'où la validation du plan de fréquence présenté sur le tableau.

## **Conclusion**

Le déploiement du réseau TETRA est effectué selon un processus bien précis, d'une autre part l'outil Atoll nous a aidé de prendre une vision claire sur les résultats qui approchent la réalité, ce qui est très nécessaire pour avoir une idée sur le processus qui sera implémenté sur terrain. A cet évident le savoir faire d'un ingénieur exige à trouver des solutions optimales et de mener à bien le déroulement des étapes de ce processus.

# *Conclusion et perspectives*

Durant le présent projet de fin d'étude, il nous a été confié au sein de la société Moratel, d'étudier la qualité de service et faire une extension du réseau TETRA de la ville grand Casablanca. Pour cela nous avons commencé par une étude de la QoS de Casablanca, qui nous a permis de définir les zones d'anomalie de couverture, en ce basant sur le Drive test, le calcul des KPIs et en analysant les résultats. Dans ce même cadre nous avons développée une application pour faciliter le calcul et l'analyse des KPIs à l'aide des outils de base de données Access et MySQL. Après nous avons planifié le réseau TETRA à l'aide du logiciel de planification Atoll afin d'éliminer les trous de réseau et prendre une

vision claire sur les résultats qui approchent de la réalité, ce qui est très nécessaire pour avoir une idée sur le processus qui sera implémenté sur terrain.

Ce projet de fin d'étude nous a permis de se familiariser avec les logiciels de base de données Access et MySQL et le logiciel de planification Atoll, et aussi de découvrir un nouvel aspect professionnel, celui de la planification radio, c'était une expérience très intéressante où nous avons pu acquérir un ensemble de connaissances sur l'architecture implémentée au niveau des réseaux TETRA.

Finalement, le projet est en phase d'acquisition et installation des sites après cette étape nous allons entamer les deux phases qui consiste à:

-  La configuration des TBS et des switches ;
-  Le test de confirmation.

## ***Bibliographie***

[1] <http://www.moratel.ma/>

[2] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Private\\_Mobile\\_Radiocommunications](http://fr.wikipedia.org/wiki/Private_Mobile_Radiocommunications)

[3] <http://kathrein-scala.com/library/rplib/index.php>

[4] Document interne Moratel, EADS, DXTip and DXTTip Product Description, Introduction to the DXTip and the DXTTip, chapitre 4.

[5] Document interne Moratel, EADS, Integrating the EADS TETRA System, EADS TETRA System.

[6] Document interne Moratel, NOKIA, Performance Management Measurements in the NTS DXT, KPI reports.

[7] Document interne Moratel, EADS, Guide d'utilisation de DWS Management, Chapitre 2.

[8] D.SALMANE, EVALUATION DE LA QUALITE DE SERVICE DES RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE, Rapport de Projet de Fin d'Etudes, Octobre 2008, Sup télécom.

[9] Forsk User Manuel ATOLL.

# Annexes



## Annexe 1

# Les différentes composantes du TBS

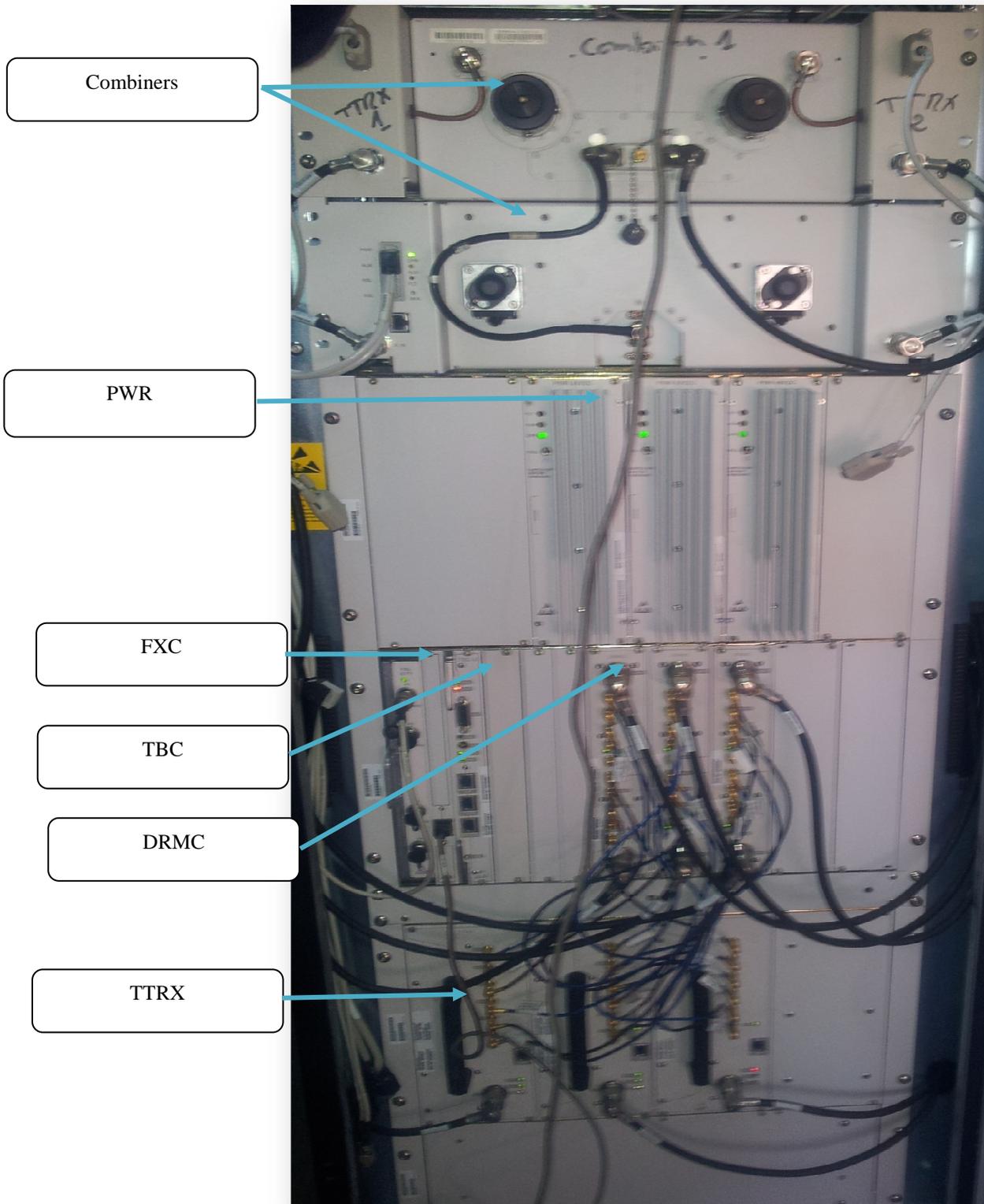


Figure 35: TBS de MOHAMMEDIA



## Annexe 2

### Exemple des Statistiques réseaux



```
DXTip      MORATEL      2012-02-01  00:13:33

100      RADIO NETWORK - REPORT

REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-01-31  23:58:33

TBS:1
Number of usable channels for subscriber traffic:105
Count of how many times previous counter has been updated:15
Busy time of group calls (seconds):153
Busy time of individual calls (seconds):0
Busy time of packet data traffic (seconds):0
Count of all sent main control channel downlink half-slots:31770
Count of reserved main control channel uplink half-slots:225
Count of used main control channel downlink half-slots:6198
Count of used main control channel random access uplink half-slots:5
Count of all channel reservation requests:11
Count of channel reservation requests that were queued:0
Total count of sent SACCH downlink half-slots:112
Total count of sent FACCH downlink half-slots:478
Random access collisions:0
Queueing in Traffic channel (in seconds):0
Queueing peak load in Traffic channel:0

TBS:2
Number of usable channels for subscriber traffic:165
Count of how many times previous counter has been updated:15
Busy time of group calls (seconds):280
Busy time of individual calls (seconds):1378
Busy time of packet data traffic (seconds):0
Count of all sent main control channel downlink half-slots:31770
Count of reserved main control channel uplink half-slots:322
Count of used main control channel downlink half-slots:6572
Count of used main control channel random access uplink half-slots:114
Count of all channel reservation requests:45
Count of channel reservation requests that were queued:0
Total count of sent SACCH downlink half-slots:2832
Total count of sent FACCH downlink half-slots:1374
Random access collisions:0
Queueing in Traffic channel (in seconds):0
Queueing peak load in Traffic channel:0
```

**Figure 36: Exemple de rapport radio network**



```
DXTip      MORATEL                2012-01-31  23:59:33
101      INDIVIDUAL CALL - REPORT
REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-01-31  23:44:33
Total count of succesfull individual calls:48
Count of succesfull individual Emergency calls:0
Count of succesfull individual duplex calls:47
Count of succesfull individual semiduplex Hook calls:0
Count of succesfull individual semiduplex Direct calls:1
Total connected time of succesfull individual semiduplex Hook calls:0
Total connected time of succesfull individual semiduplex Direct calls:0
Total connected time of succesfull individual duplex calls:1785
Total count of unsuccessfull individual calls:0
Count of unsuccessfull individual duplex calls:0
Count of unsuccessfull individual semiduplex Hook calls:0
Count of unsuccessfull individual semiduplex Direct calls:0
END OF REPORT
```

**Figure 37: Exemple de rapport Individuel call**

```
DXTip      MORATEL                2012-02-01  00:00:11
102      GROUP CALL - REPORT
REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-01-31  23:45:11
Total Number of members in groups:1944
Total count of shifting area for normal priority Group calls:39
Total count of shifting area for emergency priority Group calls:0
Total count of Fixed area for normal priority Group calls:0
Total count of Fixed area for emergency priority Group calls:0
Total time of shifting area for normal priority Group calls:954
Total time of shifting area for emergency priority Group calls:0
Total time of Fixed area for normal priority Group calls:0
Total time of Fixed area for emergency priority Group calls:0
Unsuccessfull shifting area group call with normal priority:0
Unsuccessfull shifting area group call with emergency priority:0
Unsuccessfull Fixed area group call with normal priority:0
Unsuccessfull Fixed area group call with emergency priority:0
END OF REPORT
```

**Figure 38: Exemple de rapport Group call**



```
DXTip      MORATEL      2012-02-01  00:15:18

103      GROUP MANAGEMENT - REPORT

REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-02-01  00:00:18

TBS:1
Count of succeeded Group Attachments by DXT:0
Count of succeeded Group Detachments by DXT:0
Count of Failed Group Attachments by DXT:0
Count of Failed Group Detachments by DXT:0
Count of succeeded Group Attachments by MS:0
Count of succeeded Group Detachments by MS:0
Count of Failed Group Attachments by MS:0
Count of Failed Group Detachments by MS:0
Count of DGNA Assign:0
Count of DGNA Deassign:0

TBS:2
Count of succeeded Group Attachments by DXT:0
Count of succeeded Group Detachments by DXT:0
Count of Failed Group Attachments by DXT:0
Count of Failed Group Detachments by DXT:0
Count of succeeded Group Attachments by MS:9
Count of succeeded Group Detachments by MS:0
Count of Failed Group Attachments by MS:0
Count of Failed Group Detachments by MS:0
Count of DGNA Assign:0
Count of DGNA Deassign:0
```

**Figure 39: Exemple de rapport Group management**



```
DXTip      MORATEL      2012-02-01  00:22:05
104        HANOVERS REPORT

REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN |
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-02-01  00:07:04

Failed inter DXT Handovers, indiv. call speech line reservation fails:0
Failed inter DXT Handovers, individual call signalling fails:0
Failed inter DXT Handovers, group call speech line reservation fails:0
Failed inter DXT Handovers, when group call signalling fails:0

TBS:1
Failed DXT Handovers, traffic channel reserv. fails in individual call:0
Failed Handovers, other failed cases in individual call:0
Successful Handovers in individual call:0
Failed DXT Handovers, traffic channel reservation fails in group call:0
Failed Handovers, other failed cases in group call:0
Successful Handovers in group call:0

TBS:2
Failed DXT Handovers, traffic channel reserv. fails in individual call:0
Failed Handovers, other failed cases in individual call:0
Successful Handovers in individual call:0
Failed DXT Handovers, traffic channel reservation fails in group call:0
Failed Handovers, other failed cases in group call:1
Successful Handovers in group call:2

TBS:3
Failed DXT Handovers, traffic channel reserv. fails in individual call:0
Failed Handovers, other failed cases in individual call:0
Successful Handovers in individual call:0
Failed DXT Handovers, traffic channel reservation fails in group call:0
Failed Handovers, other failed cases in group call:0
Successful Handovers in group call:0
```

**Figure 40: Exemple de rapport Handover**



```
DXTip      MORATEL                      2012-02-01  00:30:28
105      PACKET DATA - REPORT

REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-02-01  00:15:28

Count of succesfull contexts (DXT scale):793
Count of succesfull activations of Contexts (DXT scale):11
Count of Failed GTP packets (DXT scale):0

TBS:1
Count of succesfull transferred packets sent to or received from TBS:0
Count of succ transferred packet length in bytes:0
Count of failed packets received from TBS:0

TBS:2
Count of succesfull transferred packets sent to or received from TBS:0
Count of succ transferred packet length in bytes:0
Count of failed packets received from TBS:0

TBS:3
Count of succesfull transferred packets sent to or received from TBS:108
Count of succ transferred packet length in bytes:4824
Count of failed packets received from TBS:0
```

**Figure 41: Exemple de rapport packet data**



```
DXTip      MORATEL                      2012-02-01  00:30:31

106        STATUS AND SDS MESSAGES - REPORT

REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-02-01  00:15:31

Count of data messages (status + SDS1) from DWS/TCS client:0
Count of data messages (SDS2,SDS3,SDS4,TL) from DWS/TCS client:214
Count of Failed individual addressed Status + SDS1 from DWS/TCS Client:0
Count of Failed group addressed Status + SDS1 from DWS/TCS Client:0
Count of Failed individual addressed SDS2-4,TL from DWS/TCS client:52
Count of Failed group addressed SDS2-4,TL from DWS/TCS client:0

TBS:1
Count of data messages (status + SDS1):0
Count of data messages (SDS2, SDS3, SDS4, TL):0
Count of Failed individual addressed (Status + SDS1):0
Count of Failed group addressed (Status + SDS1):0
Count of Failed individual addressed (SDS2-4,TL):0
Count of Failed group addressed (SDS2-4,TL):0

TBS:2
Count of data messages (status + SDS1):0
Count of data messages (SDS2, SDS3, SDS4, TL):0
Count of Failed individual addressed (Status + SDS1):0
Count of Failed group addressed (Status + SDS1):0
Count of Failed individual addressed (SDS2-4,TL):0
Count of Failed group addressed (SDS2-4,TL):0
```

**Figure 42: Exemple de rapport status and sds messages**

```
DXTip      MORATEL                      2012-02-01  23:30:52

108        MOBILITY MANAGEMENT - REPORT

REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-02-01  23:15:50

TBS:1|
Count of ITSI attach:0
Count of location updates inside switch:4
Count of location updates from switch to another switch:0
Count of ITSI detach:0

TBS:2
Count of ITSI attach:1
Count of location updates inside switch:0
Count of location updates from switch to another switch:0
Count of ITSI detach:1
```

**Figure 43: Exemple de rapport mobility management**



```
DXTip      MORATEL      2012-02-01  23:30:52
109      ISDN RESOURCE MANAGEMENT OF DXT - REPORT
REPORT OUTPUT INTERVAL: 15 MIN
MEASUREMENT PERIOD START: 2012-02-01  23:15:50
UNIT:0
Count of all reservation attemps:0
Count of failed reservation attemps:0
IN: reservations:0
IN: reservation time (sec):0
OUT: reservations:0
OUT: reservation time (sec):0
Count of failed IN:0
Count of failed OUT:0
Count of successful reservations:0
END OF REPORT
```

**Figure 44: Exemple de rapport isdn ressource management**



## Annexe 3

### Les formules de calcul des KPIs

➤ Le rapport DXT radio network nous a permis de calculer les KPIs suivantes :

- KPI name: Queuing of Channel Reservation Requests

La formule :  $100 * (\text{Count of channel reservation requests that were queued} / \text{Count of all channel reservation requests})$



- KPI name: Main Control Channel Downlink Usage

La formule:  $100 * (\text{Count of used main control channel downlink half-slots} / \text{Count of all sent main control channel downlink half-slots})$

- KPI name: Main Control Channel Usage, Random Access Uplink

La formule:  $100 * (\text{Count of used main control channel random access uplink half-slots} / (\text{Count of all sent main control channel downlink half-slots} - \text{Count of reserved main control channel uplink half-slots}))$

- KPI name: Traffic Channel Usage

La formule:  $100 * (\text{Busy time of group calls} + \text{Busy time of individual calls} + \text{Busy time of packet data traffic}) / (\text{Number of usable channels for subscriber traffic} * 60 * \text{Count of how many times previous counter has been updated})$

- KPI name: Group Call Erlangs

La formule:  $100 * (\text{Busy time of group calls} / (\text{Number of usable channels for subscriber traffic} * 60 * \text{Count of how many times previous counter has been updated}))$

- KPI name: Individual Call Erlangs

La formule:  $100 * (\text{Busy time of individual calls} / (\text{Number of usable channels for subscriber traffic} * 60 * \text{Count of how many times previous counter has been updated}))$

- KPI name: Packet Data Erlangs

La formule:  $100 * (\text{Busy time of packet data traffic} / (\text{Number of usable channels for subscriber traffic} * 60 * \text{Count of how many times previous counter has been updated}))$

➤ Le rapport Individual call nous a permis de calculer les KPIs suivantes :

- KPI name: Successful Individual Calls

La formule:  $\text{Count of successful individual Emergency calls} + \text{Count of successful individual duplex calls} + \text{Count of successful individual semiduplex Hook calls} + \text{Count of successful individual semiduplex Direct calls}$ .

- KPI name: Unsuccessful Individual Calls

La formule:  $P\_DXT\_INDIV\_CALL.DUPLEX\_CALLS\_FAIL + P\_DXT\_INDIV\_CALL.HOOK\_CALLS\_FAIL + P\_DXT\_INDIV\_CALL.INDIV\_CALLS\_FAIL$

➤ Le rapport Group call nous a permis de calculer les KPIs suivantes :



- KPI name: Successful Group Calls

La formule: Total count of Shifting area for normal priority Group calls + Total count of Shifting area for emergency priority Group calls + Total count of Fixed area for normal priority Group calls + Total count of Fixed area for emergency priority Group calls

- KPI name: Unsuccessful Group Calls

La formule: Unsuccessful Shifting area group call with normal priority + Unsuccessful Shifting area group call with emergency priority + Unsuccessful Fixed area group call with normal priority + Unsuccessful Fixed area group call with emergency priority

➤ Le rapport Roaming nous a permis de calculer les KPIs suivantes :

- KPI name: Ratio of Failed Group Call Handovers

La formule:  $100 * (\text{Failed DXT Handovers, Traffic channel reservation fails in group call} + \text{Failed Handovers, other failed cases in group call}) / (\text{Failed Handovers, other failed cases in group call} + \text{Failed DXT Handovers, Traffic channel reservation fails in group call} + \text{Successful Handovers in group call})$

- KPI name: Ratio of Failed Individual Call Handovers

La formule:  $100 * (\text{Failed Handovers, other failed cases in individual call} + \text{Failed DXT Handovers, Traffic channel reserv. fails in individual call}) / (\text{Failed DXT Handovers, Traffic channel reserv. fails in individual call} + \text{Failed Handovers, other failed cases in individual call} + \text{Successful Handovers in individual call})$

➤ Le rapport Packet data nous a permis de calculer les KPIs suivantes :

- KPI name: Average Packet Length

La formule:  $\text{Count of succ transferred packet length in bytes} / \text{Count of succesfull transferred packets sent to or received from TBS}$

- KPI name: Ratio of Unsuccessful Packet Data Traffic

La formule:  $100 * (\text{Count of failed packets received from TBS}) / (\text{Count of succesfull transferred packets sent to or received from TBS} + \text{Count of failed packets received from TBS})$

➤ Le rapport ISDN resource management of DXT nous a permis de calculer les KPIs suivantes :



- KPI name: Ratio of Failed ISDN Reservations

La formule:  $100 * (\text{Count of failed reservation attempts} / (\text{Count of failed reservation attempts} + \text{Count of successful reservations}))$

- KPI name: Ratio of Successful ISDN Reservations

La formule:  $100 * (\text{Count of successful reservations} / (\text{Count of failed reservation attempts} + \text{Count of successful reservations}))$

## Annexe 4



# Description de la base de données

## MySQL

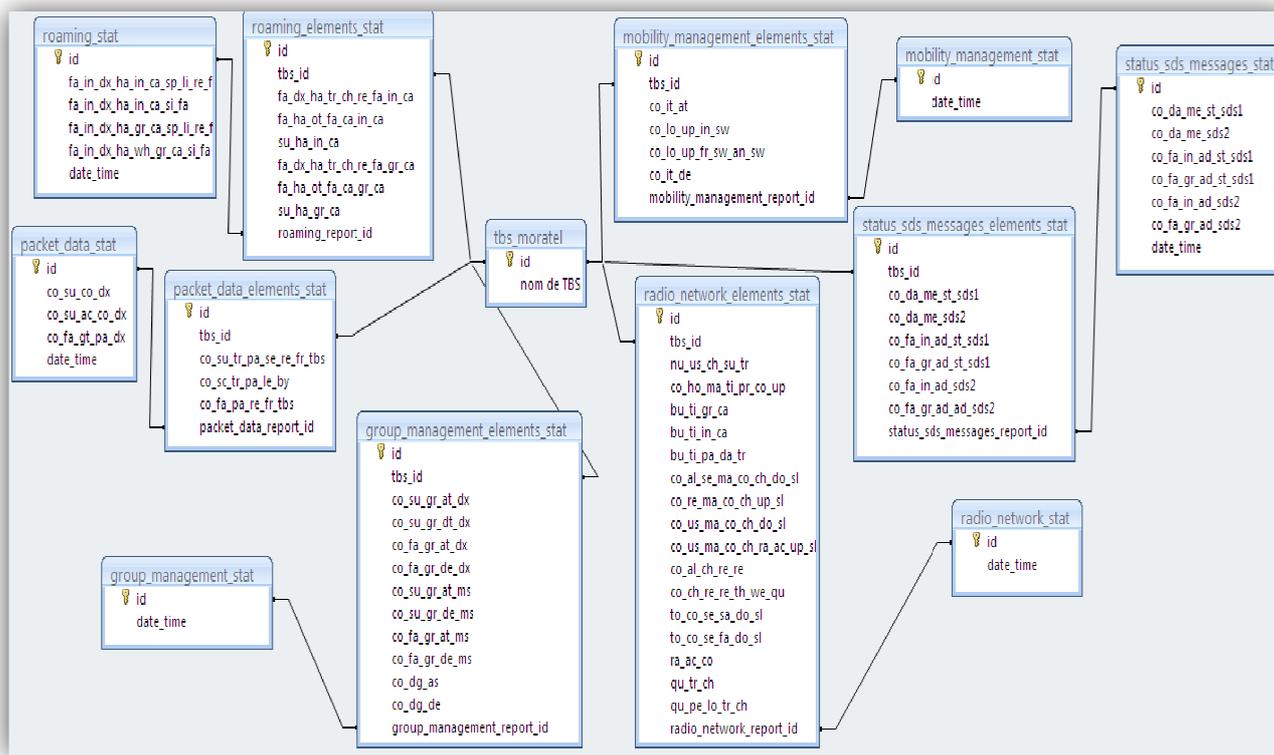


Figure 45: Modélisation conceptuelle de la base de données



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for the 'moratel\_kpi' database. The main area displays a table structure grid with the following data:

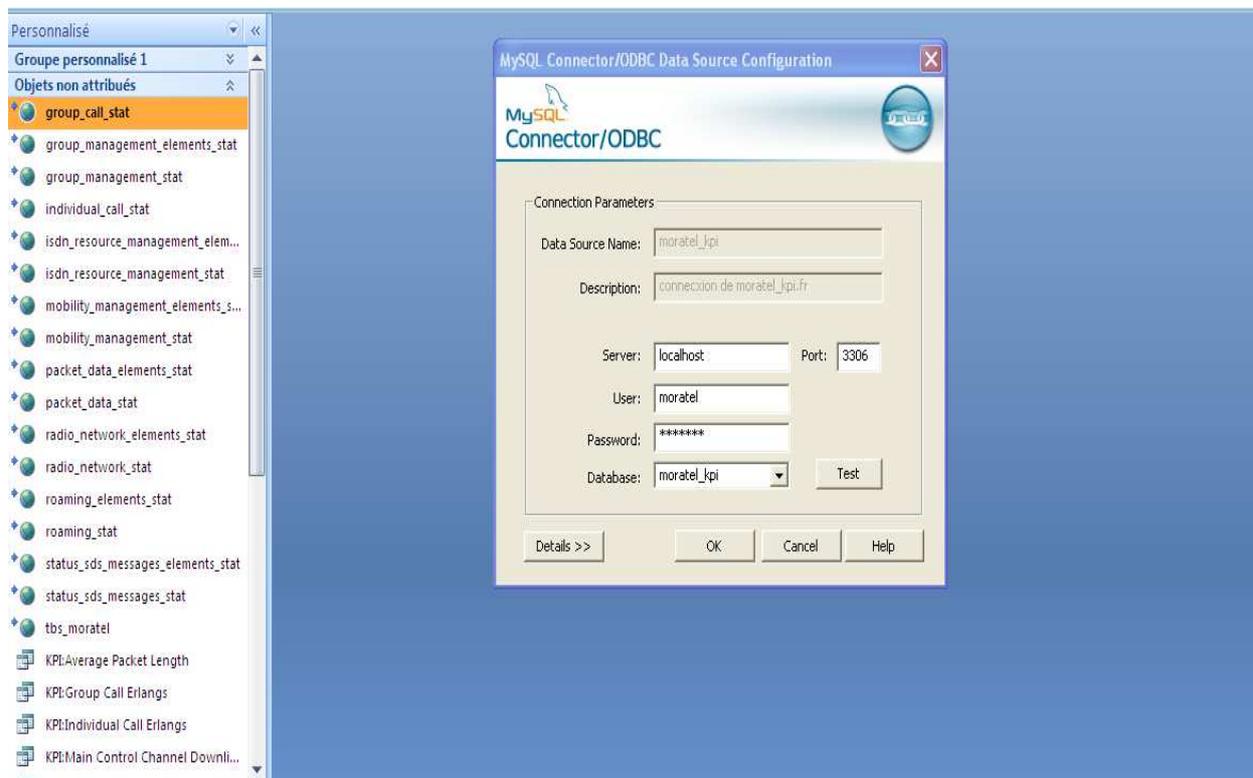
Table	Action	Lignes	Type	Interclassement
group_call_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	2	InnoDB	latin1_swedish_ci
group_management_elements_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	11	InnoDB	latin1_swedish_ci
group_management_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	0	InnoDB	latin1_swedish_ci
individual_call_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	0	InnoDB	latin1_swedish_ci
isdn_resource_management_elements_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	0	InnoDB	latin1_swedish_ci
isdn_resource_management_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	0	InnoDB	latin1_swedish_ci
mobility_management_elements_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	0	InnoDB	latin1_swedish_ci
mobility_management_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	0	InnoDB	latin1_swedish_ci
packet_data_elements_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	3	InnoDB	latin1_swedish_ci
packet_data_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	0	InnoDB	latin1_swedish_ci
radio_network_elements_stat	Afficher Structure Rechercher Insérer Vider Supprimer	0	InnoDB	latin1_swedish_ci

Figure 46: Structure de la base de données MySQL

## Annexe 5



# Manipulation des données de l'application



**Figure 47: Interface d'accueil de l'outil**

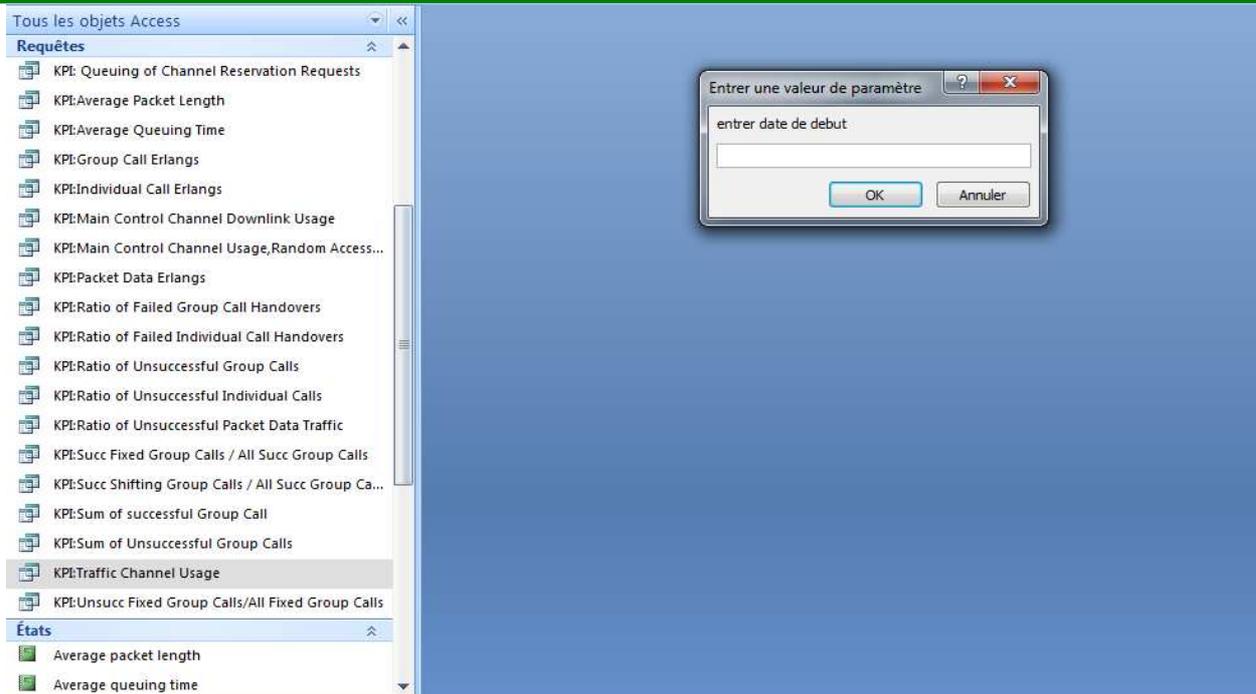


Figure 48: Fenêtre de données

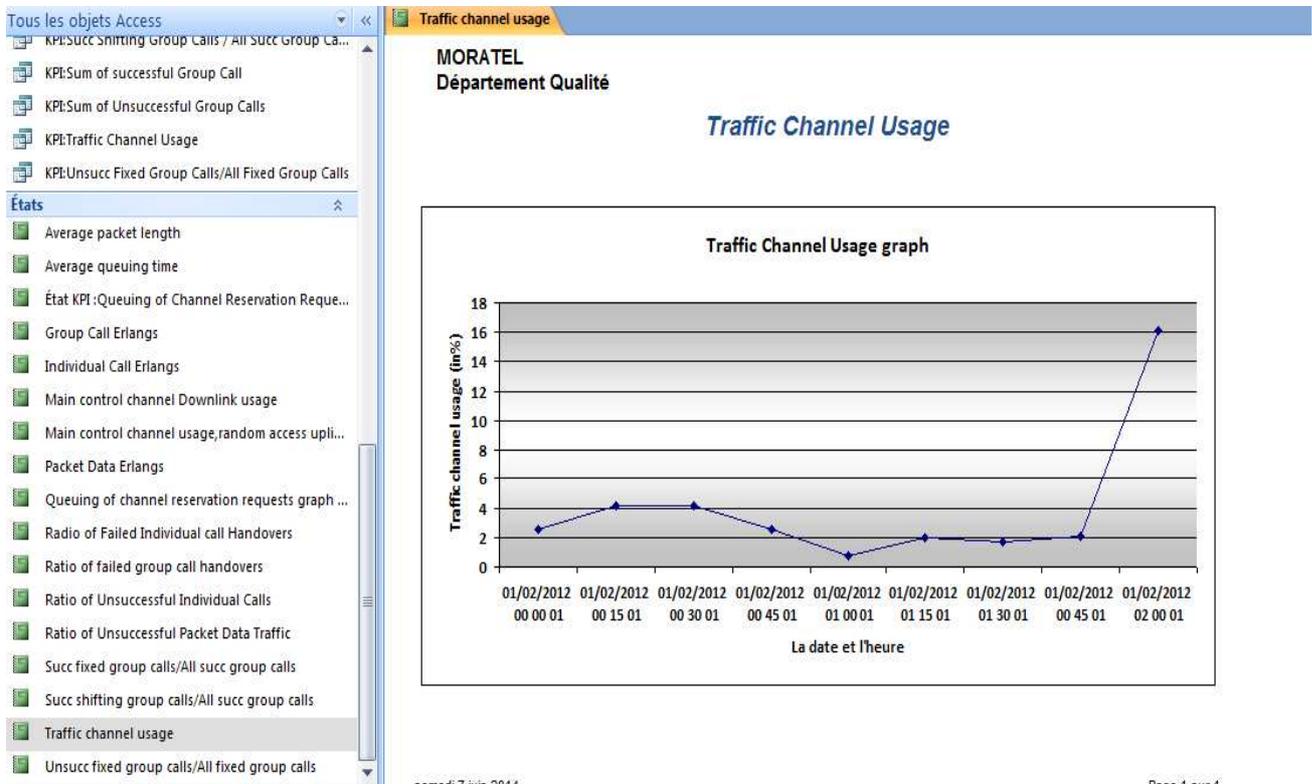


Figure 49: Traffic channel usage graph



MEASUREMENT PERIOD	TBS	Traffic Channel Usage(in%)
01/02/2012 00:00:01	1	2,50
01/02/2012 00:15:01	1	4,17
01/02/2012 00:30:01	1	4,17
01/02/2012 00:45:01	1	2,50
01/02/2012 01:00:01	1	0,75
01/02/2012 01:15:01	1	2,00
01/02/2012 01:30:01	1	1,67
01/02/2012 00:45:01	1	2,08
01/02/2012 02:00:01	1	16,11
*		

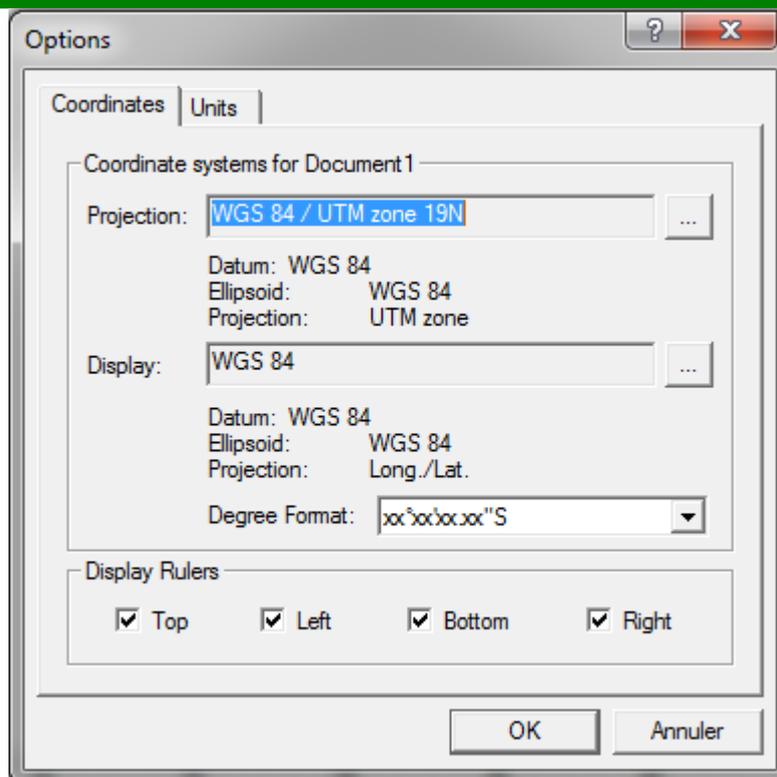
Figure 50: Traffic Channel usage

## Annexe 6



---

Limitation de la zones par leurs  
coordonnées géographiques altitude et  
longitude



**Figure 51: Coordonnées de la zone à planifier**



## Annexe 7

# Introduction des paramètres des sites de Casablanca déjà existé



Site	Transmitter	Active	DX (m)	DY (m)	Antenna	Height (m)
Benmsik	Benmsik_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	52
Bernoussi	Bernoussi_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	52
Bouskoura	Bouskoura_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	50
Hay Adil	Hay Adil_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	9
Hay Hassani	Hay Hassani_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	52
La Colline	La Colline_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	60
Maarif	Maarif_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	18
Mohammedia	Mohammedia_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	31
ONDA-CASA	ONDA-CASA_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	18
T. Habous	T. Habous_1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	Omni 7.5dBi 0tilt 400MHz	84

Figure 52: paramètres des sites de Casablanca (transmetteur, antenne et longueur de pylône)

Cell Type	Cell Reselect Offset (dB)	Frequency Band	EIRP (dBm)	Main Propagation Model	Main Calculation Radius (km)
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Cost-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Cost-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Okumura-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Cost-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Cost-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Cost-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Cost-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Okumura-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Okumura-Hata	40
Tetra Cell 400	0	TETRA 400	49,5	Cost-Hata	40

Figure 53: paramètres des sites de Casablanca (type de cellule, la bande de fréquence, la PIRE et le model de propagation)



## Annexe 8

# Etude d'interférence

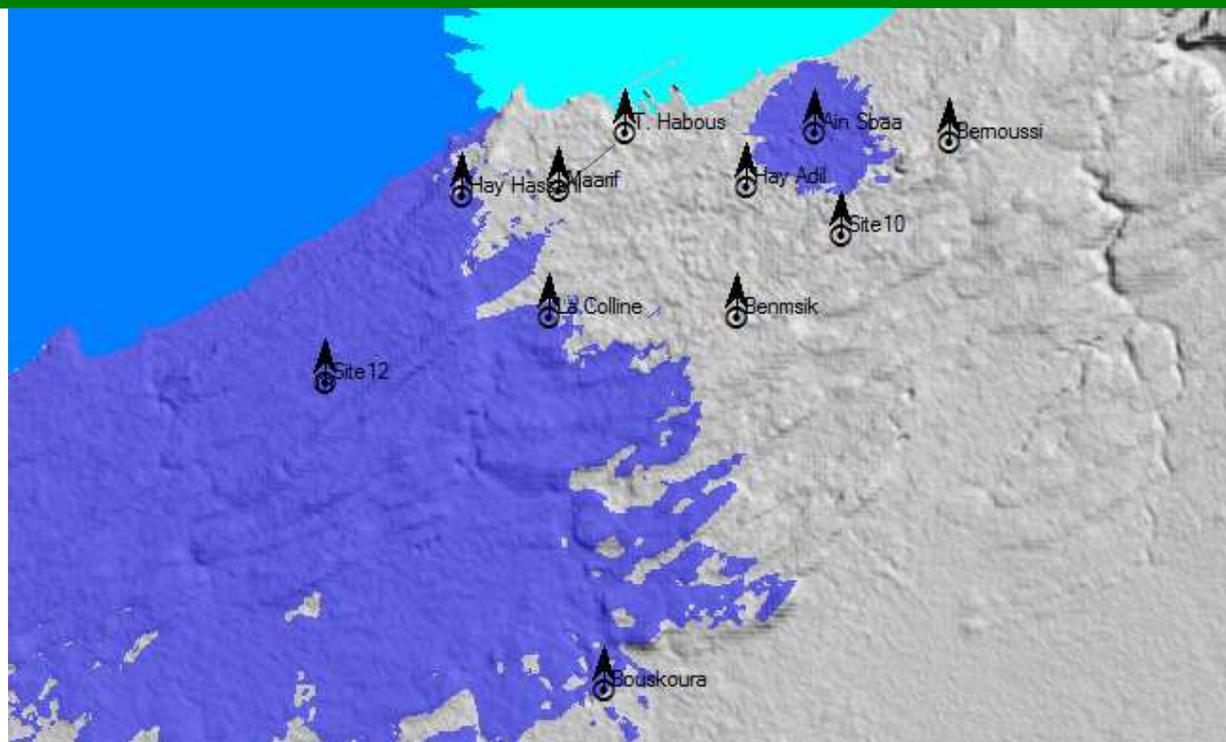


Figure 54: Résultat de simulation d'étude d'interférence entre le site 12 et Ain Sbaa

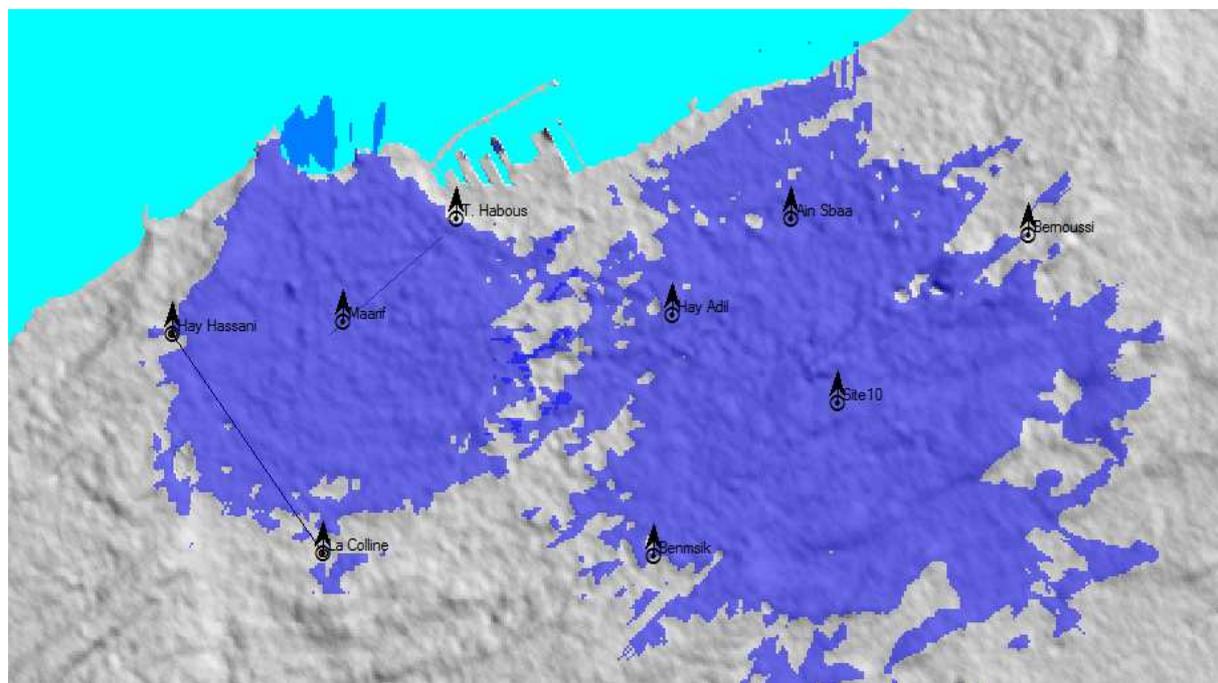


Figure 55: Résultat de simulation d'étude d'interférence entre le site 10 et Maarif