Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut. . .

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance. . .

Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce projet de fin d'études...

A mes chers parents : Abdelmalek et Dalila

A tous mes amis et tous ceux qui me sont chers...

Que Dieu vous garde

Mohamed Amine

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de ce PFE.

Nous tenons particulièrement à présenter nos vifs remerciements à **M. Cherif Rezgui**, pour l'aide, les conseils et le soutien qu'il nous a apporté lors de différentes étapes du déroulement du projet.

Notre gratitude s'adresse à **M.Chiraz Houaidia** pour tout le temps qu'elle nous a consacré, pour son directive précieuse et pour la qualité de son suivi durant toute la période de mon PFE.

Nos remerciements s'adressent également à tous les personnels des centres radio maritime de Tunisie Telecom qui se sont montrés très collaborateurs et qui ont su me consacrer leurs temps.

Table des matières

Introduction générale……...1

Cahier des charges……...3

Chapitre 1. La radiocommunication maritime 5

1.1. Introduction 5

1.2. Présentation du système radio maritime 5

1.2.1. Historique des radiocommunications 5

1.2.2. Normes internationales et bandes de fréquence maritimes 5

1.2.3. Réseau de radio communication maritime 7

1.3. Phénomènes de propagation des ondes 9

1.3.1. Les différents modèles de propagation 10

1.4. Techniques de transmission 13

1.4.1. La transmission analogique 14

1.4.2. La transmission numérique 15

1.5. Conclusion 18

Chapitre 2. Etude et analyse du réseau radio maritime actuel 14

2.1. Introduction 14

2.2. Présentation du réseau radio maritime actuel 14

2.2.1. Station côtière 14

2.2.2. Stations de bateau 15

2.3. Services offerts 15

2.3.1. Les limites de la solution actuelle 16

2.4. Technologie analogique et conventionnelle 17

2.5. Simulation du réseau radio maritime actuel 17

2.5.1. Objectif 17

2.5.2. Présentation d'ICS Télécom 17

2.5.3. Infrastructure du réseau radio maritime 18

2.5.4. Paramètres de la liaison radio 19

2.5.5. Simulation de la couverture 20

2.6. Conclusion :..... 25

Chapitre 3. Simulation et implémentation du réseau radio maritime numérique 26

3.1. Introduction 26

3.2. Normes des réseaux privés 26

3.3. Choix du système TETRA 27

3.3.1. Caractéristiques du réseau TETRA..... 28

3.3.2. Architecture et interfaces TETRA 30

3.4. Processus de la simulation..... 31

3.4.1. Paramétrage des stations relais 31

3.4.2. Paramétrage du réseau projeté 33

3.4.3. Comparaison des résultats de simulation :..... 37

3.4.4. Solution pour les communications Navire –BTS..... 41

3.5. Conclusion..... 45

Conclusion générale……...45

Bibliographie…..…..……...46

Annexe 1 ……...47

Annexe 2 ……..……...……...48

Annexe3 ……..……...49

Annexe 4 ……..……...…...51

Liste des figures

Figure 1.1 : Phénomène de réflexion 9
Figure 1.2 : Phénomène de diffraction 9
Figure 1.3 : Phénomène de réfraction 10
Figure 1.4 : Ellipsoïde de Fresnel 11
Figure 1.5 : Dispositif de mesures utilisé par la CCIR 12
Figure 1.6:Exemple des courbes CCIR 13
Figure 1.7 : Principe d'échantillonnage et de quantification 16
Figure 2.1 : Coordonnées du site Tabarka 21
Figure 2.2 : Paramètres d'entrée 22
Figure 2.3 : Paramétrage de l'antenne 22
Figure 2.4 : Paramétrage de simulation 23
Figure 2.5 : Sélection du modèle de propagation 24
Figure 2.6 : Zones de couverture du réseau radio maritime tunisien 24
Figure 3.1 : Systèmes TETRA installés par secteur d'activité en 2011[5] 28
Figure 3.2 : Construction de la multi-trame [6] 29
Figure 3.3 : Architecture et interfaces du réseau TETRA 31
Figure 3.4 : Antenne panneau [8] 32
Figure 3.5 : Diagramme de rayonnement d'une antenne panneau [8] 33
Figure 3.6 : Couverture du réseau projeté 36
Figure 3.7 : Couverture du nouveau réseau TETRA 39
Figure 3.8 : Emplacement des points de test 40
Figure 3.9 : Diagramme de rayonnement de l'antenne panneau Kathrein K 72 22 41 ... 42
Figure 3.10 : Paramètres d'entrée de la station bateau 43
Figure 3.11 : Caractéristiques de l'antenne de la station bateau 44
Figure 3.12 : Simulation de couverture de la station bateau 44

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Bandes de fréquences radio maritimes *7*
Tableau 2.1 : Emplacement des stations côtières radio maritimes *18*
Tableau 2.2 : Puissance des émetteurs *19*
Tableau 2.3 : Caractéristiques des antennes *19*
Tableau 2.4 : Caractéristiques des différentes voies [4] *20*
Tableau 3.1 : Normes des réseaux privés *27*
Tableau 3.2: Paramètres radio de la norme TETRA [7] *30*
Tableau 3.3 : Choix des paramètres des antennes des stations existantes *35*
Tableau 3.4 : Paramètres radioélectriques des sept sites *36*
Tableau 3.5 : Comparaison des niveaux des champs reçus aux points de références *37*
Tableau 3.6 : Coordonnées géographiques des stations ajoutées *38*
Tableau 3.7 : Caractéristiques des antennes des stations ajoutées *38*
Tableau 3.8 : Niveau du signal reçu *40*

Liste des abréviations

A

ANF : Agence National de Fréquence

B

BMS: Bulletins Marines Spéciaux

BTS: Base Transceiver Station

D

DMR: Digital Mobile Radio

E

ETSI: European Télécommunications Standards Institute

F

FDMA: *Frequency Division Multiple* Access

G

GPS: Global Positioning System

GTSI: Group TETRA Subscriber Identities

GMSK: Shift minimal gaussien Keying

H

HF: High Frequency

I

Inmarsat : International maritime satellite organization

IP: Internet Protocol

ISI: Interface Inter Système

ITSI: Individual TETRA Subscriber Identity

J

JRC: Japan Radio Company

L

LF: Low Frequency

M

MS: Mobile Station

MF : Moyenne Fréquence

O

OMI: Organisation Maritime International

P

PMR: Private Mobile Radio

Q

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

R

RF : Radio Fréquence

S

SAMU: Service d'Aide Médicale Urgente

SHF: Super High Frequency

T

TDMA: Time Division Multiple Access

TEI: TETRA Equipment Identities

TETRA: TErrestrial Trunked Radio

TSI: TETRA Subscriber Identities

U

UHF: Ultra High Frequency

UIT: Union international de Télécommunication

V

VHF: Very High Frequency

VOIP: Voice over IP

W

Wimax: Worldwide Interoperability for Microwave Access

Introduction générale

Depuis la fin du 19ème siècle, les télécommunications ont connu des développements considérables. En effet, la communication à distance est devenue possible suite à l'invention du téléphone par Bell et le télégraphe par Morse.

Les techniques de traitement des signaux tels que le filtrage, la modulation et l'amplification ont permis à la transmission sans fil de devenir réalité.

Les premières liaisons de transmission sans fil ont été limitées pour les systèmes de faisceaux hertziens reliant deux points distants en visibilité directe.

L'ère de la transmission analogique a connu des expérimentations et des progrès technologiques visant à l'amélioration de l'efficacité des réseaux sans fil. Ce type de transmission s'est confronté à plusieurs contraintes liées aux interférences, à la saturation du spectre et au manque de confidentialité et de flexibilité liée à la mobilité.

A la fin du 20ème siècle, les réseaux mobiles se sont développés et ont permis aux utilisateurs de bénéficier de la mobilité partout et à n'importe quel temps, de la confidentialité et de la qualité de service.

Le besoin en matière des services offerts (téléphonie, Internet, GPS, applications…) est toujours croissant. Des réseaux à base des nouvelles normes 3G, 4G, … se sont en train de se déployer rendant les services de communications accessibles aux membres du public.

Les professionnels tels que le SAMU, la police, la protection civile et le secteur de radio communication maritime s'orientent vers le déploiement des réseaux dédiés conçus sur mesure leur permettant de communiquer et de répondre à leurs besoins spécifiques.

En effet, les utilisateurs potentiels de ces réseaux privés demandant des services particuliers autres que ceux proposés par les réseaux dédiés au grand public.

Dans ce cadre notre projet de fin d'études intitulé « Etude et planification d'un réseau de radio communication maritime en Tunisie » vise à analyser la situation du réseau actuel et la

projection d'un nouveau réseau numérique basé sur la norme TETRA capable de résoudre les problèmes soulevés.

Dans cette logique, ce projet est divisé en trois chapitres. Le premier chapitre sera consacré à la description de la radio communication maritime, aux phénomènes de propagation ainsi que les techniques des systèmes de transmission numérique. Le deuxième chapitre sera dédié à l'étude et à l'analyse du réseau de radiocommunication maritime actuel en Tunisie. Le troisième chapitre présentera la norme TETRA et détaillera la planification et le dimensionnement du nouveau réseau numérique projeté à l'aide de l'ICS Télécom.

Cahier des charges

La présente partie a pour objectif la mise en contexte de notre projet tout en présentant Tunisie Télécom comme étant l'organisme d'accueil et en spécifiant le cadre de l'élaboration du projet et les différentes étapes de sa réalisation.

1. *Présentation de Tunisie Télécom*

Tunisie Télécom est une société étatique chargée de la gestion, l'exploitation et la maintenance du réseau des télécommunications en Tunisie. Il est l'opérateur historique du pays.

Leader sur le marché des télécommunications en Tunisie, l'opérateur historique, global, intégré, est présent sur les segments du fixe, du mobile et de l'internet. Il s'adresse au grand public, aux entreprises et aux opérateurs tiers.

Depuis sa création, Tunisie Telecom a œuvré à consolider l'infrastructure des télécommunications en Tunisie, à maintenir et à améliorer le taux de couverture, de son réseau fixe et de son réseau mobile.

Tunisie Telecom est aujourd'hui organisé autour de deux pôles d'activité :

- Le pôle « Détail » regroupe les services de téléphonie mobile, de téléphonie fixe, d'Internet (destinés au grand public et aux entreprises) et les services data ou de transmission de données (destinés exclusivement aux entreprises).
- Le pôle « Opérateurs et International » regroupe les services d'interconnexion nationale, de terminaison et de transit et les services de roaming-in.

2. *Problématique*

Malgré le progrès technologique réalisé ces dernières années surtout en matière de numérisation, le réseau de radio communication maritime actuel en Tunisie est encore du type

analogique et par conséquent il présente plusieurs limites en termes de couverture, de capacité et des services offerts.

Notre projet intitulé « Etude et planification d'un réseau de radio communication maritime en Tunisie » vise à mettre en place un réseau numérique TETRA dont le but est de surmonter les problèmes à l'automatisation des opérations, à la mobilité, à la qualité de service et à la capacité de satisfaire les besoins des professionnels.

3. *Planification du projet*

La planification est parmi les phases d'avant projet les plus importantes. Elle consiste à déterminer et à ordonnancer les tâches du projet et à estimer leurs charges respectives.

Parmi les outils de planification du présent projet, nous avons utilisé le diagramme de GANTT. C'est un outil qui permet de planifier le projet et de rendre plus simple le suivi de son avancement. Ce diagramme permet aussi de visualiser l'enchainement et la durée des différentes tâches durant le stage comme illustré par la figure 1.

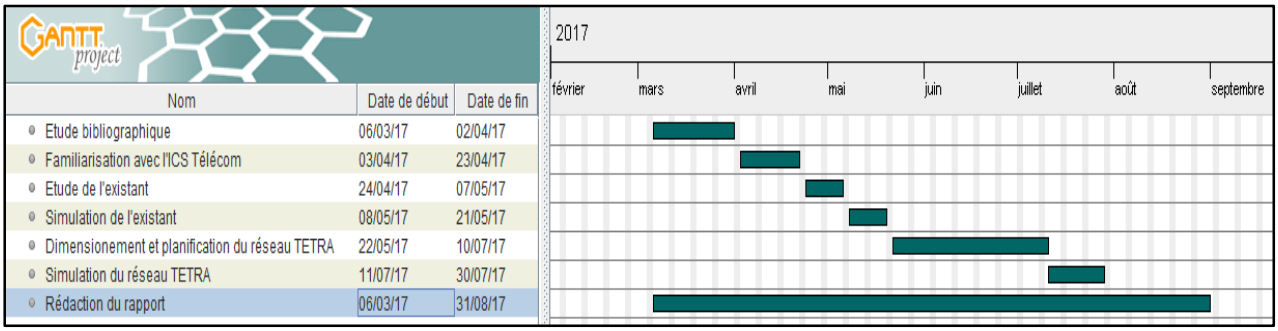


Figure 1 : Planning de déroulement du projet

Chapitre 1. La radiocommunication maritime

1.1. Introduction

Le procédé de radiocommunication implique la transmission de l'information d'un emplacement à un autre au moyen des ondes électromagnétiques suivant différentes modes de propagation. Les techniques et les systèmes de la radiocommunication n'ont cessé d'évoluer pour améliorer la performance des réseaux et offrir une meilleure qualité de service aux utilisateurs par le déploiement des réseaux numériques.

La radiocommunication maritime permet de communiquer entre navireset stations côtières.

Ce chapitre donnera un aperçu sur l'historique de la radiocommunication, les spécificités, les phénomènes de propagation et les techniques de transmission.

1.2. Présentation du système radio maritime

1.2.1. Historique des radiocommunications

Depuis la fin du 19ème siècle, les expériences et les inventions des chercheurs ont rendu possible la transmission sans fil.

Tous les opérateurs de téléphonie et de radio diffusion ont réalisé des réseaux permettant la communication à distance.

La radio communication maritime a utilisé les réseaux de radiodiffusion en modulation d'amplitude pour l'échange d'information surtout télégraphique entre les stations côtières et les navires.

1.2.2. Normes internationales et bandes de fréquence maritimes

Pour garantir une meilleure qualité des services mobiles maritimes, le secteur de radiocommunications maritimes a été soumis à un ensemble de règles appelées « recommandations » qui constituent un ensemble de normes techniques internationales développées par le Secteur de Radiocommunications de l'UIT.

Ces recommandations visent à réglementer l'utilisation des bandes de fréquence surtout pour les communications de détresse et de sécurité.

Parmi ces recommandations on trouve la recommandation UIT-R M.489-2relatives aux caractéristiques techniques des appareils radiotéléphoniques utilisés par le service mobile maritime fonctionnant en ondes métriques avec un espacement de 25 Khz entre voies adjacentes ainsi que la recommandation UIT-R P.680-3 relative aux données de propagation nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication mobiles maritimes terre-espace.

La radiocommunication maritime a été normalisée dans les bandes de fréquences présentées dans le tableau ci-dessous :

Bande	*Fréquence de détresse*	*Services*
La bande MF : des sous-bandes réparties sur la bande de 1,6 MHz à 3,8 MHz	2182 kHz pour la bande comprise entre 1605 kHz et 4000 kHz	la radiotélégraphie et Navtex pour la réception des messages qui incluent les bulletins météo, les Avurnavs (avis urgent aux navigateurs)
La bande HF : des sous-bandes réparties entre 4 et 26 MHz avec des canaux de 3 kHz. La fréquence de détresse est 4125 kHz.	4125 kHz	Radiotélex
La bande VHF : bande métrique VHF des mobiles du service maritime couvre de 156 à 162 MHz avec des canaux de 25 kHz	156,8 Mhz (canal 16)	La communication personnelle, télégraphie, communication par des radiotéléphones portables pour les communications locales portuaires ou en secours
La bande UHF : 450 MHz à 470 MHz		Trafic interne entre des postes radios à bord d'un navire de commerce ou à bord de divers bateaux, PMR maritime de radiocommunication de bord

Tableau 1.1 : Bandes de fréquences radio maritimes

1.2.3. Réseau de radio communication maritime

La radio communication maritime est supportée d’une part à travers un réseau satellitaire et d’autre part par un réseau VHF terrestre.

1.2.3.1. Réseau satellite

Les systèmes satellitaires sont aujourd’hui le support de transmission le plus utilisé dans la transmission radio et ce malgré le cout élevé et les problèmes liés à leurs fiabilités.

Parmi ces systèmes on peut citer :

- ***Système Inmarsat***

L'organisation internationale Inmarsat est une société de télécommunications par satellite, offrant des services mobiles mondiaux. Elle fournit des services de téléphonie et de données

aux utilisateurs dans le monde entier moyennant quatre satellites géostationnaires opérationnels situés sur le Pacifique, sur l'océan Indien ainsi que sur l'océan Atlantique. Cela offre une couverture presque totale sur le globe.

Inmarsat offre différents types de formats de services mobiles maritimes en exploitant l'Inmarsat A ou son successeur numérique Inmarsat B ou même le service de messagerie bidirectionnelle Inmarsat C. Ces formats incluent la voix, la télégraphie et la transmission de données à haute vitesse.

- ***Système Mondial de Détresse et de Sécurité en Mer***

Le système mondial de détresse et de sécurité en mer est un système international qui utilise des moyens de télécommunications pour l'alerte rapide de sauvetage en mer et la prévention des accidents maritimes.

Le SMDSM a été développé par l'Organisation maritime internationale (OMI) et représente un changement important dans la façon dont les communications de sécurité maritime sont menées.

1.2.3.2. Réseau VHF terrestre

Depuis quelques années, les réseaux terrestres sont des systèmes de communications analogiques avantagés par la capacité de diffusion de groupe. Mais de nos jours, les réseaux de communication maritime comme tout système migrent vers le numérique.

Depuis les années 1993, la Tunisie s'est doté d'un réseau analogique terrestre opérant dans la bande VHF et assurant les communications entre les stations côtières et les navires. Les équipements de ce réseau ont été fournis par la firme JRC

- ***Système JRC***

Japan Radio Company abrégé en « JRC » est un fabricant leader dans le monde d'électronique marine spécialisée dans les équipements de navigation et de communication commerciale.

Le déploiement de ce système a permis d'offrir des services (téléphonie, télégraphie…) diffusés à partir de 7 stations côtières.

1.3. Phénomènes de propagation des ondes

En se propageant dans l'atmosphère, les ondes subissent des déformations appelées phénomènes qui sont :

- ***Réflexion***

Tout comme la lumière visible, les ondes radio incidentes sont réfléchies lorsqu'elles frappent un objet et rebondissent comme l'illustre la figure 1.1.

La direction du rayonnement réfléchi dépend de la rugosité de surfaces rencontrées.

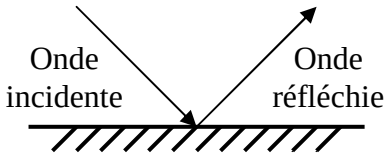


Figure 1.1 : Phénomène de réflexion

- ***Diffraction***

La diffraction est le repli apparent lorsque des ondes rencontrent un obstacle ou une ouverture telle qu'il est schématisé dans la figure 1.2. Elle se manifeste par le changement de la densité d'onde.

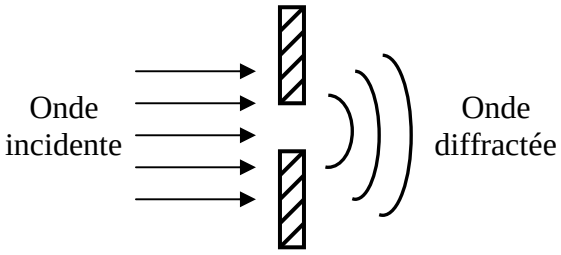


Figure 1.2 : Phénomène de diffraction

- ***Réfraction***

La réfraction est l'effet auquel est soumis un rayon d'énergie lorsqu'il passe d'un milieu à un autre ayant une densité différente.

La figure 1.3 explique mieux ce phénomène :

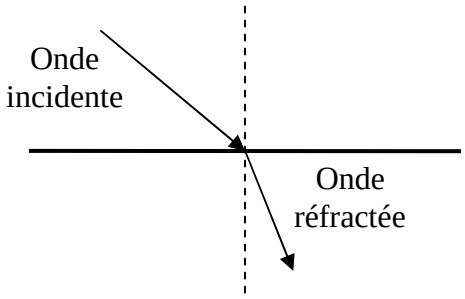


Figure 1.3 : Phénomène de réfraction

- ***Absorption***

Lorsqu'une onde radio rencontre un obstacle, une partie de son énergie est absorbée et transformée en une autre forme d'énergie, une partie continue à se propager de façon atténuée et une partie peut éventuellement être réfléchie.

- ***Multi trajet***

Le multi-trajet, en télécommunications sans fil, est un phénomène qui se produit lorsqu'un signal radio se propage en suivant plusieurs chemins décalés dans le temps, de telle sorte que le récepteur peut recevoir différentes copies du même signal à des instants différents.

1.3.1. Les différents modèles de propagation

La propagation des ondes est un phénomène physique qui décrit l'évolution et la progression de ces ondes dans les milieux qu'elles traversent. De ce fait, à chaque milieu correspond un modèle de propagation. Parmi ces modes de propagation on trouve :

- ***Modèle de Fresnel***

Lorsque l'émetteur et le récepteur sont en visibilité directe on peut assurer la bonne réception des informations en tenant compte de la courbure de la terre.

Entre l'émetteur et le récepteur, une ellipse appelée zone de Fresnel (du nom de physicien Augustin Fresnel) permet d'évaluer la faisabilité du lien en considérant le profil du terrain entre émetteur et récepteur.

La figure ci-dessous montre le dégagement de la zone de Fresnel.

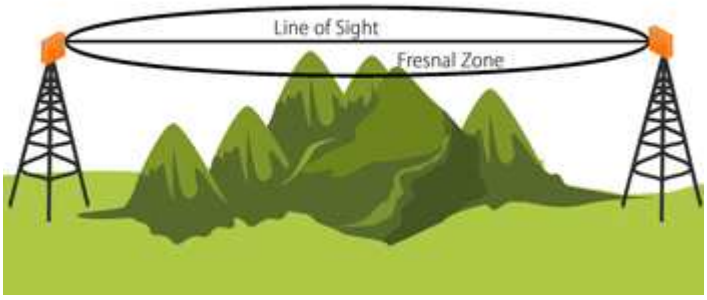


Figure 1.4 : Ellipsoïde de Fresnel

- ***Modèle de HATA***

Pour le besoin de la planification des réseaux mobiles sans fils, le modèle Hata, aussi connu comme le modèle Okumura-Hata est le modèle de propagation le plus utilisé pour prédire le comportement des transmissions cellulaires dans les zones bâties de la ville, des zones rurales et des zones ouvertes. Il a été conçu en trois modes ; ceux pour les zones urbaines, suburbaines et ouvertes. Le modèle pour les zones urbaines a été la base pour les autres.

Ce modèle intègre les informations graphiques de propagation recueillies dans la ville de Tokyo, au Japon.

- ***Modèle basé sur les recommandations du CCIR***

Les recommandations englobaient des courbes servant comme outils et moyens d’estimation de la couverture radioélectrique. Ces courbes ont été obtenues à partir des nombreuses mesures effectuées principalement par l’Union européenne de Radiodiffusion sous des climats tempérés comme ceux d'Europe et d'Amérique du nord.

Le dispositif utilisé pour effectuer ce type de mesures nécessaires pour l’obtention des courbes CCIR est montré parla figure suivante :

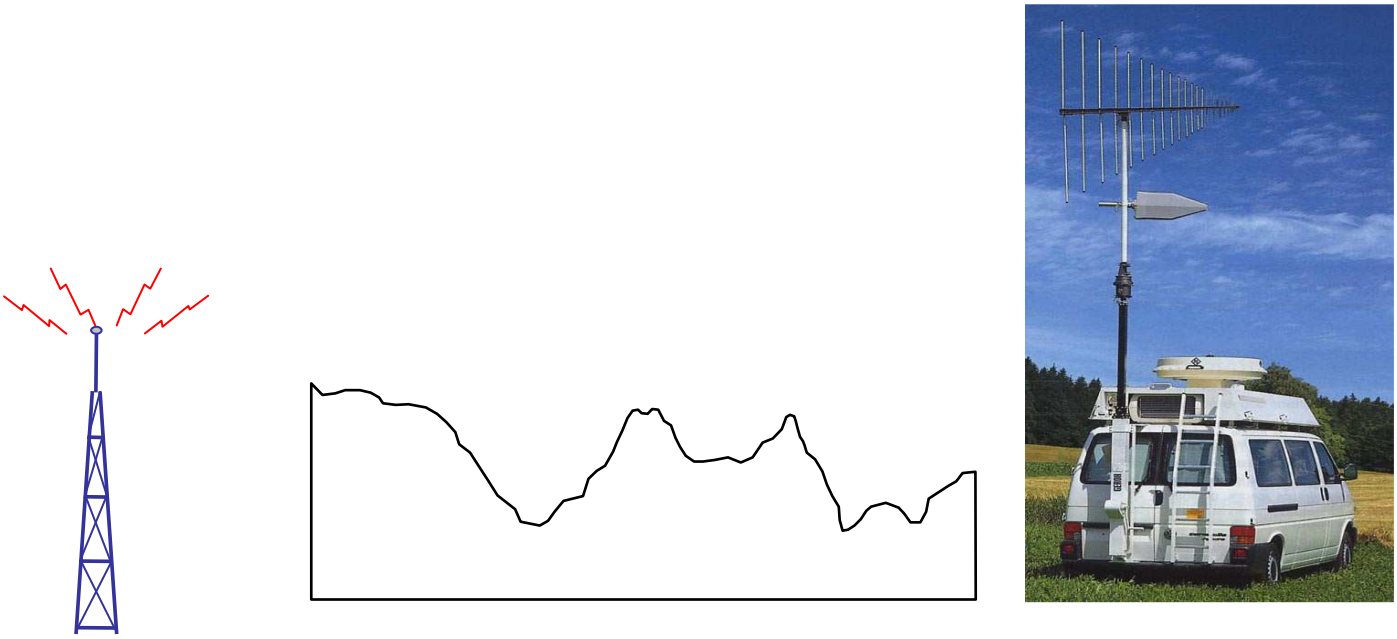


Figure 1.5 : Dispositif de mesures utilisé par la CCIR

Pour effectuer ce type de mesures, il faut :

- Disposer d'un émetteur d'essai de fréquence variable et de puissance apparente rayonnée de 1 kW.
- Choisir plusieurs sites afin d'obtenir plusieurs hauteurs équivalentes.
- Mesurer le champ à la réception à des distances variables avec une antenne de hauteur égale à dix 10m au-dessus du sol (point de mesure).

Les résultats de ces mesures sont récapitulés par des courbes de propagation telle que celles présentées par la figure 1.6 exprimant le champ radioélectrique en pourcentage du temps et pourcentage d'emplacement en fonction de la distance, de la fréquence et de la hauteur équivalente des sites d'émission.

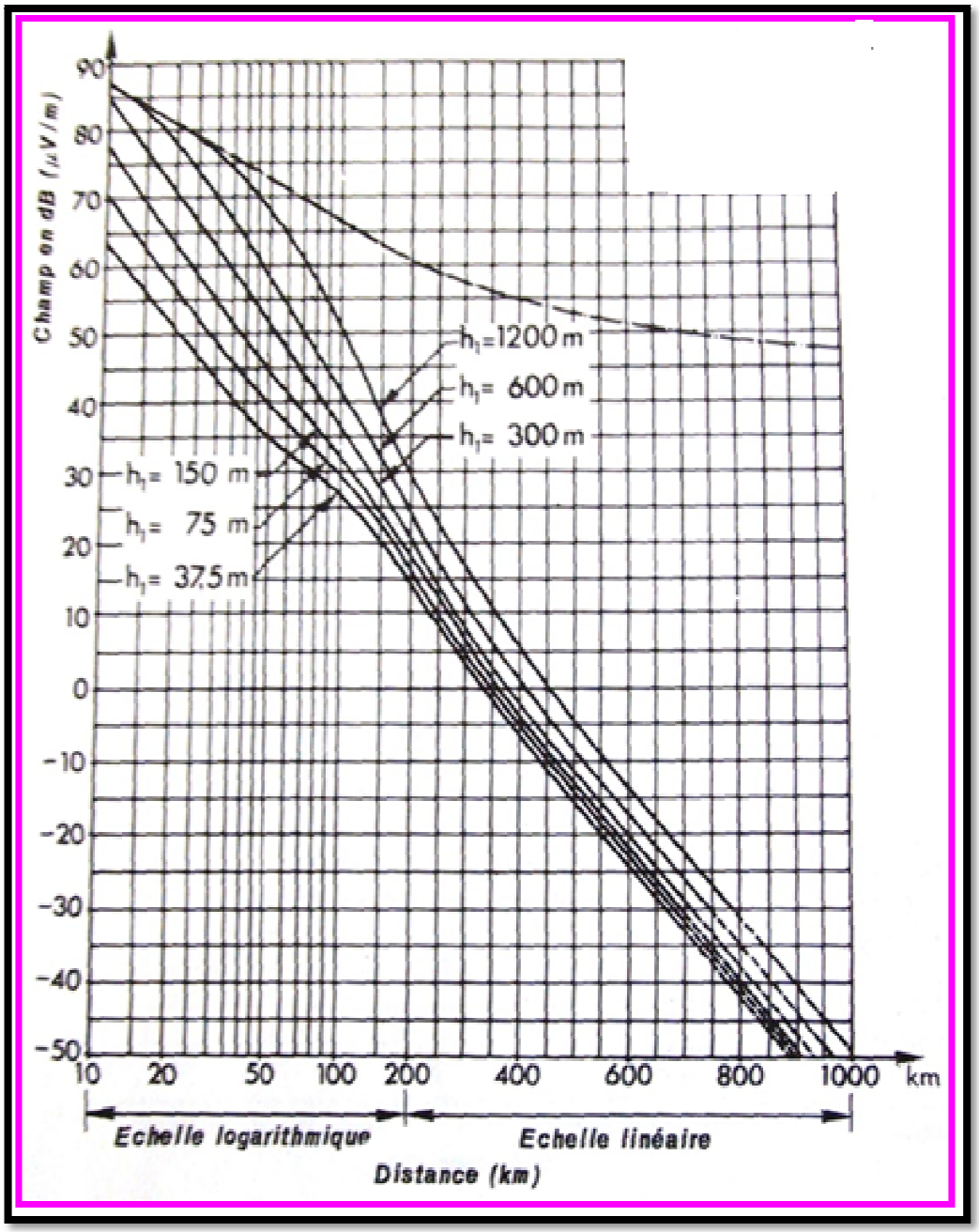


Figure 1.6:Exemple des courbes CCIR

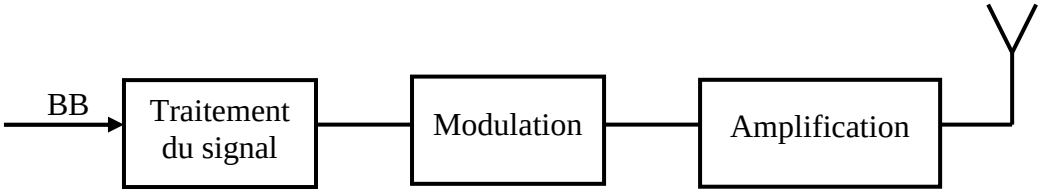
1.4. Techniques de transmission

Chaque système de transmission assure une transmission d'informations à distance. Ce type de transmission peut être analogique ou numérique.

1.4.1. La transmission analogique

Une chaîne de transmission analogique comprend un ensemble de dispositifs permettant le transport d'informations entre un émetteur et un récepteur.

Les techniques de transmission sont présentées par la chaine de transmission suivante :



- ***Traitement du signal***

Parmi les techniques de traitement des signaux on trouve :

- *Le filtrage* : est le procédé qui élimine d'un signal certaines composantes non désirées jugées non utiles à une bonne transmission.
- *L'adaptation* : adaptation d'impédance entre étage, atténuation ou amplification de niveau.

- ***Modulation***

La modulation est l'opération de transposition du signal de sa bande de base à la bande du canal de transmission.

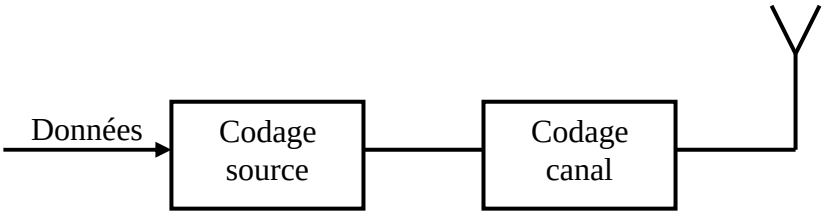
Cette technique consiste à faire varier l'une des caractéristiques de l'onde porteuse en fonction des informations à transmettre (signal modulant). Les modulations analogiques sont définies par rapport aux grandeurs de l'onde porteuse à faire varier à savoir : l'amplitude, la fréquence ou la phase.

- ***Amplification***

Au cours de la transmission, le signal subit des atténuations et des perturbations, on introduit donc des amplificateurs pour augmenter les valeurs atténuées des grandeurs du signal en lui restituant la puissance perdue. Ainsi, après amplification le signal à transmettre se trouve capable de vaincre l'effet d'affaiblissement de l'espace libre.

1.4.2. La transmission numérique

Sur un support de transmission quelconque la chaine de transmission numérique peut être représentée par la figure suivante :



- ***Codage source : Numérisation et compression***
  - *<u>La numérisation</u> : Echantillonnage, quantification et codage*

La numérisation est une opération qui consiste à transformer un signal analogique en un signal numérique. Elle se déroule en deux temps :

A la base le signal est une grandeur physique continue dans le temps et caractérisé par une bande passante de fréquence minimale et de fréquence maximale. La numérisation consiste à un découpage temporel et régulier du signal analogique (échantillonnage).

La première étape consiste à découper temporellement le signal analogique en « fines tranches » : c'est l'opération dite d'**échantillonnage**. Le choix de la fréquence d'échantillonnage est important. Elle s'exprime en hertz et doit être en rapport avec la fréquence maximale que l'on souhaite transmettre et reproduire.

Selon le théorème de Shannon, elle doit être supérieure ou égale au double de la fréquence maximale à numériser.

Une évaluation de l’amplitude de chacun de ces échantillons par rapport à des références selon une échelle précisément établie (la quantification) doit être faite.

Entre une tension de référence supérieure à la tension max et une tension de référence minimale, on établit une série de paliers égaux en amplitude (cas d’une quantification linéaire). Chacun des échantillons du signal initial est comparé avec cette échelle et est transformé en un mot binaire correspondant à l’amplitude. Il faut bien comprendre que si un signal analogique peut prendre une infinité de valeurs (entre deux extrêmes bien entendu), ce

n'est pas le cas du signal numérique qui lui correspond et qui va être composé par un nombre fini de valeurs numériques.

Le nombre de paliers possibles N ne dépend que du nombre de bits n utilisé par la quantification : il a pour valeur N= 2n. Avec 8 bits, on aura 2^8 paliers soit 256. Pour un système à 12 bits on aura 2^{12} soit 4096 niveaux distincts. Plus le nombre de bits utilisés pour le codage sera important et plus les paliers seront nombreux et meilleure sera la précision de la numérisation. A plusieurs valeurs très proches du signal analogique peut correspondre une seule et même valeur numérique, d'où les notions d'erreurs de quantification et de bruit de quantification.

La figure suivante illustre l'opération de numérisation, celle de quantification et de codage.

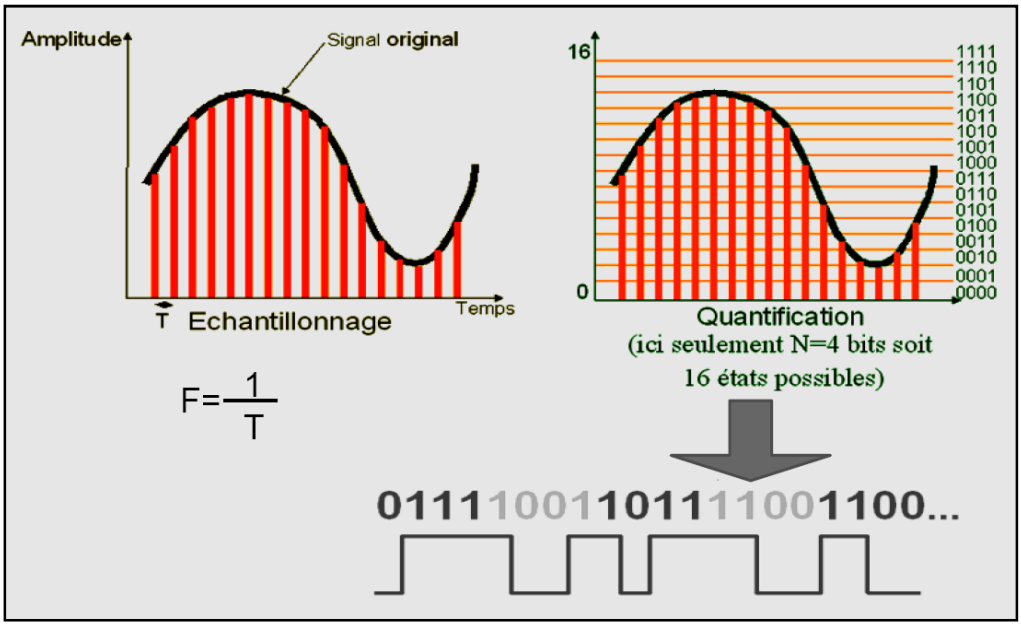


Figure 1.7 : Principe d'échantillonnage et de quantification

Une fois numérisé, le flux binaire pourra être, soit stocké, soit transmis sur les réseaux. Le débit s'exprime par la relation : D = Fe x N (D étant le débit en bit par seconde, Fe la fréquence d'échantillonnage en Hz et N le nombre de bits utilisés pour le codage). Ainsi, pour un signal BF de bande passante égale à 4 KHz (Fmax = 4 KHz) correspond un débit de 64 Kb/s si le codage a été fait sur 8 bits et la fréquence d'échantillonnage a été de 8 KHz.

– *La compression :*

La compression a pour objectif de réduire le volume des données (et donc le débit) tout en conservant au maximum les qualités du signal initial.

Il existe 2 types de compression

- **Les compressions sans pertes :** Ce type de compression est non destructif, le signal restitué est exactement identique au signal d'origine. La numérisation du signal telle qu'elle a été décrite précédemment n'introduit aucune perte.
- **Les compressions destructives :** Le signal restitué après compression est différent du signal d'origine : il y a des pertes de données. L'enjeu de ce type de compression est de parvenir à réduire le volume des données au maximum (de façon à ce que la taille des fichiers soit la plus faible possible) sans que les défauts introduits ne deviennent (trop) perceptibles. La perception ou le non perception des différences par l'oreille ou par l'œil dépend du taux de compression adopté et du degré d'entraînement de l'auditeur ou du téléspectateur. Lors du choix des paramètres d'une compression, il y a donc un compromis à réaliser entre la qualité de la restitution d'une part et le volume des données numériques d'autre part.

❑ ***Le codage canal***

Le codage canal est le fait d'adapter le signal au support de transmission. La modulation numérique permet la transition entre le numérique et l'analogique. En effet, à chaque séquence numérique composée de l'impulsion « 1 » ou « 0 » on attribue un signal électrique du signal s(t) et le reste de la chaine HF y compris les dispositifs de diffusion reste inchangé. On ajoute des codes correcteurs d'erreurs pour sécuriser la transmission.

Le codage canal joue un rôle fondamental dans tous les systèmes de communications modernes. Il est basé sur la modulation numérique qui fournit plus de capacité de transfert d'informations, la compatibilité avec les services de données numériques, une sécurité des données plus élevée et une communication de qualité.

En modulation numérique, les paramètres de la porteuse, amplitude ou angle (argument), sont commutés entre plusieurs valeurs discrètes selon les codes binaires à transmettre on trouve plusieurs types de modulations numériques telles que :

- *Les modulations élémentaires*
    - ASK où l'amplitude est commutée entre plusieurs valeurs discrètes.
    - FSK où la fréquence est commutée entre plusieurs valeurs discrètes.
    - PSK où la phase est commutée entre plusieurs valeurs discrètes.

- *Les modulations complexes*

Pour doubler le débit, on utilise des combinaisons de modulation d'amplitude et de phase simultanément sur une même porteuse (Exemple: QAM, QPSK…).

1.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur l'évolution des réseaux radio sans fil et la nécessité de réglementation du secteur par l'UIT. Aussi, nous avons présenté les phénomènes de propagation et les techniques de transmission analogique et numérique.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier et analyser les différentes composantes du réseau radio maritime en Tunisie.

Chapitre 2. Etude et analyse du réseau radio maritime actuel

2.1. Introduction

Depuis 1960, la Tunisie a mis en service deux stations : l'une émettrice à Raoued et l'autre réceptrice à Sijoumi pour assurer la communication radio maritime. Ces deux stations permettent d'échanger des signaux principalement télégraphiques en utilisant le code « Morse » qui permet de transmettre un texte à l'aide de séries d'impulsions courtes et longues.

Ces deux stations n'ont pas satisfait le besoin des marins en communications ce qui mène alors à déployer un nouveau réseau maritime en 1993.

2.2. Présentation du réseau radio maritime actuel

Le réseau maritime tunisien actuel est constitué de 7 stations couvrant chacune une zone bien déterminée. Ces stations sont respectivement localisées à Tabarka, Bizerte, El Gazela, Kelibia, Mahdia, Sfax et Zarzis.

Il s'agit d'un réseau radio privé conventionnel qui fonctionne en mode analogique dans la bande VHF : 156,05MHz - 162 MHz, la fréquence de détresse est 156,8 MHz (canal 16). Sa planification et sa réalisation sont prises en charge par Tunisie Télécom.

Les équipements installés dans le réseau radio maritime sont de fabrication JRC (Japan Radio Company) et Sait électronique.

Ce réseau radio maritime est composé de deux unités :

- Station côtière
- Station de bateau

2.2.1. Station côtière

La station côtière est composée essentiellement d'une antenne, émetteur /récepteur VHF qui fonctionne en mode simplex et semi-duplex de puissance 50W, une source d'alimentation, des téléphones fixes et un téléfax.

2.2.2. Stations de bateau

Les stations mobiles sont équipées chacune d'un émetteur/récepteur VHF simplex et semi duplex, d'un radar goniométrique pour détecter la position de navire et d'un émetteur/récepteur pour la communication via le satellite.

Les antennes utilisées sur les navires sont de type fouet vertical, placées au point le plus haut pour assurer la couverture la plus large.

2.3. Services offerts

- **Diffusion de la météo**

La météorologie maritime répond à un double impératif de sécurité et d'assistance, donc pour assurer la sauvegarde de la vie humaine et des biens en mer et sur la côte, les personnels de chaque station diffusent un bulletin pour la marine chaque matin et chaque après-midi. Ces bulletins météorologiques qui proviennent de l'Institut National de Météorologie (INM) contiennent des informations concernant le vent moyen (vitesse et direction), l'état de la mer, la visibilité, etc. (Voir annexe 1)

- **Bulletin marin spécial**

La diffusion de bulletins réguliers, aussi parfaite soit-elle, ne peut répondre entièrement aux impératifs de sécurité. Pour cela, un autre ensemble des bulletins a été mis en place appelés les bulletins marins spéciaux (BMS) qui doivent être diffusés lorsque la vitesse du vent dépasse les 28 nœuds.

- **Avis urgent aux navires**

Un avertissement urgent de navigation, communément abrégé « AVURNAV » est un message de sécurité destiné aux navigateurs et diffusé généralement par radiotéléphonie, il concerne les modifications récentes importantes à prendre en compte pour la sécurité de la navigation. Ces modifications peuvent être d'origine accidentelle (disparition de balise, épave, ...) ou programmée (chantier sur le domaine maritime, tir d'artillerie, …). Elles peuvent concerner l'apparition de dangers, les infrastructures, etc.

- **Télégramme**

Les stations offrent la possibilité d'envoi et de recevoir des télégrammes d'un point à un autre sur des grandes distances, à l'aide de codes pour une transmission rapide et fiable et la taxation se fait selon le nombre des mots.

- **Communication**

La radiocommunication permet aux bateaux de se connecter avec les abonnés au téléphone à terre ou avec un autre bateau. Cette communication est semi-automatique, où les navigateurs demandent à la station maritime d'établir une liaison avec l'utilisateur appelé. Le personnel de la station enregistre, dans une fiche, des informations concernant cette communication tels que la durée de la communication, le demandeur, le demandé, etc. qui serviront à la taxation. (Voir annexe 2)

- **Signal de détresse**

Être en situation de détresse signifie être sous la menace d'un danger grave et imminent, d'où l'appel de détresse a une priorité absolue par rapport aux autres communications. Toutes les stations qui l'entendent doivent cesser immédiatement toute émission. Le signal de détresse est envoyé sur la fréquence 156,8 MHz (canal 16).

2.3.1. Les limites de la solution actuelle

- **Type d'antenne**

L'antenne utilisée dans les stations du réseau radio maritime est une antenne omnidirectionnelle. En effet, il faut assurer la bonne couverture dans la mer et à la côte seulement, les autres zones de couverture ne sont pas nécessaires, d'où la nécessité d'une antenne directive.

- **Services limitées**

Le réseau radio maritime actuel offre un ensemble de services qui ne s'adaptent pas à l'évolution technologique dans le domaine des télécommunications, et éventuellement n'assure pas la sécurité du transfert des données. La communication téléphonique est semi-automatique, d'où la nécessité d'une intervention du personnel de la station côtière.

Les équipements dans les stations sont très anciens (la plupart sont en panne) et ils n'assurent pas un ensemble de services.

2.4. Technologie analogique et conventionnelle

Le signal analogique est sensible aux interférences et aux brouillages, il peut subir des affaiblissements, des distorsions et des bruits provoqués par les diverses sources de perturbations.

L'affaiblissement et la distorsion peuvent être compensés dans une certaine mesure, mais le bruit de fond est inévitablement amplifié avec le signal utile, d'où la dégradation du rapport signal à bruit.

2.5. Simulation du réseau radio maritime actuel

2.5.1. Objectif

L'objectif de la planification est de déterminer le nombre minimal de sites requis pour assurer la couverture d'une zone bien déterminée en fonction des services offerts et du nombre d'abonnés en tenant compte des contraintes de qualité de service. Donc, il faudrait atteindre le maximum de couverture avec une capacité optimale et un coût raisonnable.

Auparavant, la planification des réseaux radio maritimes se fait manuellement, et de nos jours la simulation est réalisée à l'aide des logiciels tel que l'ICS Télécom, etc.

2.5.2. Présentation d'ICS Télécom

L'ICS Télécom est un logiciel dédié à toutes sortes de simulations radio. Il supporte plusieurs types de liaison (point - à - point, réseau de diffusion, réseau cellulaire, liaison satellitaire), différentes applications (téléphonie 2G et 3G, TV mobile, WiMAX, radar…) et différents services (voix, données, VoIP…) dans une gamme de fréquences allant de 10kHz à 450GHz.

A l'aide d'ICS Télécom on peut créer un projet, simuler un déploiement de réseau et procéder à l'analyse des résultats.

En effet, l'ICS Télécom propose les outils essentiels pour :

- La simulation des réseaux sans fil
- Le calcul du bilan de liaison en fonction des caractéristiques radioélectriques des émetteurs/récepteurs et du profil de terrains
- L'analyse de connectivité à un réseau donné

- L'analyse du trafic
- L'étude de la compatibilité électromagnétique
- La gestion du spectre radiofréquence
- La recherche prospective d'emplacement d'émetteur

L'outil intègre un grand nombre de modèles de propagation adaptés à de nombreux environnements en tenant compte des phénomènes de réflexion, de diffraction sur les obstacles, de réfraction, de diffusion et d'atténuation par l'atmosphère, etc.

La simulation du réseau radio maritime actuel nous permettra d'envisager des solutions adéquates.

2.5.3. Infrastructure du réseau radio maritime

L'infrastructure du réseau radio maritime actuel est composée essentiellement de deux éléments:

- 7 stations fixes à Tabarka, Bizerte, El Gazela, Kelibia, Mahdia, Sfax et à Zarzis.
- Des postes mobiles installés dans les bateaux.

Le tableau 2.1 présente l'emplacement géographique des stations côtières en Tunisie.

Station côtière	***Latitude en degré/ /minute/seconde***	***Longitude en degré/ /minute/seconde***
Tabarka	36° 57' 0"	8° 45' 0"
Bizerte	37° 16' 50"	9° 53' 0"
El Gazela	36° 53' 33"	10° 11' 13"
Kelibia	36° 50' 0"	11° 5' 0"
Mahdia	35° 30' 30"	11° 4' 0"
Sfax	34° 44' 0"	11° 6' 0"
Zarzis	33° 30' 0"	11° 6' 0"

Tableau 2.1 : Emplacement des stations côtières radio maritimes

2.5.4. Paramètres de la liaison radio

- **Puissance d'émission (Tableau 2.2) :**

Station fixe	50 W
Station mobile	Ne dépasse pas 25 W

Tableau 2.2 : Puissance des émetteurs

- **Caractéristiques des antennes (Tableau 2.3):**

Type	Omnidirectionnelle
Gain	3dBd (5,15 dBi)
Bande de fréquences	146 MHz -174 MHz
Polarisation	Verticale

Tableau 2.3 : Caractéristiques des antennes

- **Sensibilité du récepteur :**

La sensibilité du récepteur correspond au niveau minimum du signal permettant d'atteindre la performance requise, elle est de 2 µv c'est-à-dire –100,979 dBm.

- **Ecart entre canaux :**

L'écart entre les canaux radioélectriques fixé par l'UIT-R est de 25 KHz.

- **Caractéristiques des canaux (Tableau 2.4) :**

Numéro de voie	***Système de communication***	***Fréquence d'émission (MHz)***	***Fréquence de réception (MHz)***
16	Simplex	156,80	
21	Duplex	161 ,65	157,05
23	Duplex	161,75	157,15
25	Duplex	161,85	157,25
26	Duplex	161,90	157,30
28	Duplex	162	157,40
01	Duplex	160,65	156,05
10	Simplex	156,50	
12	Simplex	156,60	
18	Duplex	161,50	156,90
22	Duplex	161,50	157,10
27	Duplex	161,50	157,35

Tableau 2.4 : Caractéristiques des différentes voies [4]

2.5.5. Simulation de la couverture

Pour évaluer la couverture du réseau radio maritime en Tunisie, il est nécessaire d'introduire et de valider les paramètres de planification tels que la bande de fréquences, le diagramme de rayonnement de l'antenne utilisée, le modèle de propagation, la puissance d'émission, le niveau minimal de réception, etc.

2.5.5.1. Processus de la simulation

Nous effectuerons les simulations des différentes stations qui sont situées à Tabarka, Bizerte, El Gazela, Kelibia, Mahdia, Sfax et à Zarzis à l'aide du logiciel ICS Télécom.

Tout d'abord, nous introduisons les coordonnées géographiques des différentes stations : longitude et latitude (Fig.2.1).

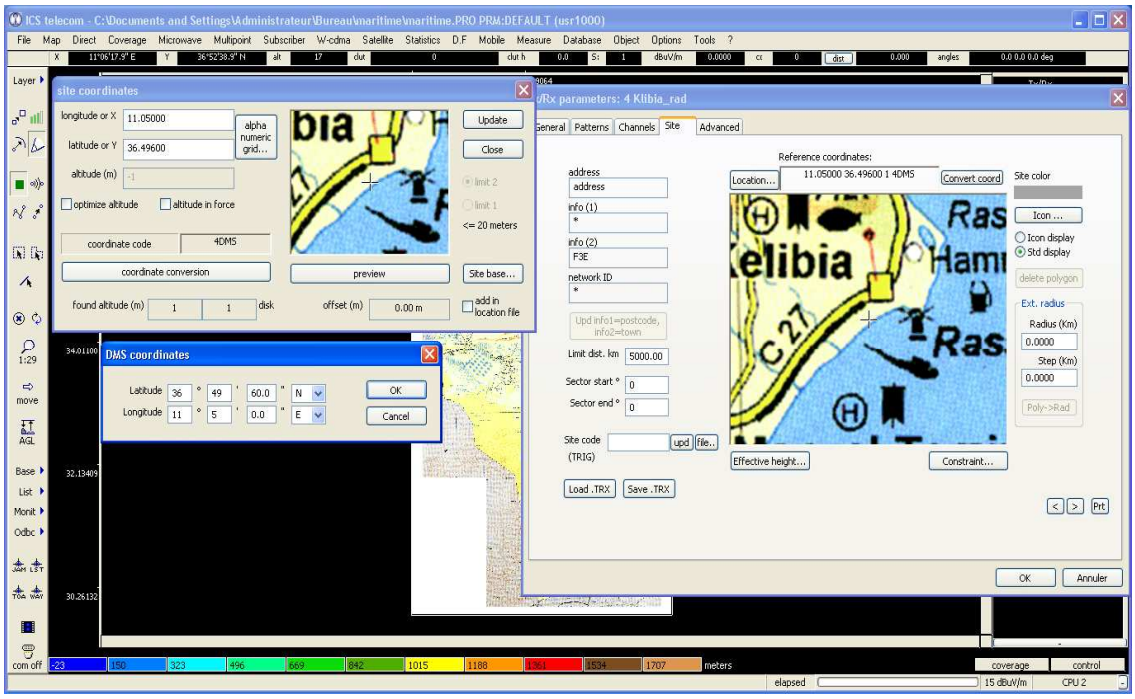


Figure 2.1 : Coordonnées du site Tabarka

Les paramètres d'entrée pour la simulation sont (Fig.2.2 et fig 2.3):

- ✓ Puissance nominale de l'émetteur : 50 W
- ✓ Bande de fréquences : VHF (156,8 MHz)
- ✓ Gain de l'antenne : 3 dBd (5,15 dBi)
- ✓ Largeur du canal : 25 KHz
- ✓ Bande passante : 16KHz
- ✓ Hauteur d'antenne : 30 mètres
- ✓ Diagramme de rayonnement : omnidirectionnelle
- ✓ Polarisation : verticale.

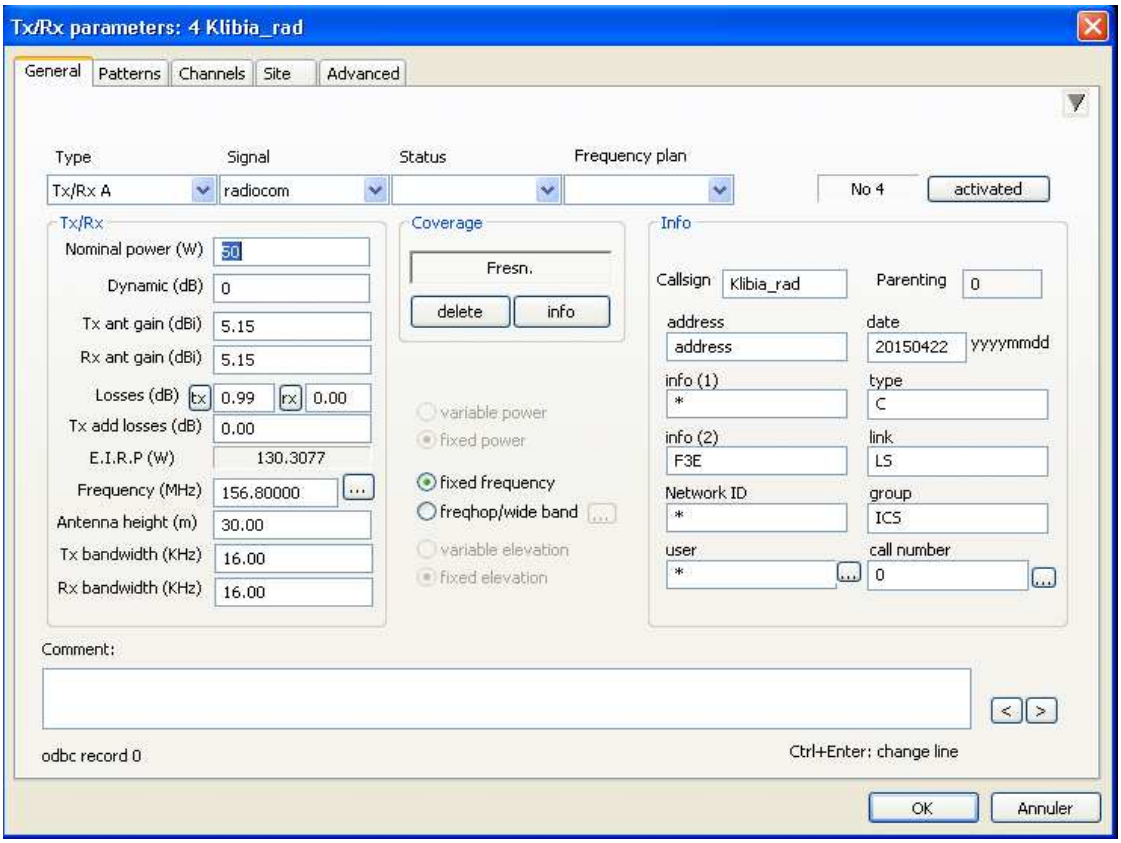


Figure 2.2 : Paramètres d'entrée

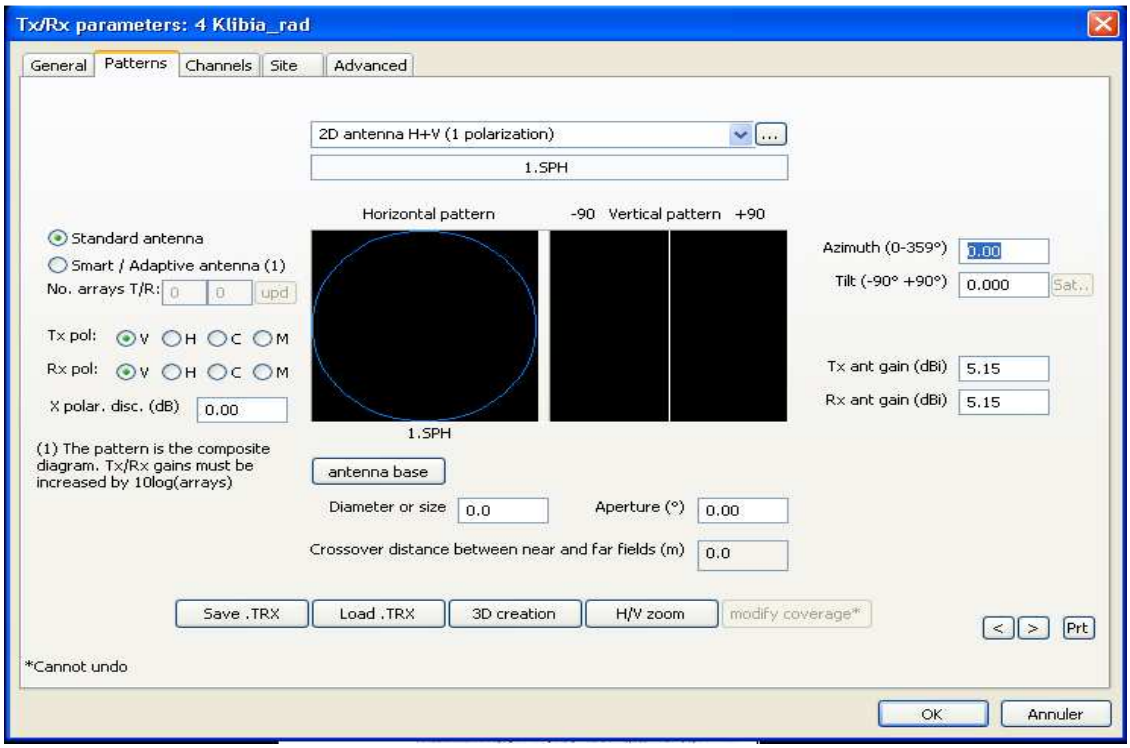


Figure 2.3 : Paramétrage de l'antenne

Pour commencer la simulation on doit choisir tout d'abord le modèle de propagation adéquat qui est celui de Fresnel, on introduit la hauteur de l'antenne de réception (4 m), la portée (100 km) et la sensibilité du récepteur (Fig.2.3 et Fig.2.4).

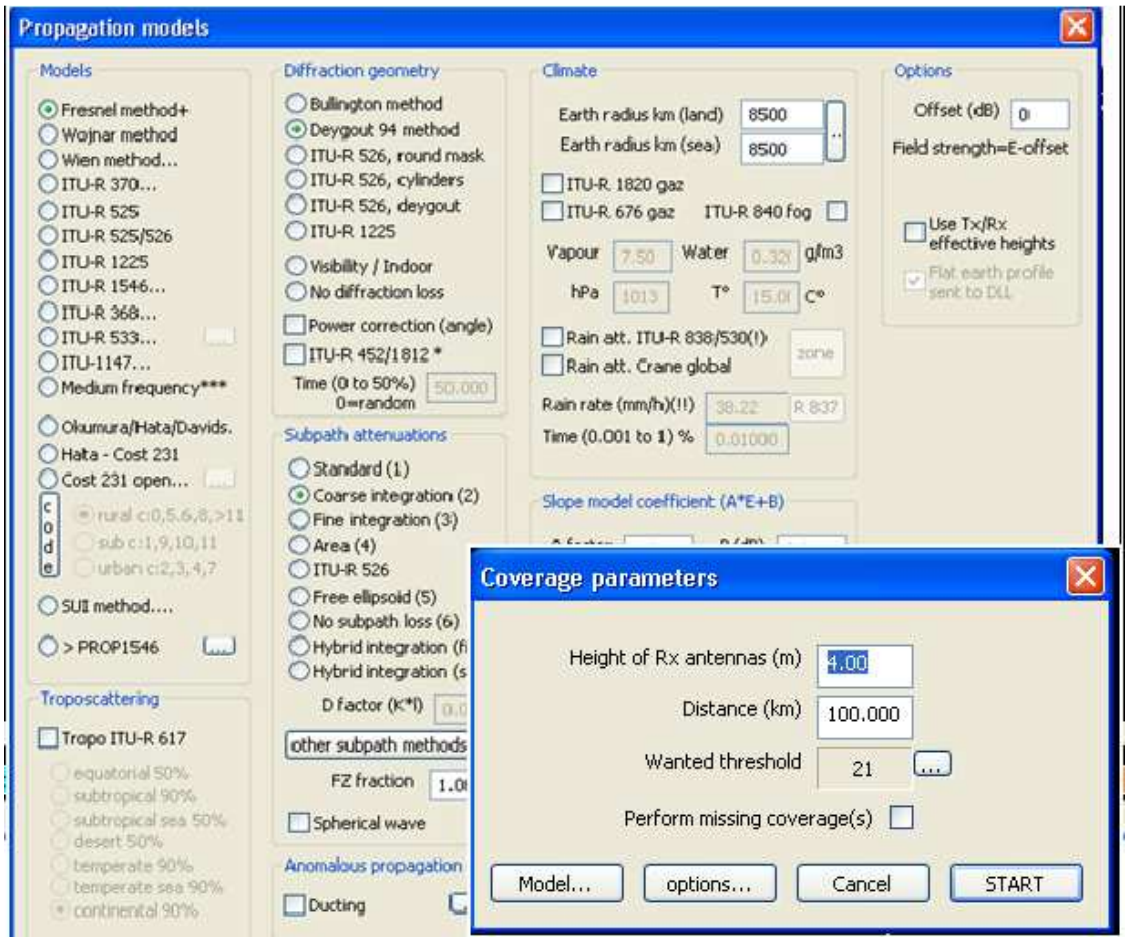


Figure 2.4 : Paramétrage de simulation

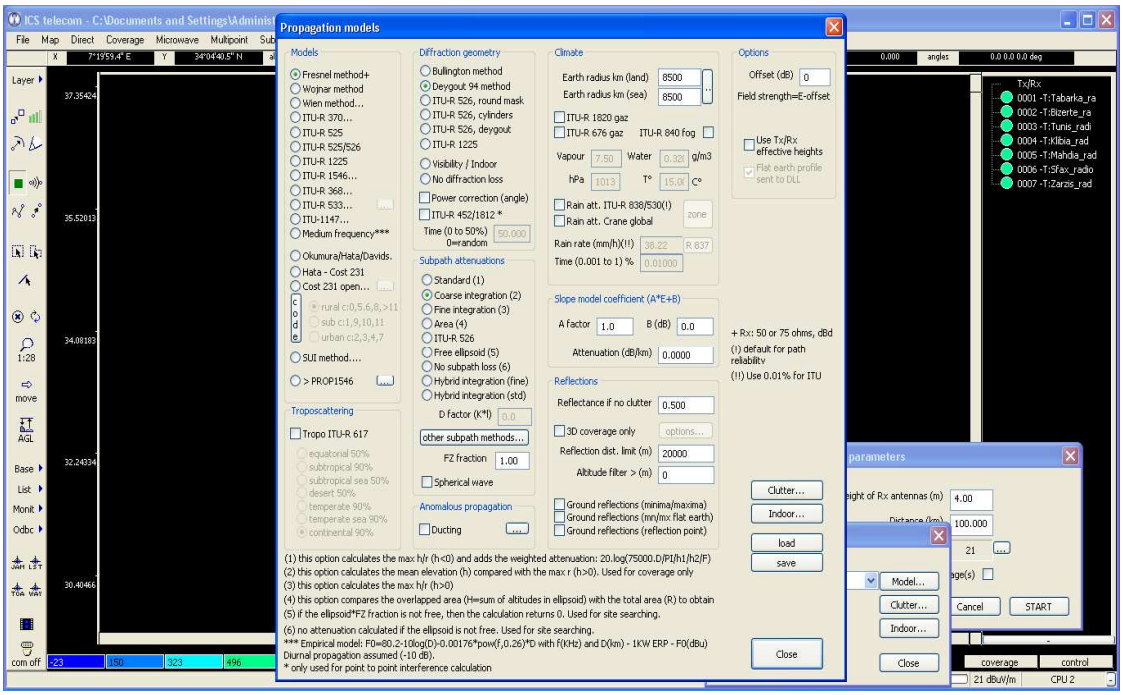


Figure 2.5 : Sélection du modèle de propagation

La figure 2.6 présente les résultats de simulation.

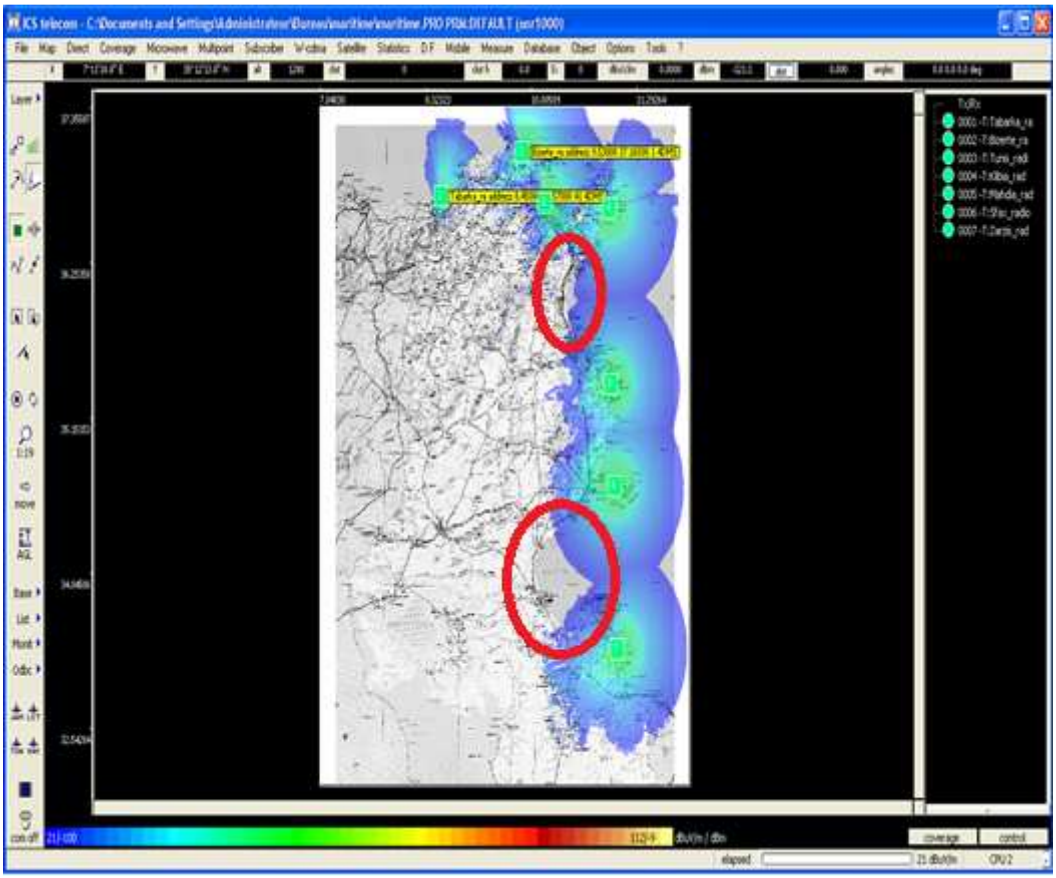


Figure 2.6 : Zones de couverture du réseau radio maritime tunisien

2.5.5.2. Interprétation

Suite à l'analyse des résultats de simulation, nous pouvons constater que le réseau existant basé sur un système analogique assure une bonne couverture. Néanmoins, il existe quelques zones dans lesquelles le signal commence à se dégrader.

Mais, il est important de noter qu'un tel système analogique est très souvent affecté par des interférences et des brouillages qui peuvent dégrader considérablement le rapport signal à bruit caractérisant la qualité de service. Cette dégradation est impossible de la récupérer, car il n'y a aucun moyen efficace de distinguer le bruit du signal utile lors de sa distorsion introduite par les canaux de communication.

Ainsi, le réseau radio maritime existant montre une perte de puissance due au fait que la zone de couverture inclue une partie du sol alors que les utilisateurs sont les marins lors de leurs travaux sur leurs navires.

En outre, ce réseau présente une limitation en termes de services car il ne permet que d'assurer des communications de qualité de service moyenne soit avec la station côtière ou avec d'autres entités par l'intermédiaire de cette station.

La future radiocommunication maritime numérique basée sur la norme TETRA est une représentation plus précise d'un signal qui peut être obtenu à l'aide des séquences binaires. L'utilisation de la technique de codage/décodage, des modulations numériques sophistiqués et éventuellement des systèmes intelligents de compensation permet non seulement d'améliorer la qualité de service et de bénéficier des nouveaux services mais aussi de réduire considérablement le taux de coupure des communications.

2.6. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'étudier l'état du réseau analogique actuel mis à la disposition du service radio maritime et de déterminer les caractéristiques radioélectriques de ses différentes composantes.

Nous avons constaté suite à la simulation effectuée que le réseau actuel a atteint ses limites en matière de services offerts et aussi en matière de qualité de service dans les zones à desservir, d'où la nécessité d'une nouvelle planification du réseau radio maritime numérique basé sur la norme TETRA afin de satisfaire les besoins des usagers.

Chapitre 3. Simulation et implémentation du réseau radio maritime numérique

3.1. Introduction

Les entreprises et les établissements privés intervenant sur des sites étendus se retrouvent fréquemment confrontés à des problèmes de communication. La radiocommunication mobile privée ou également le réseau PMR (Private Mobile Radio) se positionne comme une solution idéale en termes de services et de fonctionnalités spécifiques des utilisateurs professionnels.

En réponse aux besoins évolutifs des utilisateurs, une multitude de nouvelles technologies ciblant le marché des réseaux mobiles privés sont déjà installés. La majorité des installations de PMR en exploitation utilisent des technologies analogiques offrant seulement le service de voix en mode « push to talk ». Les premières technologies numériques pour la PMR ont été introduites dans les années 1990, tels que TETRA, Digital Mobile Radio (DMR) et TETRAPOL.

3.2. Normes des réseaux privés

Par rapport aux technologies analogiques antérieures, les technologies numériques ont permis de fournir des services supplémentaires d'échange de données avec une meilleure efficacité spectrale (Tableau 3.1).

- **La Norme DMR**

C'est une norme PMR numérique développée par l'European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Elle est utilisée dans plus de 100 pays : en Asie, au Moyen-Orient, en Europe, en Amérique du Nord et du Sud, en Afrique et en Australie.

Les avantages technologiques de la norme DMR qui la rendent si intéressantes sont les services de phonie et de données.

- **La norme TETRA**

C'est une norme mondiale des radios mobiles numériques professionnelles à ressources partagées adoptée par l'ETSI pour harmoniser les moyens de télécommunications en Europe.

La norme TETRA a permis d'homogénéiser les différentes spécifications associées aux systèmes de radiocommunication privées.

- **La Norme TETRAPOL**

C'est une norme développée par Matra Communication pour les réseaux de la Gendarmerie Nationale (Rubis). Elle a depuis été adoptée, en France, par le Ministère de l'Intérieur (réseau Acropol) et par la Société Nationale des Chemins de Fer de France et à l'étranger par de nombreuses administrations pour leurs forces de sécurité (Suisse, Tchécoslovaquie, Hongrie, Mexique…). Néanmoins, la norme TETRAPOL n'a pas été adoptée comme un standard par l'ETSI.

Norme	TETRA	DMR	TETRAPOL
Débit de données	28,8 Kbit/s	9,6 Kbit/s	7,6 Kbit/s
Normalisation par l'ETSI	Oui	Oui	Non
Interopérabilité	Oui	Non	Non
Technique d'accès	TDMA (4 IT)	TDMA (2 IT)	FDMA
Modulation	Π/4-DQPSK	FSK	GMSK

Tableau 3.1 : Normes des réseaux privés

L'atout majeur de ces technologies réside en leur capacité à offrir simultanément des services voix de type professionnel (appel de groupe, diffusion d'appel, établissement rapide des communications, appel d'urgence, appel préemptif…) et des services de transmission de données (Short Message Service).

3.3. Choix du système TETRA

La norme TETRA est un standard ouvert à ressources partagées développée par l'ETSI et utilisée principalement en Europe. Les premiers utilisateurs à mettre en œuvre TETRA sont les services publics européens tels que les services de sécurité et d'urgence, à savoir : la police, les pompiers, le SAMU, les agents de contrôle aux frontières, etc.

La figure 3.1 donne une idée sur le pourcentage du déploiement du système TETRA par secteur d'activité.

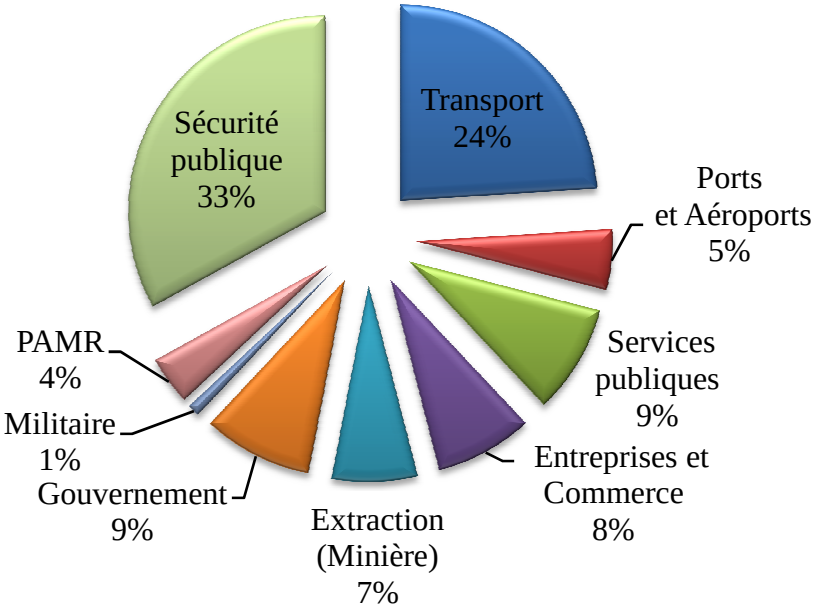


Figure 3.1 : Systèmes TETRA installés par secteur d'activité en 2011[5]

En raison de la standardisation de la norme TETRA, de sa capacité en matière de débit et d'interopérabilité avec les réseaux de télécommunications et de sa robustesse, nous adoptons cette norme comme une solution adéquate pour le réseau radio maritime projeté.

En outre, le réseau TETRA gère la transmission de phonie (appel individuel, appel de groupe et appel en diffusion), la transmission de données en mode de circuit et en mode de paquets, ainsi que les messages de données courts (Short Data Service) avec une sécurité anti-écoute assurée par le chiffrement de bout en bout.

3.3.1. Caractéristiques du réseau TETRA

Le réseau TETRA est destiné à la transmission de la voix et des données. La norme TETRA offre quatre canaux de communications indépendants au sein d'un canal de radiocommunication de 25 kHz.

Le système de modulation utilisé est le *π /4-DQPSK* (Differential Quaternary PhaseShift Keying). Ce système linéaire est extrêmement efficace en utilisation spectrale, mais il exige des amplificateurs d'émission linéaires.

Le mode d'accès au canal utilisé pour TETRA est le système TDMA (Time Division Multiple Access) avec une structure de trame à 4 slots au premier niveau. Le multiplexage du trafic et des canaux de signalisation est réalisé grâce à une structure à quatre niveaux (slot, trame, multi trame et hyper trame).

Bien que le système emploie 18 trames par seconde, seulement 17 sont employées pour les canaux de trafic. La 18ème trame est réservée pour la signalisation ou la synchronisation des différents équipements (Figure 3.2).

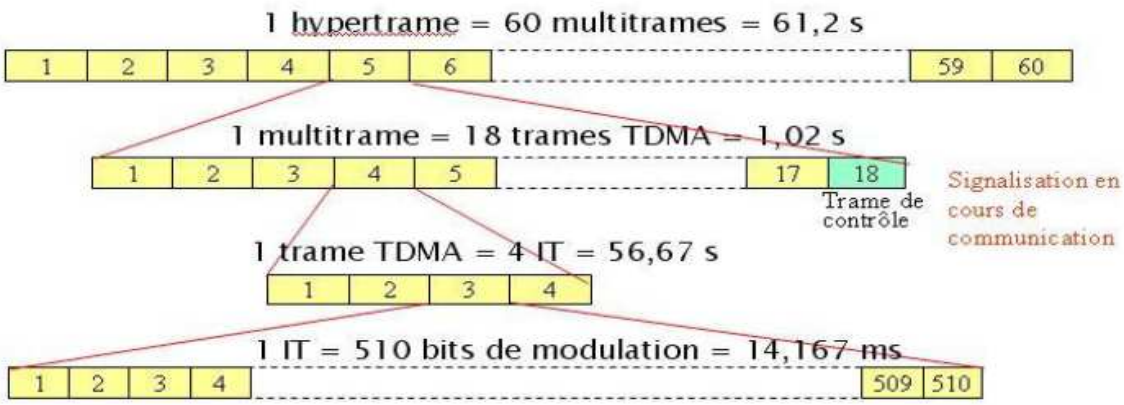


Figure 3.2 : Construction de la multi-trame [6]

Les caractéristiques du réseau TETRA sont davantage détaillées dans le tableau 3.2.

Paramètres	***Valeur***
Écart entre les canaux	25 kHz
Puissance d'émission de la station de base	25 W
Puissance d'émission de l'installation mobile	1 W, 3 W, 10 W
Sensibilité du récepteur	Station Mobile = -113 dBm Station de Base= -115 dBm
Type d'exploitation	Semi-duplex, duplex
Mode d'accès au canal	TDMA
Modulation	π/4-DQPSK
Débit binaire du canal	36 kBit/s
Débit de données maximal, non protégé (grand débit)	28,8 kBit/s
Portée	Rurale : autour de 20 km Interurbaine : autour de 5 km

Tableau 3.2: Paramètres radio de la norme TETRA [7]

3.3.2. Architecture et interfaces TETRA

L'architecture du réseau TETRA se compose de différents éléments qui interagissent tous ensemble pour former l'ensemble du présent système tels que la station de base, le Gateway, etc.(Figure 3.3).

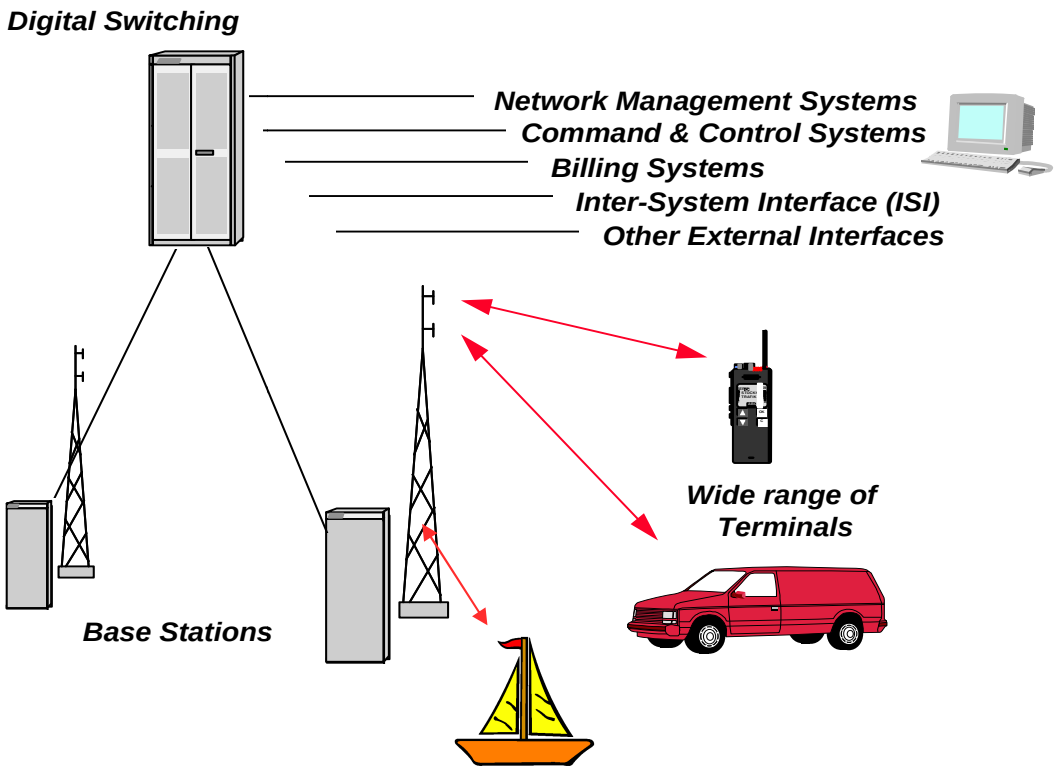


Figure 3.3 : Architecture et interfaces du réseau TETRA

3.4. Processus de la simulation

Pour assurer la fiabilité et la disponibilité d'un réseau TETRA, on doit implémenter un nombre de sites d'émission-réception pour couvrir toute la côte de la Tunisie afin que les abonnés (navires) puissent échanger des communications.

Ces émetteurs-récepteurs, aussi appelés relais, BTS ou stations de base servent d'intermédiaire entre le téléphone mobile (MS) et le sous-système du réseau TETRA.

3.4.1. Paramétrage des stations relais

Le paramétrage de stations relais du réseau projeté nécessite le choix des fréquences à utiliser ainsi que les paramètres des antennes.

3.4.1.1. Fréquences porteuses

Le système TETRA est un réseau cellulaire, il est basé sur un motif répétitif de réutilisation de fréquences. Le nombre de cellules du motif dépend du facteur S/B qui définit

le rapport signal à bruit acceptable. Ce rapport est égal à 19 dB, ce qui permet de réutiliser les fréquences selon un motif à plusieurs cellules.

L'attribution de fréquence se fait par l'Agence Nationale de Fréquences (ANF) où à chaque station on associe une porteuse. Vu le mode d'accès utilisé qui est le TDMA, on peut véhiculer trois communications simultanément.

Si une station de base doit traiter plus d'appels qu'elle n'a de canaux, les communications sont mises en attente et les appelants doivent attendre quelques secondes avant de pouvoir communiquer.

3.4.1.2. Antennes

Les antennes permettent d'établir la liaison entre la MS et la BTS. Pour notre réseau projeté, nous avons choisi des antennes de type panneau (Kathrein) vu que les antennes omnidirectionnelles utilisées dans le réseau analogique existant n'assure pas l'optimisation de la zone de couverture (portée) dans la direction de la mer, éventuellement, une grande puissance est perdue dans la direction de la terre (diagramme de l'antenne circulaire).

L'antenne panneau illustrée par la figure 3.4 est composée d'un grand nombre de dipôles ou capteur accordés sur une plaque contenue dans un volume de quelques centimètres d'épaisseur.

Figure 3.4 : Antenne panneau [8]

Les antennes panneaux sont directionnelles, elles émettent seulement dans la direction dans laquelle elles sont orientées, ce qui permet de limiter le champ de propagation d'une

porteuse pour pouvoir ainsi la réutiliser à une distance proche, sans risque de brouillages (Figure 3.5).

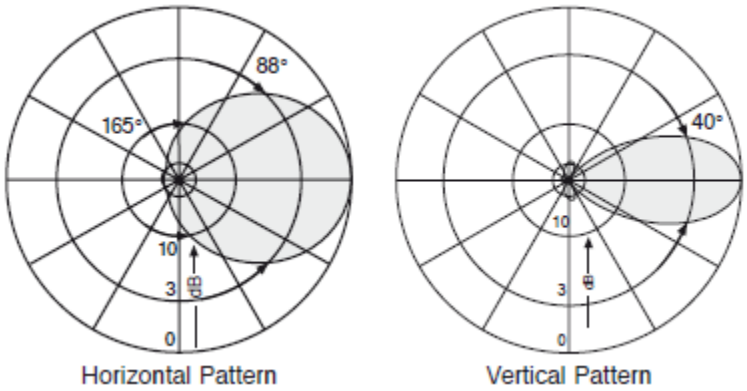


Figure 3.5 : Diagramme de rayonnement d'une antenne panneau [8]

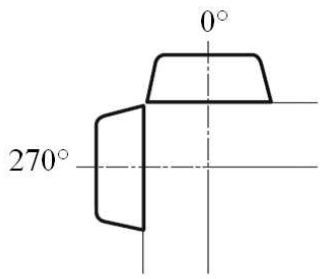
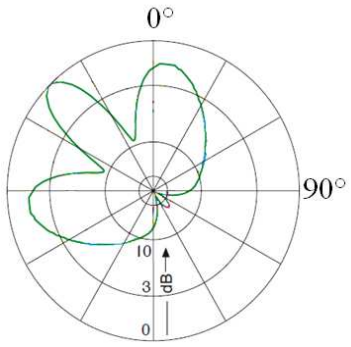
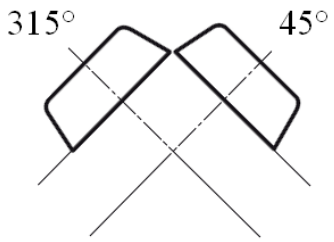
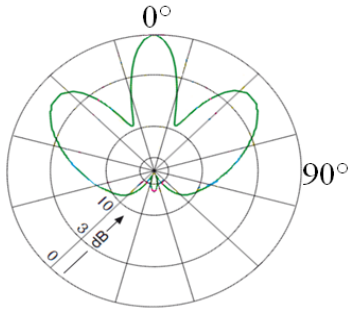
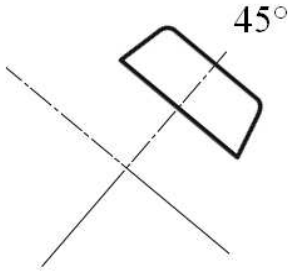
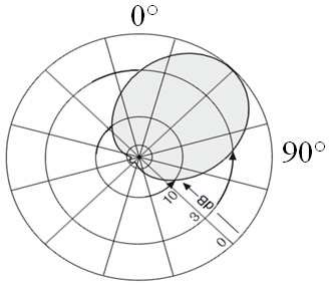
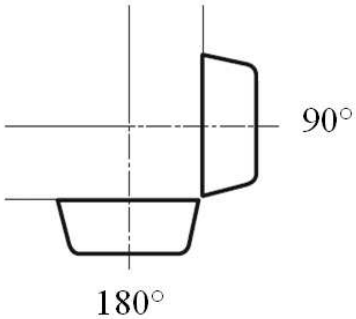
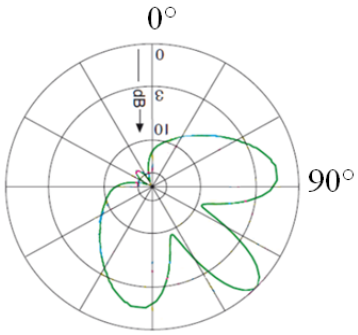
3.4.2. Paramétrage du réseau projeté

Notre projet porte sur l'implémentation d'un réseau radio maritime basé sur la norme TETRA tout au long de la côte de la Tunisie.

Le réseau projeté réutilisera l'infrastructure existante du système analogique actuel. Les stations de base radio seront installés respectivement à Tabarka, Bizerte, Tunis, Kelibia, Mahdia, Sfax et Zarzis.

Pour chaque station de base comme indiqué dans le tableau 3.3, nous avons arrêté les azimuts (directions) visés, les diagrammes d'antennes panneau et leurs hauteurs d'installation.

Ce choix vise à assurer la bonne couverture en direction de la mer et de minimiser la perte de puissance dans celle de la terre.

Station	***Azimut des antennes***	***Diagramme d'antenne***	***Hauteur d'antenne***
Tabarka			30 m
Bizerte			30 m
Tunis			10 m
Kelibia			30 m

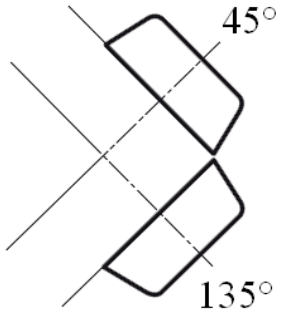
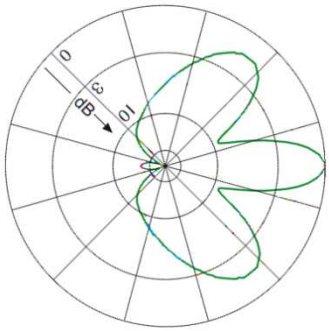
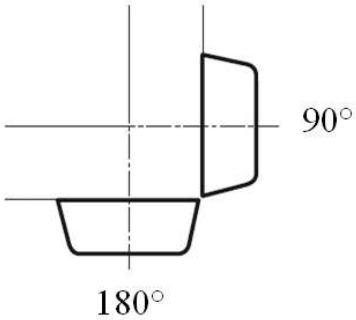
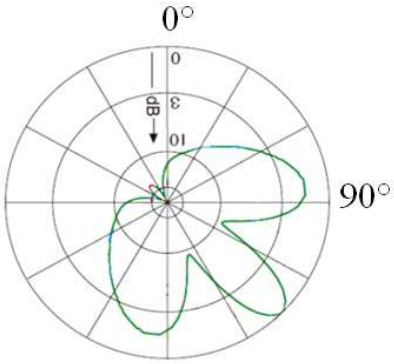
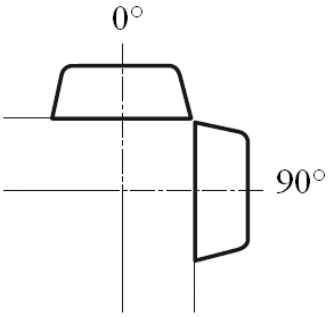
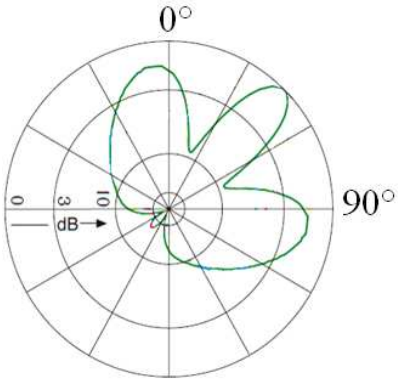
Mahdia			30 m
Sfax			30 m
Zarzis			30 m

Tableau 3.3 : Choix des paramètres des antennes des stations existantes

Pour simuler la couverture radio de notre réseau numérique, en plus des spécificités des antennes, il faut spécifier les nouveaux paramètres radioélectriques des stations existantes selon la norme TETRA (Tableau 3.4).

Puissance nominale de l'émetteur	25 W
Bande de fréquences	UHF (420 MHz- 430 MHz)
Gain de l'antenne émettrice	• 9,45 dBi en cas de deux panneaux • 10,5 dBi en cas d'un seul panneau
Gain de l'antenne réceptrice	2,15 dBi
Largeur du canal	25 KHz
Seuil de réception	-113 dBm
Perte des câbles	2,85 dB / 100 m
Modèle de propagation	Hata

Tableau 3.4 : Paramètres radioélectriques des sept sites

Après avoir introduit et validé tous les paramètres nécessaires, le logiciel ICS peut être lancé pour la simulation de la couverture (Fig.3.6).

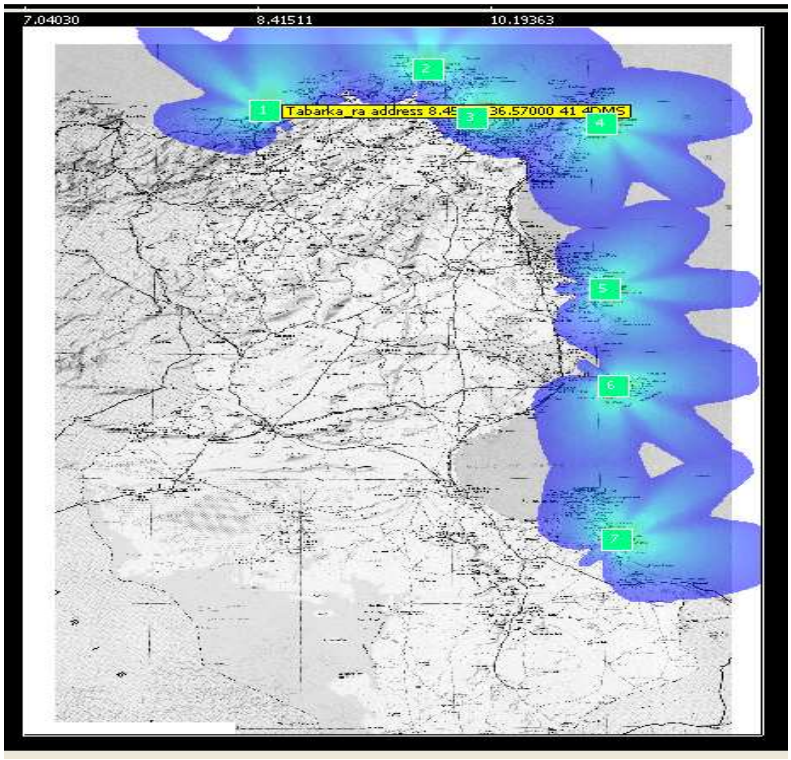


Figure 3.6 : Couverture du réseau projeté

La simulation nous a permis d'observer le niveau du signal reçu en tout point de la zone à couvrir et d'identifier les zones qui ne sont pas couvertes par les différentes cellules.

3.4.3. Comparaison des résultats de simulation :

Nous allons comparer les résultats de simulation obtenus dans le cas du réseau numérique avec ceux relatifs à la simulation du réseau analogique pour les mêmes points de référence (Tableau.3.5).

Point	***Niveau du Champ reçu pour réseau analogique en dBm***	***Niveau du Champ reçu pour réseau numérique en dBm***
A	-100,1	-92.3
B	-99,1	-77.3
C	-95,1	-66.3
D	-98,1	-56.3
E	-100,1	-79.3

Tableau 3.5 : Comparaison des niveaux des champs reçus aux points de références

Le réseau numérique assure un niveau du signal reçu qui ne dépasse pas le seuil dans la plupart des points au contraire du réseau analogique. En effet, le réseau numérique assure une bonne couverture et un niveau du signal plus élevé avec le minimum de la puissance d'émission en comparaison avec le réseau analogique.

Quant aux antennes utilisées, elles minimisent la perte de puissance montrée par le réseau analogique, comme elles sont toutes dirigées vers la mer.

- **Couverture du réseau numérique**

La couverture du réseau TETRA est partielle et plusieurs sous zones restent non desservies dans la zone de service. Ces sous zones sont le golfe de Hammamet et le golfe de Gabes.

Pour remédier à ce problème, nous avons ajouté des stations de base pour garantir la couverture totale (Tableau 3.6).

Station	***Coordonnées***	
	Latitude	***Longitude***
Enfidha	36° 05’ 4,2”	10° 27’ 5,4”
Gabes ville	33° 53’ 3,36”	10° 05’ 36,36”

Tableau 3.6 : Coordonnées géographiques des stations ajoutées

Ces nouvelles antennes sont calibrées des paramètres radioélectriques suivants (Tableau 3.7).

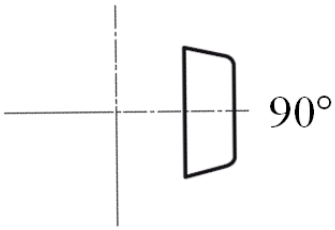
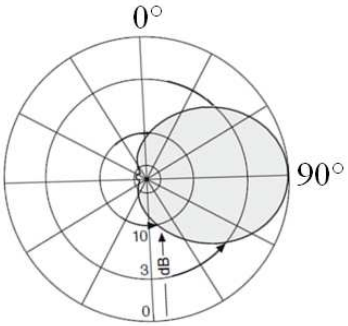
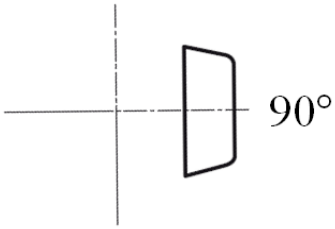
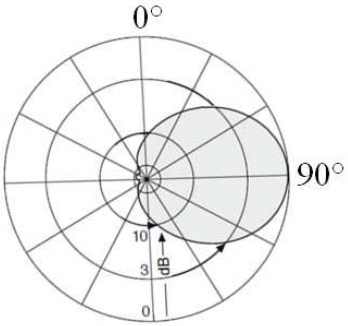
Station	***Azimut des panneaux***	***Diagramme d’antenne***	***Hauteur d’antenne***
Enfidha			10 m
Gabes ville			20 m

Tableau 3.7 : Caractéristiques des antennes des stations ajoutées

Après l’ajout des sites nécessaires et le recalibrage des paramètres radio nous avons simulé la couverture (Fig.3.7).

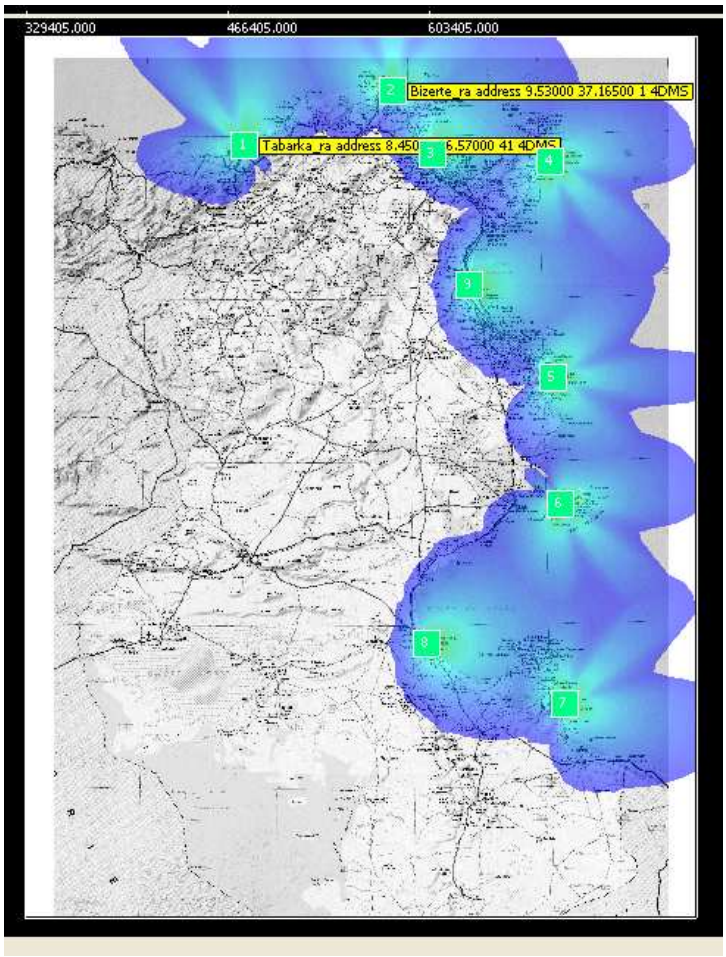


Figure 3.7 : Couverture du nouveau réseau TETRA

D'après les résultats obtenus, nous pouvons constater que le réseau radio maritime projeté permet de garantir une couverture de toute la côte tunisienne.

Cette couverture permet à la station mobile de gérer le Hard Handover lorsqu'il passe d'une cellule à une autre.

- **Liaison BTS - Station mobile (en Downlink)**

Pour mieux évaluer la couverture du réseau numérique projeté, nous avons mesuré le niveau du signal reçu en un ensemble de points au tour de la station de Kelibia (points limites de la couverture du réseau TETRA) (Fig.3.8).

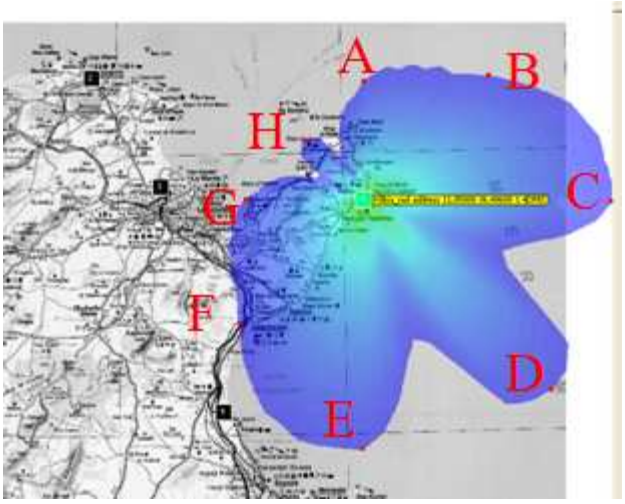


Figure 3.8 : Emplacement des points de test

Les mesures prélevées du signal reçu pour le cas du réseau numérique projeté sont présentées dans le tableau 3.8 :

Point	***Coordonnées***		***Azimut***	***Niveau du signal reçu (dBm)***	***Observations***
	Latitude	***Longitude***			
A	37° 15’ 25.5 ”	11° 05’ 46.8 ”	0 °	-104,8	acceptable
B	37° 16’ 3”	11° 39’ 13,2 ”	45 °	-105,8	acceptable
C	36° 48’ 14,5 ”	12° 10’ 43,8 ”	90°	-104,8	acceptable
D	36° 8’ 20,8 ”	11° 53’ 26.4”	135 °	-105,8	acceptable
E	35° 56’ 43,5 ”	11° 3’ 28,1 ”	180 °	-104,8	acceptable
F	36° 24’ 4,9”	10° 31’ 36,2 ”	225 °	-104,8	acceptable
G	36° 50’ 33,3”	10° 33’ 48,6 ”	270 °	-104,8	acceptable
H	37° 2’ 58,8”	10° 49’ 51,1 ”	315 °	-104	acceptable

Tableau 3.8 : Niveau du signal reçu

Cette simulation nous permet d’observer le niveau du signal reçu en tout point de la zone de Kelibia. L’antenne utilisée assure une portée moyenne de 40 Km à partir de la côte, ce qui nous ramène qu’on doit la paramétrer pour garantir une bonne liaison avec la station de base dans le sens en Uplink.

3.4.4. Solution pour les communications Navire –BTS

Vu que le réseau projeté doit assurer des communications entre BTS et navire du type bidirectionnel, il faut équilibrer les bilans des liaisons Uplink et Downlink.

Au niveau du lien descendant, la BTS utilise une antenne panneau de gain fort pour émettre une puissance de 25 W donc elle pallie au problème de pouvoir parvenir le signal jusqu'au navire avec une bonne qualité.

Quant au lien montant, le navire utilise une antenne omnidirectionnelle de faible gain et émet avec une puissance de 3 W donc ce système n'assure que la couverture d'une zone réduite et il ne permet pas au navire d'établir une liaison quand il est loin de la côte (la BTS réceptrice n'est pas dans la zone de couverture du navire) ; d'où le besoin émanent d'assurer l'équilibrage entre les deux liens.

Ainsi pour avoir un réseau opérationnel et fiable, on s'oriente vers le déploiement de l'antenne représentée par la figure 3.9 au niveau du navire en plus de l'antenne omnidirectionnelle. Il s'agit d'une antenne directive de type panneau qui s'oriente vers la BTS en fonction des paramètres d'identification et de localisation de la BTS de laquelle le navire reçoit le signal.

En effet, au niveau du lien descendant, le navire utilise l'antenne omnidirectionnelle pour la réception. Puis le système analyse les informations reçues en identifiant la station de base émettrice pour connaitre ses coordonnées géographiques. Et en fonction de ces coordonnées, il oriente l'antenne directive vers la BTS pour pouvoir envoyer la réponse en retour.

Ainsi, au cas où le navire désire émettre de l'information, il sélectionne la BTS la plus proche qui garantit une transmission efficace d'après les informations du réseau tunisien stocké sur son système. Aussi, en fonction de ce choix le système effectue le même processus d'orientation d'antenne qu'en cas précédant.

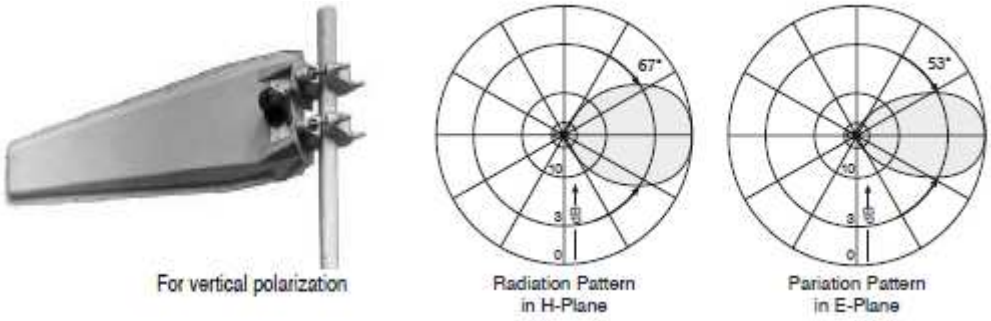


Figure 3.9 : Diagramme de rayonnement de l'antenne panneau Kathrein K 72 22 41

Pour valider l'efficacité de cette solution, on lance une simulation de couverture d'une station bateau émettrice.

Pour le positionnement du bateau émetteur, on choisit un point où le niveau de puissance est égal à la sensibilité de la BTS réceptrice et on règle les paramètres d'entrée.

La station de base réceptrice choisie est celle d'Enfidha et les coordonnées de la station mobile sont les suivantes :

- Longitude : X=36° 42' 47,4 "
- Latitude : Y=11° 8' 48,8 "

Les paramètres de simulation de la station bateau sont présentés par la figure 3.10.

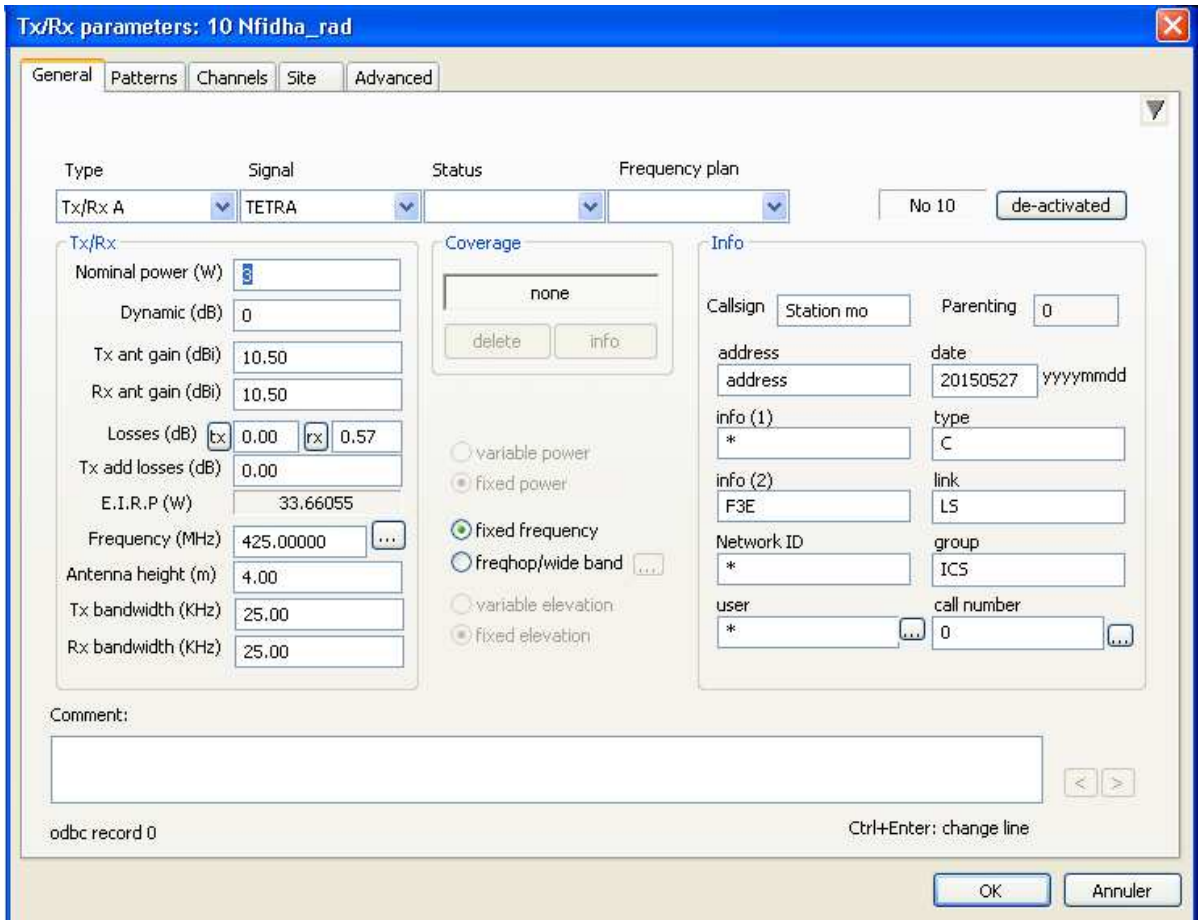


Figure 3.10 : Paramètres d'entrée de la station bateau

Pour une bonne qualité de service caractérisée par le diagramme de rayonnement, il faut orienter l'antenne choisie à un azimut égal à 270° (Fig.3.11).

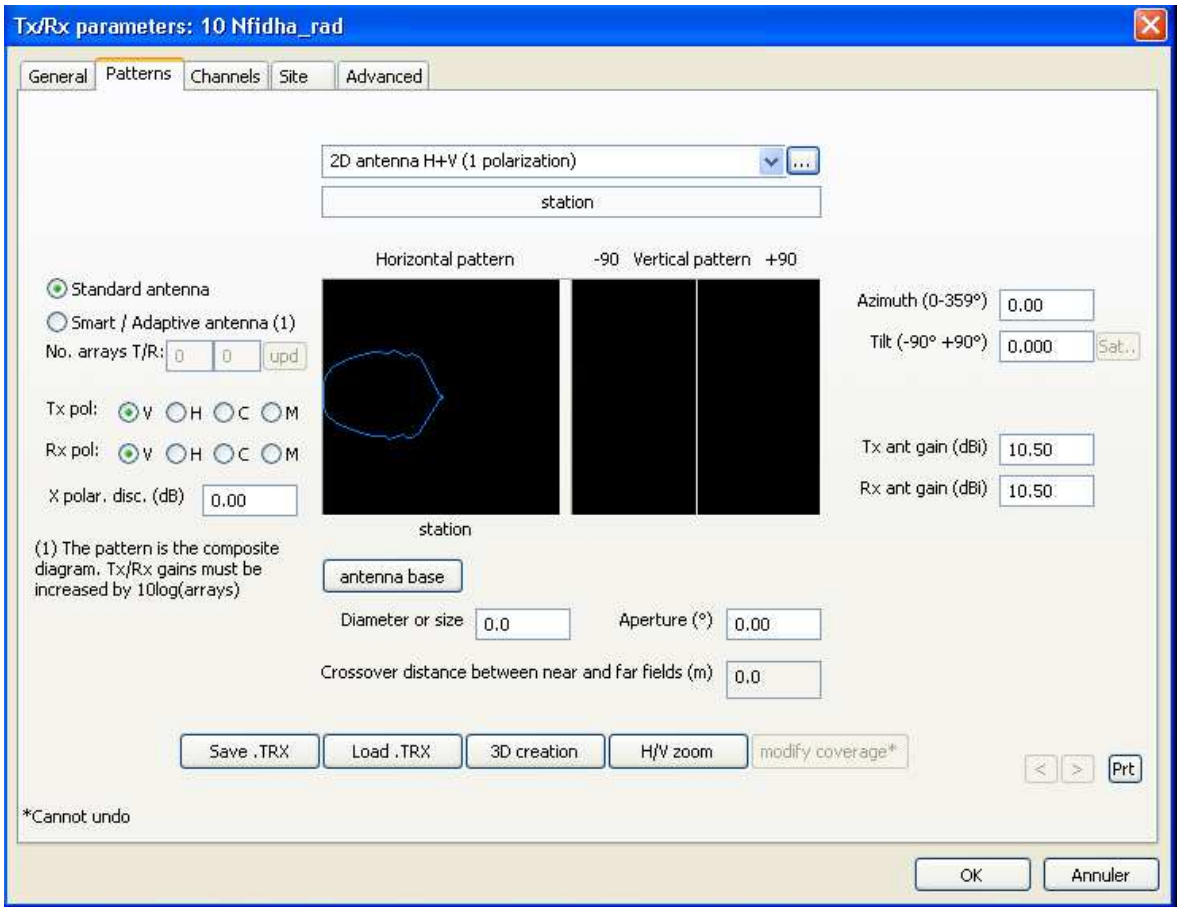


Figure 3.11 : Caractéristiques de l'antenne de la station bateau

Le résultat de simulation de la couverture de la station bateau est donné par la figure 3.12.

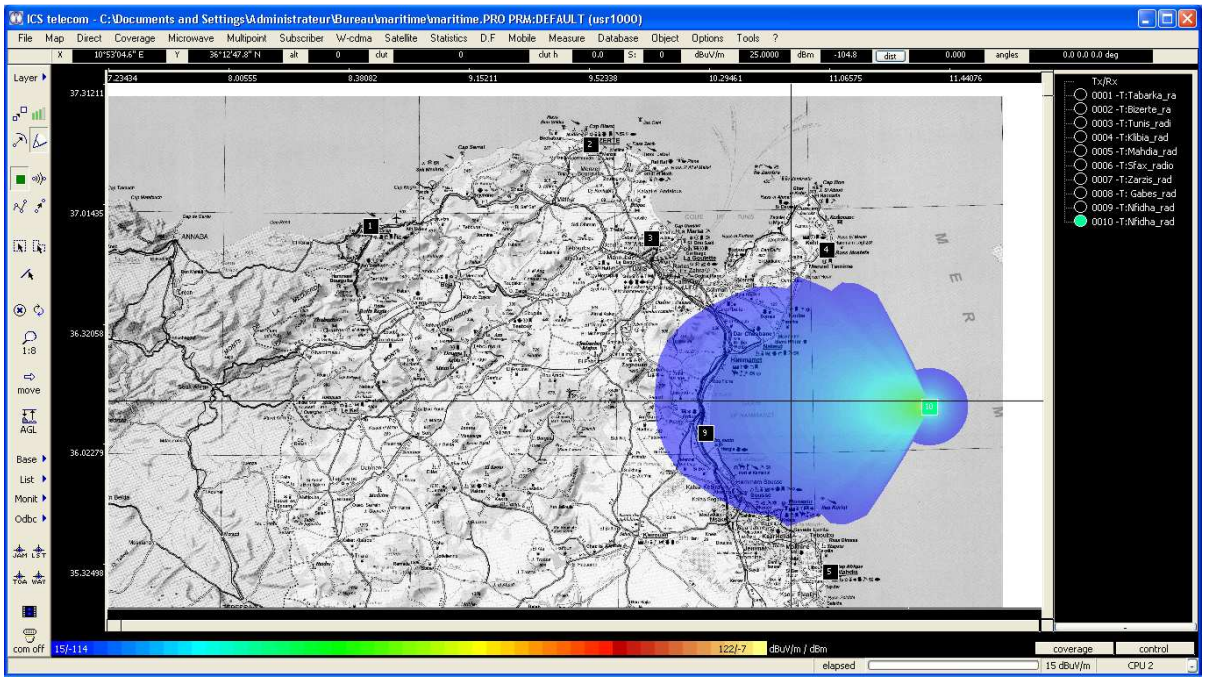


Figure 3.12 : Simulation de couverture de la station bateau

L'avantage d'utilisation d'une antenne directive est d'assurer la bonne émission et réception des données dans la direction désirée sans perte de puissance dans toutes les directions comme l'antenne omnidirectionnelle. Les résultats de simulation ont montré qu'avec une antenne directive de puissance d'émission 3W on peut établir une liaison avec la station de base de qualité acceptable.

3.5. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'approfondir nos connaissances sur le dimensionnement et la planification des réseaux radio maritimes.

Nous avons analysé les réseaux radio mobiles privés et la norme TETRA, et nous avons adopté l'antenne de type panneau pour optimiser la couverture dans la direction des navires à partir des stations BTS.

Nous avons analysé les résultats de simulation de la couverture du réseau numérique projeté et nous les avons comparés avec ceux du réseau analogique existant.

Aussi, nous avons jugé nécessaire d'ajouter deux stations à Enfidha et à Gabes Ville pour garantir la totalité de la couverture côtière de la Tunisie.

Enfin, nous avons simulé la liaison Navire - BTS pour le sens en Uplink en adoptant l'antenne directive et asservie en fonction de la position du navire par rapport à la BTS.

Enfin, nous avons simulé la liaison Navire - BTS pour le sens en Uplink en adoptant l'antenne directive et asservie en fonction de la position du navire par rapport à la BTS.

Conclusion Générale

Les réseaux de radiocommunications privés constituent un bon moyen de communication dans des milieux professionnels tels que les services de sécurité (armées, polices, SAMU, pompiers, chantiers…). Les professionnels de ces secteurs d'activités expriment des besoins en service des réseaux de communication autre que ceux exprimés par les abonnés des réseaux du grand public.

La migration vers les réseaux numériques est incontournable et ce vu les avantages que les offrent et qui sont liés à la qualité de service, à l'immunité au bruit, à la rationalisation de l'utilisation du spectre, à la flexibilité, à la mobilité et à la multitude des services offerts.

Notre projet de fin d'études intitulé « Etude et planification d'un réseau de radio communication maritime en Tunisie » nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la planification et le dimensionnement des réseaux.

Au vu des données du réseau analogique actuel du système radio maritime, nous avons analysé son état et étudié les limites de ses performances.

La norme TETRA avec sa spécificité répond aux attentes des professionnels en matière de communication en groupe, c'est pour cette raison que nous avons l'adopté pour qu'elle soit la base de la planification du réseau projeté.

A cet effet, nous avons utilisé le logiciel ICS Telecom pour la planification de la couverture radio. Ce logiciel a été mis à notre disposition, ce qui nous a permis de se familiariser avec les différentes fonctionnalités et interfaces, et éventuellement maitriser son usage pour des fins de planification.

Bibliographie

[1] **Jacques Déverchère et François Michaud,** “Positionnement en mer et navigation pour les Géosciences”, revue OCEANIS, Institut Océanographique, Paris, 2000.

[2] http://pacson.pagesperso-orange.fr/Numerisation.html, consulté le 03/03/2015.

[3] http://sebsauvage.net/comprendre/provider/provider_modem.html, consulté le 03/03/2015.

[4] **République Tunisienne ministère des transports et des communications**, “Manuel d’instruction emetteur /récepteur VHF marine modèl JHV-206 VJ”, Septembre 1981, page 1-2.

[5] **Roger Dowling**, TETRA + Critical Communications Association Montréal, 2013.

[6] **Michèle Germain**, “réseau PMR”, forum ATENA.

[7] **OFCOM,** Notice d'information TETRA, 2005.

[8] **KATHREIN,** “27-512 MHz base station antennas for mobile communications”, Panel

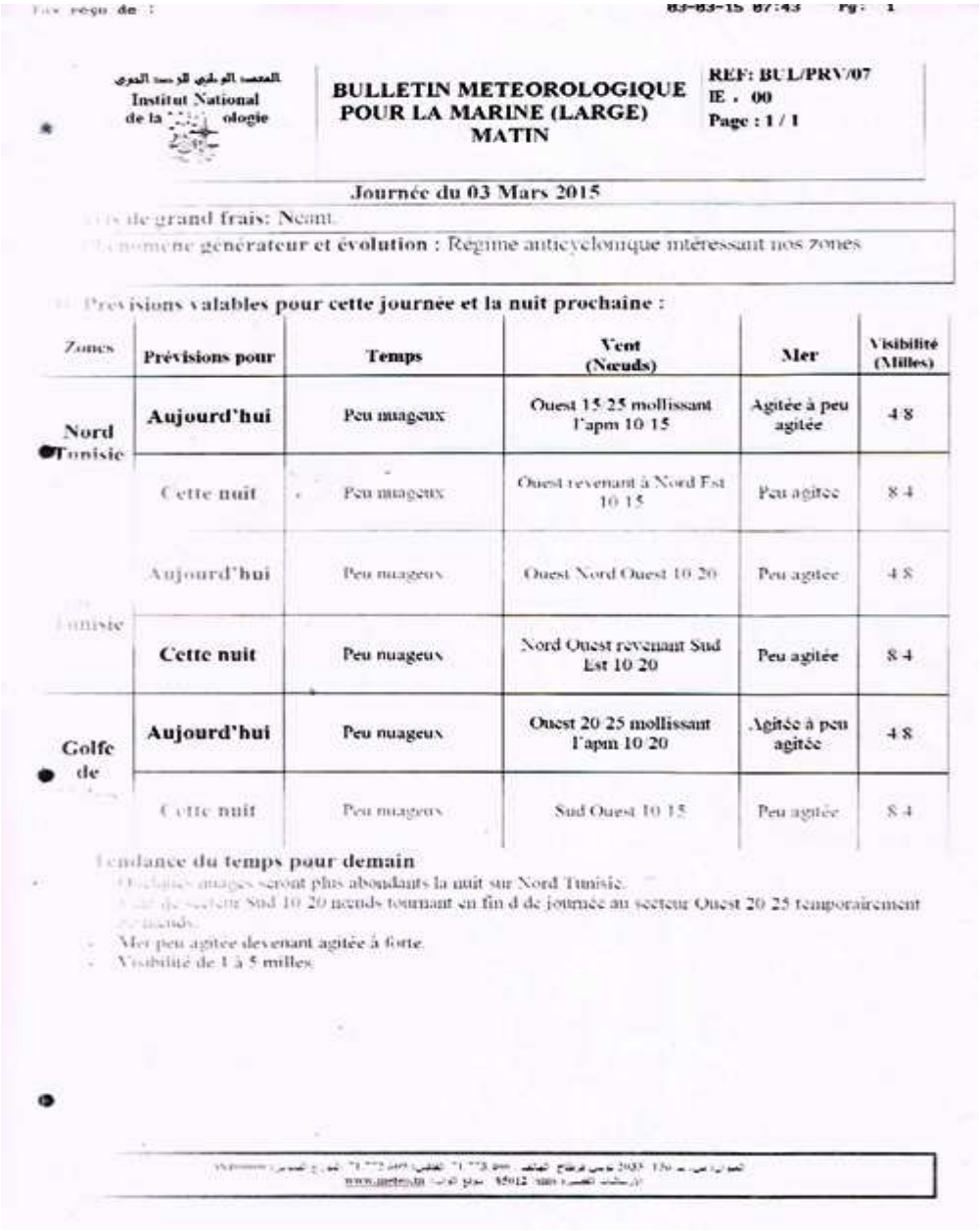
Dual Polarization Half-power Beam Width.

[9] **Alexandre Boyer**, Guide de prise en main du logiciel ICS Telecom, 2012.

[10] MOTOROLA, Professional digital two-way radio system.

Annexe 1

Les bulletins météorologiques de l'institut national de la météorologie contiennent des informations sur le climat tel que le vent, l'état de la mer, le temps, la visibilité… Les personnelles de chaque station diffuse un bulletin pour la marine chaque matin et chaque soir.



Institut National de la météorologie

BULLETIN METEOROLOGIQUE POUR LA MARINE (LARGE) MATIN

REF: BUL/PRV/07
IE . 00
Page : 1 / 1

Journée du 03 Mars 2015

Avis de grand frais: Neant.

Phénomène générateur et évolution : Régime anticyclonique intéressant nos zones

Prévisions valables pour cette journée et la nuit prochaine :

Zones	Prévisions pour	Temps	Vent (Nœuds)	Mer	Visibilité (Milles)
Nord Tunisie	Aujourd'hui	Peu nuageux	Ouest 15 25 mollissant l'apm 10 15	Agitée à peu agitée	4 8
	Cette nuit	Peu nuageux	Ouest revenant à Nord Est 10 15	Peu agitée	8 4
Tunisie	Aujourd'hui	Peu nuageux	Ouest Nord Ouest 10 20	Peu agitée	4 8
	Cette nuit	Peu nuageux	Nord Ouest revenant Sud Est 10 20	Peu agitée	8 4
Golfe de	Aujourd'hui	Peu nuageux	Ouest 20 25 mollissant l'apm 10 20	Agitée à peu agitée	4 8
	Cette nuit	Peu nuageux	Sud Ouest 10 15	Peu agitée	8 4

Tendance du temps pour demain

- Quelques nuages seront plus abondants la nuit sur Nord Tunisie.
- Vent de secteur Sud 10 20 nœuds tournant en fin d de journée au secteur Ouest 20 25 temporairement 25 nœuds.
- Mer peu agitée devenant agitée à forte.
- Visibilité de 1 à 5 milles.

www.meteo.tn

Figure 13: Un bulletin météorologique

Annexe 2

La fiche sera remplie après une communication téléphonique pour la taxation. Cette fiche contient des informations de la communication comme le numéro de demandeur et le numéro de demandé, la durée de la communication….

Heure début	Heure fin	Coupure	Code	N° Demandeur	Réseau

Demande	PL NR	—— ——	Table N°	Unités	N° Demandé		PCV
Demandeur	PL NR	—— ——	Attente	Table N°	Demande le ... à .... h.	N° d'ordre ——	PAV
Circuit occupé			Transmis à ..... h. ...	Réseau demandé			AVP
Observations				PAYS Etabli par Opératrice N°			ID

1392 - 19 a

Circuit Interrompu à ..... h .....
à ..... h .....

à remplir en cas d'Avis d'Appel ou de Préavis ou de Message

.....
.....
Demande .....
.....
.....
.....
Jusqu'à .....
Heures d'Etablis probable .....

Reçu .... h ..... Transmis h .....

Demandée	HEURE de réception	HEURE de transmission
Accepte ne Répond pas	.....	.....
Refusé	.....	.....
Absent Jusqu'à .... h.	.....	.....
Parti pour	.....	.....

Remarque : Lorsque la position n'est pas pourvue de calculographe, porter les heures de commencement et de fin de la communication à la main au recto de la fiche dans le cadre en haut et à gauche.

P.T.T Tunis

51/64 Bis

Figure 14: Une fiche de taxation

Annexe3

Structure d'un projet dans ICS Telecom

Un projet ne contient en fait que les liens vers les différents fichiers qui vont être utilisés pour lancer les calculs et les analyses dans ICS Telecom. La figure ci-dessous présente l'organisation d'un projet sous la forme de couches superposées.

Figure 15: Organisation d'un projet en couches sous ICS Telecom [9]

Les couches présentées ci-dessus sont :

- **Modèle numérique de terrain (Digital Elévation Model) GEO** : chaque point du fichier GEO donne l'altitude d'un point (un pixel de la carte) et l'altitude des bâtiments.
- **Couche Building (fichier BLG) :** cette couche contient des informations altimétriques sur les bâtiments.
- **Un fichier clutter (fichier .sol)** contient en chaque point l'information d'occupation du sol. Une liste des caractéristiques techniques est liée à chaque classe de clutter. Ce fichier est utilisé pour les calculs de propagation et pour la densité des utilisateurs. Il permet de distinguer les différents types d'environnements sur la carte telle que les zones rurales, les zones urbaines…
- **Un fichier image (fichier .img)** contenant des données graphiques liées à l'apparence de la zone (photographie aérienne ou image satellite). Il est souvent couplé à une palette (fichier d'extension .pal).

- **Couche couverture (fichier FLD)** : cette couche contient les résultats de simulation de type calcul de couverture radio (champ électrique, puissance reçue…).
- **Couche Objets (fichier EWF)** : cette couche contient les informations liées aux éléments du réseau (caractéristiques techniques, positionnement…) et leurs couvertures associées. Cette couche créée par l'utilisateur, est nécessaire pour la planification réseau. L'utilisateur peut ajouter plusieurs couches EWF.
- **Couche vecteur (fichier VEC) :** cette couche contient des objets graphiques définis par l'utilisateur (ligne, polygone pour décrire une zone de service…).

La simulation du réseau maritime actuel nous permettra d'envisager des solutions adaptées, pour ce fait, nous allons utiliser le logiciel ICS Télécom.

Annexe 4

Les identifiants des abonnés TETRA

Dans cette annexe nous allons présenter les identifiants des abonnés Tetra. Un abonné est identifié par son Individual TETRA Subscriber Identity (ITSI) sur 48bit. Un ITSI est composé d'un TETRA Mobile Country Code (TMCC) qui identifie le pays dans lequel le réseau est déployé, d'un TETRA Mobile Network Code pour identifier le réseau auquel l'abonné est inscrit, et enfin l'identifient de l'abonné.

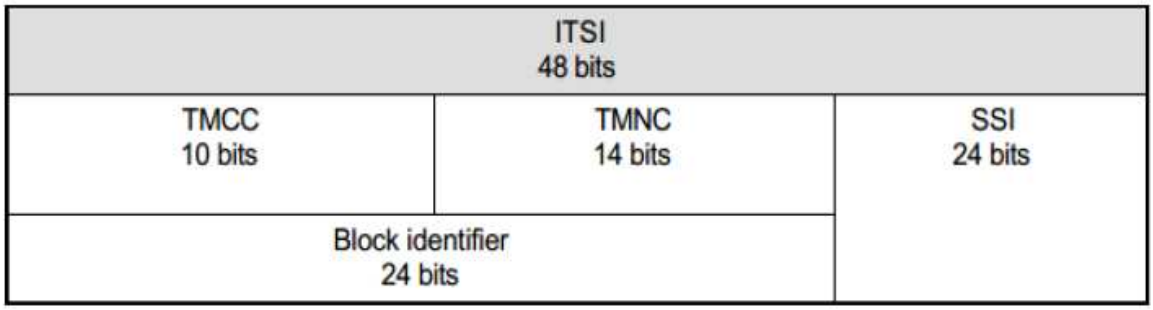


Figure 16 : Individual TETRA Subscriber Identity [10]

Un groupe d'abonnés est identifiés par un Group TETRA Subscriber Identity (GTSI). Les équipements TETRA sont identifiés par TETRA Equipment Identity (TEI).