

# RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Filière*

**Ingénieurs des Travaux en Télécommunications**

Formation continue

## **Etude d'un Système De Radiocommunications TETRA**

Par

**Abdelmajid KOCHBATI**

Encadré par

**Monsieur Adel GHAZEL**

Année universitaire 2001/2002

# **AVANT PROPOS**

Ce travail a été réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'études d'ingénieurs des travaux en télécommunication à l'Ecole Supérieure des Communications de Tunis (SUP'COM).

Au terme de ce travail, je tiens à remercier

Monsieur Adel GHAZEL : Maître assistant à l'Ecole Supérieure des Communications de Tunis et Directeur du Département Electronique, Physique et Propagation, pour m'avoir encadré et dirigé mes travaux.

Je remercie également Monsieur Makram AZZOUZ, Ingénieur principal à l'ONT, pour sa collaboration et son soutien.

Qu'il me soit également permis de remercier toutes les personnes qui, de proche ou de loin, m'ont aidé ou qui ont témoigné leur soutien et leur sympathie au cours de la réalisation de ce projet.

# SOMMAIRE

## Avant – propos

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| <b>Introduction générale.....</b> | <b>1</b> |
|-----------------------------------|----------|

## CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA NORME TETRA

|   |    |
|---|----|
| 1-1. Introduction.....  | 2  |
| 1-2. Descriptif général de la norme TETRA.....                | 2  |
| 1-2-1. Historique.....  | 2  |
| 1-2-2. Définition et caractéristiques du standard TETRA.....  | 3  |
| 1-2-3. Les améliorations offertes par le standard TETRA ..... | 3  |
| 1-2-4. Les services TETRA .....                               | 4  |
| 1-2-5. Les types d’interfaces.....                            | 5  |
| 1-3. Spécification du réseau TETRA.....                       | 7  |
| 1-3-1. Principe du réseau .....                               | 7  |
| 1-3-2. Classification des types de réseaux.....               | 8  |
| 1-3-3. Codage de la voix et trame TDMA.....                   | 10 |
| 1-3-4. Modulation et spectre radio.....                       | 13 |
| 1-4. Conclusion.....  | 14 |

## CHAPITRE 2 : ETUDE DU RESEAU RADIO MOBILE TETRA DE L’O.N.T

|  |    |
|--|----|
| 2-1. Introduction.....                                   | 15 |
| 2-2. Architecture générale du réseau TETRA de l’ONT..... | 15 |
| 2-2-1. Structure du réseau.....                          | 15 |
| 2-2-2. Schéma du réseau TETRA de l’ONT.....              | 17 |
| 2-2-3. Composants du réseau TETRA de l’ONT.....          | 18 |
| 2-3. Le commutateur numérique DXT16.....                 | 18 |
| 2-3-1. Présentation générale du DXT.....                 | 18 |
| 2-3-2. Caractéristique du DXT16.....                     | 19 |
| 2-4. Stations de base.....                               | 22 |

|  |    |
|--|----|
| 2-4-1. Caractéristique de la TBS .....                                 | 22 |
| 2-4-2. Composants des stations de base .....                           | 24 |
| 2-4-3. Station de travail (DWS, NAWS, station des commandes MML) ..... | 27 |
| 2-5. Services du réseau de l'ONT.....                                  | 28 |
| 2-5-1. Services d'appel .....  | 28 |
| 2-5-2. Communication d'urgence.....                                    | 28 |
| 2-5-3. Services de données.....  | 29 |
| 2-6. Conclusion.....   | 29 |

### **CHAPITRE 3 : PLANIFICATION DES RESEAUX DE RADIOCOMMUNICATION TETRA**

|  |    |
|--|----|
| 3-1. Introduction .....  | 30 |
| 3-2. Planification de la partie radio.....                               | 31 |
| 3-2-1. Modèle du trafic .....  | 31 |
| 3-2-2. Dimensionnement du trafic.....                                    | 32 |
| 3-2-3. Couverture radio.....   | 34 |
| 3-2-4. Facilités d'existence.....  | 37 |
| 3-2-5. Outils et démarches de planification .....                        | 37 |
| 3-3. Planification du réseau .....                                       | 39 |
| 3-3-1. Planification de la couverture radio et sélection des sites ..... | 39 |
| 3-3-2. L'usage du spectre.....   | 41 |
| 3-3-3. La planification des paramètres.....                              | 42 |
| 3-3-4. Vérification et optimisation du réseau.....                       | 43 |
| 3-4. Conclusion.....   | 43 |

### **CHAPITRE 4 : ETUDE POUR L'AMELIORATION DE LA QUALITE DU RESEAU TETRA DE L'ONT**

|   |    |
|---|----|
| 4-1. Introduction.....                                | 44 |
| 4-2. Etat actuel du réseau TETRA de l'ONT.....        | 44 |
| 4-2-1. Configuration du réseau.....                   | 44 |
| 4-2-2. Couverture radio du réseau de l'ONT.....       | 45 |
| 4-3. Phase d'extension du réseau de l'ONT.....        | 46 |
| 4-3-1. Extension au niveau du commutateur.....        | 47 |
| 4-3-2. Extension du nombre des stations de base ..... | 48 |

|  |               |
|--|---------------|
| 4-3-3. Apports de l'extension du réseau.....                     | 52            |
| 4-4. Analyse de la qualité du réseau.....                        | 53            |
| 4-4-1. Etude théorique.....                                      | 53            |
| 4-4-2. Mesure radio à l'aide de l'outil de trace PARTET.....     | 54            |
| 4-4-3. Analyse des résultats des mesures.....                    | 56            |
| 4-4-4. Solutions d'antennes proposées.....                       | 56            |
| 4-5. Etude critique du réseau de l'ONT.....                      | 58            |
| 4-5-1. Conditions d'exploitation.....                            | 58            |
| 4-5-2. Commercialisation du réseau.....                          | 59            |
| 4-5-3. Qualité de service.....                                   | 59            |
| 4-6. Valorisation de l'apport du réseau TETRA.....               | 60            |
| 4-6-1. Comparaison du TETRA avec les autre réseaux radio.....    | 60            |
| 4-6-2. Valorisation de l'apport de TETRA par rapport au GSM..... | 62            |
| 4-6-3. Arguments de choix du réseau TETRA.....                   | 63            |
| 4-6-4. Avantages du réseau TETRA.....                            | 65            |
| 4-7. Conclusion.....   | 67            |
| <br><b>Conclusion générale.....</b>                              | <br><b>68</b> |
| <b>Annexes.....</b>  | <b>69</b>     |

# INTRODUCTION GENERALE

Moins connus du grand public que les réseaux cellulaires ou sans cordon ; les systèmes de radio communications professionnels constituent la forme la plus ancienne des communications avec les mobiles.

Les systèmes de radio communications professionnels (SRP) ou Privat Mobile Radio (PMR) sont généralement simples, voir très simples en terme d'équipements et de gestion, comparés aux systèmes cellulaires. Ils offrent de nombreux avantages par rapport aux réseaux cellulaires tant du point de vue autonomie de gestion que par les services offerts. Leur principal atout réside dans le fait qu'ils offrent aux organismes un contrôle direct de leur réseau. Ils sont en effet, conçu pour des applications essentiellement professionnelles. Les tous premiers organismes à utiliser ce type de système sont : les pompiers, les forces de sécurité aériens et terrestre et les entreprises de production ou de gestion de l'énergie, de l'eau, des routes ...etc. Jusqu'à récemment les radio communications professionnels étaient un marché d'application aussi diverse que la variété des entreprises concernées.

Et par conséquent l'innovation permanente et le progrès technique dans les réseaux de radio communications publiques et privées a entraîné la création d'une nouvelle norme entièrement numérique baptisé TETRA dédiée au réseau de radio communication professionnel.

Dans le cadre de ce projet, il nous a été demandé d'étudier d'une manière générale l'architecture et les méthodes de planification des réseaux de radiocommunication selon la norme TETRA. Puis, de mener une étude pratique concernant le réseau TETRA de l'ONT de point de vue extension et qualité de service.

Pour ce faire, on a présenté d'une part la norme ainsi que l'étude du réseau radio mobile TETRA de l'ONT. D'une autre part, on a mené une étude de la planification des réseaux de radiocommunication TETRA. Et on a conclu par une étude pour l'amélioration de la qualité du réseau de l'ONT.

## Chapitre 1

# PRESENTATION DE LA NORME TETRA

### 1-1. Introduction

Ce chapitre vise à introduire le standard TETRA et à dégager ses caractéristiques et ses améliorations. Dans ce contexte, on a présenté un descriptif général de la norme ainsi que les spécifications du réseau TETRA.

### 1-2. Descriptif général de la norme TETRA

#### 1-2-1. Historique

Les systèmes de radio communication professionnels n'ont pas connu d'évolution technique majeure jusqu'aux années 1970.

Le principe très simple sur lequel était basé les systèmes de radio communications professionnels consistait à allouer une fréquence par flotte (un ou plusieurs groupes d'utilisateurs) d'où une utilisation peu optimale du système radio. En effet, l'augmentation de la pression sur le spectre radio a conduit à l'introduction au début des années 1970 de la technique TRUNK qui permet d'une part d'augmenter l'efficacité spectrale du système en mettant en commun des canaux, et d'autre part d'accueillir sur le même système plusieurs flottes d'utilisateurs indépendantes. Les systèmes de radio communications professionnels ont ainsi connu avec la technique de TRUNKING une étape importante de leur évolution. Les systèmes basés sur cette technique sont appelés réseau radio à ressources partagées (3RP) ou système TRUNK. [2]

### 1-2-2. Définition et caractéristiques du standard TETRA

**TETRA** : (TErrestrial TRunked RAdio) est une norme européenne pour des réseaux radioélectriques mobiles à usage professionnel. C'est le premier standard de PMR numérique « ouvert » dans le monde. Il utilise les dernières technologies numériques lui donnant un très grand avantage comparé à la PMR analogique.

Ce standard présente les principales caractéristiques suivantes :

- C'est un système entièrement numérique
- Basé sur le principe des applications cellulaires de type GSM
- C'est un standard « ETSI » dit ouvert lui donnant la possibilité d'être multi-constructeurs et multi-fournisseurs.
- Facilite l'étude et le développement des terminaux et des interfaces des applications de données (Terminal Equipment Interface TEI)
- Permet l'interconnexion des réseaux TETRA des différents constructeurs (InterSysteme Interface ISI)
- Fournit un haut niveau de sécurité et de fiabilité.
- La standardisation de l'interface air, rend possible l'interopérabilité des mobiles des différents constructeurs (Air Interface)
- Elle définit un débit important pour la transmission des données
- Permet une meilleure utilisation des fréquences
- La possibilité d'utiliser un mode de dialogue direct entre les mobiles s'ils sont hors de leur zones de couverture (Direct Mode Operation : DMO)

### 1-2-3. Les améliorations offertes par le standard TETRA

- Utiliser les canaux de manière plus efficace : Il est possible de mettre quatre canaux par porteuse de 25KHz
- Permet une gestion poussée des groupes de communication ainsi que la gestion des services offerts.
- Un système d'appel rapide.
- Permet le chiffrement de la voie, des données et de l'identité de l'utilisateur.
- Permet de combiner voix et services données.
- Un service avancé de transmission de données offrant un très grand nombre de



possibilités.

#### **1-2-4. Les services TETRA**

L'ensemble des services de base offert par TETRA se divise en trois catégories :

- Le service transport définit les caractéristiques de transport des informations (OSI 1 à 3)
- Le service téléphonique : définit les services voix et données ( OSI 4 à 7)
- Le service supplémentaire : modifie ou complète les deux services ci-dessus.

##### **a. Le service Transport**

Ce service transmet les informations de tous types et se divise en deux parties :

- Service paquet de données :
  - ◆ Connectionless (non connecté) est un mode de transmission de données de type paquet unique ou de type paquet autonome (IP).
  - ◆ Connection-oriented (orienté connexion) : Est un mode de transmission de données de type paquet utilisé lors de transmission où l'ordre d'émission ou d'arrivée des paquets est primordial (x25).
- Service circuit de données :
  - ◆ Mode non protégé : c'est un mode où le débit utilisé est égale à la capacité du canal 7.2 kbits/s (14.4.....28.8 kbits/s en multislots).
  - ◆ Mode protégé : ce mode réduit la capacité utile pour permettre la mise en place du système de protection. La capacité du canal est 4.8 kbits/s (9.6 .....19.2 kbits/s en multislots)
  - ◆ Mode haute protection : Ce mode est identique au précédent avec un niveau de protection accrue ce qui réduit encore le débit canal à 2.4 kbits/s ( 4.8.....9.2 kbits/s en multislots).

##### **b. Service de communication téléphonique**

Il regroupe tous les services de base d'un système PMR :

- **Services vocaux :**
  - ◆ Appel individuel : c'est une communication point à point .

- ◆ Appel de groupe : c'est une communication point-multipoint
- ◆ Reconnaissance d'appel de groupe.
- ◆ Diffusion d'appel.

➤ **Services messagerie courte.**

**c. Services supplémentaires**

Les services supplémentaires se divisent en deux parties :

- La Première est dédiée aux utilisateurs à caractères « secours et sécurité ».
- La seconde est plus optionnelle, elle contribue au confort des usagers.

Les services supplémentaires essentiels sont :

- ◆ Appelle autorisé par l'aiguilleur implique que le contrôleur vérifie si la demande est autorisée ou non.
- ◆ Zone définie : définir la zone d'activité d'un utilisateur (peut être redéfini pour chaque appel).
- ◆ Accès prioritaire : définit les liaisons radio prioritaires durant les périodes de congestions du réseau
- ◆ Appel prioritaire : définit un appel utilisant une ressource de réseau en priorité.
- ◆ Entrée tardive : un retardataire voulant rejoindre un appel en cours.
- ◆ Appel de priorité préventif : ce sont les appels ayant la plus haute priorité en liaison radio et la plus haute priorité sur les ressources du réseau. Si le réseau est occupé par des liaisons de priorité inférieure, la plus faible sera stoppée pour permettre l'établissement de cette communication.
- ◆ Ecoute discrète : permet d'écouter une communication radio sans se signaler.
- ◆ Ecoute d'ambiance : l'aiguilleur ouvre son canal radio sans indiquer sa présence, il peut écouter ce qui se passe dans un véhicule par exemple.
- ◆ Attribution d'un numéro de groupe dynamique : l'aiguilleur peut programmer à distance un nouveau groupe dans un mobile pour une action ponctuelle.

**1-2-5. Les types d'interfaces**

La norme définit trois grands types d'interfaces dit ouverts ce qui permet d'avoir des éléments de constructeurs différents mais fonctionnant sur le même réseau.

- **Interface Air** : c'est la liaison existant entre le terminal radio et la station de base. Cette interface définit aussi pour l'équipement le mode direct (DMO) permettant le dialogue direct entre deux mobiles.
- **Interface d'exploitation des terminaux (TEI )** c'est la liaison existant entre le mobile et un terminal permettant la transmission des données (exemple : La connexion d'un PC à un mobile).
- **Interface Inter-Système (ISI)** c'est la liaison existant entre des liaisons radios

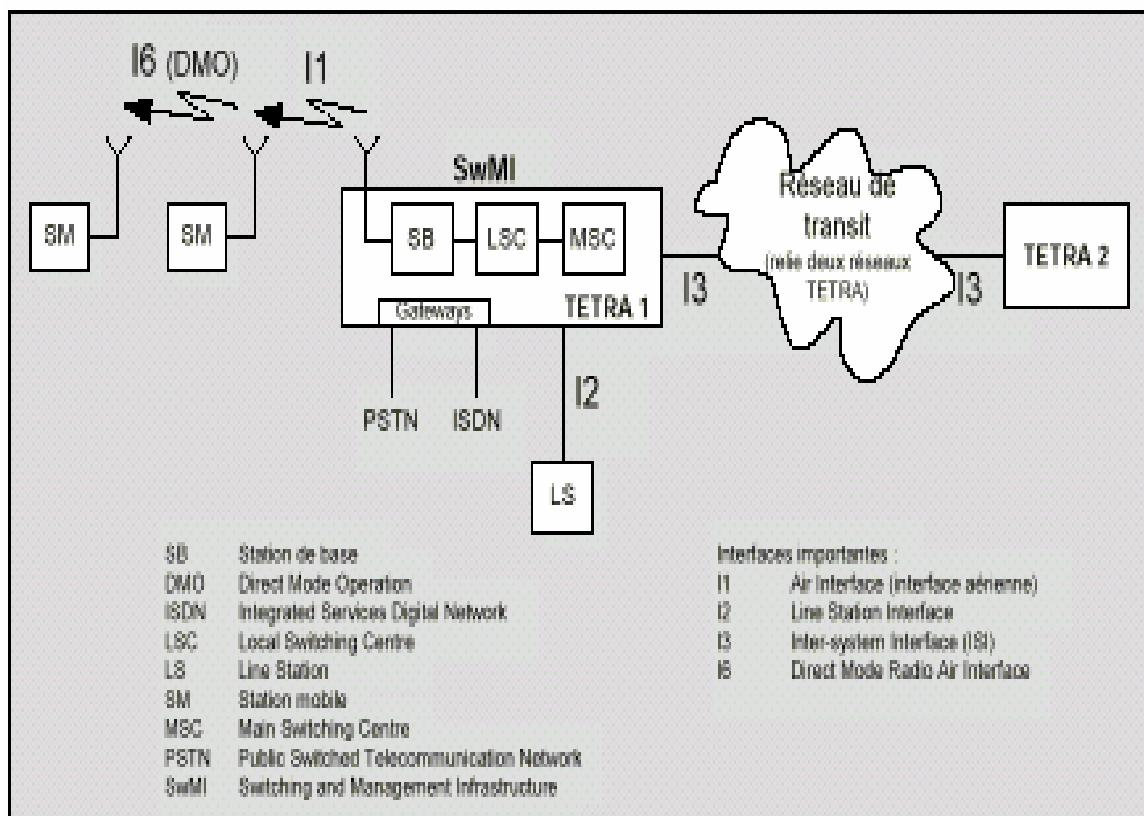


Figure 1-1. Architecture générale du réseau TETRA

En outre la fonction première d'un réseau TETRA est de permettre l'établissement de communication pour des terminaux mobiles entre eux et /ou avec des usagers de commutateurs privés (PABX) ou du réseaux téléphonique commuté public (RTCP).

Par ailleurs, il est prévu dans la norme des interfaces passerelles permettant la liaison avec des réseaux extérieurs telle que RNIS, RTCP, PABX,... Sans toutefois oublier les interfaces liées directement au système permettant de surveiller, gérer et contrôler toutes les fonctionnalités et services du réseau. [1]

### 1-3. Spécifications du réseau TETRA

#### 1-3-1. Principe du réseau

Un tel réseau est constitué par des stations de base et de commutateurs. Les stations de base sont responsables d'assurer la liaison radio avec les mobiles via l'interface air. Chaque station de base est caractérisée par une zone d'action où les mobiles peuvent communiquer entre eux. En effet pour la continuité du service, plusieurs stations de base sont raccordées à un ou plusieurs commutateurs, lesquels garantissent la gestion, la localisation et la mémorisation des mobiles et l'exécution de Handovers (mobilité).

Le réseau peut être utilisé par plusieurs clients avec des spécifications propres à eux-mêmes, dans la mesure où chaque client pourra superviser et gérer les appels à l'aide d'un système de contrôle (dispatcher) propre à lui-même.

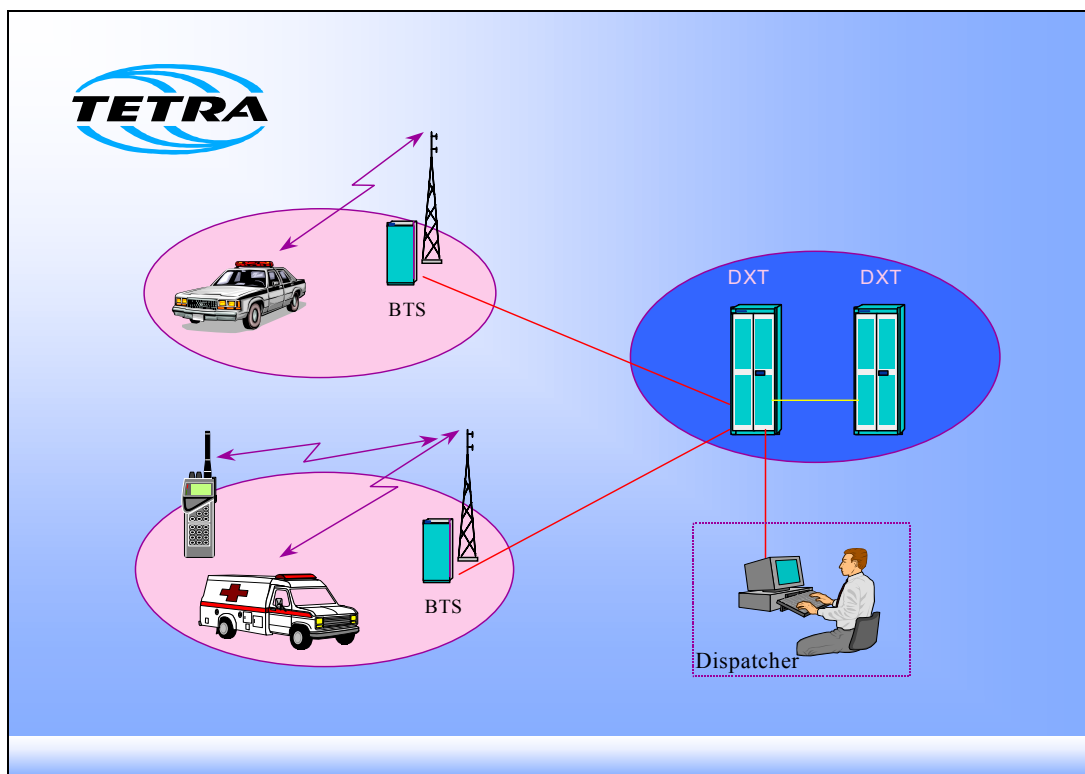


Figure 1-2. Composants du réseau TETRA

### 1-3-2. Classification des types de réseaux

Le système TETRA est un réseau utilisant le principe de la gestion des connexions et des ressources (trunking system). Le principe consiste à contrôler l'ensemble des accès radio et à les affecter en fonction des besoins tout en gérant les priorités. Comparé à un système traditionnel où chaque canal est dédié à un utilisateur ou à un groupe, il fait apparaître une plus grande efficacité d'utilisation.

Dans le standard TETRA il est prévu deux types de réseau, utilisant la même architecture et technologie radio, mais sans pour cela être obligatoirement compatibles.

**TETRA Voix plus Données (V+D)** : Offre combinée de la voix et des services de données.

**TETRA Optimisation des Paquets de Données (PDO)** : couvre largement et uniquement les services de transmission de données par paquets.

Le système TETRA de NOKIA et par suite de l'ONT –car NOKIA est le premier fournisseur de l'ONT- est conforme au standard **Voix plus Données**. Les applications offertes par le système V+D étant très souples il sera possible d'utiliser les services du système PDO.

#### a. Base de la Technologie TETRA (V+D)

Le système TETRA est un système entièrement numérique où les fonctionnalités de contrôle et de supervision sont automatisées. Les liaisons entre les stations de base et les commutateurs ne sont pas définies par le standard et restent la propriété des constructeurs.

Le mode d'accès au canal utilisé pour TETRA est le système TDMA (Time Division Multiple Access).

TETRA offre quatre canaux de communication indépendants au sein d'un canal de radiocommunication de 25 kHz. Un seul de ces quatre canaux est occupé pendant un quart du temps, pour la durée d'un créneau temporel (slot). Le reste du temps, le canal radio peut être utilisé par d'autres usagers. L'émetteur est donc enclenché et arrêté environ 18 fois par seconde pendant une communication. Si toutefois une grande capacité de transmission est requise, un seul usager peut également occuper plusieurs créneaux temporels (jusqu'à quatre). De plus, un seul usager peut transmettre simultanément de la voix et des données. Le principe est expliqué dans la figure 1-3.

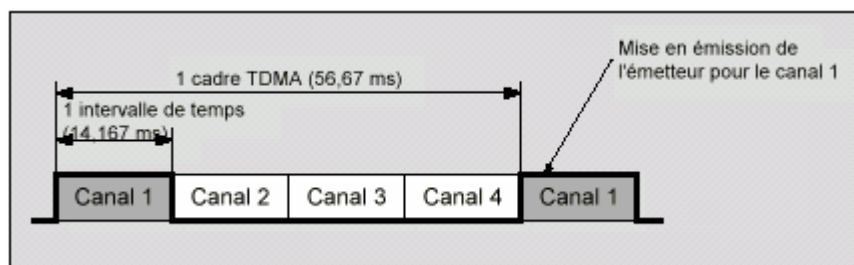


Figure 1-3. Système d'accès au canal TDMA de TETRA

Comme le système GSM, TETRA émet également une porteuse particulière dans le premier intervalle de chaque cadre du canal de contrôle. Ce canal de contrôle est utilisé pour transmettre aux téléphones mobiles les données système du réseau et pour permettre la synchronisation entre les téléphones mobiles et la station de base.

La puissance d'émission des appareils mobiles est réglée en permanence par les commandes de la station de base sur le minimum nécessaire à une communication de qualité (power control). Ce réglage de la puissance minimise d'une part les interférences, et maximise d'autre part la durée de vie des batteries des appareils mobiles. En revanche, avec le système TETRA, la puissance d'émission de la station de base n'est pas réglée.

Le système de modulation utilisé est le  $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying). Ce système linéaire est extrêmement efficace en utilisation spectrale, mais il exige des amplificateurs d'émission linéaires et par conséquent coûteux afin que les émissions hors bande intempestives soient peu élevées.

Le débit maximum de transmission de données de TETRA va jusqu'à 28,8 kBit/s (non protégé) pour une largeur de bande de 25 kHz. Du fait de ce débit relativement élevé, le système TETRA est particulièrement indiqué pour la transmission mobile de données.

Le système TETRA peut en principe être utilisé sur toutes les fréquences inférieures à 1GHz. Toutefois, dans la pratique, seules les fréquences typiquement prévues pour les systèmes PMR dans les bandes des 160, 400, et 870 MHz sont occupées.

Les spécifications TETRA sont valables pour trois domaines d'applications totalement différents, à savoir :

- Voice plus Data (V+D);
- Packet Data Optimized (PDO);
- Direct Mode (mode direct).

Comme la plupart des systèmes de radiocommunication, TETRA utilise la liaison duplex (sauf pour le mode direct, voir ci-dessous). Le uplink et le downlink s'effectuent sur deux fréquences différentes, séparées par un "écart transmission/réception". La taille de cet écart dépend de la bande de fréquence dans laquelle le système est exploité. Les appareils terminaux de TETRA (comme la plupart des systèmes PMR) travaillent généralement en mode semi-duplex, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible d'émettre et de recevoir simultanément. Le mode duplex correspond au mode d'exploitation que nous connaissons avec le réseau de téléphonie mobile et le téléphone filaire qui serait facile à réaliser avec TETRA mais n'est souvent pas utilisé en pratique.

Avec le mode direct, seule l'exploitation en mode simplex est possible. Les stations mobiles impliquées dans une communication travaillent toutes sur la même fréquence. Il est possible d'avoir simultanément jusqu'à deux liaisons simplex sur une seule porteuse.

### 1-3-3. Codage de la voix et trame TDMA

#### a. Codec de voix

TETRA utilise un codeur décodeur (**codec**) à compression de voix **ACELP** (**A**lgebraic **C**ode-**E**xcited **L**inear **P**rediction). Son but est de convertir la voix en numérique et de la compresser de façon à minimiser la quantité d'information à transmettre, ce qui permet de réduire la bande utile lors de la transmission dans l'interface air. Le codec ACLEP a la particularité de pouvoir compresser 60 ms de parole avec un minimum de bit, tout en respectant une bonne qualité sonore. Ce codeur apporte une réduction très importante du nombre de bit à transmettre qui permettra de réduire la bande passante utile et de permettre de transporter plus d'information dans une bande donnée.

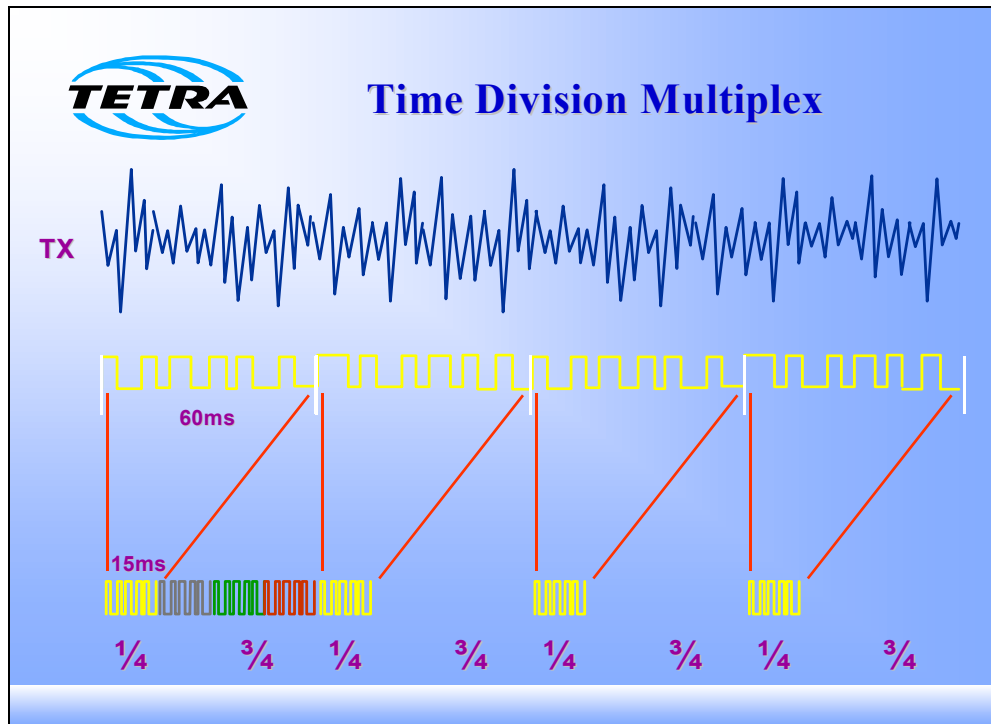


Figure 1-4. Codage de la parole

Le codec va dans un premier temps convertir la voix en information numérique puis va analyser les informations numériques pour déterminer les variations dues à la parole (analyse des caractéristiques pour déterminer les variations dues à la parole (analyse des caractéristiques de la voix humaine), mettre en place les filtres permettant d'éliminer le bruit de fond de l'environnement. Ceci donne un débit en sortie du codec de 4.567 kbits/s ou 274 bits par subslot.



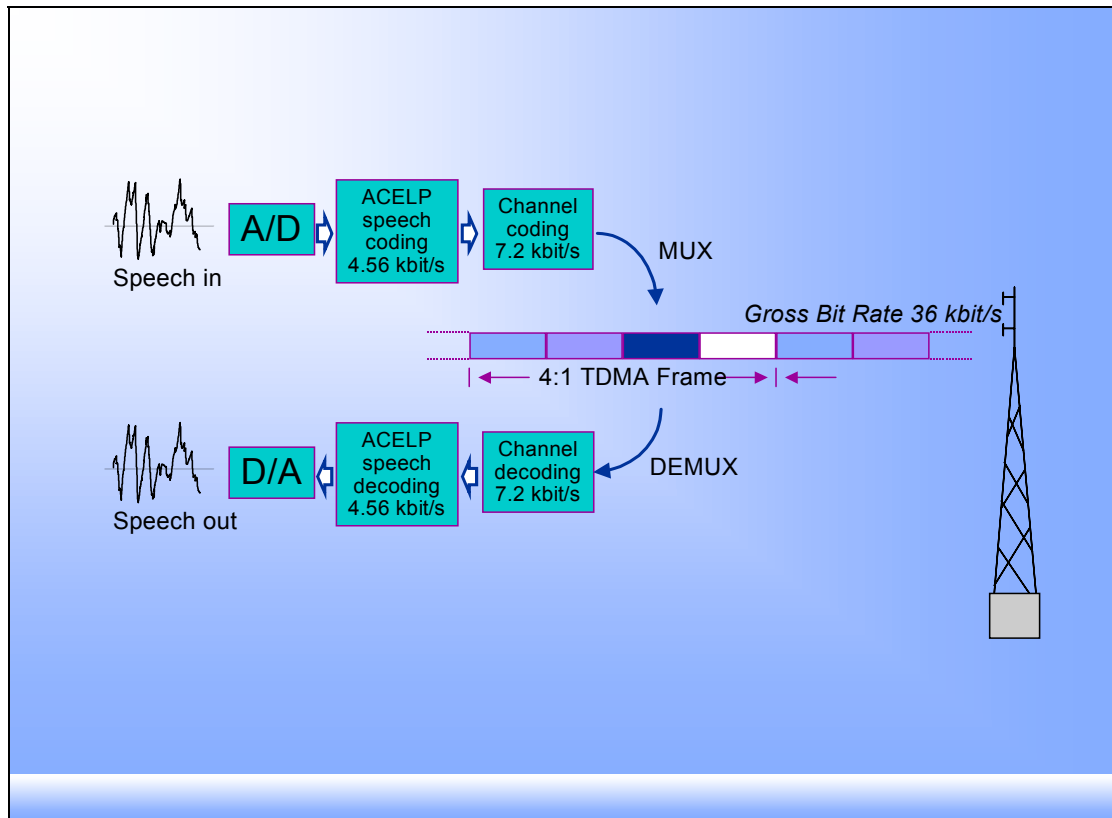


Figure 1-5. Codec et trame TDMA

## b. Trame TDMA

La trame TDMA (Time Division Multiple Accès) permet la transmission dans l'air de plusieurs communications simultanées, dans le cas de TETRA, quatre communications peuvent être transportées simultanément. Il est possible aussi de transporter la signalisation de contrôle. C'est un système de multiplexage temporel qui est très souple et permet d'avoir une bande de fréquence relativement étroite, dans le cas de TETRA la bande passante allouée est de 25KHz. La trame est composée de quatre sub-slots de 510 bits chacun, la durée d'une trame TDMA est de 56.67 ms. Pour permettre un codage et un décodage corrects de la voix il est nécessaire d'utiliser plusieurs trame TDMA. Dans TETRA on utilise des blocs de 18 trames appelés multitrames ou des blocs de 60 multitrames appelés hypertrames.

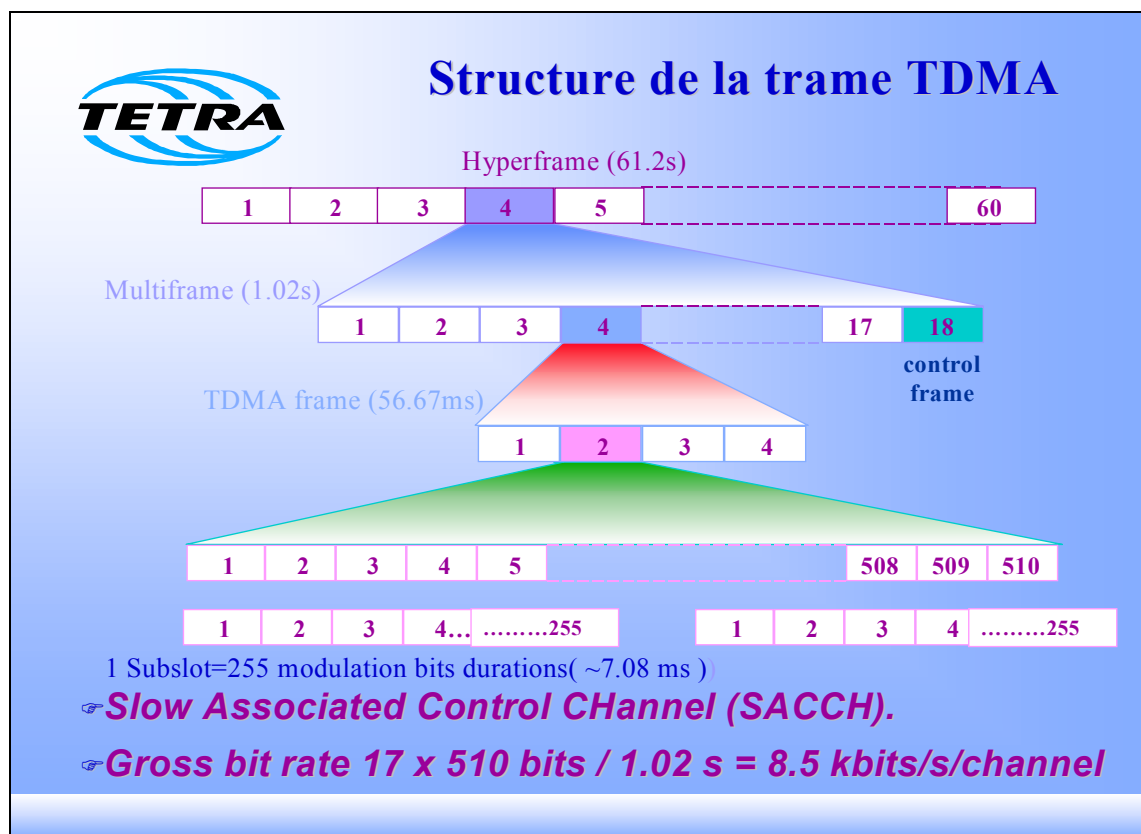


Figure 1-6. Trame TDMA

Un subslot pouvant contenir 510 bits donne un débit maximum de 9 kbits/s et sur une trame TDMA complète le débit max. est de 36 kbits/s. La trame TDMA est composée de quatre canaux physiques qui seront affectés au transport de la parole ou de la signalisation en fonction des besoins. Pour avoir un dialogue entre le ou les mobiles et la station de base, il est impératif d'avoir un des timeslots (subslot) affectés au contrôle et à la signalisation. Ce timeslot a pour nom MCCH, généralement c'est le premier de la trame. De plus il est possible d'ajouter un autre timeslot de signalisation SCCH. Les communications seront positionnées sur les subslots restant et sont nommées TCH.

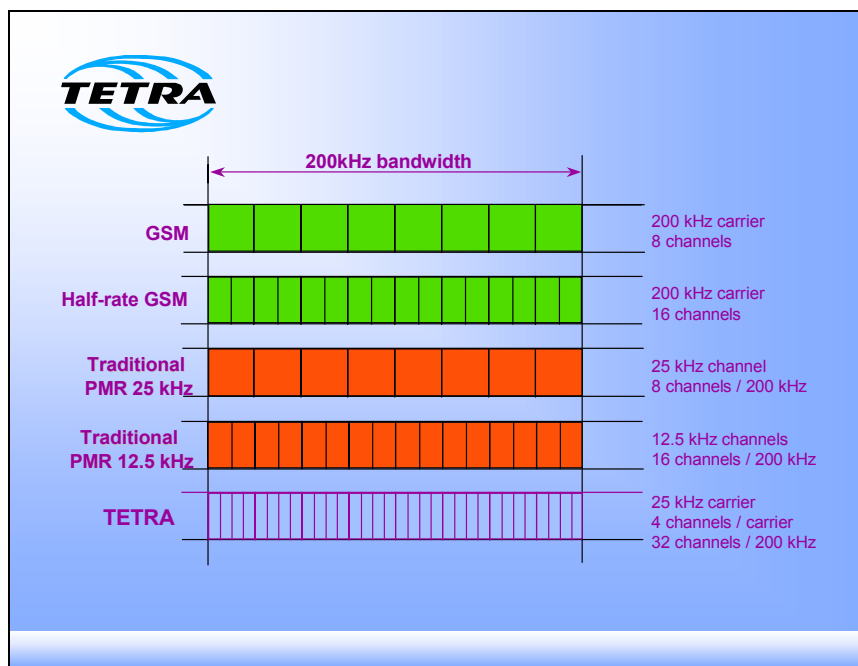
### 1-3-4. Modulation et spectre radio

La modulation permet de transformer des informations numériques en signaux analogiques qui peuvent se propager dans l'air. Un des objectifs de cette norme est de pouvoir exploiter les mêmes bandes de fréquences que les anciens systèmes PMR, en permettant un remplacement rapide par le système TETRA, de plus cette norme respecte les 25 KHz d'écart entre émetteur.

La modulation utilisée dans la norme TETRA est  $\pi/4$  DQPSK ( $\pi/4$  Differential Quaternary

Phase Shift Keying), c'est une modulation a huit états de phase ce qui permet de limité le spectre des fréquences, donc réduire la bande passante utilisée.

Pour bien comprendre la qualité du système voir la figure ci-dessous qui présente la différence par rapport aux autres types de radio mobile.



*Figure 1-7. Comparaison des spectres*

[6]

#### 1-4. Conclusion

TETRA reste une norme digitale ouverte spécialement conçue pour répondre aux besoins des utilisateurs professionnels de radios mobiles offrant une vaste gamme de fonctions entièrement intégrées pour la voix et les données.

## Chapitre 2

# ETUDE DU RESEAU RADIO MOBILE TETRA DE L'O.N.T

### 2-1. Introduction

Le but de ce chapitre est d'introduire l'architecture du réseau de radio communication numérique et ses composants en certains détails. Dans une première étape, on présentera le commutateur numérique DXT16. Dans une seconde étape les stations de base. Et enfin les services du réseau de l'ONT.

### 2-2. Architecture générale du réseau TETRA de L'ONT

#### 2-2-1. Structure du réseau

La structure du réseau radio est toujours basée sur le même principe. Physiquement il y a un DXT (commutateur) qui gèrera les TBS (Stations de base) qui permettront les communications avec les différents mobiles. Le DXT peut gérer 64 porteuses radio réparties sur 64 stations de base ; de plus la capacité maximale d'un DXT en nombre d'utilisateurs est de 10000.

La TBS est conçue pour gérer un max. de 8 porteuses d'où 31 canaux de trafic. Pour la gestion des utilisateurs il y a un dispatcher. Il est possible d'avoir au maximum douze dispatcheurs[6].

Le réseau existant est composé de :

- Une station centrale de commutation et de gestion du réseau et des abonnés, installées au siège de l'ONT, composée de :

- ◆ Un commutateur Nokia DXT64 doté d'interface pour 16 porteuses,
  - ◆ Un système de gestion et de contrôle incluant le contrôleur de système de répartition (DSC), les dispatchers (DWS) et le système de gestion de réseau NAWS.
- Cinq stations de base réparties comme suit:
- ◆ Une station de base dotée de deux porteuses installée au Siège de l'ONT;
  - ◆ Une station de base dotée de trois porteuses installée à Boukornine ;
  - ◆ Une station de base dotée d'une porteuse installée à Zaghouan ;
  - ◆ Une station de base dotée de deux porteuses installée à l'ERTT;
  - ◆ Une station de base dotée d'une porteuse installée à Hammamet ;

### 2-2-2. Schéma du réseau TETRA de l'ONT

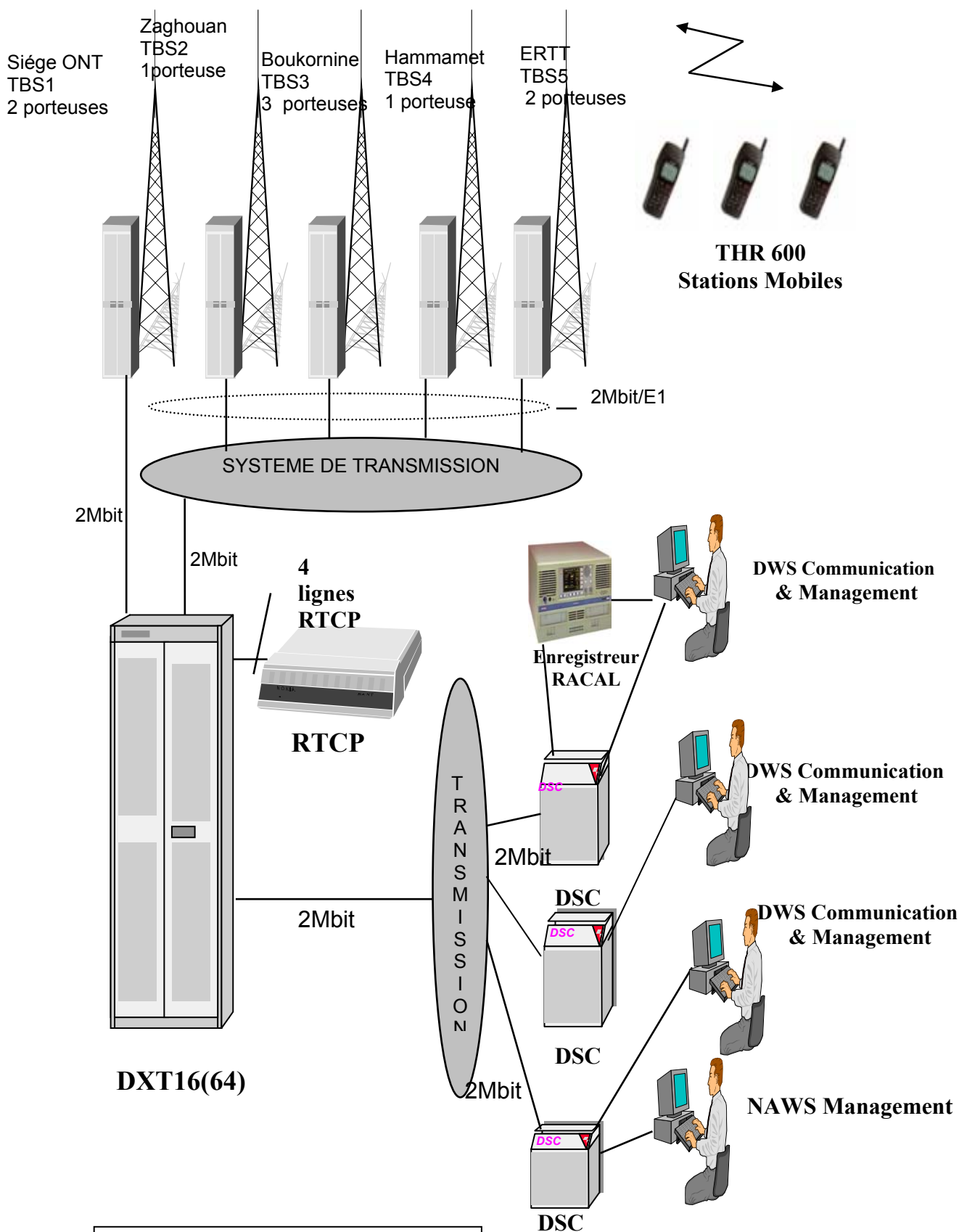


Figure 2-1 : Architecture du réseau

### **2-2-3. Composants du réseau TETRA de L'O.N.T**

L'architecture du réseau fermé de radiocommunication numériques est constituée d'un nombre d'entité de système et des différentes interfaces tels que:

- Le commutateur numérique DXT16 .
- Stations de base.
- Stations de travail (DWS, NAWS, station des commandes MML).
- Passerelles (interfaces avec RTCP, PABX, RNIS, Internet,...).
- Stations mobiles (MS).

### **2-3. Le commutateur numérique DXT16**

#### **2-3-1. Présentation générale du DXT**

les commutateurs numériques TETRA de NOKIA sont basés sur une plate-forme d'architecture DX200 dont les caractéristiques essentielles sont :

- Des systèmes de contrôle multiprocesseur optimisé pour la télécommunication.
- La sécurisation des unités critiques
- La modularité de la structure
- Une grande capacité de trafic
- La rapidité d'établissement d'appel ainsi que la commutation de time slots.
- Faible consommation de puissance.
- Haute fidélité.
- Basé sur des unités industrielles standards

#### **a. Capacité des abonnés de commutateur DXT16**

La capacité de la base de donnée actuelle est de 2000 abonnés et elle peut être extensible à une capacité de 100 000 abonnés une fois on passe à un commutateur DXT256.

#### **b. L'ensemble des fonctions du DXT**

Les commutateurs utilisés supportent l'ensemble des fonctions ci-dessous :

- fonction de contrôle d'appel
- Commutation numérique.
- Service de base de données
- Gestion des abonnés.

- gestion de la mobilité
- Allocation de type d'appel.
- gestion des canaux radio
- gestion des canaux pour les réseaux externes
- gestion des stations de base et DWS.
- signalisation des TBS et DWS
- Gestion de la configuration
- système de maintenance.

### **2-3-2. Caractéristiques du DXT 16**

Le DXT16 est un équipement de moyenne capacité, permettant la gestion, le contrôle et l'établissement de communications entre mobiles et pouvant gérer un ensemble d'abonnés dans un réseau de petite dimension. Le DXT16 contrôle et gère un ensemble des TBSs et des interfaces avec d'autres DXT.

#### **a. Capacité**

La capacité de DXT16 de l'ONT est de :

- gestion de 16 porteuses (64 canaux) .
- Gestion de 16 stations de travail (DWS),



## b. Architecture Physique

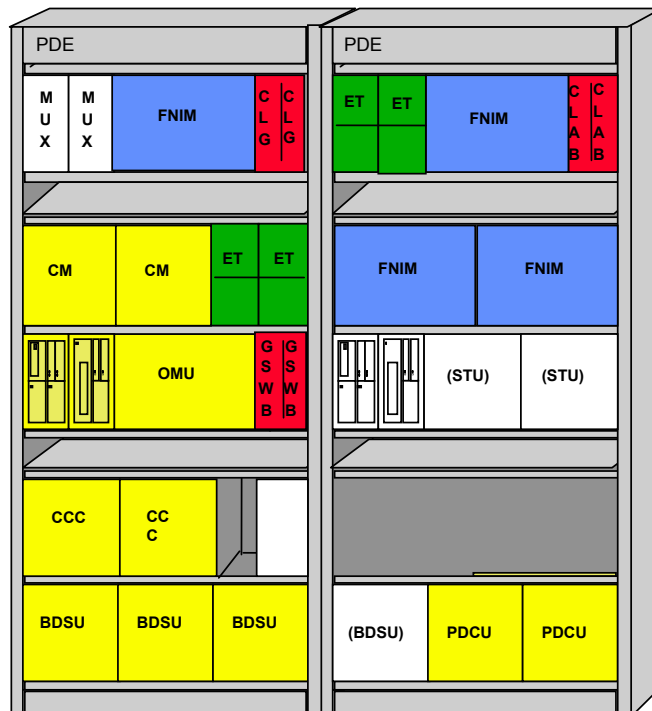


Figure 2- 2 : Architecture physique de DXT

BDSU = **B**ase station and **D**ispatcher

Station signalling Unit

CLTG = **C**Lock and **T**one **G**enerator

CLAB = **C**Lock and **A**larm **B**uffer

CCC = **C**all **C**ontrol **C**omputer

CM = **C**entral **M**emory

ET = **E**xchange **T**erminal

FNIM = **F**ixed **N**etwork **I**nterface **M**odule

GSWB = **G**roup **S**witching Unit

DM2 = **D**igital **M**ultiplexing Equipment

OMU = **O**perating and **M**aintenance Unit

PDCU = **P**acket Data Communication Unit

STU = **S**Tatistical Unit

### c. Rôle des unités

Le rôle des unités constituant le commutateur est résumé dans le tableau suivant :

| Unité (redondance) | Fonction  |
|--------------------|---|
| <b>CCC(2N)</b>     | Unité micro computer qui a pour fonction <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement de contrôle des appels</li> <li>• Contrôle de groupe de commutation (GSWB)</li> <li>• Gestion des ressources radio</li> <li>• Communication avec le réseau PABX/PSTN via l'interface FNIM</li> </ul> |
| <b>BDSU (N+1)</b>  | Unité micro computer qui a pour fonction : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Communication avec les stations de base TETRA.</li> <li>• Communication avec le système de dispatcher.</li> </ul> - Deux BDSUs peut gérer jusqu'à 32 porteuses.   |
| <b>GSWB(2N)</b>    | -Il permet la commutation de séquence de bits (8kbits/s à 64kbits/s) entre deux trajets prédéterminés de time slots de 2Mbits/s.<br><br>-Le module de FNIM et l'interface ET sont connectés au GSWB via une liaison de 4Mbits/s   |
| <b>CM(2N)</b>      | La mémoire centrale est un micro computer qui gère : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Service de base de données pour les autres unités computer. Elle contient les abonnés, groupes et les données de routage.</li> <li>• Signalisations entre DXTs.</li> </ul>                          |
| <b>OMU(0)</b>      | Cette unité permet de gérer : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Système de supervision.</li> <li>• Alarmes.</li> <li>• MMI interface.</li> </ul>   |

|                  |  |
|------------------|--|
|                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chargement de logiciels.</li> <li>• Interface de stockage.</li> </ul> <p>Elle peut être liée (64 Kbits/s) au DXTT afin de permettre la maintenance et la configuration à distance.</p>  |
| <b>FNIM (0)</b>  | <p>-Elle permet de loger jusqu'à 12 interfaces de PABX/PSTN. Et chaque interface contient 4 connexions physiques au réseau extérieur.</p> <p>-Cette interface est contrôlée par CCC via une signalisation LAPD de 64kbits/s.</p> |
| <b>ET(0)</b>     | <p>Cette interface est utilisée pour la connexion de stations de bases, dispatchers et autres DXT. Chaque interface (max. 8 par 2 baies ) supervise le lien 2Mbits/s.</p>  |
| <b>PDCU(N+1)</b> | <p>Cette unité est utilisée pour le traitement de paquet de donnée et elle fournit l'interface LAN pour la passerelle TCP/IP</p>   |
| <b>CLAB(2N)</b>  | <p>Elle offre la fréquence d'horloge pour les autres unités et elle collecte les alarmes de celles-ci.</p>   |

## 2-4. Stations de base

La TBS permet la liaison avec le ou les mobiles via l'interface air et le commutateur (DXT). La fonction de la TBS est de convertir les informations numériques bande base en signaux radio fréquence (RF) et vice versa. La liaison entre le mobile et la TBS est conforme à la norme TETRA, cela signifie que l'ensemble des informations et les types de signaux sont conformes à la norme N°300392-2.

### 2.4.1 Caractéristique de la TBS

#### a. Caractéristiques générales

\* La Bande de fréquence utilisée par le réseau fermé de radiocommunication numérique de l'ONT est : **410...430MHz**

- \* Ecart duplex de 10 MHz

- \* Les informations et les caractéristiques électriques des signaux transmis ou reçus par l'interface air sont conformes à la norme TETRA (V+D) N° 300392-2

- \* La TBS NOKIA est conçue en standard pour gérer un maximum de 4 porteuses

mais il est possible d'augmenter la capacité de 4 porteuses supplémentaires ( voir Figure 3)

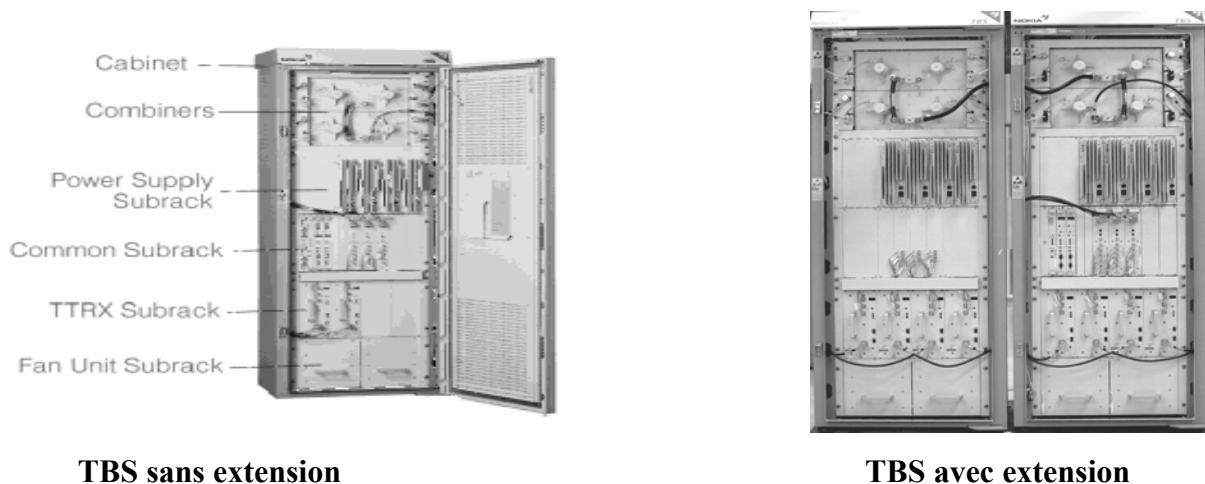


Figure 2-3 : Architecture physique des TBSs

- \* Tension d'alimentation : -48VDC (-36VDC...-60VDC)

- \* Consommation pour 4 TTRXs : 2.3 kW max.

- \* Consommation pour 8 TTRXs : 4.3 KW max

### **b) Caractéristiques de l'émetteur**

- \* La puissance de sortie d'un émetteur(TTRX) est de 40 W.

- \* La modulation utilisée est :  $\pi/4$  DQPSK

- \* La largeur de bande d'une porteuse est de 25 kHz

- \* Le couplage des émetteurs se fait par des combiners à cavité à ajustement manuel.

\* La puissance maximale pour le canal adjacent est de :

-60dBc/25Khz

-70dBc/50kHz

-70dBc/75kHz

### **c. Caractéristiques du récepteur**

\* Sensibilité statique meilleure que -115 dBm avec un BER  $\leq 4\%$  pour un canal au débit de 7.2 kbit/s

\* Afin d'éviter le fading (puits d'évanouissement) le système d'antenne est équipé de deux antennes de réception.

## **2-4-2. Composants des stations de base**

### **a. Sous systèmes de TBS**

La station de base TETRA est constituée de cinq sous systèmes :

- Mécanique(M).
- Bande de base (BBSS)
- Radio fréquence (RFSS)
- Software (SWSS).

### **b. Fonctionnement des unités de station de base**

Le tableau suivant récapitule les fonctions des unités non redondantes :

| Unité (sous système) | Fonction  |
|----------------------|---|
| TRMC (RFSS)          | <p>Cette carte est un amplificateur récepteur utilisé pour l'amplification de signal dans sa bande RF et la division en signaux de même niveau d'amplitude pour le récepteur.</p>   |
| TTRX(BBSS+RFSS)      | <p>Les principales fonctions de ce module radio fréquence sont :</p> <p><b><u>*section de réception</u></b> : utilisé pour amplifier le signal RF reçu, fournir la sélectivité et convertir la porteuse reçue en fréquence intermédiaire (FI) qui va être ensuite numérisée par le convertisseur (A/D) et délivrée au module de bande de base TBBM</p> <p><b><u>*section d'émission</u></b> : Utilisée pour moduler le signal numérique et amplifier le signal RF.</p> <p><b><i>Le module de bande de base (TBBM)</i></b> est une carte purement numérique qui utilise les technologies de traitement des signaux numériques (DSP) et elle assure les fonctions suivantes :</p> <p><b><u>*Direction de réception</u></b> :</p> <p><i>Le TBBM</i> permet de faire le contrôle automatique de gain (AGCO), de symbole de synchronisation, canaux d'égalisation, débrouillage, démodulation, des entrelacements, et décodage de canal.</p> <p>- Dans le cas de triversion la combinaison des signaux en bande de base améliore considérablement le taux d'erreurs binaire (BER).</p> <p>*elle permet la conversion de vitesse de donnée en 8 kbits/s, le multiplexage de trames slots et la signalisation LAPD 32 kbits/s et elle délivre à la carte TRUA un format de trame particulier.</p> <p><b><u>*Direction d'émission</u></b> :</p> |

|                             |  |
|-----------------------------|--|
|                             | <p><i>Le TBBM reçoit un time slot de 64kbits/s de TRUA. et il fait le démultiplexage de celle ci en sous times slots et en signalisation LAPD et elle pratique la conversion de vitesse de donnée pour le slots de TDMA</i></p> <p><i>**Elle permet de fonctionner le brouillage, entrelacement, cryptage, le codage de canal, multiplexage, et la modulation.</i></p>   |
| <b>TRUA(BBSS)</b>           | Cette unité à pour rôle principal le brassage qui sert pour le routage de sous times slots. Cette unité a la possibilité d'optimiser l'utilisation de la ligne de transmission en utilisant la topologie en étoile, chaîne et boucle   |
| <b>PSU (M)</b>              | Unité d'alimentation pour le TTRX  |
| <b>TBC(BBSS)</b>            | <p>Ce contrôleur à pour fonction :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion de la configuration de la TBS</li> <li>• Gestion des alarmes de la TBS</li> <li>• Ajustement et contrôle OCXO (oscillateur de l'horloge)</li> <li>• Contrôle de ventilateur</li> <li>• Fonction de test et de contrôle</li> <li>• Interface MMI local</li> <li>• Interface de synchronisation et d'adaptation au bus D (TSD)</li> <li>• Interface de module de cryptage</li> <li>• Interface de combiner à ajustement automatique</li> <li>• Chargement de logiciel à partir de DXT</li> </ul> |
| <b>Combiner unit (RFSS)</b> | Le rôle de combiner à cavité et d'additionner deux signaux d'émission sur la même sortie.  |
| <b>Fan units (M)</b>        | La TBS est équipée de deux Unités de refroidissements (ventilateurs)   |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>TSD</b><br><b>(RFSS)</b> | Une interface qui fournit une synchronisation précise de trame en recevant le temps d'horloge des satellites via l'antenne GPS. |
|-----------------------------|---|

### 2-4-3 Station de travail (DWS, NAWS, station des commandes MML)

Ces différentes stations servent aux différentes utilisations suivantes :

- **DWS** : Station de travail utilisé pour la partie administration, communication et supervision des abonnés.
- **NAWS** : Station de travail utilisé pour la partie administration des abonnés.
- **Station de commande MML** : elle est connectée à l'unité OMU du DXT via le port VDU et elle est utilisée pour la partie gestion et configuration du réseau et la collecte des alarmes des différents éléments du réseau.

#### a. Passerelles

Pour la configuration actuelle du réseau on dispose des interfaces avec le réseau fixe RTCP ou PABX et le réseau d'Internet IP :

\* **FNIM** : cette interface est utilisée pour la connexion avec le réseau RTCP ou PABX et elle est dotée des cartes TLIA ou TLIC afin de convertir les signaux numériques de 8kbits /s en signaux analogiques et vice versa.

\* **ACCULAB** : c'est un convertisseur de signalisation R2 en signalisation ISDN (RNIS).

\* **PDCU** : L'unité des Communications du paquet des données par (PDCU) est utilisée pour traiter les paquets des données IP et pour fournir les interfaces du LAN pour les passerelles TCP/IP.

#### b. Stations mobiles

Les différents types de stations mobiles ont les caractéristiques suivantes :



| Caractéristiques                                      | Mobile THR600 (1W) | Mobile TMR400(10W) |
|---|--------------------|--------------------|
| Autonomie de batterie<br>en veille / en communication | 8h / 1h40          | *                  |
| Sensibilité (dBm)                                     | -103               | -103               |
| Gain d'antenne (dB)                                   | 0                  | 0                  |
| Poids(g)  | 370                | *                  |

## 2-5. Services du réseau de l'O.N.T

Les services offerts par le réseau fermé de radiocommunications numériques se résume dans ce qui suit :

### 2-5-1. Services d'appel

#### a. Appel individuel

l'appel individuel est un appel point à point et il peut être en full duplex ou en half duplex selon le choix de l'utilisateur.

#### b. Appel de groupe

L'appel de groupe est un appel point-multipoint d'un membre de groupe vers le reste de membre de groupe.

Les communications de groupes sont possibles seulement pour les membres de groupe actifs. Un membre est actif si seulement s'il est en mode balayage ou le mobile a sélectionné le groupe ou encore il est dans la zone de groupe.

### 2-5-2. Communication d'urgence

Dans des situations dangereuses l'utilisateur de radio mobile peut utiliser un bouton rouge d'urgence pour établir un appel d'urgence vers les destinations possibles suivantes :

- Un abonné spécifique (PABX, PSTN, Dispatcher)
- Un groupe spécifique.

L'appel d'urgence est garanti même en dehors de zone d'activité de l'utilisateur et elle utilise la plus haute priorité (15).

### 2-5-3. Services de données

Les services de communications des données possibles sont:

- Messages d'états.
- Services de données courtes.

#### a. Messages d'états (messages prédéfinis)

L'utilisateur peut sélectionner des messages correspondant à des numéros prédéfinis (voir tableau 1). Le message est envoyé à travers le canal de signalisation et il peut être destiné à une unité radio, un groupe ou à un dispatcher même s'il est en communication. La longueur maximale du message prédéfinis supportée est de 127 caractères.

| Valeur        | description  |
|---------------|--|
| 0             | Demande d'urgence                                      |
| 1-32 767      | A programmer   |
| 32 768-65 535 | Message d'états du Réseau et utilisateurs spécifiques. |

*Tableau 1 : Définition de numéro message*

#### b. Message de données courtes

L'utilisateur peut envoyer des données courtes via le canal de signalisation MCCH et il peut atteindre 127 caractères quand les deux parties sont deux radios mobiles et 255 caractères quand les deux utilisateurs sont deux opérateurs de stations de travail. [7]

### 2-6. Conclusion

L'étude du réseau radio mobile TETRA de l'ONT, nous a permis de se familiariser avec la conception de ce réseau dans son état actuel et de comprendre les nouveaux réseaux numériques à concept cellulaire.

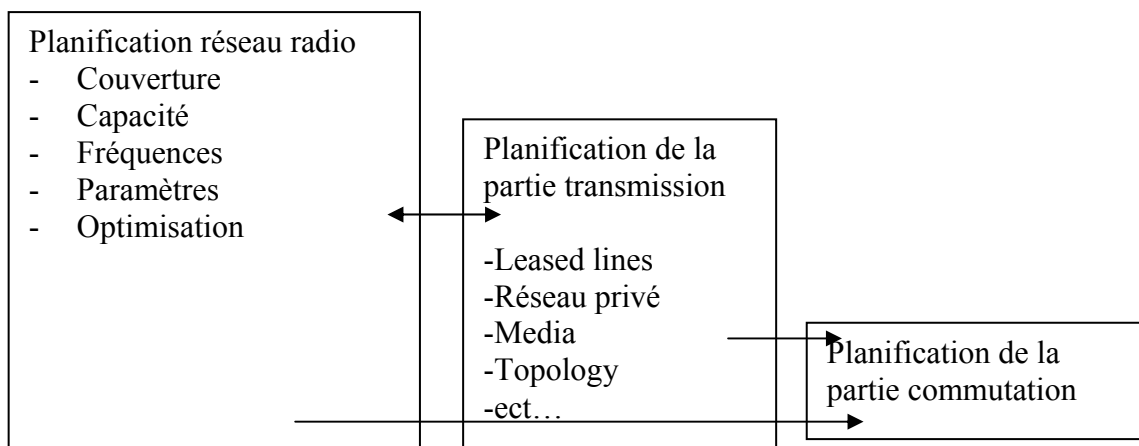
## Chapitre 3

# PLANIFICATION DES RESEAUX DE RADIOCOMMUNICATION TETRA

### 3-1. Introduction

La planification reste une phase primordiale et déterminante dans l'implantation de tout système radio et regroupe essentiellement trois parties :

- La partie radio
- La partie transmission
- La partie commutation (Exchange)



La planification du réseau utilise des méthodes scientifiques dans le but d'optimiser les investissements et de dimensionner les équipements du réseau de manière à satisfaire les besoins futurs à court, moyen et long terme. En effet, le travail de la planification consiste à minimiser le coût de l'infra structure radio et réseau en respectant des contraintes principales à savoir :

- Le respect de la charge du trafic que le réseau est sensé écouler.
- Le respect de la couverture : l'opérateur ne doit pas tolérer des zones d'ombre au sein de la zone à couvrir.

### **3-2. Planification de la partie radio**

La planification de la partie radio est la tâche la plus importante rencontrée lors de l'implantation du système.

Ce processus intègre les principales étapes suivantes :

- L'acquisition des données :
  - ◆ Modèle de trafic
  - ◆ Le nombre d'utilisateurs et leur distribution dans le réseau
  - ◆ Couverture radio
  - ◆ Facilité d'existence
- Le partage des zones à couvrir en cellules ou en petites zones
- Dimensionnement de chaque cellule :
  - ◆ Nombre des émetteurs récepteurs radios
  - ◆ Spécification de la bande des fréquences
  - ◆ Le type d'antenne
  - ◆ La hauteur des stations de base (étude de la couverture radio)
  - ◆ Protection contre le brouillage C/I
- Dimensionnement du switcher
- Dimensionnement des interfaces d'interconnexion des stations de base aux SWMI

#### **3-2-1. Modèle du trafic**

Typiquement les profils de trafic des différents groupes d'utilisateurs peuvent être utilisés. En effet, une analyse du comportement des communications des abonnés contribue dans la phase planification du réseau et vérifie bien que les profils correspondent à l'usage réel. Et par ailleurs, le modèle de trafic comprend deux facteurs essentiels :

- ◆ Charge de trafic

◆ Type de trafic

La charge de trafic est estimée suivant les informations suivantes :

- Le nombre moyen d'appel par utilisateur durant l'heure chargée (0.5)
- Durée moyenne d'appel (45s pour un abonné TETRA)
- Le nombre d'abonnés par Km<sup>2</sup>
- Type d'appel (groupe, individuel, données, ...etc.)

La procédure de calcul est basée sur les formules **d'Erlang B ou C**.

### 3-2-2. Dimensionnement du trafic

On vise par ce travail à offrir un service qui satisfait la charge de trafic avec une qualité de service tolérable par l'abonné. En effet, la qualité de service dans un réseau TETRA, est comme pour le cas de tous les réseaux téléphoniques (fixe ou cellulaire) quantifiée via deux paramètres important :

- Le taux de blocage : pourcentage d'appels qui n'ont pas été transmis via le réseau ;
- Le temps d'établissement d'appel : c'est le temps que passe l'appel en phase de non-connexion jusqu'à obtention d'un canal de transmission libre.

Et par conséquent une approche mathématique de la qualité de service a été développée pour les réseaux téléphoniques fixes. Cette même approche demeure valable pour le système radio mobile tout en introduisant une modélisation de ses deux paramètres en tant que termes de probabilité de blocage et probabilité d'attente et par ailleurs le trafic suit **une loi d'ERLANG B<sub>(1)</sub>** définie par la formule suivante :

$$P_B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \quad (1)$$

$P_B$  : la probabilité de blocage

$A$  : la charge de trafic

$N$  : le nombre de canaux utilisés

**Probabilité d'attente** : ( $P_D$ ) est calculée à partir de la formule d'Erlang C (2) :

$$P_D = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\frac{A^N}{N!} + (1 - \frac{A}{N}) \times \sum_{i=0}^{N-1} \frac{A^i}{i!}} \quad (2)$$

$P_D$  désigne la probabilité d'attente

$A$  la charge de trafic

$N$  le nombre de canaux utilisés.

**Le temps moyen d'attente** : est déduit de la probabilité  $P_D$  selon la formule (3) :

$$\langle T \rangle = P_D \times \frac{h}{N - A} \quad (3)$$

Il est à noter que la formule d'Erlang B est utilisée pour déterminer le nombre de canaux par cellule en fonction du trafic dans la cellule considérée et en fonction de la probabilité de blocage admise.

En général le taux de blocage typique ne doit pas dépasser la valeur de 2%.

En outre le trafic dépend de plusieurs facteurs dont on cite l'essentiel :

- Le nombre moyen d'appel par utilisateur durant l'heure chargée (0.5)
- Durée moyenne d'appel (45 seconde pour un abonné TETRA) on signale dans ce cas qu'avec un réseau TETRA opérant sans composition de numéro **-push to talk-** pour contacter le dispatcher ou autre utilisateur les appels sont très courts, composés d'une phase ou deux (tout juste moins d'une minute).

- Soit  $t_{\text{call}} = 45 \text{ s}$
- Nombre d'abonnés par kilomètre carré
- Type d'appel (groupe, individuel, données)

#### **a. Le nombre d'utilisateurs et ses distributions dans le réseau**

Il faut absolument connaître le nombre d'abonnés par Km<sup>2</sup> dans le but d'estimer le trafic. Le nombre total des abonnés est aussi exigé afin de spécifier et définir la capacité de la base de donnée des commutateurs qui pourrait atteindre 100 000 abonnés.

#### **b. Extension géographique du système**

L'extension géographique du système détermine :

- le nombre de station de base et les commutateurs demandés
- La taille des cellules est affectée par les types de zones (urbain-dense, urbain, rural, forêt,...)

Et par ailleurs, le planificateur est sensé connaître :

- La couverture indoor demandée
- Les zones spéciales incluent dans l'extension (tunnel, lac, sous-sol,...) permettant de choisir une configuration d'antenne adaptée.

En effet, le planificateur utilise une carte topographique de la zone géographique concernée pour estimer la couverture de cette zone.

### **3-2-3. Couverture radio**

#### **a. Etude de la couverture**

la zone de couverture d'un mobile ou d'une station de base définit la zone géographique où il est possible d'obtenir une communication entre un mobile et une station de base (TBS).

La taille de cette zone dépend de plusieurs facteurs :

- L'environnement géographique (urbain, rural)

- Puissance de l'émetteur du mobile et de la station de base
- La sensibilité des récepteurs mobiles et de la station
- Du type et gain des antennes utilisées
- La bande de fréquence utilisée

Du fait de l'ensemble de ses paramètres il n'est pas possible de donner une valeur précise de la couverture, en effet il est possible de définir une valeur moyenne de couverture : c'est le champ radio électrique caractérisant l'onde radio électrique émise par les stations de base. Et par suite il faut s'assurer que le niveau de ce champs est au minimum supérieur à la sensibilité du récepteur (du mobile).

Le seuil choisi doit intégrer plusieurs marges et le cumul de tous les marges permet de déterminer le seuil de couverture.

Exemple :

Seuil pour les mobiles 1w portatifs pour un service *indoor* :

Seuil de couverture = sensibilité MS + marge Log normale + perte pénétration indoor + effet de corps

$$= -103 + 3 + 8 + 15$$

$$= -77 \text{ dbm}$$

De même, les problèmes d'interférence entre les cellules nous interdisent d'accroître arbitrairement la portée d'une antenne d'émission exprimée en terme de rayon moyen de cellule.

Et par ailleurs, c'est grâce à la recherche du bilan de liaison que les frontières des cellules ou les hauteurs des stations de base sont déterminées.

### **b. Bilan de liaison**

En d'autre terme c'est la recherche de l'affaiblissement de parcours ( $A_p$ ) qui détermine le bilan de liaison.

Cette affaiblissement fixe la relation entre le champ rayonné par un émetteur dans la direction de l'antenne réceptrice et celui capté par ce dernier.



$$Pr = Pe + Ge - Pce - Pcr - Ap(d, f, \text{modele}) + Gr$$

$Pr$  : Puissance de réception de la station mobile ou portative en dBm

$Pe$  : Puissance émise en dBm

$Ge$  : Gain d'émission au niveau des stations de base en dB

$Pce$  : Perte au niveau des connexions à l'émission en dB

$Pcr$  : Perte au niveau des connexions à la réception en dB

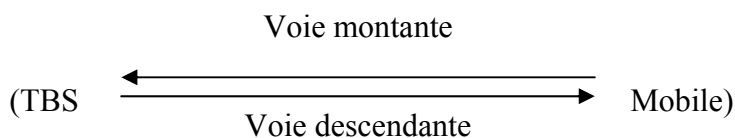
$Gr$  : Gain de réception des équipements des utilisateurs en dB

$Ap$  : Affaiblissement en propagation en dB

D'où l'utilité d'avoir recours à l'équilibrage de la liaison radio.

### c. Equilibrage de la liaison radio

A partir du seuil intégrant les différentes marges on peut déterminer la couverture obtenue en fonction de la puissance des émetteurs. La couverture s'établit à partir des modèles de propagation et intègre le gain des antennes, les pertes dues aux câbles et au couplage. Ainsi, la puissance des émetteurs peut être optimisée pour assurer une bonne couverture. Toutefois, le niveau du champs reçu de la TBS est affiché d'une façon permanente sur l'écran du mobile afin de permettre à l'utilisateur du réseau de pouvoir contrôler le niveau (qualité) du service. Par ailleurs, il est impérativement nécessaire de procéder à l'équilibrage de la liaison radio



Car il n'est pas toujours évident que la liaison montante sera de qualité équivalente de que la liaison descendante. Et par conséquent l'équilibrage de la liaison consiste à choisir des gains d'antennes et éventuellement placer des atténuateurs pour que la puissance du signal reçu sur la voie montante soit voisine de celle reçue sur la voie descendante lorsque le terminal est en limite

de portée.

Et par suite la qualité perçue par les deux intervenants est alors voisine. [6]

### **3-2-4. Facilités d'existence**

Pour la planification on a besoin de

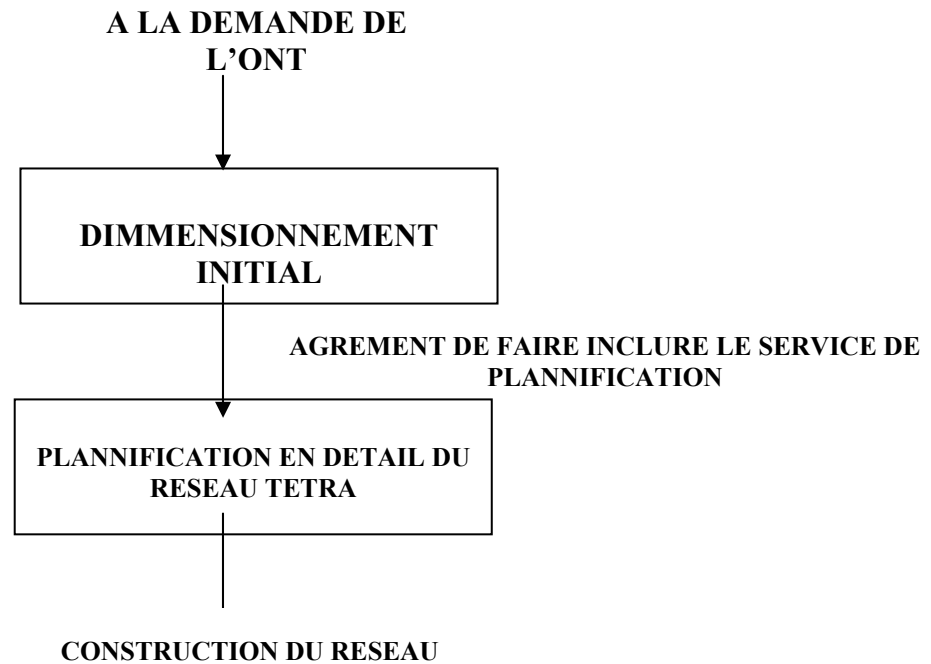
- Emplacement des TBS et de DXT
- Système d'antenne
- Hauteur de pylône
- Transmission

### **3-2-5. Outils et démarches de planification**

#### **a. Outils de planification**

La planification commence par un travail préliminaire de dimensionnement puis un approfondissement du travail de dimensionnement. (voir figure).le fournisseur NOKIA dispose des outils suivants :

- Logiciel NetDim pour le dimensionnement initial
- Système de planification de réseau (NPS/X ou TOTEM) pour la couverture, planification des fréquences et des paramètres.
- Outil TPM pour les mesure de propagation.
- Système de mesure du réseau TETRA



#### **b. Dimensionnement initial**

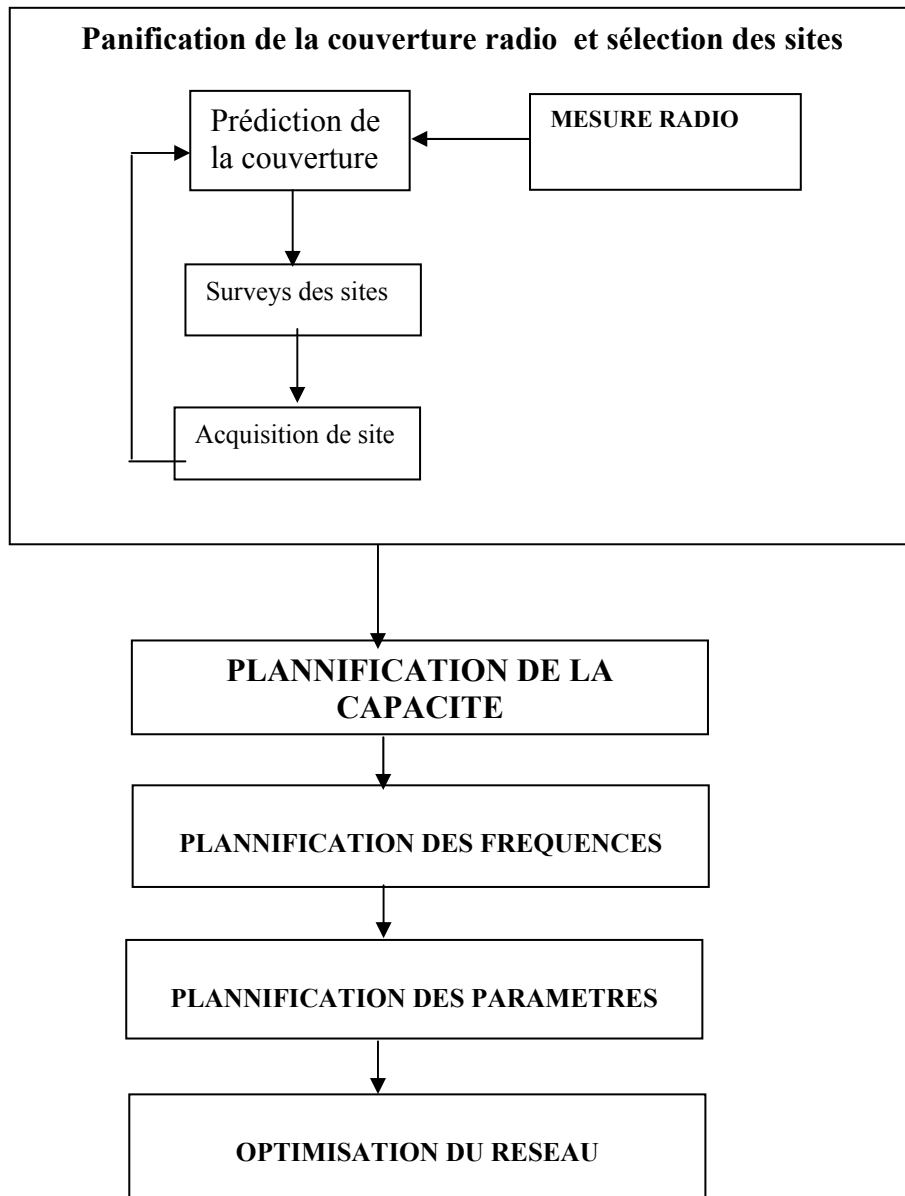
L'essentiel du dimensionnement initial est de fournir une estimation de l'équipement dont a besoin afin de faire face à la capacité, couverture, et qualité demandée.

Le dimensionnement initial couvre :

- Calcul de budget de liaison radio qui fournit un maximum niveau de puissance des émetteurs des TBS, sensibilité et puissance émise de terminal radio, gain d'antenne et les diverses pertes.
- Calcule des tailles de la cellule en utilisant les formules de perte de propagation de modèle *d'OKUMURA-HATA*.
- Configuration de site de station de base
- Schéma de réutilisation de fréquence
- Calcule de la capacité qui fournit la charge de trafic que le réseau peut gérer.
- Nombre d'éléments des réseaux incluant la transmission.

### 3-3. Plannification du réseau

La planification détaillée du réseau radio englobe les principales phases démontrées dans la figure suivante :



#### 3-3-1. Planification de la couverture radio et sélection des sites

La planification de la couverture radio menée avec les modèles de propagation a été basée sur les formules, les prédictions de la longueur du champ et les mesures. Ces tâches sont basées sur les données détaillées de la région à couvrir. Ces informations sont typiquement disponibles sous forme de cartes numériques. Ces cartes fournissent des informations sur la topographie du

terrain (hauteurs du terrain), types de zone et routes.

#### **a. Sélection de site**

La sélection de l'emplacement des stations de base doit être faite en parallèle avec la planification de la couverture radio. Les études de l'emplacement fournissent de l'information sur, par exemple, emplacements et options pour les types de l'antenne et les hauteurs.

Typiquement, le processus de la sélection de l'emplacement entier exige coopération entre planificateur de réseau radio, planificateur de transmission, et planificateur de l'installation.

#### **b. Le modèle de propagation et ajustement**

Depuis que les modèles de la propagation sont seulement des modèles, ils sont vérifiés en utilisant la mesure de l'intensité du champ et ils sont ajustés avec précision en conséquence. Ces derniers ont défini des tâches, et les itinéraires utilisés devraient couvrir tous les types de la région.

La mesure de l'intensité du champ peut être faite en utilisant des émetteurs de test avant l'installation de station de base. Les itinéraires les plus critiques à mesurer sont des régions urbaines et les régions élevées.

##### **b.1. La couverture d'intérieure**

La couverture d'intérieur est difficile à prédire, peut-être à cause de la large variété de matières de la construction en usage. En outre, c'est peu économique d'utiliser la même probabilité de l'emplacement pour la couverture d'intérieur comme pour la couverture de plein air. Une méthode consiste à définir les bâtiments importants qui auront besoin de la couverture radio avec une haute probabilité de l'emplacement.

##### **b.2. Les régions spéciales**

Les régions telles que les tunnels et voies ferrées sous terre ne sont pas couvertes par la couverture de base. Elles doivent être planifiées séparément.

#### **c. La planification de la capacité**

La planification de la capacité fournit les données sur le nombre de canaux ou les stations de

base dont on a besoin dans chaque cellule pour accomplir une probabilité du blocage donné.

En outre, quand le réseau de l'échange est planifié, la planification de la capacité fournira aussi les données sur la capacité de la transmission exigée entre échanges.

La planification de capacité est basée sur le modèle de trafic et les plans de la couverture radio. La capacité de trafic dans une cellule est calculée en Erlangs avec une certaine probabilité du blocage. Et Cela, fournit le nombre de canaux dont on a besoin.

#### **d. La planification des fréquences**

La planification des fréquences a pour buts:

- Maximiser l'efficacité d'usage du spectre (ie. définir la moyenne maximale du nombre de porteuses réservées à chaque cellule)
- Maintenir l'interférence au-dessous d'une limite prédéfinie.

La planification de fréquence utilise le principe de réutilisation des fréquences et peut être utilisée pour calculer le taux d'interférence du canal attendue. Cependant, le réseau de Nokia utilise des algorithmes heuristiques pour l'allocation automatique de la fréquence.

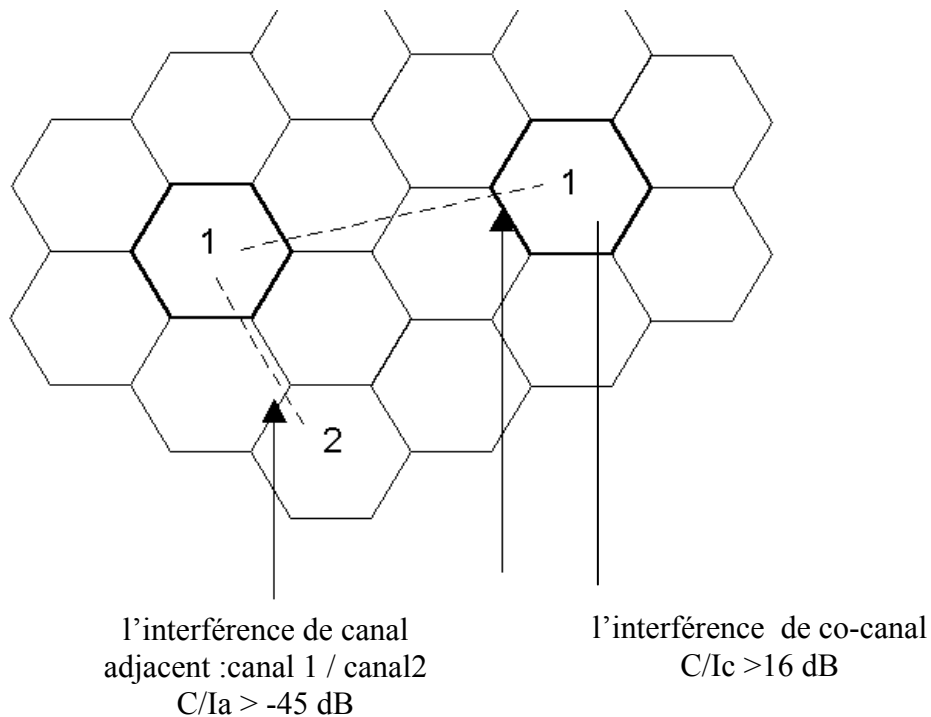
#### **3-3-2. L'usage du spectre**

Dans le système TETRA, chaque porteuse réserve une fente de 0.025MHz de la fréquence dans la bande disponible. Par exemple, si un réseau a été alloué à un 1MHz de bande il aura 40 différentes fréquences disponibles pour les porteuses. La même fente de 0.025MHz de la fréquence peut être ré-utilisée dans deux cellules dans le cas où elles ne perturbent pas l'une l'autre (le degré d'interférence sera déterminé par les facteurs tels que distance et le type de terrain qui s'allonge entre les cellules concernées).

la spécification de L'ETSI 300 392-2 fournit des valeurs de la référence pour l'interférence de co-canal et canal adjacent :

La Référence d'interférence de co-canal :  **$C/I_c$  est 19 dB**

La Référence d'interférence et canal adjacent :  **$C/I_a$  est -45 dB**



*Figure 3-1 : l'interférence de canal adjacent et co-canal.*

### 3-3-3. La planification des paramètres

La planification du réseau radio inclut aussi la planification des paramètres. Les paramètres affectent la qualité de parole et le succès de handover de l'appel.

Les paramètres cellulaires sont groupés comme suit:

- Les définitions de voisinages
- Les paramètres de Handover
- Les paramètres de niveaux.
- Les paramètres de contrôle de puissance.

### **3-3-4. Vérification et optimisation du réseau**

La Vérification et optimisation du réseau commencent typiquement pendant la période de l'essai et elle est répétée après un changement majeur dans le réseau. Il vise à vérifier que le réseau reflète la couverture convenue et le niveau de service exigé.

La vérification des mesures exige :

- Le système de mesure de réseau
- Les objectifs de performance Agrées (couverture et niveau de service)
- Définition des itinéraires de test.

Après les mesures, Nokia analyse et rapporte les résultats, et les actions correctives possibles sont faites en accord avec l'opérateur ONT. Les actions correctives typiques sont ajustement des paramètres et des systèmes d'antennes. [3]

### **3-4. Conclusion**

La planification reste une phase importante dans les stratégies d'avenir dans la mesure où on peut prédire les besoins à court moyen et long terme et faire face à la concurrence.



## **Chapitre 4**

# **ETUDE POUR L'AMELIORATION DE LA QUALITE DU RESEAU TETRA DE L'ONT**

### **4-1. Introduction**

Ce chapitre caractérise les différentes méthodes adoptées par l'ont afin de pouvoir améliorer la qualité du réseau implanté récemment en Tunisie de point de vue couverture, capacité et qualité de service. Dans ce propos, on s'est permis de présenter le réseau dans son état actuel, de décrire les phases d'extension du réseau ONT, de conclure par une étude critique de ce réseau et enfin de valoriser son apport par rapport aux réseaux concurrents.

### **4-2. Etat actuel du réseau TETRA de L'ONT**

#### **4-2-1. Configuration du réseau**

Le réseau dans sa configuration actuelle est équipé d'un commutateur central DXT64 pouvait gérer 64 TTRX (émetteurs / récepteurs), toutefois, le commutateur central est configuré dans l'état actuel, au niveau du soft et du hard, pour la gestion de 16 TTRX seulement. Le réseau est équipé d'un dispatcher central, de deux dispatcheurs déportés et de 6 stations de bases équipées comme suit:

| Station de base | Nb. des Canaux | Nb. des TTRX |
|-----------------|----------------|--------------|
| ONT             | 7              | 2 TTRX       |
| ERTT            | 7              | 2 TTRX       |
| Boukornine      | 11             | 3 TTRX       |
| Hammamet        | 3              | 1 TTRX       |
| Zaghouan        | 3              | 1 TTRX       |

#### 4-2-2. Couverture radio du réseau de l'ONT

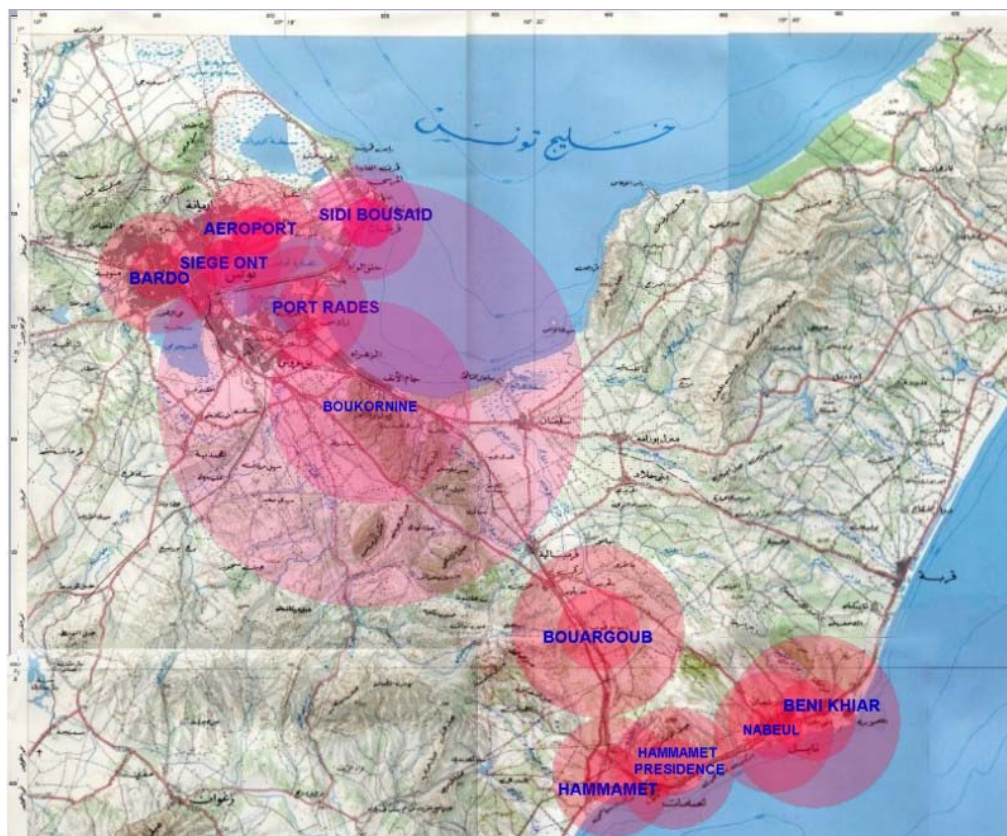
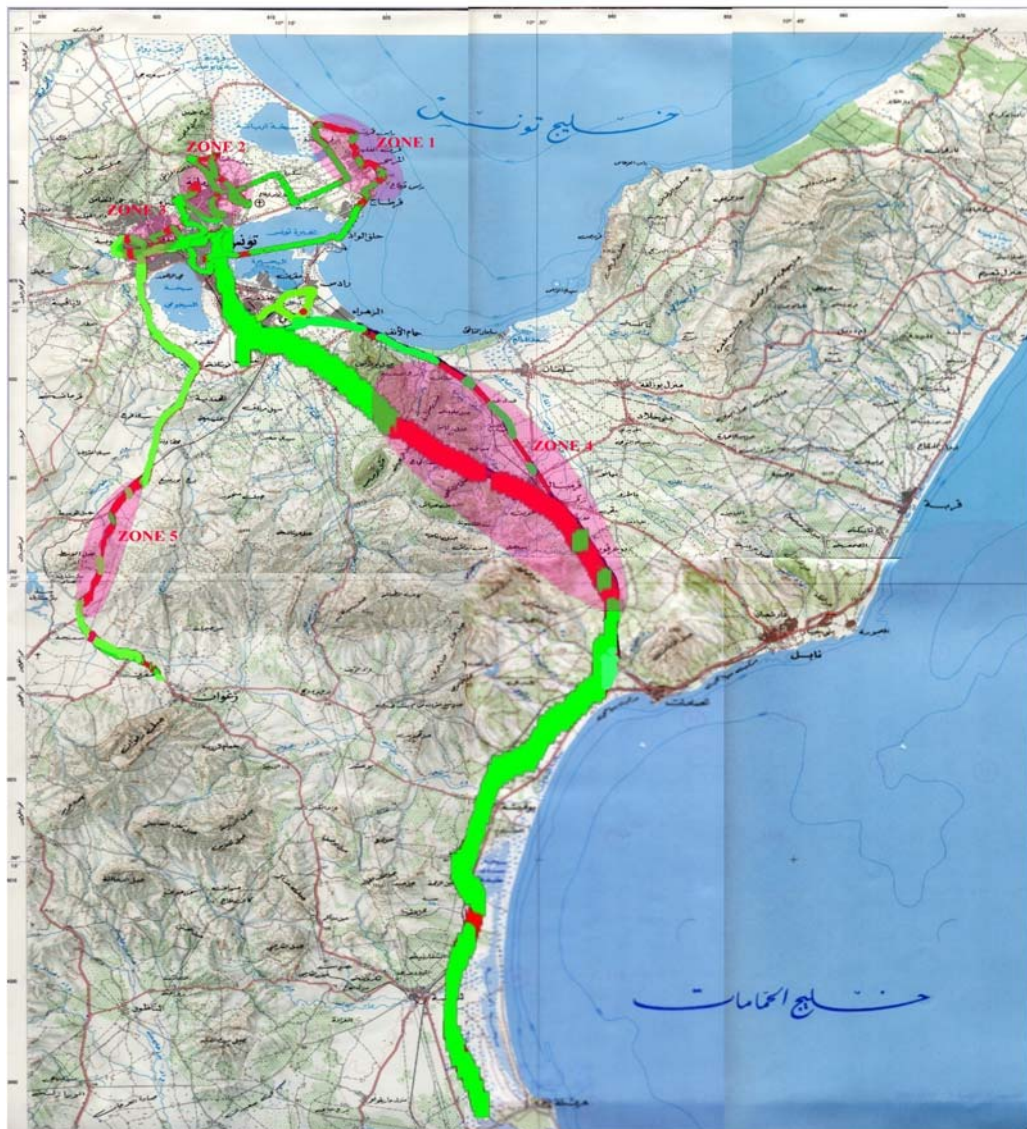


Figure 4-1 : Estimation de la couverture (incar et outdoor) du Grand Tunis, Hammamet et Nabeul

L'extension du réseau durant la 2<sup>ème</sup> phase s'intéresse à l'amélioration de la couverture dans la région du Grand TUNIS et le déploiement du réseau dans les zones touristiques (Sousse, Bizerte, Nabeul, Monastir et Sfax) et les aéroports.



- Bonne couverture
- Mauvaise couverture

Figure 4-2 : Couverture du réseau étendu

#### 4-3. Phases d'extension du réseau de L'ONT

L'ONT a conclu un marché avec le fournisseur NOKIA pour la réalisation de la deuxième phase du réseau fermé de radiocommunication numérique. La deuxième phase porte sur l'extension au

niveau du commutateur DXT afin d'augmenter sa capacité en ce qui concerne la base de données (2000 à 5000 abonnés) et la gestion des porteuses (16 à 64 porteuses), en outre l'extension consiste à installer dix-sept stations de base dans le grand Tunis et les villes des côtes afin d'élargir la couverture radio du réseau. Pour permettre la liaison des stations de base au commutateur DXT, l'ONT procédera à l'acquisition et à l'installation de dix liaisons de faisceaux de faible capacité 2x2Mbits/s dans le cadre d'un marché à conclure prochainement avec le fournisseur Sagem.

#### **4-3-1. Extension au niveau du commutateur**

L'extension du réseau au niveau du commutateur se fait via des commandes MML qui sont décrites ci-dessous :

##### **a. Extension de la capacité de la base de donnée**

Cette opération consiste à introduire via le lecteur disquette un format de fichier particulier de base de données et d'inclure ce fichier sur le software package BU et de faire la mise à jour des softwares packages actifs.

##### **b. Extension de capacité de gestion des porteuses**

L'extension de DXT consiste à ajouter des interfaces ET 2Mbits/s pour la liaison des stations de base au DXT, et ainsi l'ajout d'une unité BDSU pour la gestion de 32 LAPD (signalisation avec les stations de base).

Les commandes MML à exécuter pour l'ajout de BDSU sont les suivantes :

- Création de l'unité BDSU (**ZWTU**).
- Chargement des fichiers des programmes (**ZUSU**).
- Changement d'états (**ZUSC**).
- Diagnostic de l'unité (**ZUDU**).

Pour l'ajout des interfaces 2 Mb/s Et, on exécute les commandes MML suivantes :

- Création de l'unité BDSU (**ZWTU**).
- Chargement des fichiers des programmes (**ZUSU**).

- Changement d'états (**ZUSC**).
- Choix des paramètres de l'interface ET (**ZYEM**).
- Diagnostic de l'unité (**ZUDU**).

#### **4-3-2. Extension du nombre des stations de base**

L'ONT a prévu dans le marché d'acquérir trois stations de bases qui seront installées et mises en services par son propre personnel. Pour l'ajout des stations de bases il suffit de suivre les étapes suivantes :

##### **a. Installation**

La phase d'installation comporte les étapes suivantes :

- Installation de cabinet et mise en place des unités.
- Câblage des interfaces
- Strappage des unités.
- Achèvement de l'installation.

##### **a.1. Installation de cabinet et mise en place des unités**

Il s'agit de faire :

- Respecter les distances autour de cabinet
- Démonter la porte, face de dessus, et face arrière du cabinet.
- Mettre en place le Combiner, Emetteur/ Récepteur (TTRX), unité d'alimentation (PSU), unité de synchronisation avec le GPS (TSD) et l'interface 2Mb/s (TRUA) en se servant de bracelet antistatique.

##### **a.2. Câblage des unités**

il s'agit de faire le câblage suivant :

- Câble de mise à la terre.
- Câble d'alimentation de la TBS (-48V).
- Câble des alarmes externes.

- Les bretelles d'émission et de réception.
- câble de transmission 2Mb/s.
- Câble de GPS.
- Câbles RF( Combiner, TTRX, TRMC,...).
- Câble de report d'alarme de combiner.

### **a.3. Strappage des unités**

Cette étape consiste à faire la configuration de l'unité TBC en faisant un strappage particulier (cavaliers) et la mise en place des cavaliers pour l'unité TRUA pour la sélection de l'impédance 120Ω en plus cette étape consiste à faire le strappage de fond de panier de TTRX, PSU et TBC-S (unité Spare).

### **a.4. Achèvement de l'installation**

L'achèvement de l'installation comporte :

- Etiquetage.
- Montage de la face avant, arrière,..
- Vérification de câblage et mesure de la tension d'alimentation et de l'impédance d'isolement.
- Installation de la partie Aérienne.

### **b. Vérification, test et mise en service**

La procédure de vérification, test et mise en service consiste à suivre une séquence avant l'intégration de la TBS dans le réseau et elle comporte neuf étapes :

- Vérification de la qualité de l'installation.
- Vérification des versions logicielles.
- Configuration de la carte TRUA.
- Configuration hardware de la TBS.
- Mesure des paramètres de la TBS ( puissance, fréquence, vecteur erreur,...).
- Réglage de la cavité de combiner.
- Synchronisation de l'interface air sur GPS.
- Vérification des données envoyées par le DXT.
- Vérification des alarmes.

### b.1. Vérification de la qualité de l'installation

La vérification de la qualité de l'installation comporte le contrôle de la verticalité de l'antenne, de l'étanchéité, de la finition, de la peinture, du serrage des câbles,....etc.

### b.2. vérification des versions logicielles

Le logiciel WinMMI permet de visualiser les versions logicielles des EPROMs, des microprocesseurs CPU des TTRX s et des TBCs.

### b.3. Configuration de la carte TRUA

La configuration de **TRUA** qui est une carte de brassage servant pour **le routage de sous Times slots** se fait comme suit :

En utilisant le service terminal TSST on tape les commandes suivantes après avoir configuré le port de la transmission, inhiber le CRC, désactiver le Time slots 16, et initialiser les processeurs XU (brassage) et CU (contrôle).

| Bn | Dir1  | Dir2 | D-bus   | Séquences tapées après<br><TOP>6,4,1,X(*),1,2,1,1 | Description                    |
|----|---|------|---------|---|--------------------------------|
| B1 | 1--1234   |      | 1--5678 | 1--1234,1--5678 <RET>                             | Canaux de trafic TCH           |
| B1 | 1--5678   |      | 1--1234 | 1--5678,1--1234 <RET>                             | Signalisation LAPD             |
| B1 | Pour activer la table, il suffit de taper la séquence 6,4,2,X |      |         |   | Activation de table de routage |

(\*) X : N° de la table active.

### b.4. Configuration hardware de la TBS

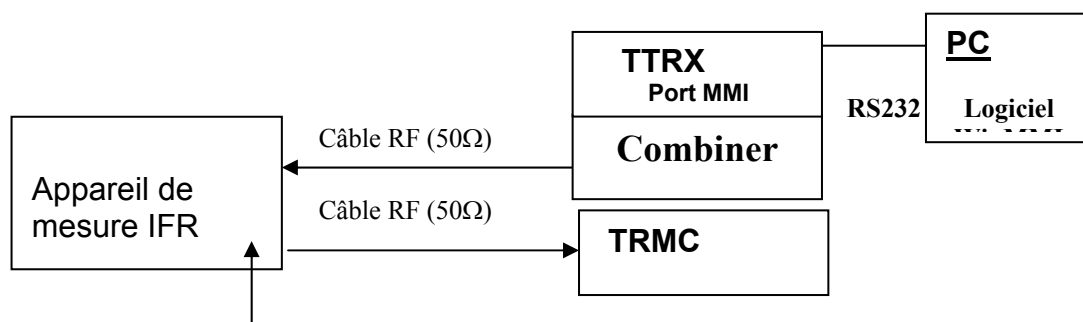
En se connectant sur le port de la TBC et en utilisant le logiciel WinMMI on peut faire la configuration hardware de la TBS, il suffit d'activer la fenêtre configuration hardware et sélectionner les éléments avec leurs emplacements :''index '' et leurs niveaux d'évolution ''type''.

### b.5. Mesure des paramètres de la TBS ( puissance, fréquence, vecteur erreur,.....)

En branchant l'appareil de mesure IFR (Appareil qui simule le protocole de l'interface Air) et en connectant le WinMMI sur le port MMI de TTRX on peut activer l'émission et mesurer les différents paramètres pour différents niveaux **de signal** (-115dBm, -85dBm et -20dBm) .Pour cela il suffit de faire le câblage suivant et d'introduire différentes valeurs:

- Forcer l'émission de TTRX en spécifiant la valeur de puissance (class15=46dBm) et la fréquence d'émission du TTRX via le logiciel WinMMI.
- Régler le signal de référence à différentes valeurs via l'appareil de mesure IFR (-115dBm,-85dBm et -20dBm)
- Mesurer les différents paramètres avec l'appareil de mesure IFR et vérifier si les données sont compatibles avec les valeurs limites préconisées.

|                 | Vector error RMS | Vector error peak | Freq. error | BER -115 dBm | BER -85 dBm | BER -20 dBm |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Valeurs limites | <10%             | <30%              | ±84 Hz      | <4%          | <0.1%       | <0.01%      |



Signal de référence ayant différents niveaux (-115dBm, -85dBm, -20dBm).

### b.6. Réglage de la cavité de combiner

On branchant un appareil de mesure power-mètre sur la sortie de combiner, on vérifie si la valeur de puissance est de 44dBm. sinon on règle la cavité afin d'obtenir la valeur désirée. Ce réglage est nécessaire afin de garantir le maximum de puissance émise (adaptation d'impédance).



### **b.7. Synchronisation de l'interface air sur GPS**

La procédure de test de la carte TSD se résume comme suit :

- Vérification de l'état de la diode.
- La synchronisation est mise sur le GPS moyennant le logiciel WinMMI .
- Relancer la carte TBC pour la synchronisation sur GPS.
- On vérifie sur le fréquencemètre branché sur la sortie horloge de la carte TSD
- la valeur de la fréquence (12960 KHZ  $\pm$  0.1Hz)
- Absence d'alarme détectée par la carte TBC
- Vérifier le nombre des satellites en visibilité en utilisant le logiciel Procomplus
- Vérification de temps d'acquisition des données après un redémarrage TSD.

### **b.8. Vérification des données envoyées par le DXT**

En activant le menu Hardware configuration du logiciel WinMMI on vérifie les paramètres radio suivants du réseau :

- Numéro de cellule et de zone d'emplacement (location Area).
- Code pays, Code réseau et Code couleur.
- Fréquence d'émission et puissance d'émetteur.

### **b.9. Vérification des alarmes**

En utilisant le logiciel WinMMI on peut activer le menu report et visualiser les alarmes de la TBS.

## **4-3-3. Apports de l'extension du réseau**

L'extension du réseau dans sa configuration telle qu'elle est prévue offre les possibilités suivantes :

- Couverture radio entendue aux zones côtières.
- Possibilités de gérer un nombre plus important d'abonnés vu l'augmentation des nombres de nombre de TTRX (9 à 48)

- Autonomie pour l'ONT afin d'augmenter les nombres de stations de base, vu que le commutateur DXT sera dimensionné pour gérer 64 porteuses.

#### **4-4. Analyse de la qualité du réseau**

##### **4-4-1. Etude théorique**

L'étude théorique se restreint au calcul des seuils pour lesquels la couverture des mobiles THR600(1W) et TMR400(10W) est assurée.

##### **a. Seuil pour les mobiles 10W embarqués pour un service antenne extérieure (Car kit)**

\*Hypothèses :

Sensibilité MS : -103dBm

Marge log-Normale : 8dB

(modèle statistique pour le modèle de propagation d'Okumura-Hata)

Pertes câbles entre MS et antenne extérieure : 3dB

\*Seuil de couverture = sensibilité MS + pertes câbles + Marge log normale

$$= -103 + 3 + 8$$

$$= -92\text{dBm}$$

##### **b. Seuil pour les mobiles 1 W portatifs pour un service Incar**

\*Hypothèses :

Sensibilité MS : -103dBm

Marge log-Normale : 8dB

Marge de pénétration Incar : 10dB

Effet de corps : 3dB

\*Seuil de couverture = sensibilité MS + marge log normale + Perte pénétration du véhicule + effet de corps.

$$= -103 + 8 + 10 + 3$$

$$= -82 \text{ dBm}$$

### c. seuil pour les mobiles 1 W portatifs pour un service Indoor

\*Hypothèses :

Sensibilité MS : -103dBm

Marge log-Normale : 8dB

Marge de pénétration Indoor : 15dB

Effet de corps : 3dB

\*Seuil de couverture=sensibilité MS+ marge log normale +Perte pénétration indoor +effet de corps.

$$= -103 + 3 + 8 + 15$$

$$= -77 \text{ dBm}$$

### 4-4-2. Mesure radio à l'aide de l'outil de trace PARTET

Dans ce qui suit on présentera la chaîne de mesure numérique de champs et des indicateurs de qualité (C/I, BER, MER). Puis on donnera un aperçu sur le traitement des résultats par le PARTET ainsi qu'une analyse des résultats obtenus.

#### a. Chaîne de mesure

La Chaîne de mesure (voir figure N° 4) est constituée de trois parties :

- La partie « **mesure de réseau** » permet d'effectuer les mesures de RSSI, Bit Error Rate, de visualiser les cellules voisines, les handovers et les messages échangés entre le mobile et le réseau.
- La partie « **Localisation** » est composée d'un récepteur GPS.
- La partie « **Acquisition de données** » est constituée d'un ordinateur portable, muni de deux ports séries COM1 et COM2 (types RS235).

Le logiciel d'acquisition **PARTET** attribue les coordonnées X et Y à chaque point de mesure et les sauvegarder sur son disque dur.

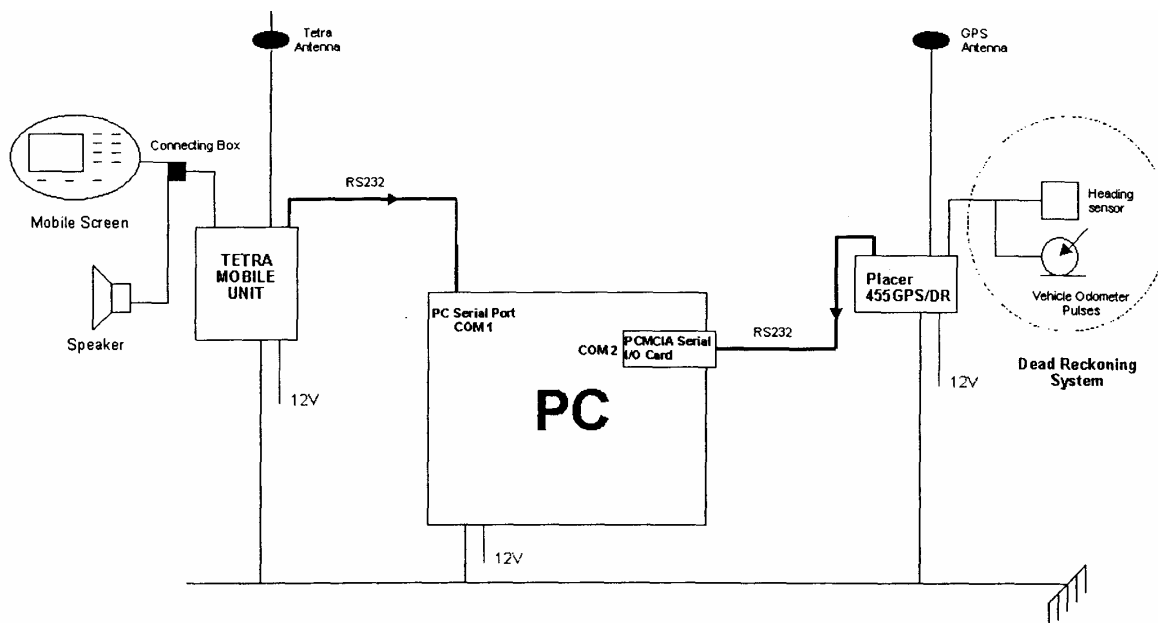


Figure 4-3 : Chaîne de mesure

## b. Présentation de PARTET

Le **PARTET** est un logiciel d'acquisition de mesure et il permet de mesurer via le mobile TMR400, différentes variables liées au bon fonctionnement du réseau, de les visualiser à l'écran et de créer des fichiers de mesures en sauvegardant toutes les informations nécessaires à l'analyse :

- RSSI de la porteuse et des voisines
- Le Bit Error Rate
- Les paramètres C1 et C2,
- Les messages et événements (HO,...)
- Les coordonnées GPS.

### **c. Traitement des résultats**

Le seul post-traitement possible avec PARTET est le mode Play-back. Il s'agit de visualiser les mesures enregistrées, via la même interface graphique que celle utilisée lors de l'acquisition. La visualisation géographique des mesures enregistrées se fait par l'exportation des fichiers de mesures par PARTET (\*.dsl) vers Mapinfos. [4]

#### **4-4-3. Analyse des résultats des mesures**

Les résultats des mesures effectués illustrent la couverture radio du réseau. Au vu de ces résultats on a constaté les remarques suivantes :

- Les campagnes de mesure effectuées montre bien que le grand Tunis est quasi couvert par les stations ONT, Boukornine et ERTT. En effet le champ radiofréquence varie entre  $-110\text{dBm}$  et  $-65\text{dBm}$ .
- Pour la station de Zaghouan l'étendue de la cellule est la station de péage Hergla et ainsi quelques zones de Tunis et Zaghouan ville.
- La station de Hammamet couvre une zone limitée de la ville.

#### **4-4-4. Solutions d'antennes proposées**

Après la campagne de mesure de champs avec différents types d'antennes (voir tableau ci-dessous) les choix suivants sont proposés :

- Pour le site de Boukornine l'antenne directionnelle munie de tilt électrique de  $5^\circ$  à montré des meilleurs résultats de couverture que les deux autres antennes (omnidirectionnelle et omnidirectionnelle avec tilt électrique (4 dipôles ) ).
- Pour le site de l'ONT il est nécessaire d'utiliser une seule antenne directionnelle sans tilt vu que les deux autres secteurs sont couverts par le site Boukornine.
- Pour le site de l'ERTT il est nécessaire d'utiliser une seule antenne directionnelle sans tilt électrique ayant un autre angle d'azimut que celle de l'ONT.
- Pour le site de Zaghouan. Il est utile de conserver le système d'antenne omnidirectionnelle vu que la zone n'est pas dégagée par rapport à l'antenne et qu'il n'y a pas une grande densité d'utilisateurs ou aussi utiliser deux secteurs pour couvrir

l'autoroute.

- Pour le site de Hammamet considéré comme zone urbaine dans laquelle on s'attend à une grande densité d'utilisateurs il est nécessaire d'utiliser la configuration d'antenne tri-sectorielle sans tilt pour augmenter la taille de la cellule.

| Caractéristiques d'antennes                | Omnidirectionnelle | Omnidirectionnelle muni de tilt | Directionnelle à polarisation croisée |
|--|--------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Gain (dBi)                                 | 7                  | 8.5                             | 12.5                                  |
| Tilt électrique (°)                        | 0                  | 5-10                            | 10                                    |
| Ouverture verticale(°)                     | 16                 | ±8                              | 19                                    |
| Ouverture à 3dB dans le plan horizontal(°) | *                  | ±75                             | 92                                    |

Dans ce qui suit on montre dans quel cas on utilise les configurations suivantes :

- ❖ **Sectorisation** : cette configuration est utilisée pour l'absorption de trafic important et elle est utilisée pour les environnements urbains où la densité de trafic est supérieure à celle des régions rurales. Le tiltage est utilisé pour minimiser l'interférence avec les sites voisins et pour pouvoir minimiser la taille de la cellule là où se trouvent des cellules adjacentes.
- ❖ **Antenne Omnidirectionnelle, panneau sectorisé ou directionnel** : cette configuration est utilisée pour une zone à faible densité d'utilisateurs et elle a pour but l'augmentation de la taille de cellule (parapluie pour l'antenne omnidirectionnelle) ou favorise un secteur pour la couverture (directionnel ou panneau sectorisé).
- ❖ **Antenne à polarisation croisée** : L'installation de ce type d'antenne permet l'utilisation de larges cellules avec l'avantage d'un gain de diversité au niveau de la trajectoire de réception. Cette configuration est utilisée pour une zone à moyenne densité d'utilisateurs.

- ❖ **Tiltage des antennes** : Le tiltage des antennes est utilisé pour minimiser la taille de la cellule et pour ne pas générer d'interférence avec les autres cellules. En effet si on n'utilise pas de tiltage pour les antennes situées en montagne on condamne les fréquences utilisées puisque le rayonnement des antennes est dégagé dans le plan horizontal. [7]

#### **4-5. Etude critique du réseau de l'ONT**

Nous proposons dans ce paragraphe d'analyser les problèmes d'exploitation, de commercialisation et la qualité de service du réseau TETRA de l'ONT

##### **4-5-1. Conditions d'exploitation**

L'ONT dispose de deux stations d'exploitation réparties comme suit :

###### **a. Station de travail de répartition de groupes**

Cette station permet à l'utilisateur de réaliser les tâches suivantes :

- **Tâches d'administration** : création, modifications et suppressions des abonnés radio, groupes et organisations. En effet grâce à des interfaces graphiques et un paramétrage particulier (paramètres de commutation, radio et organisation) la partie administration est facile à gérer et elle a été développée avec les nouvelles versions logicielles.
- **Tâches des communications** : Les communications possibles via le dispatcher sont : appel individuel, appel de groupe et appel général.

###### **b. Station de maintenance et configuration du réseau**

Cette unité permet de réaliser la maintenance et la configuration du réseau via des commandes MML (Man Machine Languages) de test, diagnostic et redémarrage et report des alarmes. Par contre cette station n'offre pas la possibilité de superviser la qualité du réseau ainsi que la supervision du trafic. En effet l'ONT a besoin d'un outil de trace qui permet de contrôler les paramètres suivants : taux de congestion aux niveaux de cellules, répartition de trafic, handover, coupure d'appel,...Le contrôle de ces paramètres permet d'avoir un modèle de trafic et par suite on peut déterminer le nombre des émetteurs récepteurs à installer dans chaque cellule, en plus il

est possible de déployer le réseau en augmentant le nombre de cellule afin de combler les zones d'ombre et améliorer la qualité de service.

#### **4-5-2. Commercialisation du réseau**

Les contraintes de commercialisation se résument dans les points suivants :

- Nécessité d'élargir la couverture radio vue que le réseau actuel ne couvre que le grand Tunis en grande partie.
- les terminaux "TETRA" sont chers par rapport à ceux de GSM (environ cinq fois le prix )
- Manque les services suivants : Appel individuel, accès au réseau fixe et service de donnée.
- Abonnement forfaitaire ne convient pas avec les clients non-consommateurs des communications des appels de groupes.
- Le fait d'avoir une station de travail de dispatcher coûte cher vue que le prix de la liaison avec le commutateur 2Mbits/s est cher, ainsi que le coût de la station de travail et les frais d'abonnement.

#### **4-5-3. Qualité de service**

Suite à la configuration préliminaire du réseau on a constaté les problèmes suivants :

- Les cellules ne sont pas complémentaires de point de vue couverture ce qui :
  - ◆ Influe sur la qualité de service.
  - ◆ Engendre des problèmes d'interférences.
  - ◆ Des problèmes de choix de fréquence.
  - ◆ Des problèmes de limitation de la capacité du réseau.
- Le paramètre de handover : Désigne le transfert intercellulaire. Ce paramètre définit le niveau de réception minimum de re-sélection de cellule. Il devra être choisi de telle manière qu'il soit faible afin d'élargir la couverture de la cellule. En outre on doit aussi déterminer une valeur moyenne afin qu'une autre cellule prenne le relève pour un niveau de réception garantissant une qualité acceptable. Et par suite assurer une



bonne continuité de service.

- Nécessité d'apporter des modifications aux niveaux des stations de bases tels que :
  - ◆ Tiltage des antennes sectorielles afin de limiter les interférences dues à la présence des cellules voisines.
  - ◆ Orientation des antennes pour améliorer la couverture
  - ◆ Elévation des niveaux d'antennes afin d'augmenter la taille de cellule
  - ◆ Les compagnes des mesures radio nous renseigne sur le type d'antenne à utiliser (sectorielle avec tilt où non, fouet,...) .
  - ◆ Déploiement des fréquences afin d'améliorer la qualité de service.
  - ◆ Adopter une configuration optimale d'emplacement des stations de bases afin de contrôler les dépenses et assurer une qualité de service meilleure.

#### **4-6. Valorisation de l'apport du réseau TETRA**

##### **4-6-1. Comparaison du TETRA avec les autres réseaux radio**

Le réseau TETRA est un système cellulaire numérique de radiocommunications à ressources partagées, destiné à la transmission de la voix et des données. C'est aussi un system moderne destiné à des applications privées et publiques de radiocommunication à usage professionnel et à des applications radio de sécurité (PMR/PAMR). Au contraire des anciens systèmes analogiques conventionnels à canal fixe (à chaque service et chaque utilisateur était attaché en tout temps un canal particulier), les systèmes de radiocommunications à ressources partagées impliquent que les fréquences sont attribuées aux différents utilisateurs et services de façon flexible. Il est ainsi possible d'exploiter le gain d'une liaison à ressources partagées et d'augmenter l'efficacité du spectre des fréquences. En outre, la technique numérique permet d'améliorer sensiblement la qualité et la sécurité des systèmes de radiocommunications.

Les systèmes de radiocommunications à ressources partagées se différencient 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, le cryptage de bout en bout et la possibilité de relier directement deux stations mobiles sans passer par une station de base (mode direct).

La structure de TETRA, flexible aussi bien sur le plan du système que sur celui de l'interface, offre toutefois de nombreuses autres possibilités. Pour clarifier, une distinction a été faite entre différents groupes de services, c'est-à-dire les télé services, les services supports (ou services de transmission de données) et les services additionnels. Nombre de ces services ne sont pas encore disponibles avec les systèmes publics de téléphonie mobile. La liste ci-dessous n'est pas exhaustive et contient uniquement une sélection de services qui peuvent être fournis grâce à TETRA.

Tetrapol et TETRA sont les deux principaux systèmes de radiocommunications à ressources partagées en Europe. Le tableau 1 fournit une comparaison succincte entre les deux systèmes (il existe une "notice d'information" spécifique pour Tetrapol).

**Tableau 1 : Avantages et inconvénients de TETRA par rapport à Tetrapol**

| <b>Avantages de TETRA par rapport<br/>Tetrapol</b>  | <b>Inconvénients de TETRA par rapport à<br/>Tetrapol</b>   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Les débits de données de TETRA sont nettement plus élevés que ceux de Tetrapol (jusqu'à 4 fois plus, selon le partage du canal).</li> <li>_ TETRA permet de transmettre voix et données simultanément.</li> <li>_ L'exploitation duplex est possible sans séparateur d'antenne avec TETRA, grâce au système d'accès au canal TDMA, et donc facile à réaliser.</li> <li>_ L'efficacité d'utilisation du spectre est plus élevée avec TETRA qu'avec Tetrapol (de 1,16 à 2,0 fois plus, selon l'environnement).</li> <li>_ TETRA est une norme européenne reconnue, alors que Tetrapol n'a pas encore été acceptée comme norme ETSI.</li> <li>_ TETRA est un système particulièrement flexible. Il peut être utilisé pour toutes les</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Le rayon maximal des cellules de TETRA est près de 30% plus court que celui de Tetrapol (avec la même puissance d'émission de crête). TETRA nécessite donc deux fois plus de stations de base que Tetrapol pour couvrir une zone donnée.</li> <li>_ Les émissions hors bande sont plus élevées avec TETRA qu'avec Tetrapol. L'assignation des fréquences est plus difficile, puisqu'il faut si possible attribuer des blocs de fréquences entiers.</li> <li>_ La radiocommunication à fréquence unique est plus difficile à mettre en place avec TETRA et nécessite des appareils terminaux avec des égaliseurs puissants (MS Class E).</li> <li>_ Les appareils avec accès TDMA ont</li> </ul> |

|   |  |
|---|--|
| <p>applications PMR, aussi bien pour la radiocommunication de sécurité que pour les systèmes PMR/PAMR conventionnels.</p> <p>_ Le réseau d'antennes nécessaire à la station de base est moins coûteux, puisque grâce au mode TDMA (système des créneaux), 4 canaux sont à disposition pour chaque fréquence porteuse.</p> <p>_ Avec TETRA, la puissance d'émission de la station mobile est réglée par la station de base et adaptée aux conditions du moment. La station mobile est ainsi plus autonome et les interférences dans le réseau sont limitées.</p> | <p>généralement des puissances d'émission plus élevées et peuvent provoquer des perturbations basses fréquences audibles dans les appareils électro-acoustiques.</p> |
|---|--|

[8]

#### 4-6-2. Valorisation de l'apport de TETRA par rapport au GSM

- **Communication d'urgence** : cette option ne se présente pas pour le réseau GSM
- **Efficacité spectrale** ( 25Khz "TETRA" - 200Khz (GSM) ).
- **Temps d'établissement très courts** ( 200ms "TETRA" - 2-3s (GSM) ).
- Le réseau "TETRA" opère dans la bande de 410- 430 Mhz alors que le GSM opère dans la bande 890-935Mhz : ceci implique que **la taille de cellule en réseau "TETRA" est plus grande que celle en GSM**, par conséquent les dépenses pour un réseau "TETRA" sont moins coûteux.
- **Qualité de voix meilleure** (numérisation de la voix sur 16 bits) en GSM (8 bits).
- **Appel de groupe** (point – multipoint ) est un atout pour le réseau "TETRA" vue qu'il ne crée pas de problème de congestion contrairement aux réseau GSM (circuits dédiés ).

Le Tableau 2 ci-dessous donne un aperçu des paramètres radio les plus importants de TETRA.

**Tableau 2 : Paramètres radio les plus importants de TETRA**

| Paramètre  | Valeur  |
|--|---|
| écart entre les canaux 25 kHz  | 25 kHz  |
| Puissance d'émission de la station de base par fréquence porteuse (en moyenne)   | 25 W ERP  |
| Puissance d'émission de l'installation mobile  | 1 W, 3 W, 10 W  |
| Sensibilité du récepteur sur le plan statique (BER = 1,2%; 4,8 kBit/s; N = 4) <sup>a)</sup>  | SM : -113 dBm<br>SB: -115 dBm   |
| Sensibilité du récepteur sur le plan dynamique   | (TU50; BER = 1,2%; 4,8 kBit/s; N = 4) a) SM : -104 dBm<br>SB : -106 dBm   |
| Type d'exploitation  | Semi-duplex, duplex   |
| Mode d'accès au canal  | TDMA  |
| Modulation   | "/4-DQPSK   |
| Débit binaire du canal   | 36 kBit/s   |
| Débit de données maximal, non protégé (grand débit)  | 28,8 kBit/s   |
| Débit de données net   | Non protégé : n x 7,2 kBit/s<br>Peu protégé : n x 4,8 kBit/s<br>Très protégé : n x 2,4 kBit/s<br>(n = 1, 2, 3 ou 4) |
| Codage de la parole  | A-CELP; 4,567 kBit/s  |
| Efficacité du spectre dans un environnement limité par les interférences (trafic important, nombreuses cellules)   | 50 Bit/(s*kHz*cellule)  |
| Portée <sup>b)</sup>   | Rurale : env. 14 km<br>Interurbaine : env. 4,5 km   |
| Norme ETSI   | TETRA V+D: ETS 300 392<br>TETRA PDO: ETS 300 393<br>TETRA DMO: ETS 300 396<br>Testing: ETS 300 394                  |
| Remarques :<br>a) Appareil de classe A (optimisé pour des régions vallonnées ou montagneuses).<br>b) Dynamique; f = 400 MHz; PMS = 3 W (puissance de crête); marge d'interférence = 1 dB; #S (shadowing) = 6 dB; sécurité de la couverture au bord des cellules = 90% ; hauteur de l'antenne BTS = 30 m; hauteur de l'antenne MS = 1,5 m ; modèle de propagation SE21; gains d'antenne et pertes dans la ligne de transmission = 0 dB. |   |

[8]

#### 4-6-3. Arguments de choix du réseau TETRA

La norme TETRA peut être considérée comme une "boîte à outils", car elle offre aux planificateurs de systèmes de nombreuses possibilités permettant d'adapter le réseau de façon optimale aux besoins des utilisateurs. La norme ne contient pas d'implémentation spéciale pour

la construction du réseau. Les spécifications définissent simplement les interfaces nécessaires pour garantir l'interopérabilité, l'inter fonctionnement et la gestion du réseau entre les différents éléments du réseau. L'interface aérienne, c'est-à-dire l'interface entre l'infrastructure (SwMI) et l'appareil mobile, est l'un de ces éléments.

Un certain nombre de possibilités supplémentaires est défini pour l'implémentation dans TETRA, appelées 'Supplementary Services'. Ces derniers jouent un rôle essentiel dans l'adaptation du système TETRA aux nouvelles exigences des utilisateurs au fur et à mesure de leur apparition. TETRA s'avère intéressant pour un nombre croissant d'utilisateurs, des sociétés de transport internationales jusqu'aux opérateurs de Public Access Mobile Radio (PAMR).

Ces systèmes fonctionneront dans la bande récemment allouée de 380 à 400 MHz, en tant que complément à la bande de 410 à 430 MHz réservée à l'utilisation civile dans une grande partie de l'Europe. Ainsi, les fabricants ne seront pas obligés d'apporter des modifications profondes à leurs produits pour l'approvisionnement du marché de la sécurité publique et du marché PAMR. Ceci apportera finalement les avantages d'échelle que tous, fournisseurs et utilisateurs, veulent atteindre. Tout porte à croire que TETRA deviendra le pivot de la communication mobile pour les services de secours et de sécurité dans toute l'Europe pour devenir, à l'instar de GSM. Une norme mondiale.

Les applications digitales ont conquis le monde dans lequel nous vivons, la communication mobile n'échappe pas à la règle. GSM constitue l'exemple le plus frappant de la norme digitale à succès dans le domaine de la téléphonie mobile. TETRA est aussi une norme digitale ouverte spécialement conçue pour répondre aux besoins des utilisateurs professionnels de radios mobiles offrant une vaste gamme de fonctions entièrement intégrées pour la voix et les données.

Les services de données complètement intégrés qui seront disponibles dans TETRA, comprenant le transfert de données en mode paquet ainsi qu'en mode circuit, joueront un rôle clé. Les intervalles de temps peuvent en outre être enchaînés pour atteindre des vitesses de 28.8 kbit/s dans des multiples de 7.2 kbit/s. Ces fonctions de données offrent d'énormes possibilités aux nouvelles applications telles que l'accès à Internet, la localisation automatique de véhicules (AVL), les systèmes de gestion de services de radiophonie et même le slow scan video.

L'acceptation de TETRA par des utilisateurs du secteur de la sécurité publique, les forces de police en particulier, est à présent une réalité. Les services TETRA ont aussi un rôle clé à jouer

auprès des utilisateurs commerciaux en proposant des nouvelles solutions innovantes intégrées pour la voix et les données. De tels services doivent, dans un premier temps du moins, être adaptés à des sociétés pour lesquelles un service combiné pour la voix et les données représente des avantages non négligeables pour l'efficacité, et qui ne sont pas proposés à court ou à moyen terme par les technologies concurrentes. Les groupes d'utilisateurs mentionnés apprécieront aussi la possibilité d'effectuer des appels de groupe, une autre possibilité de TETRA.

TETRA sera parfaitement à même de répondre aux besoins des secteurs spécifiques du marché tels que:

- Les grandes sociétés d'utilité publique
- Les sociétés de bus et de cars
- Les entreprises de construction
- Les sociétés de gardiennage, de transport et les services de messagerie
- Les services mobiles de maintenance
- Les associations d'automobilistes

Le marché potentiel pour les services TETRA est extrêmement vaste, il offre de réelles possibilités de satisfaire les besoins, jusqu'ici délaissés, des utilisateurs du secteur commercial et de la sécurité publique. Une condition essentielle au succès consiste à proposer des applications innovantes et intéressantes afin d'exploiter pleinement la convergence entre les radiocommunications et les technologies de l'information et de stimuler la croissance. [11]

#### **4-6-4. Avantages du réseau TETRA**

##### **a. Avantages par rapport aux systèmes PMR analogiques**

Le premier atout de TETRA est incontestablement une meilleure efficacité spectrale, avantage sur lequel nous allons revenir. D'autre part, la technologie choisie permet principalement d'offrir des performances et des vitesses de transmission accrues, une facilité de mise en oeuvre des services utilisant la voix et les données, simultanées et protégées, ainsi qu'une interconnexion numérique à haut débit vers d'autres réseaux.

Enfin il faut souligner l'aspect économique de TETRA : par rapport aux systèmes analogiques actuels, les coûts d'installation, de multicouplage et d'exploitation sont moindres et optimisés.

Surtout, par son aspect européen, c'est la possibilité de mettre en oeuvre un réseau PMR, utilisable dans toute l'Europe et, à brève échéance, dans d'autres zones géographiques. C'est aussi pour les utilisateurs, la possibilité d'acquérir des équipements et des terminaux TETRA auprès de multiples constructeurs, avec une garantie de compatibilité totale.

#### **b. L'efficacité spectrale de la norme TETRA**

L'efficacité spectrale de TETRA est due essentiellement à l'utilisation et à la mise en oeuvre du multiplexage temporel. Le principe retenu est l'accès multiple par répartition dans le temps, appelé AMRT (TDMA en anglais).

L'un des principaux avantages de la technique AMRT réside dans le fait qu'un canal radio unique de 25 kHz supporte 4 voies de communication simultanées voix ou données. Il est intéressant de noter également que le principe du multiplexage temporel AMRT est largement utilisé dans les systèmes de radiotéléphonie numérique, tels que le GSM, le DCS1800, le DECT, ou encore dans les transmissions par satellite INMARSAT-C ; cette technique est par ailleurs largement utilisée dans les réseaux téléphoniques numériques.

#### **c. Avantages économiques liés à cette norme**

L'utilisation du multiplexage temporel conduit à des avantages économiques très significatifs. Prenons l'exemple simple d'un site radio à quatre voies : la mise en oeuvre d'un relais TETRA sur ce site se concrétise par une station de base unique, assurant quatre voies de communication, alors qu'un système analogique 3RP comparable nécessiterait l'installation de quatre stations de base et d'un système de multicouplage pour émettre sur une même antenne les quatre fréquences radio.

En fait l'économie se situe non seulement au niveau de l'encombrement du matériel, mais aussi au niveau de la consommation électrique, du système de couplage et des installations, ce qui constitue, comme chacun sait, une économie significative dans la mise en oeuvre des sites radio. Ces avantages économiques sont très importants lors de la mise en place de réseaux à grande couverture géographique.

#### **d. Exemple d'application TETRA**

L'exemple suivant illustre de quelle manière on peut efficacement mettre en oeuvre TETRA.

Le besoin exprimé est une application de type multimédia, englobant la voix, les données et l'image.

Il s'agit d'une application envisagée par une société de transport urbain, afin de retransmettre, à partir des autobus, les données de localisation issues de systèmes GPS, localisation qu'il sera nécessaire de faire pour chaque autobus environ toutes les 20 secondes. Au-delà de la fonction de localisation, il serait possible d'assurer une surveillance par caméra à l'intérieur des bus et de combiner éventuellement de la voix, pour une écoute discrète par exemple, en retransmettant le signal phonie et vidéo en provenance du bus.

Ces informations seraient transmises vers un centre de gestion. En retour, le réseau radio TETRA serait sollicité pour envoyer, à partir de ce centre, des informations visualisées sur écrans dans les autobus, à l'usage des passagers. Ces écrans pourraient contenir des informations indiquant un éventuel incident sur une ligne, conduisant les usagers à ne pas descendre à la prochaine station, mais à poursuivre leur chemin pour atteindre une correspondance plus éloignée. Ce type d'informations pourrait même desservir, via le réseau TETRA, des récepteurs fixes dans les abribus.

Ce genre d'application multimédia, basée sur un système TETRA, permet de transmettre non seulement des informations vidéo et des données, mais aussi, des transmissions vocales relativement importantes, assurant les fonctions indiquées ci-dessus. La norme TETRA permet donc d'assurer, de manière économique, ces échanges d'informations correspondant à de réelles demandes pour :

- Une transmission efficace sur le plan technique.
- Une homogénéité des matériels sur le marché.

[13]

#### **4-7. Conclusion**

Tout au long de ce chapitre, on a voulu mettre en relief une étude pour l'amélioration de la qualité du réseau TETRA de l'ONT. Et par conséquent on a procédé à présenter le réseau dans son état actuel ainsi que les phases d'extensions à adopter. Puis on a mené une étude critique en concluant par une valorisation de ce réseau.



# Annexes

# Annexe 1

## Table d'ERLANG

| Niveau de service (taux de blocage admissible) |        |        |        |        |        |        |        |       |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Canal  | 1 %    | 2%     | 3%     | 5 %    | 10%    | 20%    | 40%    | Canal |
| 1  | .01010 | .02041 | .03093 | .05263 | .11111 | .25000 | .66667 | 1     |
| 2  | .15259 | .22347 | .28155 | .38132 | .59543 | 1.0000 | 2.0000 | 2     |
| 3  | .45549 | .60221 | .71513 | .89940 | 1.2708 | 1.9299 | 3.4798 | 3     |
| 4  | .86942 | 1.0923 | 1.2589 | 1.5246 | 2.0454 | 2.9452 | 5.0210 | 4     |
| 5  | 1.3608 | 1.6571 | 1.8752 | 2.2185 | 2.8811 | 4.0104 | 6.5955 | 5     |
| 6  | 1.9090 | 2.2759 | 2.5431 | 2.9603 | 3.7584 | 5.1086 | 8.1907 | 6     |
| 7  | 2.5009 | 2.9354 | 3.2497 | 3.7378 | 4.6662 | 6.2302 | 9.7998 | 7     |
| 8  | 3.1276 | 3.6271 | 3.9865 | 4.5430 | 5.5971 | 7.3692 | 11.419 | 8     |
| 9  | 3.7825 | 4.3447 | 4.7479 | 5.3702 | 6.5464 | 8,5217 | 13.045 | 9     |
| 10   | 4.4612 | 5.0840 | 5.5294 | 6.2157 | 7.5106 | 9.6850 | 14.677 | 10    |
| 11   | 5.1599 | 5.8415 | 6.3280 | 7.0764 | 8.4871 | 10.857 | 16.314 | 11    |
| 12   | 5.8760 | 6.6147 | 7.1410 | 7.9501 | 9.4740 | 12.036 | 17.954 | 12    |
| 13   | 6.6072 | 7.4015 | 7.9667 | 8.8349 | 10.470 | 13.222 | 19.598 | 13    |
| 14   | 7.3517 | 8.2003 | 8.8035 | 9.7295 | 11.473 | 14.413 | 21.243 | 14    |
| 15   | 8.1080 | 9.0096 | 9.6500 | 10.633 | 12.484 | 15.608 | 22.891 | 15    |
| 16   | 8.8750 | 9.8284 | 10.505 | 11.544 | 13.500 | 16.807 | 24.541 | 16    |
| 17   | 9.6516 | 10.656 | 11.368 | 12.461 | 14.522 | 18.010 | 26.192 | 17    |
| 18   | 10.437 | 11,491 | 12,238 | 13.385 | 15.548 | 19.216 | 27.498 | 18    |
| 19   | 11.230 | 12.333 | 13.115 | 14.315 | 16.579 | 20.424 | 29.498 | 19    |
| 20   | 12.031 | 13.182 | 13.997 | 15.249 | 17.613 | 21.635 | 31.152 | 20    |
| Canal  | 1 %    | 2%     | 3%     | 5%     | 10%    | 20%    | 40%    | Canal |

## ANNEXE 2

### PLAN DES FREQUENCES DU RESEAU RADIO MOBILE TETRA DE L'ONT

| uence en kHz  | Site       | TTRX N° |
|---------------|------------|---------|
| <b>413450</b> | BOUKORNINE | 1       |
| 413475        |            |         |
| <b>413500</b> | ERTT       | 2       |
| 413525        |            |         |
| <b>413550</b> | SIEGE ONT  | 1       |
| 413575        |            |         |
| 413600        |            |         |
| <b>413625</b> | BOUKORNINE | 2       |
| 413650        |            |         |
| 413675        |            |         |
| 413700        |            |         |
| <b>413725</b> | SIEGE ONT  | 2       |
| 413750        |            |         |
| 413775        |            |         |
| <b>413800</b> | BOUKORNINE | 3       |
| 413825        |            |         |
| <b>413850</b> | HAMMAMET   | 1       |
| <b>413875</b> |            |         |
| <b>413900</b> | ERTT       | 1       |
| 413925        |            |         |
| <b>413950</b> | ZAGHOUAN   | 1       |
| 413975        |            |         |
| 414000        |            |         |
| 414025        |            |         |
| 414050        |            |         |
| 414075        |            |         |
| 414100        |            |         |
| 414125        |            |         |
| 414150        |            |         |
| 414175        |            |         |
| 414200        |            |         |
| 414225        |            |         |
| 414250        |            |         |
| 414275        |            |         |

|        |  |  |
|--------|--|--|
| 414300 |  |  |
| 414325 |  |  |
| 414350 |  |  |
| 414375 |  |  |
| 414400 |  |  |
| 414425 |  |  |
| 414450 |  |  |
| 414475 |  |  |
| 414500 |  |  |
| 414525 |  |  |
| 414550 |  |  |
| 414575 |  |  |
| 414600 |  |  |
| 414625 |  |  |
| 414650 |  |  |
| 414675 |  |  |

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] ETR300-1  
ETSI Mai 97 Trunked Radio System, RES06 January 1996
- [2] ETS-300392-2  
Terrestrial Trunked Radio (TETRA) ; Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface(AI)
- [3] NOKIA  
NOKIA TETRA SYSTEM 2000 : Guidelines for network planning.
- [4] PARTET  
TETRA data collection Tool 2000
- [5] UIT « Union internationale des télécommunications »  
Radiocommunications mobiles professionnelles
- [6] Dhaker Baccouche et Ahmed Bel Hadj Rhouma, « Etude d'un réseau de radiocommunication numérique destiné aux professionnel fonctionnant selon la norme TETRA », Rapport de PFE à la Supcom.
- [7] Makram Azouz, « Suivi du projet TETRA », Rapport de fin de stage à l'ONT.
- [8] OFCOM, « Notice d'information TETRA », Office Fédéral de la Communication  
version 1.4 : 18 avril 2001

## SITES INTERNET :

- [9] <http://www.tetramou.com>
- [10] <http://www.etsi.org>
- [11] <http://www.hermes-science.com>
- [12] <http://www.Nokia.com>
- [13] <http://www.astrid.be>
- [14] <http://pegradio.online.fr/tetra.htm>

# Abréviations

|          |   |
|----------|---|
| A-CELP   | Algebraic – Code Excited Linear Predictive  |
| BER      | Bit Error Rate (taux d'erreur binaire = TEB)  |
| BT       | Bande passante de filtre  |
| CER      | Comité européen des radiocommunications   |
| CFF      | Chemins de fer fédéraux   |
| DETEC    | Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication                                 |
| DMO      | Direct Mode Operation   |
| DQPSK    | Differential Quaternary Phase Shift Keying  |
| DTAP     | Conférence suisse des directeurs des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de la protection de l'environnement |
| ETR ETSI | Technical Report  |
| ETS      | Norme européenne de télécommunication   |
| ETSI     | Institut européen de standardisation des télécommunications   |
| FDMA     | Frequency Division Multiple Access (accès multiple par répartition en fréquences= AMRF)                                     |
| GSM      | Système mondial de communications mobiles   |
| ISDN     | Integrated Services Digital Network (réseau numérique avec intégration de services = RNIS)                                  |
| SB       | Station de base   |
| SM       | Station mobile  |
| OFCOM    | Office fédéral de la communication  |
| OFEFP    | Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage   |
| ORNI     | Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant   |
| PAMR     | Public Access Mobile Radio  |
| PAR      | Puissance apparente rayonnée  |
| PAS      | Publicly Available Specifications   |
| PDO      | TETRA PDO System (Packet Data Optimised)  |
| PMR      | Private Mobile Radio (ou Business Private Radio)<br>(radiocommunications mobiles privées ou professionnelles)               |
| PSTN     | Public Switched Telephone Network (réseau téléphonique public commuté =RTPC)  |
| PUEM     | Probability of Undetected Erroneous Message   |
| SE21     | ERC Working Group Spectrum Engineering, Project Team 21   |
| SwMI     | Switching and Management Infrastructure   |
| TDMA     | Time Division Multiple Access (accès multiple par répartition dans le temps =AMRT)  |

|       |   |
|-------|---|
| TETRA | Trans-European Trunked Radio (radiocommunications européennes à ressources partagées)           |
| TU50  | Typical Urban, 50 km/h (zone urbaine type = ZUT)  |
| UIT-R | Union internationale des télécommunications, Secteur Radiocommunication                         |
| UMTS  | Universal Mobile Telecommunications System (système de télécommunications mobiles universelles) |
| V+D   | TETRA V+D System (Voice plus Data)  |
| WAP   | Wireless Application Protocol   |

## CONCLUSION GENERALE

Le but de ce projet a été de faire l'étude d'un système de radiocommunication TETRA.

Dans une première étape nous avons présenté la norme TETRA ainsi que l'architecture du réseau radio numérique de l'Office National de la télédiffusion (ONT).

Dans une seconde étape, on a procédé à une étude théorique de la planification et les possibilités d'améliorer les qualités du réseau TETRA de l'ONT. Ceci a été réalisé par des campagnes de mesures sur la couvertures radio en utilisant l'outil de TRACE PARTET.

En fait, ces campagnes de mesures ont permis de dégager des zones d'ombres, d'évaluer les paramètres de qualité du réseau et d'avoir recours à des actions correctives visant essentiellement à garantir une bonne qualité de service du réseau actuel.

Dans une troisième étape on a présenté une étude critique du réseau ONT dans laquelle on a dégagé des problèmes d'exploitations, de commercialisation et de qualité de service.

On a conclu par la valorisation de l'apport du réseau TETRA par rapport aux réseaux concurrents : GSM et radio analogique.

Au terme de ce travail, plusieurs axes d'études peuvent être proposés. On peut citer par exemple :

- Une étude de l'intégration des services à valeur ajoutée.
- Le développement d'un outil pour l'étude de couverture pour un réseau TETRA.