

## RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Filière*

**Ingénieurs Diplômés en Télécommunications**

*Option*

**Systèmes des Télécommunications**

### REALISATION D'UN OUTIL DE PLANIFICATION DES RESEAUX WLL

*Elaboré par :*

**Abdelkrim MELAB**

*Encadré par :*

**M. Bhaskar RAMAMURTHI  
M. Samir KALLEL**

**OMNIACOM**



**Projet réalisé en collaboration avec OMNIACOM et le département ESB de l'IITM-Inde**

**Année universitaire : 1999/2000**

*A mes parents*  
*A ma sœur Salima*  
*A ma famille*  
*A tous mes amis*

# Avant propos

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué dans le cadre de la préparation du Diplôme d'Ingénieur Diplômé en Télécommunications option Systèmes de Télécommunications à l'Ecole Supérieure des Communications (SUP'COM).

Pour commencer, je tiens à exprimer toute ma gratitude aux responsables et aux enseignants de mon école, **SUP'COM**, pour tous les moyens et l'encadrement qu'il m'ont offert tout au long de ma formation d'Ingénieur. Je tiens aussi à remercier toute l'équipe d'**OMNIACOM** pour son aide et sa sympathie et à tous les responsables de l'**IITM**, Inde (Indian Institute of Technology Madras), qui ont facilité mon intégration dans leur école.

Je suis très reconnaissant à Monsieur **Bhaskar RAMAMURTHI**, Professeur à l'IITM, Inde, pour son encadrement durant la période du séjour en Inde, pour son aide et ses conseils, sans lesquels je n'aurais pu réaliser ce projet.

Merci à Monsieur **Samir KALLEL**, Président Directeur Général d'**OMNIACOM** qui m'a offert l'opportunité de compléter ma formation d'ingénieur par ce projet. Je le remercie aussi pour la confiance qu'il m'a accordé.

Je voudrais aussi exprimer tous mes remerciements à Monsieur **Adel GHAZEL**, le Directeur du département d'électronique de physique et de propagation de SUP'COM pour son immense soutien avant, durant et après mon séjour en Inde, pour son aides et ses précieux conseils aussi que son encouragement constant.

J'aimerais de même adresser mes vifs remerciements à toutes les personnes d'**OMNIACOM**, qui ont assuré le bon déroulement de ce projet avec leur assistance régulière.

Je n'oublie pas tous mes amis qui ont su, par leur gentillesse, leurs sourires et leurs mails rendre agréable mon travail. Je vous remercie tous.

# Présentation du cadre d'accueil et du cahier des charges du projet

Ce projet de fin d'études a été proposé par OMNIACOM, le constructeur Tunisien d'équipements de radiocommunications. C'est une entreprise nouvellement créée (octobre 1999) et emploie 17 personnes dont 5 ingénieurs, 8 techniciens et 3 techniciens supérieurs.

L'activité d'OMNIACOM inclue l'intégration et la fabrication sous licence d'Analog **Devices-USA**, des systèmes modernes de télécommunication :

- Boucle locale Radio (Wireless Local Loop - WLL),
- Gain de Paires,
- Fibre dans la Boucle Locale d'abonné (Fibre in The Local Loop - FILL).

Pour le moment, OMNIACOM est en phase de démarrage et a choisi de concentrer ses efforts sur l'étude, l'ingénierie et le déploiement du système WLL, baptisé TAWA. Un pareil système représente une solution efficace de raccordement sans fil des abonnés au réseau téléphonique commuté public (RTCP). Ce produit est issu d'une technologie mûre qui a fait ces preuves pratiquement et commercialement. Ces principaux avantages sont :

Un déploiement rapide du réseau dans tout type de zones : urbaines, semi-urbaines, rurales.

- Une large couverture (typiquement de 5 Km en vision directe, pouvant atteindre les 10 Km)
- Une solution économique et intéressante aussi bien pour l'opérateur que l'utilisateur final (un coût moindre par ligne).
- Un accès à haut débit pour la transmission des données.
- Une grande fiabilité.

Le projet a été accompagné d'un mois et demi de stage en Inde, à l'institut technologique indien de Madras (IITM). C'est l'un des grands établissements universitaires en Inde et en Asie. Les chercheurs de cet institut ont réussi, en collaboration avec Analog Devices-USA et MIDAS (établissement privé de

recherche en télécommunications en Inde), à concevoir l'un des systèmes radio dans la boucle locale les plus performants au monde. Durant ce stage, j'ai eu la chance de profiter de la grande expertise indienne dans ce domaine.

Ce projet se résume en la réalisation d'un outil logiciel d'aide au dimensionnement des réseaux TAWA, solution radio dans la boucle locale d'abonnés de OMNIACOM. C'est à dire une application qui offre au planificateur des fonctionnalités de gestion et de calcul des données et paramètres indispensables à l'amorce de la procédure de planification

Selon le cahier de charge, le travail demandé est le suivant :

- Etude des réseaux WLL (Wireless Local Loop ou RBL : Radio dans la Boucle Locale d'abonnés) en général et des réseaux TAWA en particulier.
- Etude de la planification du réseau TAWA.
- Réalisation d'un outil logiciel d'aide au dimensionnement des réseaux TAWA.

L'outil de planification doit permettre, à partir de données sur la zone à couvrir (nombre d'abonnés, trafic par abonné, qualité de service exigée, dimensions de la zone, nature du milieu,...), de déterminer :

- Le nombre de sites à déployer sur toute la zone de couverture avec pour chaque site le nombre de stations de base, la nature des antennes.
- Positionnement automatique de ces sites sur la zone.
- La possibilité de changement des caractéristiques de chaque site, d'ajout et de suppression de site.

Ces trois premières étapes résument la planification radio. Une fois ces étapes réalisées, on doit passer à la planification fixe qui consiste à déterminer le nombre de contrôleurs et des distributeurs de stations de base nécessaires ainsi que les connexions entre les différents éléments du réseau.

Pour ceci, mes travaux ont été axés sur les étapes suivantes :

- Etude du système TAWA et de l'ingénierie des réseaux cellulaires : cette étude constitue la base théorique à partir de laquelle, j'ai pu tracer les différentes procédures de planification.

- Conception de l'organigramme général de l'outil logiciel : cette étape inclut principalement les phases suivantes :
  - ❶ Conception des algorithmes de calcul pour le dimensionnement.
  - ❷ Conception de l'interface utilisateur pour les prises de décision : cette interface acquiert une grande importance vu que c'est le moyen de validation des solutions obtenues lors de la phase de planification.
  - ❸ Etude de cas pratiques de planification pour valider les fonctions de l'outil logiciel conçu..

## Résumé

Ce projet concerne l'étude et la planification des réseaux WLL et plus particulièrement les systèmes TAWA d'OMNIACOM.

Après une étude générale de la technique WLL et de la norme DECT, nous avons mis l'accent sur les caractéristiques fonctionnelles du système TAWA en terme d'architecture, d'interconnexion, de propagation et de capacité.

Connaissant ce système, nous avons étudié les principes de la planification et synthétisé des concepts adaptés à notre application. En faisant appel aux algorithmes de groupage, nous avons mis au point un outil de planification basé sur une programmation orientée objet et dont l'efficacité a été testé sur des cas concrets.

## Mots- clés

WLL, DECT, planification, algorithme de groupage, densité quantifiée, programmation orientée objet.

# Sommaire

<b>Présentation du cadre d'accueil et du cahier des charges du projet.....</b>	<b>II</b>
<b>Résumé et Mots-clés.....</b>	<b>V</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>

## **Chapitre 1 : WLL et le DECT**

1.1. Introduction.....	3
1.2. Différents types d'accès.....	4
1.3. Comparaison entre le WLL et la technique filaire.....	4
1.3.1. Coût des systèmes filaires.....	5
1.3.2. Coût des systèmes sans fil .....	5
1.4. Architecture des réseaux WLL .....	6
1.4.1. Les éléments du modèle de référence .....	7
1.4.2. Les interfaces du modèle de référence.....	8
1.5. Les services offerts par les systèmes WLL.....	9
1.6. Les technologies radio dans la boucle locale d'abonnés.....	10
1.7. La norme DECT.....	10
1.7.1. Introduction.....	10
1.7.2. définition de DECT.....	11
1.7.3. Aspects techniques de la norme DECT.....	12
1.7.4. Les applications de la norme DECT.....	16
1.8. Conclusion.....	17

## **Chapitre 2 : Description du système TAWA-WLL**

2.1. Introduction.....	19
2.2. L'Architecture du système :.....	19
2.2.1. L'unité d'interface DECT (ESC) .....	21
2.2.2. La station de base (CBS) .....	22
2.2.3. Le Distributeur de station de base (BSD).....	22



2.2.4. Le WALLSET(WS).....	22
2.2.5. Le portatif (HS).....	23
2.2.6. le MultiWallset (MWS).....	23
2.2.7. Le système de gestion de réseau (NMS).....	23
2.3. Flexibilité et Précision.....	23
2.4. L'interconnexion du système TAWA au RTCP .....	24
2.4.1. Interconnexion utilisant le protocole V.5.2.....	25
2.4.2. Interconnexion utilisant le protocole R2-MF .....	25
2.4.3. Interconnexion utilisant le mode fil à fil analogique .....	25
2.5. Propagation.....	25
2.5.1. La portée dans TAWA.....	25
2.5.2. Extension de la portée.....	28
2.6. Conclusion .....	29

## Chapitre 3 : Présentation de l'outil de planification

3.1. Introduction.....	30
3.2. Importance d'un processus de planification.....	31
3.2.1. Objectifs et problématique de la planification.....	31
3.2.2. Résultats du processus de planification.....	32
3.3. Schéma général d'un processus de planification .....	32
3.3. Etapes de planification des réseaux WLL .....	33
3.3.1. Introduction.....	33
3.3.2. Planification de la partie radio des systèmes WLL .....	33
3.3.3. Planification fixe des réseaux WLL.....	37
3.3.4. Conclusion.....	38
3.4. Spécification du cahier de charge du logiciel.....	39
3.4.1. Introduction.....	39
3.4.2. Quelques définitions.....	39
3.4.3. Généralités sur l'outil de planification .....	40
3.5. Structure de L'outil de planification.....	43
3.5.1. Optimisation des positions des sites CBS.....	43
3.5.2. Configuration des sites.....	46
3.5.3. Choix du langage de programmation.....	48
3.5.4. Méthodologie utilisée.....	48
3.5.5. Les objets utilisés.....	49
3.5.6. Paramètres d'entrée et de sortie et principales fonctions utilisées.....	50
3.5.7 Principe de la méthodologie adoptée pour l'outil .....	51
3.6. Conclusion .....	52

## Chapitre 4 : Réalisation de l'outil de planification..... 54

4.1. Introduction.....	54
4.2. Différents modules implantés.....	55
4.2.1. Module 1 : Acquisition des données.....	55

4.2.2. Module 2 : Le groupage (the clustering).....	55
4.2.3. Module 3 : Tracé des sites .....	56
4.2.4. Module 4 : Détermination de la quantité de trafic générée .....	56
4.2.5. Module 5 : Détermination de la configuration des antennes.....	56
4.2.6. Module 6 : Planification fixe Du réseau.....	56
4.3. Organigramme.....	56
4.4. Description du processus de planification.....	60
4.4. Interface utilisateur développée.....	61
4.4.1. Fenêtre principale de l'outil.....	61
4.4.2. Menu FILE.....	62
4.4.3. Menu Area.....	64
4.4.4. Menu MAP.....	65
4.4.5. Menu View.....	70
4.4.6. La planification fixe.....	71
4.5. Exemple de planification.....	73
4.5.1. Valeurs et données d'entrée .....	73
4.5.2. Résultats de planification.....	75
4.6. Conclusion.....	78
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>79</b>
<b>Annexe A.....</b>	<b>81</b>
<b>Annexe B.....</b>	<b>83</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>85</b>

# Liste des figures

Figure 1.1. Comparaison des coûts en zone de haute densité	5
Figure 1.2. Comparaison des coûts en zone de densité moyenne	6
Figure 1.3. Comparaison des coûts en zone de faible densité	6
Figure 1.4. Modèle de référence d'un système WLL	7
Figure 1.5. Structure d'une trame DECT	13
Figure 2.1. Architecture du système TAWA WLL	20
Figure 2.2. Configuration SMUX	20
Figure 2.3. Propagation dans TAWA	27
Figure 3.1. Processus de planification	32
Figure 3.2. Effet de la limitation de la taille des cellules	42
Figure 3.3. Modélisation de la carte géographique	45
Figure 3.4. Organigramme de la méthodologie adoptée pour TAWA-Plani	53
Figure 4.1. Organigramme de l'outil	59
Figure 4.2. Illustration de la résolution	60
Figure 4.3. Fenêtre principale de l'outil	62
Figure 4.4. Sous menus de « FILE »	63
Figure 4.5. Saisie de la carte numérique	63
Figure 4.6. Sous menu « <i>Nature</i> »	64
Figure 4.7. Sous menu « <i>Paramètres</i> »	64
Figure 4.8. Message d'erreur si la valeur de la résolution n'est pas valide	65
Figure 4.9. La taille maximale des cellules	65
Figure 4.10. Affichage de la grille	66
Figure 4.11. coloration	66
Figure 4.12. Donnée relatives aux zones	67
Figure 4.13. Initialisation des site CBSs	67
Figure 4.14. L'option manuelle dans l'initialisation des sites CBSs	68
Figure 4.15. La sortie de l'optimisation	69
Figure 4.16. Suppression de sites	69
Figure 4.17. Visualisation de la carte avant et après l'optimisation	70
Figure 4.18. les propriétés des sites CBS	71
Figure 4.19. Le nombre de BSCs suggéré par l'outil	71

Figure 4.20 La planification-----	72
Figure 4.21 message d'erreur sur la capacité d'un BSC-----	72
Figure 4.22 la configuration complète des sites de CBS -----	73
Figure 4.23 Délimitation des zones-----	74
Figure 4.24 le groupage de le région-----	76
Figure 4.25 propriétés des site de stations de base -----	76
Figure 4.26 Configuration complète des sites de CBSs -----	78

# Liste des tableaux

Tableau 1.1	Comparaison entre les différents types d'accès.....	4
Tableau 1.1	Principales caractéristiques de la norme DECT.....	15
Tableau 3.1	Estimation de la demande de trafic.....	35
Tableau 3.2	Configurations et capacité des stations de base .....	47
Tableau 4.1	Paramètre d'entrée pour la région.....	74
Tableau 4.2	Paramètres d'entrée pour les zones.....	75
Tableau 4.3	Positions initiales des stations de base .....	75

# Liste des abréviations

<b>ADPCM</b>	Adaptative Différentiel Pulse Code Modulation
<b>BS</b>	Base Station
<b>ESC</b>	Base Station Controller
<b>BSD</b>	Base Station Distributer
<b>DECT</b>	Digital Enhanced Cordless Télécommunications
<b>ETSI</b>	European Télécommunication Standards Institute
<b>HS</b>	HandSet
<b>LE</b>	Local Exchange
<b>MC-TDMA</b>	Multiple Carrier Time Division Multiple Access
<b>NMA</b>	Network Management Agent
<b>NMS</b>	Network Management System
<b>RBL</b>	Radio dans la Boucle Locale
<b>RBS</b>	Relay Base Station
<b>RNIS</b>	Réseau Numérique A Intégration de Services
<b>RSSI</b>	Received Signal Strength Indication
<b>RT</b>	Radio Termination
<b>RTCP</b>	Réseau Téléphonique Commuté Public
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>WLL</b>	Wireless Local Loop
<b>WS</b>	WallSet

# Introduction générale

A travers le monde entier et plus particulièrement là où l'infrastructure de télécommunication n'est pas bien développée, la solution radio dans la boucle locale d'abonnés (Wireless in the Local Loop) émerge comme étant une alternative intéressante pour l'accès au réseau téléphonique commuté public (RTCP) et ceci pour les raisons suivantes :

- Elle offre beaucoup d'avantages en terme de rapidité de déploiement, de flexibilité et de facilité de maintenance.
- La boucle locale radio peut être conçue comme un vecteur de développement des services multimédia et de l'introduction de nouveaux services.
- Elle est également l'un des moyens pour stimuler l'introduction de la concurrence dans la boucle locale. Les technologies radio peuvent être considérées par les nouveaux entrants comme un moyen de concurrencer l'opérateur historique pour l'accès à l'abonné sans avoir à supporter le poids des investissements des réseaux filaires

Dans le cadre de l'introduction de la technologie radio dans la boucle locale d'abonnés, le constructeur tunisien OMNIACOM vient alors proposer une solution radio dans la boucle locale d'abonnés nommée TAWA. Avant de déployer le réseau, OMNIACOM a besoin d'outils logiciels pour dimensionner et planifier le réseau afin d'optimiser son coût. La procédure de planification consiste à minimiser le coût du réseau sous plusieurs contraintes telles que l'assurance d'une qualité de service acceptable et la satisfaction de la demande d'un plus grand nombre d'abonnés. Pour ces raisons, la procédure de planification est réalisée à l'aide d'outils logiciels conçus spécialement pour ce besoin.

Ce projet de fin d'études est alors orienté vers le développement d'un outil logiciel de planification adaptée aux besoins d'OMNIACOM et aux particularités de son système TAWA-WLL

Pour ce, nous allons commencer dans le présent rapport par présenter des généralités sur les systèmes WLL comme étant des nouvelles technologies

de communication ainsi que TAWA en tant qu'une variante tunisienne .

Dans un deuxième temps, nous allons décrire les étapes et la méthodologie de planification cellulaire ainsi que les règles d'ingénierie radio cellulaire les plus utilisées dans la planification , la troisième partie du rapport sera consacrée à la

description des différentes procédures de planification développées dans le cadre de ce projet. Nous allons aussi décrire l'implantation de ces procédures dans un outil logiciel



# Chapitre 1

## WLL et le DECT

### 1.1. Introduction

La boucle locale d'abonnés est traditionnellement constituée de paires de cuivre, enterrées ou aériennes. Ce n'est que dans les années 90 qu'apparue la technologie radio dans la boucle locale.

WLL (Wireless Local Loop) est par définition l'utilisation des ondes radio pour fournir une connexion téléphonique à domicile.

Traditionnellement, un abonné est connecté au commutateur via une boucle locale jusqu'au nœud de distribution, et puis à partir de ce nœud jusqu'au commutateur via un câble de transport. La boucle locale est soit un câble souterrain cuivre, soit porté sur des pylônes, les câbles de transport sont composés de plusieurs paires de cuivre.

Le WLL remplace la boucle locale avec un chemin radio au lieu du câble de cuivre. Dans tel système, le point de distribution à un émetteur radio, le récepteur est placé à côté de l'abonnée à la maison.

Cette solution est initialement adoptée pour les zones rurales à faible densité d'abonnés où la liaison de chaque abonné au central téléphonique est coûteuse et lente. Bénéficiant de l'expérience acquise par les constructeurs de systèmes cellulaires radio mobile, la technologie radio dans la boucle locale a évolué rapidement pour offrir des services de communication de même qualité que la solution filaire. A la fin des années 90, à travers le monde entier et plus particulièrement là où l'infrastructure de télécommunication n'a pas bien développé, l'accès radio est devenu un choix évident.

## 1.2. Différents types d'accès

WLL compte parmi plusieurs technologies utilisées pour fournir un accès au réseau commuté [1].

Voici un tableau comparatif entre ces différents types :

Technologie d'accès	Débit	Avantages	Inconvénients
Modems en bande de voix	< 56Kb/ s	Faible coût, installation immédiate	Bloque la ligne téléphonique
ISDN	< 144Kb/ s	Technologie prouvée, relativement pas cher	Légère amélioration par rapport aux modems, peut être dépassé rapidement
xDSL	«2 Mb/ s	Un grand débit sur les lignes existantes	Cher, technologie non prouvée, ne marche pas sur toutes les lignes
Radio mobile	64 Kb/s cellulaire, 500 Kb/s sans fil	Peut être utilisé immédiatement sur les zones couvertes	Coût, manque de couverture
WLL	<384Kb/s	Economique, débit de donnée raisonnable	Pas de hauts débits possibles, nouvelle infrastructure nécessaire

Tableau 1.1 Comparaison entre les différents types d'accès

## 1.3. Comparaison entre le WLL et la technique filaire

Entre 1994 et 1997, plus de 130 réseaux WLL ont été lancés au monde, on prévoit même qu'en 2005, plus de la moitié des nouvelles installations téléphoniques seront en WLL [1].

### 1.3.1. Coût des systèmes filaires

Pour fournir un accès filaire, il est nécessaire de ramener un câble à partir du central (peut être au centre d'une grande ville) jusqu'à chaque domicile, ceci nécessite une charge lourde (déterrer la route, mettre le câble puis l'ensevelir).

Les variables clefs dans la détermination du coût sont :

- distance entre les ménages.
- La pénétration (c'est à dire le pourcentage des ménages qui désirent se raccorder au câble qui passe à proximité).
- La nature de l'environnement a travers lequel le câble doit être routé.

### 1.3.2. Coût des systèmes sans fil :

L'économie des systèmes sans fil est tout à fait différente par rapport aux systèmes filaires. Pour offrir un service sans fil, l'opérateur doit placer un émetteur. Le service est disponible aux clients de la zone couverte. Ceux qui veulent se procurer du service placent un récepteur du côté du ménage. Si l'abonné déménage, son unité de raccordement est enlevée et placée ailleurs (flexibilité).

Les variables clefs dans la détermination du coût sont :

- Le nombre des ménages dans la zone couverte par l'émetteur.
- Les coûts des unités des abonnés.

Les trois figures suivantes illustrent la comparaison pour différentes densités.

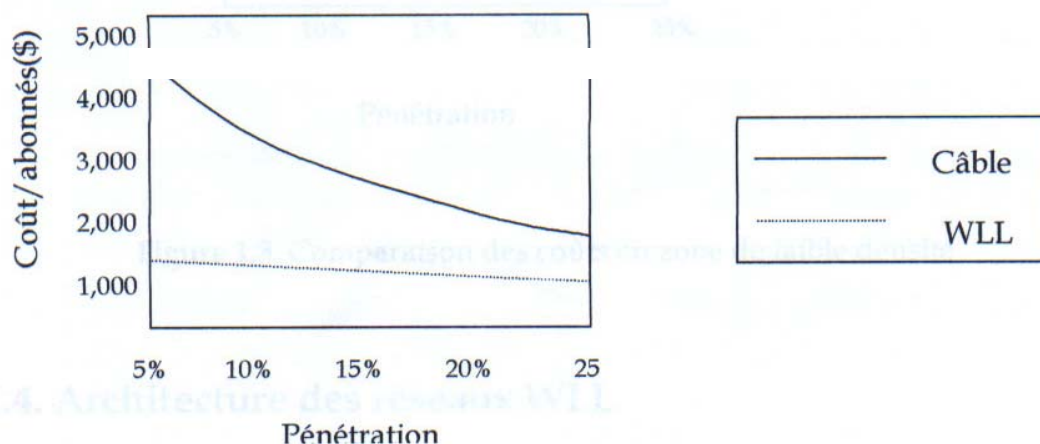
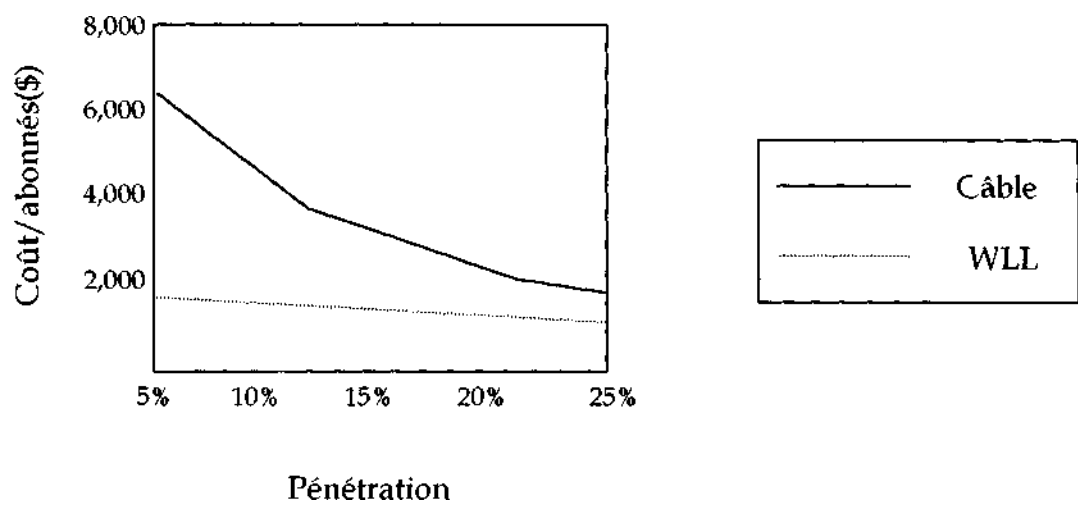
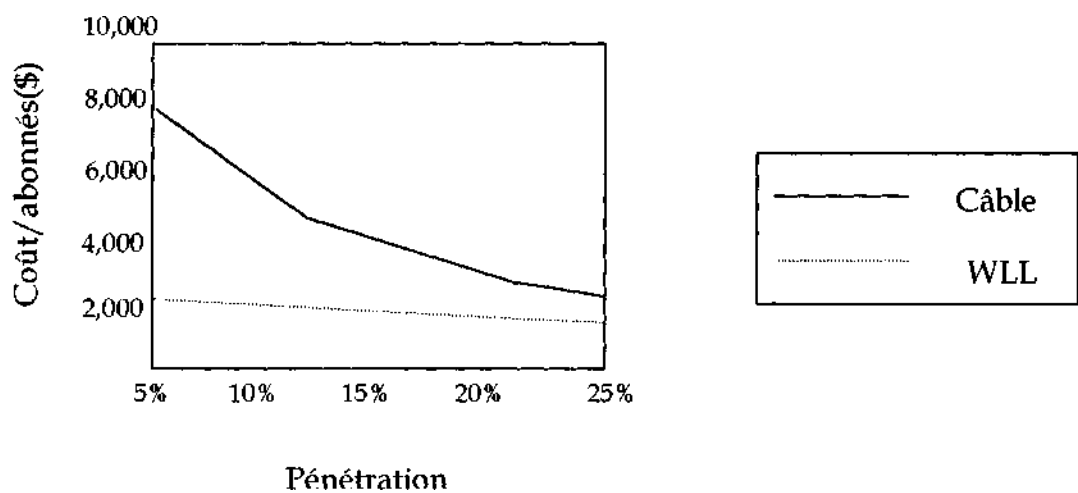


Figure 1.1. Comparaison des coûts en zone de haute densité



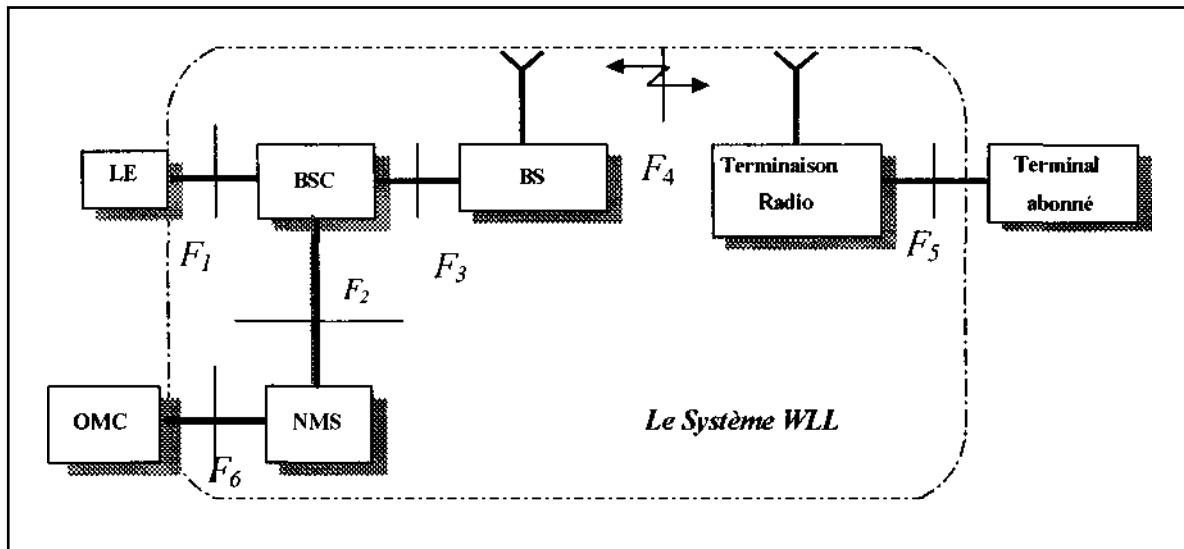
**Figure 1.2.** Comparaison des coûts en zone de densité moyenne



**Figure 1.3.** Comparaison des coûts en zone de faible densité

#### 1.4. Architecture des réseaux WLL

Dans ce qui suit, une description de l'architecture générale des réseaux WLL comme elle a été définie par l'ETSI [2].



**Figure 1.4** Modèle de référence d'un système WLL

Le modèle de référence indique que les systèmes WLL se composent des éléments et des interfaces suivants :

#### 1.4.1. Les éléments du modèle de référence

Selon le modèle de référence de l'ETSI, un réseau WLL est constitué des éléments suivants :

- Le central local (LE : Local Exchange) : il représente le réseau fixe auquel on veut accéder (réseau téléphonique ou de données, privé ou public).
- Les stations de base (BS : Base Station ) : elles permettent l'émission et la réception des signaux d'information et de signalisation venant des (ou allant vers les) terminaux abonnés.
- Le contrôleur de station de base (BSC : Base Station Contrôler) : il permet la connexion du système WLL au réseau fixe ainsi que le contrôle des stations de base.

- La terminaison radio (RT Radio Termination) : cette unité est un intermédiaire entre le terminal abonné et l'interface radio. Elle doit supporter les services du RTCP et du RNIS.
- Le terminal abonné : c'est le terminal classique du RTCP ou du RNIS.
- L'agent de gestion du réseau (NMA : Network Management Agent) : il permet la gestion des abonnés et des paramètres du système WLL.

#### 1.4.2. Les interfaces du modèle de référence

Entre les éléments d'un réseau WLL, des interfaces sont nécessaires pour communiquer l'information de l'abonné jusqu'au central téléphonique. Ces interfaces sont les suivantes :

- FI : Cette interface interconnecte le réseau WLL et le réseau fixe en véhiculant les informations entre le ESC et le central local.
- F2 : c'est l'interface entre le NMA ( Network Managment Agent ) et le contrôleur.
- F3 : c'est l'interface utilisée pour connecter une ou plusieurs stations de base au BSCs. Elle sert à véhiculer les informations relatives aux communications, à la gestion des ressources radio et aux messages d'exploitation et de maintenance.
- F4 : Cette interface permet d'interconnecter une ou plusieurs terminaisons radio à une ou plusieurs stations de base. Les informations véhiculées par cette interface sont celles relatives aux données de communication, aux messages de gestion et de maintenance et à la gestion de mobilité spécifique au système WLL.
- F5 : c'est l'interface entre le terminal d'abonné à la terminaison radio
- F6 : c'est l'interface entre l'agent de gestion et de maintenance du système WLL (le NMA) et le centre d'exploitation et de maintenance du réseau fixe. Elle véhicule les informations relatives à la configuration, la performance et la gestion du système WLL.

Ce modèle montre bien le rôle de la boucle locale radio comme étant un moyen d'accès au réseau fixe ou aussi un intermédiaire entre l'abonné et le réseau fixe.

## 1.5. Les services offerts par les systèmes WLL

Un système WLL doit tout d'abord fournir des services avec une qualité de transmission au moins équivalente à celle d'une connexion filaire pour tout type de terminaux (téléphone, Fax, Modem ). Les services de base offerts par un RBL sont [2] :

- La téléphonie : c'est le service de base des systèmes WLL. Pour assurer ce service, ils doivent principalement se conformer à la norme ITU-T en ce qui concerne la transmission dans la boucle locale filaire et ce dans le but de fournir les 3.1 KHz nécessaires à la voie téléphonique.
- La communication de données : le RBL doit supporter tous les modems de bande de voix qui fonctionnent avec des connexions fixe.
- Les services numériques : Un système WLL doit en priorité supporter les services du RNIS avec un débit de 2B+D.

Dans la réalisation de ces services, les systèmes WLL doivent remplir des contraintes et des exigences qui peuvent être résumées dans ce qui suit :

- Un système WLL doit supporter pendant les heures chargées un trafic allant jusqu'à 70mE pour les abonnés résidentiels et un trafic de 150 à 300mE par abonnés pour les centres d'affaires.
- Les délais introduits par les systèmes WLL (en particulier entre FI et F5) doivent être très réduits.
- Il faut assurer la qualité de service exigé.
- Il faut que les systèmes WLL assurent la sécurité des communications et ceci par des procédures de cryptage.
- Les stations de base et les BSC doivent être capables d'identifier un terminal d'abonné chacun dans sa zone de couverture, aussi le terminal doit être capable de reconnaître ses droits d'accès. Ces objectifs sont réalisés par des procédures d'authentification.
- En option, les systèmes WLL peuvent garantir une mobilité dans la périphérie de la cellule. L'implémentation de ce type de mobilité nécessite une attention particulière quant à la qualité de service et au taux d'erreur.

- Les systèmes WLL doivent supporter l'accès prioritaire incluant la priorité absolue pour les appels de secours.

## 1.6. Les technologies radio dans la boucle locale d'abonnés

Plusieurs technologies sont utilisées pour réaliser la boucle locale radio. Les technologies les plus répandues sont [1] :

- La technologie cellulaire analogique (tels que NMT et TACS)
- La technologie radio mobile numérique : le GSM et le DCS
- La technologie sans fil numérique : le DECT
- La technologie sans fil numérique : le CT2
- La technologie micro-onde point-multipoints
- La technologie CDMA

La solution radio dans la boucle locale, TAWA, proposée par OMNIACOM est basée sur la technologie DECT. Cette technologie a fait ses preuves sur le terrain et a été adoptée par plusieurs pays à travers le monde. En 1997, 31% des réseaux WLL mis en service dans le monde sont basé sur la norme DECT, ce qui rend cette norme le leader dans la technologie radio dans la boucle locale d'abonnés. Cette importance accordée au DECT revient à la flexibilité, la haute qualité de voix, la grande capacité, la sécurité des communications et le bas coût de cette technologie.

La partie suivante sera consacrée à l'étude de cette norme pour mettre en évidence toutes ses caractéristiques qui permettent aux réseaux WLL suivant cette norme, en particulier TAWA, d'atteindre de hautes performances.

## 1.7. La norme DECT

### 1.7.1. Introduction

Dans un monde où la communication et la mobilité sont devenues des facteurs essentiels dans la vie des individus tant dans le domaine professionnel que dans le domaine privé, la téléphonie filaire classique semble dépassée par ces nouveaux besoins.



C'est pourquoi, depuis quelques années, on a pu remarquer un développement du marché des téléphones cellulaires (GSM) et de la téléphonie sans fil de maison

Mais cette solution, intéressante car elle rend les individus joignables à chaque instant quelque soit la distance, ne répond que partiellement aux attentes ; en effet cette solution reste coûteuse et limitée dans les zones couvertes à fortes densités de population telles que les immeubles de bureaux, les centres de conférences,...

Quant à la téléphonie sans fil analogique, ses performances ne lui permettent pas de répondre aux besoins cités précédemment.

De nombreuses réponses ont été apportées, on a vu se développer différentes solutions. Le DECT est l'une de ces solutions.

Le DECT est à l'origine un standard européen qui a vu le jour dans les années 80 pour occuper une place sur le créneau de la téléphonie sans fil numérique, mais très vite, ses qualités ont permis d'étendre la norme DECT à d'autres domaines d'application : la téléphonie sans fil d'entreprise et l'accès sans fil aux abonnés des réseaux publics de télécommunication.

Depuis d'autres applications telles que l'interopérabilité avec le GSM et la capacité de transporter des données sont venues s'ajouter aux applications initiales ou sont en phase de développement.

La richesse technique du DECT lui a permis de s'imposer comme un standard à travers le monde entier puisque l'on compte 26 pays qui l'ont adopté comme standard et que 11 autres s'appêtent à le reconnaître [3].

Les ventes cumulées de matériels pour le DECT s'élevaient à plus de 5 millions d'unités à la fin de 1996, ce qui représente un bon décollage pour une technologie dont les premiers équipements ont été livrés en 1993.

Les perspectives pour le futur sont très importantes, qualitativement et quantitativement.

### 1.7.2. définition de DECT

La norme DECT (Digital Enhanced Cordless Télécommunications) est une norme d'accès radio numérique.

Elle est basée sur la technologie TDMA (Time Division Multiple Access) à multiples porteuses. Cette technologie est aussi utilisée dans les radiocommunications cellulaires (GSM, DCS1800, ...).

La norme DECT utilise globalement la même technologie que les principales normes de radiocommunications cellulaires (découpage de la zone de couverture en cellules, technologie TDMA à multiple porteuses,...).

Cependant la principale différence est que les réseaux cellulaires tels que le réseau GSM ont été optimisés pour couvrir de grandes zones alors que les réseaux DECT ont pour vocation de couvrir des zones locales (bureaux, voisinage,...) avec de très fortes concentrations d'utilisateurs.

Cette norme de janvier 1993 était une initiative purement européenne pour développer une norme commune d'accès radio numérique pour les téléphones sans fils.

Cependant, et très vite cette norme a attiré l'attention mondiale de par ses qualités, son évolutivité et le très grand éventail possible de ses applications (téléphone sans fil de maison et d'entreprise, accès radio au réseau public, transmission de données ...).

Si bien qu'elle a été adoptée par déjà 26 pays (Europe, Asie, Europe de l'Est ...) et est devenue la norme de radiocommunication numérique la plus répandue.

### 1.7.3. Aspects techniques de la norme DECT

#### 1.7.3.1. Bande de fréquence

Une bande de fréquence de 20 MHz, située dans l'un des intervalles suivants : 1880 -1900,1900 -1920 ou 1910 - 1930 MHz, est allouée au DECT. Dans cette bande de 20 MHz, 10 fréquences espacées de 1,728 MHz sont définies et utilisées par les systèmes basés sur la norme DECT.

#### 1.7.3.2. Technique d'accès

La norme DECT utilise la technique d'accès MC-TDMA (Multiple Carrier Time Division Multiple Access), c'est une variante de la méthode du multiplexage temporel TDMA [3].

Une trame dure 10 ms, elle se divise en 24 IT (Intervalle Temporel).

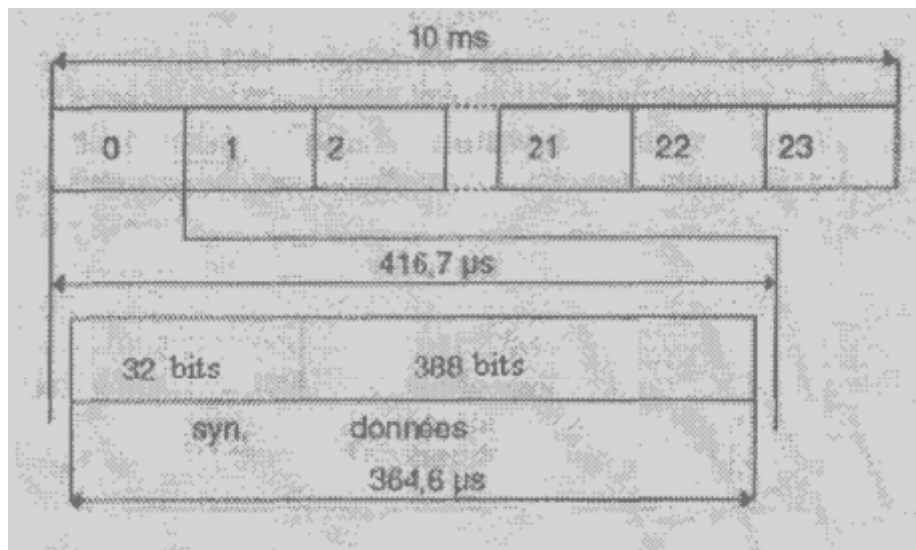
- Les 12 premiers IT sont réservés aux communications dans le sens de la base vers les stations mobiles,

- Les 12 IT suivants au sens des stations mobiles vers la base. On obtient alors une capacité de 12 canaux de communications en duplex. Un IT dure 416,7  $\mu$ s, elle est composée :

- D'un canal physique (364,6  $\mu$ s) qui contient un paquet d'informations de 420 bits (32 bits de synchronisation + 388 bits d'information) d'où un débit binaire brut du canal radio de 1152 Kbits/s..

- Un bourrage qui est la différence entre les durées d'un intervalle temporel (416,7  $\mu$ s) et d'un canal physique (364,6  $\mu$ s soit 52,1  $\mu$ s). Celui ci absorbe les décalages entre les horloges des stations mobiles et de la base, mais aussi le temps de propagation de l'onde radio entre la source et le récepteur.

Un canal physique possède un débit brut de 42 kbit/s ; mais le débit utile est de 38,8 kbit/s.



**Figure 1.5.** structure d'une trame DECT

Avec la technique MC-TDMA, les slots bidirectionnels peuvent être transmis sur des fréquences différentes (mais chaque paire de slots correspondant à une liaison duplex doivent être transmis sur la même fréquence), ce qui constitue la différence entre les deux techniques d'accès MC-TDMA et TDMA.

Pour chacun des 12 slots bidirectionnels, le signal peut être émis sur l'une des 10 porteuses du DECT. D'où 120 canaux sont disponibles pour la norme DECT.

### **1.7.3.3. Sélection des canaux**

Les systèmes DECT utilisent la technique de sélection dynamique des canaux<sup>1</sup> : il n'y a pas d'allocation ou aussi de distribution des fréquences entre les différentes cellules. Chacun des slots bidirectionnels est transmis sur la fréquence (parmi les dix fréquences définies au DECT) qui minimise les interférences.

La procédure de sélection dynamique des canaux se déroule de la façon suivante : avant d'établir un appel, le terminal abonné mesure le niveau de signal reçu de tous les 120 canaux et ceci pour toutes les stations de base accessibles (auxquelles il a le droit d'accès). A partir de ces mesures, il choisit la station de base qu'il reçoit avec le plus fort niveau de signal et le canal qui lui permet de communiquer avec cette station de base avec le moins d'interférences et de bruits. Cette procédure se poursuit au cours de l'appel, le terminal abonné change de canal dès qu'il détecte une station de base ou aussi un autre canal de la même station de base, avec un rapport signal/interférences plus fort. La sélection dynamique des canaux permet alors à chaque instant d'atteindre la configuration du réseau qui minimise les interférences.

### **1.7.3.4. Codage de la voix**

Les systèmes DECT utilisent le codage ADPCM (Adaptative Différentiel Pulse Code Modulation) à 32 Kbits/s conformément à la norme UIT-TG.726. Ce codage permet une haute qualité de voix sans introduire un retard de codage (retard < 0.5 ms).

### **1.7.3.5. Modulation**

Le DECT utilise la technique de modulation GFSK. Cette modulation permet de minimiser les coûts des émetteurs et des récepteurs vu sa simplicité. Cette modulation permet d'obtenir une efficacité spectrale importante et une enveloppe de signal constante dont l'avantage principal est de minimiser la consommation de puissance, le poids et le coût des équipements d'émission/réception.

### **1.7.3.6. Puissance de transmission**

Elle est de 250 mW en phase de transmission.

<sup>1</sup> Voir Annexe B

### 1.7.3.7. Le handover

La procédure de sélections des canaux se fait même au cours de la communication. Si le mobile détecte une autre station de base ou un autre canal de la même station de base, avec un niveau de signal plus fort, il réalise un handover inter ou intracellulaire.

Le handover ne nécessite pas un contrôle du système. En effet, c'est le terminal abonné qui réalise cette procédure : lors de la réalisation du handover, le terminal émet ou reçoit, sur l'ancien et le nouveau canal à la fois et ceci pendant une trame. Lorsque le nouveau lien est établi, il libère l'ancien canal. Ceci rend la procédure de handover imperceptible par l'utilisateur. Une fois le handover est réalisé avec succès, la nouvelle station de base (ou la même dans le cas de handover intracellulaire) renseigne le centre de contrôle sur la commutation des liens radio.

### 1.7.3.8. Tableau récapitulatif des principales caractéristiques de la norme.

Nombre de porteuses	10
Espacement des porteuses	1,728 Mhz
Puissance crête de l'émetteur	250 mW
Longueur des trames	10 ms
Multiplexage TDMA	24 IT
Modulation	GFSK
Nombre de canaux radio en duplex	12
Débit binaire brut du canal radio	1152 Kbits/s
Débit binaire brut du canal de parole	96 Kbits/s

**Tableau 1.2** Principales caractéristiques de la norme DECT

#### 1.7.4. Les applications de la norme DECT.

Les principales applications de la norme DECT qui ont atteint un important développement technique et commercial sont :

- **Les systèmes de communication multicellulaire pour les entreprises (PABX sans fil).**

Ces systèmes utilisent un réseau multicellulaire à l'image de la norme GSM. Ils permettent de communiquer sans coupure et de façon transparente tout en se déplaçant à travers tout un site industriel ou commercial.

Ce système est aussi appelé PABX sans fils car les utilisateurs peuvent accéder à toutes les fonctions d'un PABX via un terminal sans fil DECT.

- **Les systèmes d'accès radio au réseau téléphonique public.**

Ces systèmes représentent une alternative ou un complément à l'accès filaire classique.

On les désigne souvent sous le terme de WLL ( Wireless Local Loop «accès local sans fil »).

En général l'abonné continue d'utiliser un téléphone classique fixe qu'il connecte sur une borne installée chez lui et qui le relie par radio communication au réseau public.

Cependant il sera bientôt techniquement et commercialement possible de fournir à l'utilisateur un téléphone sans fil DECT qui lui permettra une mobilité au sein d'une zone restreinte autour de son quartier.

- **Les téléphones monocellulaires de maison.**

Ces téléphones sans fils sont les remplaçants des téléphones sans fils analogiques (CTO, CT1). Ils sont monocellulaires, offrent de puissantes fonctions de téléphonie et vont bientôt offrir des possibilités étendues grâce au couplage avec le concept CTM (Cordless terminal mobility).

En effet ce système doit fournir une mobilité supplémentaire au sein du réseau filaire classique. Ce service de type nouveau va combler le trou entre le réseau filaire classique et les réseaux purement cellulaires (GSM, DCS1800 ).

- **Les téléphones DECT/GSM**

Dans les années à venir, il est fortement envisagé d'utiliser la norme DECT conjointement avec la norme GSM pour fournir un service de radiocommunication qui autorise la mobilité quel que soit son environnement (bureaux, déplacements ...) et ceci de façon transparente en combinant les possibilités et la qualité de la norme DECT dans les environnements à forte concentration avec les capacités de couverture et de suivi de la norme GSM.

- **Les applications point à point.**

Les qualités et les possibilités en milieu fortement peuplé de la norme DECT offre aussi de nouvelles possibilités pour des applications de téléphonie / interphonie au sein d'un espace restreint. La norme DECT devient alors idéale pour des milieux tels que les grands magasins, les aéroports, les trains pour offrir une infrastructure de communication de qualité.

## **1.8. Conclusion**

Les caractéristiques techniques citées précédemment permettent à la norme DECT de garantir plusieurs avantages qui peuvent être résumées dans les points suivant :

- Facilité de planification et d'implantation : les systèmes DECT ne nécessitent pas de planification de fréquence grâce à l'utilisation de la technique de sélection dynamique des canaux. Ceci permet une simplicité d'installation des stations de base et une facilité d'ajout d'autres stations pour la densification du réseau.
- Haute capacité : La technologie d'accès DECT peut être utilisée pour des milieux urbains très denses, La capacité peut atteindre jusqu'à 10000 utilisateurs/ Km<sup>2</sup> dans un environnement administratif. Ceci est garanti par l'allocation dynamique des canaux.
- Haute qualité de voix : grâce à la technique de codage ADPCM à 32 Kbits/s et aux handovers rapides et imperceptibles.
- Interférences minimales : ceci grâce à la technique de sélection dynamique des canaux qui permet à chaque instant de choisir la configuration du réseau qui minimise les interférences. Les interférences sont réduites aussi grâce à l'utilisation de la technique d'accès TDMA (avec cette technique, l'interférence canal adjacent et l'intermodulation ont un faible effet).

- Sécurité des communications : Comme toutes les techniques numériques d'accès radio, les procédures d'authentification et de cryptage permettent de garantir une sécurité des communications sur le lien radio.
- Intégration de service : La norme DECT est capable de supporter les services du RNIS grâce à la possibilité du choix de la capacité du canal de communication (32,64 et 146 Kbits/s).

Ces avantages expliquent bien le recours à cette norme pour les applications citées précédemment.

Toutefois la norme DECT possède l'inconvénient suivant : elle ne permet pas une large couverture radio comme c'est le cas des technologies cellulaires GSM ou AMPS.



## Chapitre 2

### Description du système TAWA-WLL

#### 2.1. Introduction

TAWA est une solution WLL adoptée par OMNIACOM basée sur la norme DECT. Cette solution est économique et assure une couverture de zones aussi bien denses que rurales éparpillées, avec un déploiement rapide et une transparence totale pour tous les types de services. TAWA garantit une haute qualité de voix et permet l'utilisation des services de télécopie et de transmission de données par modem. De plus, Ce système permet un trafic de voix avec un accès Internet simultané sur un même canal de transmission. Enfin, le système TAWA offre une très grande flexibilité au niveau de l'interconnexion au réseau téléphonique commuté public en offrant plusieurs modes d'interconnexion.

- On se propose alors dans ce chapitre d'étudier les différentes caractéristiques du système TAWA, son architecture, les différentes méthodes d'interconnexion de ce système au réseau téléphonique public, et les différents scénarios de déploiement. Ceci servira de base pour développer des procédures de planification adaptées aux propriétés du système TAWA.

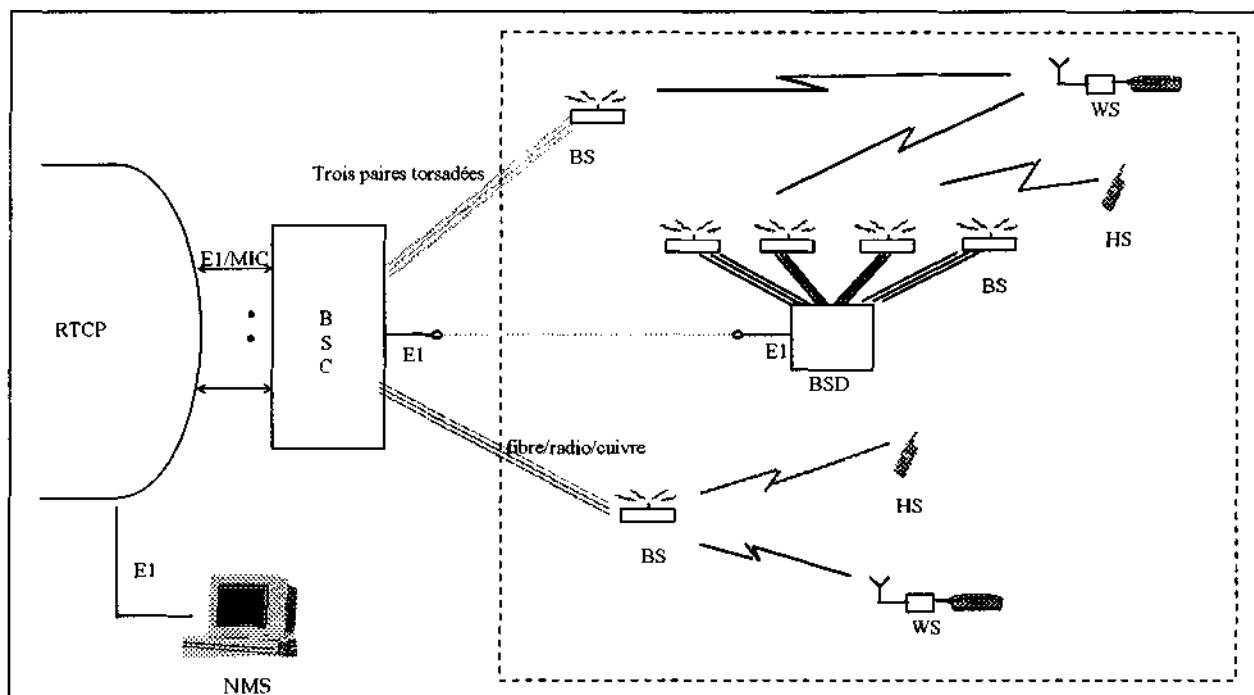
#### 2.2. L'Architecture du système :

Le système TAWA contient six principaux sous systèmes [4]:

1. Contrôleur de station de base (BSC pour Base Station Contrôler), il assure le contrôle du système et l'interfaçage avec le réseau téléphonique.
2. Station de base (CBS pour Compact Base Station) : assure une couverture radio par douze canaux simultanés.

3. Terminal d'abonné (WS pour WallSet) : une unité fixe sans fil assurant une connexion à tout téléphone standard, fax ou modem.
4. Le portatif (HS pour HandSet) : un téléphone portable assurant le service de voix pour l'abonné.
5. Distributeur de station base (BSD pour Base Station Distributor ) : il connecte quatre lointaines stations de base au BSC en utilisant un lien MIC.
6. Système de gestion de réseau (NMS pour Network Management System) : il administre plusieurs BSCs avec leurs CBSs et WSs.

Dans chaque système TAWA, on trouve un BSC, 20 CBSs et jusqu'à 1000 WSs et HSs. Typiquement, on trouve entre 30 et 70 par CBSs. Chaque CBS est connecté au BSC par trois paires torsadées. Alternativement, les stations de base peuvent être connectées à un distributeur de station de base, qui lui-même est connecté au BSC par un lien MIC (radio ou fibre optique).



**Figure 2.1.** Architecture du système TAWA WLL

### 2.2.1. L'unité d'interface DECT (ESC)

Le BSC est un commutateur DECT pour les abonnés de TAWA, il fournit une interface au réseau téléphonique (RTCP). On l'appelle aussi DIU (DECT Interface Unit). Les fonctions telles que le traitement des appels, l'alimentation des CBS, le transcodage PCM/ADPCM, les fonctions de la couche réseau et la couche liaison DECT sont assurées par le BSC. Le système d'Opération et de Maintenance (OMC) et la supervision à distance peuvent être réalisés à partir du BSC ou bien d'un emplacement éloigné en utilisant le système gestion de réseau (NMS).

L'interface au RTCP est réalisée à travers des liaisons numériques MICs. Des interfaces pour connecter jusqu'à 6 liaisons MICs sont disponibles. Avec 4 MICs, le système peut connecter approximativement 1000 abonnés avec un trafic de 0.1 Erlang par abonnés et un taux de blocage de 1 %.

Pour 1000 abonnés, le BSC peut être configuré comme,

1. un commutateur avec une signalisation R2-MF.
2. une unité de commutation distante (RSU pour Remote Switching Unit) avec une signalisation V5.2.
3. Une installation téléphonique privée (PABX) connecté au réseau via des paires en cuivre et utilisant une signalisation R2-MF.

Une autre configuration facultative consiste en une unité de multiplexage/démultiplexage (SMUX) dans le BSC, elle convertit les liaisons MICs en 30 jonctions qui peut être connecté à des paires d'abonnés d'un commutateur. L'état de la ligne à deux fils est codé et transmis sur l'IT (intervalle de temps) 16 du MIC.

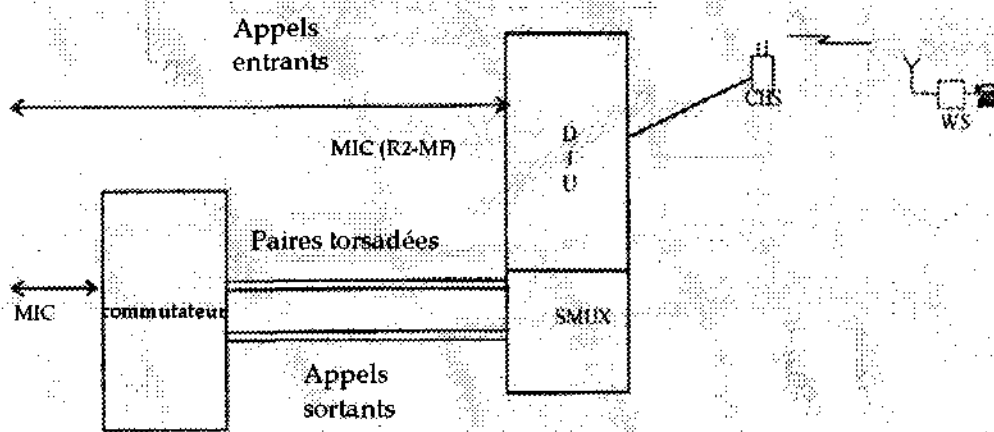


Figure 2.2. Configuration SMUX

### 2.2.2. La station de base (CBS)

La CBS est une petite unité montée sur des poteaux ou sur des murs. Chaque CBS sert une cellule, en fournissant jusqu'à 12 canaux de communications simultanés. Le rayon des cellules dépend de l'environnement de la propagation et du gain de l'antenne des récepteurs.

La CBS a deux antennes pour la diversité. Une antenne directionnelle avec un gain considérable peut être utilisée quand la couverture exigée est confinée sur des régions et pas sur d'autres ou lorsque la région de la couverture est divisée en secteurs couverts par des CBSs différentes. D'autre part, une antenne omnidirectionnelle pourrait être utilisée.

La CBS est connecté au BSC en utilisant 3 paires torsadées. Chaque paire porte quatre canaux vocaux ADPCM 32 Kbit/s et un canal de signalisation, selon la norme RNIS (2B+D). Les paires fournissent aussi l'alimentation au CBS à partir du BSC. La distance maximale entre une CBS et le BSC est 4 km avec des paires torsadées de diamètre 0.4 mm.

Ou bien, les CBSs sont connectés à au BSC à travers un BSD. Dans ce cas le BSD est connecté à un BSC avec un lien MIC. Cette liaison peut être radio ou fibre optique. La distance maximale entre une CBS et un BSD est 1 km quand un câble de 0.6 est utilisé.

### 2.2.3. Le Distributeur de station de base (BSD)

Le Distributeur de station de base est une unité facultative utilisée quand un groupe de CBSs sera localisé loin du BSC. Le BSD est connecté au BSC via une liaison El qui transporte les signaux pour quatre CBS. Le BSD démultiplexe le signal sur la ligne El et l'achemine aux quatre CBSs.

### 2.2.4. Le WALLSET (WS)

La wallset est une petite unité montée sur mur (à l'intérieur aussi bien qu'extérieur) avec une antenne externe et alimentée par une source de tension domestique avec une pile de secours intégré. L'antenne externe fournit un gain et étend la portée d'une CBS dans régions où la densité des CBS est basse. Le wallset fournit une prise RJ-11 afin que tout téléphone, fax, modem ou même un téléphone à payement puisse lui être connecté.

### 2.2.5. Le portatif (HS)

C'est une petite unité portable alimentée par des piles rechargeables. Il permet à l'utilisateur de faire des appels de l'intérieur de la région de la couverture

d'une CBS. Le combiné a la capacité d'effectuer des handovers d'une CBS à une autre de façon transparente. Le même HS peut être utilisé avec des BSCs différents par réinscription appropriée lors d'un déplacement d'un site à un autre.

Le combiné consomme une quantité faible d'énergie quand les appels ne sont pas en cours.

#### 2.2.6. le MultiWallset (MWS)

Pour satisfaire plusieurs abonnés au même emplacement géographique, un multiwallset peut être utilisé. Cette unité supporte jusqu'à quatre abonnés. L'installation d'un multiwallset n'est pas différente de celle d'un wallset. Le multiwallset fournit à chaque abonné une ligne indépendante.

#### 2.2.7. Le système de gestion de réseau (NMS)

Le système TAWA fournit un système de gestion de réseau (NMS) pour diriger jusqu'à 30 BSC et leurs abonnés. Le NMS est connecté au RTCP via un lien EI et pourrait être localisé n'importe où sur le réseau. Un lien 64 Kbit/s avec le protocole X.25 connecte le NMS et chaque BSC qu'il dirige. Le NMS exécute les fonctions d'entretien et de contrôle pour tous les BSCs et leurs abonnés. Il contrôle le bon fonctionnement de chaque carte des BSC aussi bien que toutes les CBS. Le NMS assure la gestion des abonnés, quand le BSC est configuré comme un commutateur indépendant, il fournit aussi leurs facturations.

### 2.3. Flexibilité et Précision

La conception du système est flexible afin qu'il puisse être efficacement déployé dans différents scénarios et peut fournir des services avec un haut degré de fiabilité. Toutes les cartes de contrôle du BSC sont redondantes. Il y a trois modules d'alimentation et le système opère tant que deux des trois modules sont sains.

Les cartes d'interface sont conçues afin que le système soit affecté d'une façon minimale lors d'une panne d'une de ces cartes. Par exemple, la panne d'une carte interface CBS affecte une seule CBS. Alors que la plupart des opérations sont en mode stand-by impliquant un remplacement automatique lors de la panne de la carte active, certains échecs peuvent générer des interruptions d'appel actif jusqu'à 10 secondes pour des raisons de synchronisation entre la CBS et le wallset/portatif.

La diversité de l'antenne a pour rôle de combattre le phénomène de propagation multitrajets (fading). Cependant, pour des lignes de non visibilité directe et longues lignes de visibilité directe devraient avoir une marge de 10db. Lors de l'installation de CBSs et surtout le wallset, la sensibilité du récepteur radio et/ou le taux d'erreur sur le bit (BER pour Bit Error Rate) devraient être vérifiés pour assurer une performance fiable.

La sensibilité d'un wallset est par définition le niveau de signal reçu le plus bas permettant une qualité de voix acceptable.

Un portatif ou un wallset d'abonné n'est pas associé avec une CBS spécifique. La sélection dynamique du Canal de DECT est utilisée pour que le portatif/wallset soit "verrouillé" à la station de base qui a fourni le signal le plus fort. La panne d'une CBS n'interrompt pas le service. Le portatif/wallset se verrouille à une autre CBS dans quelques dizaines de millisecondes et l'appel en cours peut continuer sans interruption. Cette caractéristique assure une fiabilité au système dans sa totalité.

Le système TAWA a été conçu afin qu'il puisse fournir des qualités différentes de service aux abonnés dans des régions différentes. Le nombre d'abonnés qu'une CBS peut servir n'est pas fixe. Donc, si le nombre d'abonnés par CBS est 30 dans une région commerciale, un trafic de 0.15 *Erlang* par abonné peut être supporté avec une probabilité de blocage inférieure à 1 %. En revanche, pour un nombre de 70 dans une zone résidentielle, 0.07 *Erlang* par abonné peut être assuré avec la même probabilité de blocage.

Le système peut être déployé dans les zones urbaines très denses comme dans les zones rurales à faible densité d'abonnés.

## 2.4. L'interconnexion du système TAWA au RTCP

L'interconnexion du système TAWA au RTCP est très flexible. Elle peut se faire via des liaisons MICs selon la norme G.703 de l'UIT-T en utilisant les protocoles V.5.2 ou R2-MF ou encore par des lignes d'abonnés (fil à fil analogique).

### 2.4.1. Interconnexion utilisant le protocole V.5.2

Dans ce mode de connexion, l'adjonction du système TAWA au réseau revêt la forme d'unité à accès distant (RAU Remote Accès Unit). La capacité du BSC dans ce mode d'interconnexion est de 1000 abonnés.

### 2.4.2. Interconnexion utilisant le protocole R2-MF

Dans cette configuration, le ESC est considéré comme un commutateur autonome de taille moyenne pouvant raccorder au RTCP jusqu'à 1000 abonnés.

### 2.4.3. Interconnexion utilisant le mode fil à fil analogique

Dans ce mode, des unités de conversion SMUX sont utilisées pour faire la conversion du format numérique au format analogique. La capacité d'un ESC connecté au RTCP selon ce mode est réduite à 480 abonnés.

La connexion du système TAWA au RTCP par liaison MIC nécessite moins d'équipements et peut servir un nombre d'abonnés plus important. Ce mode est donc le plus flexible et le plus économique.

## 2.5. Propagation

### 2.5.1. La portée dans TAWA

Le DECT envisage des microcellules dans les zones urbaines. Il est possible d'utiliser soit des antennes omnidirectionnelles ou des antennes directionnelles lorsqu'on veut couvrir un secteur. Chaque CBS utilise deux antennes pour bénéficier du phénomène de la diversité [5].

On se basant sur les mesures accomplies par l'ETSI, on a conclut que la puissance du signal reçue varie considérablement selon les structures locales, le nombre de murs entre l'émetteur et récepteur, etc. D'après les études de l'ETSI, les CBSs doivent être localisés typiquement chaque 400 m dans les agglomérations urbaines et chaque 50 m environ dans les bâtiments. Le signal pénètre trois étages dans la direction verticale. D'autre part, les CBSs peuvent être placés encore plus proches si la capacité exigée est plus grande.

Le récepteur dans le système TAWA a un taux d'erreur sur le bit plus petit que  $10^{-5}$  quand la puissance du signal reçu est -85 dBm, et un taux d'erreur sur le bit plus petit que  $10^{-3}$  quand la puissance du signal reçu est -90 dBm. Ce ci est meilleure de 12 dB à  $10^{-5}$  et de 7 dB à  $10^{-3}$  que les recommandations de la norme DECT. Puisque la qualité de la voix est à un niveau acceptable lorsque le taux d'erreur sur le bit est plus petit que  $10^{-3}$ , le récepteur peut travailler à -90 dBm. Cependant, puisque le phénomène de fading peut causer des atténuations

considérables dans le niveau du signal, il est nécessaire que le récepteur ait un niveau de puissance d'au moins -80 dBm sur les liens à non visibilité directe (NLOS pour Non Line Of Sight) pour permettre une marge de fading de 10 dB. Sur les liens à visibilité directe (LOS pour Line Of Sight) où le fading *Rician* remplace le fading de *Rayleigh*, une marge de 5 dB est suffisante. Donc le récepteur travaille à un niveau de puissance reçu de -85 dBm d'une manière satisfaisante.

Nous pouvons voir dans la figure suivante qu'à une distance de 5 km, le niveau de puissance reçu pour un wallset avec une antenne directionnelle est -77 dBm. C'est clair par conséquent que les wallsets travailleront d'une manière satisfaisante à une distance de 5 km sur les liens LOS.

La formule : la puissance du signal reçu au terminal abonné

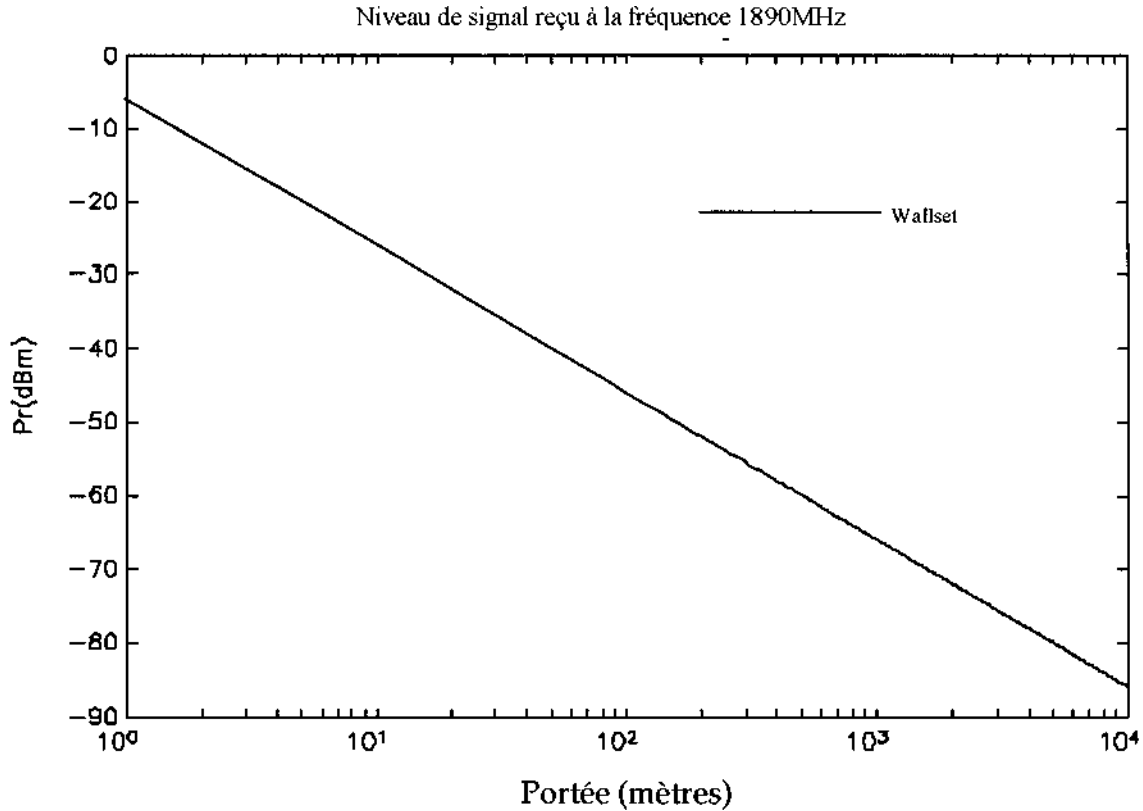
Cas du Wallset :  $P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log (\sqrt{4\pi}R) - \text{pertes du Câble à Tx et Rx.}$

**Les paramètres:**

- La puissance transmise ( $P_t$ ) : 24 dBm (250mW)
- Le gain de l'antenne de la CBS ( $G_t$ ) : 6 dB (Omni)
- La Perte dans le câble de la CBS : 1 dB
- Le gain de l'antenne de l'abonné ( $G_r$ ) : 7.5 db (antenne directionnelle)
- La perte dans le câble du terminal abonné (plus Mauvais Cas) : 4.5 db (10m câble avec connecteur)
- La portée : mètres
- La puissance reçue ( $P_r$ ) : dBm
- La longueur d'onde : 15.87 centimètre à 1890 MHz

Pour  $R = 5 \text{ km}$  on a  $P_r = -77 \text{ dBm}$ .





**Figure 2.3.** Propagation dans TAWA

Si le lien est non LOS, la portée sera inférieure selon le nombre et le type d'obstructions, et c'est difficile de prédire son comportement exact.

Les mesures montrent que l'atténuation à travers un mur de brique de neuf pouces standard ou pour un sol RCC de 5 pouces standard est de 7 dB environ. En se basant sur ceci, il est typiquement possible de couvrir trois étages dans la direction verticale, et approximativement six murs dans la direction horizontale. L'espacement typique des CBS est de 50-100 m.

Quand les CBSs sont montés au niveau des rues, le niveau de puissance reçu à plusieurs points le long de la rue et autour de bâtiments dépend de la topologie. Un espacement de 400 m entre les CBSs dans les régions résidentielles à haute densité, comme suggéré par les études d'ETSI, a été trouvé adéquat pour la couverture. Dans quelques cas, il est nécessaire de monter l'antenne du wallset sur

le toit ou sur une fenêtre plus proche de la rue, et la connecter au wallset avec un câble à faible perte. Dans les régions commerciales, l'espacement des CBSs doit être réduit à 300 m.

En conclusion, le système TAWA autorise de multiples stratégies de déploiement :

1. Jusqu'à 5 km pour un lien LOS pour des CBS montées sur toits.
2. Jusqu'à 400 m pour un lien non LOS pour des CBSs montées au niveau des rues.
3. Jusqu'à 50 m pour un lien non LOS pour des CBS montées à l'intérieur des bâtiments.

### 2.5.2. Extension de la portée

Il est possible d'assurer, pour des régions peu denses, que le niveau de signal est suffisant même pour une distance de 10 km en utilisant une antenne directionnelle avec un gain [6].

#### 2.5.2.1. Wallset à longue portée

On peut voir dans la figure 2.3. qu'avec une wallset dont le gain de son antenne est de 7.5 dB et avec un lien LOS, le niveau de signal reçu est -77 dBm. Si on utilise une antenne de gain de 11 dB, on obtient un niveau de -73.5 dBm. Par conséquent, à une distance de 10 km, ce niveau de signal sera de -79.5 dBm, et puisqu'on a besoin de -85 dBm seulement pour qu'elle démodule le signal correctement, alors on a une marge de 5.5 dBm.

#### 2.5.2.2. Station de base de relais

Pour étendre la portée jusqu'à 25 km, une Station de base de relais est utilisée. Cette station de base utilise une antenne dont le gain est de 20 dB. La station de relais est montée sur une tour (haute altitude) pour assurer le lien LOS. La station de base locale utilise une antenne directionnelle d'un gain de 11 dB. Par conséquent, si on compare le bilan de liaison montré dans la figure 2.3., on a un gain en plus de 5 dB à la station de base et de 12.5 dB à la station de relais. A une distance de 25 km, le niveau de signal reçu serait de -76 dBm ce qui est suffisant avec une marge de 9 dBm (pour un niveau de -85 dBm)

## 2.6. Conclusion

La technologie radio dans la boucle locale apparaît comme une alternative intéressante de la boucle locale filaire. Elle fournit de nombreux service avec une flexibilité vis à vis de la demande et une rapidité de déploiement.

A travers cette description, le système TAWA apparaît comme un système très flexible avec plusieurs options de configurations. Les caractéristiques techniques du système TAWA vont être prises en compte lors du développement des procédures de planification de ce système.

## **Chapitre 3**

### **Présentation de l'outil de planification**

#### **3.1. Introduction**

Un système de boucle locale radio offre un remplacement pour la boucle locale filaire en utilisant les ondes radio. Le grand but d'un système WLL est d'être un substituant potentiel à faible coût pour la boucle traditionnelle.

Le système TAWA-WLL est un système WLL qui utilise la norme DECT de l'ETSI comme interface radio. Comme pour chaque réseau, l'opérateur doit être conscient du nombre des cellules et du coût en équipements correspondants. Un réseau Opérationnel s'efforce pour maintenir une bonne qualité d'appel contre l'augmentation du trafic en fournissant une large couverture. Cela veut dire qu'il faut optimiser et maintenir un réseau complexe, en étant toujours flexible aux demandes des abonnés, cette tâche est appelée la planification des réseaux. L'ingénierie de planification doit être technologiquement créative pour présenter des solutions efficaces afin de bien mener cette tâche complexe d'une manière efficace. Les outils de planification continuent à émerger comme armes importantes pour assurer des investissements rentables et des performances des réseaux de plus en plus optimisées.

#### **3.2. Importance d'un processus de planification**

La planification d'un réseau constitue l'une des tâches les plus complexes à la charge de l'opérateur. Le résultat de ce processus est primordial pour le bon

fonctionnement du système au niveau durée de vie et performance (qualité de communication, taux de blocage, couverture...)- Elle est la partie la plus importante avant l'implantation du système, sans laquelle le réseau risque d'avoir une qualité de communication médiocre, un taux de coupure de communication important et un taux de blocage élevé entraînant des coûts supplémentaires et des manques à gagner pour l'opérateur. Elle comprend le déploiement, le paramétrage et l'optimisation du réseau [7].

La couverture et la capacité sont deux éléments vitaux dans la planification d'un réseau cellulaire.

Capacité : On entend par ce terme l'aptitude du réseau à supporter plusieurs appels dans le même canal radio.

L'objectif de la planification dépend largement de la nature de la zone à planifier :

- En zone urbaine ou suburbaine, l'objectif est d'assurer une capacité en trafic suffisante (c'est à dire qu'il s'agit dans ce cas de desservir un nombre d'abonnés élevé),
- En zone rurale ou dans les zones à faible densité d'abonnés, l'objectif est d'assurer la couverture la plus complète possible (rayons des cellules de plusieurs dizaines de kilomètres typiquement) sans nécessité de capacité élevée.

### 3.2.1. Objectifs et problématique de la planification

Il s'agit, étant donnés une densité et un comportement statistique d'usagers, des caractéristiques géographiques et une bande de fréquences, de minimiser le coût de l'infrastructure radio et réseau en fonction de la couverture radio, de la taille des cellules et de la topologie du réseau [8], tout en respectant des contraintes de qualité de service.

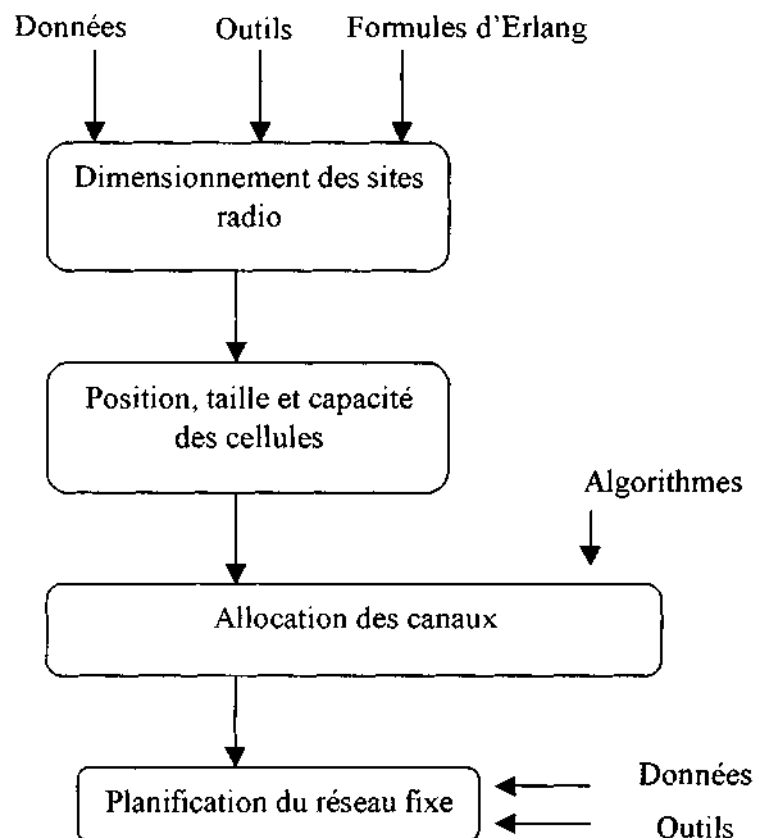
### 3.2.2. Résultats du processus de planification

Ce processus doit aboutir à :

- Un plan de stations de base (emplacements, capacités et puissances principalement).

- Un plan de fréquences associé.
- Un plan des équipements du réseau fixe.
- Un réseau de connexion entre toutes ces entités.

### 1.3. Schéma général d'un processus de planification [7 ]



**Figure 3.1.** Processus de planification

### 3.3. Etapes de planification des réseaux WLL

#### 3.3.1. Introduction

La conception ou l'extension d'un réseau quelconque doit être précédée par une étape de planification. Cette étape consiste à optimiser les investissements et dimensionner les équipements sous plusieurs contraintes telles que le respect de la qualité de service exigée et l'écoulement de la quantité de trafic prévue tout en tenant compte de l'évolution de la demande à court, moyen et long terme.

Le processus de planification doit aboutir à un plan pour déterminer le nombre, l'emplacement, les caractéristiques des équipements utilisés et les liens entre eux. La planification des réseaux des télécommunications est un processus ininterrompu qui commence avant l'installation du réseau et continue tout au long de la durée de vie du réseau.

La planification d'un réseau dépend fortement de son architecture. Comme les réseaux WLL sont une combinaison d'une interface radio et d'un réseau fixe, la procédure de planification sera également la combinaison de deux phases : la planification radio et la planification fixe. Dans ce chapitre, nous allons décrire la méthodologie de planification des réseaux radio dans la boucle locale d'abonnés avec ses deux étapes : la planification de l'interface radio et la planification du réseau fixe.

#### 3.3.2. Planification de la partie radio des systèmes WLL

La planification de la partie radio est la tâche la plus importante et la plus délicate rencontrée lors de l'implantation du système vue qu'elle tient compte de nombreux paramètres tels que les conditions de trafic, la propagation, la mobilité des usagers (Dans certains cas, une mobilité est prévue par le réseau WLL), la qualité et la nature des services demandés...

Partant des données de la zone à desservir par le réseau WLL, ainsi que des données relatives à la technologie du réseau, la planification radio consiste à minimiser le coût de l'infrastructure radio tout en respectant les contraintes de qualité de service et de couverture radio. Le processus de planification radio doit

aboutir à un plan de sites radio, en déterminant pour chaque site, le nombre, l'emplacement et les caractéristiques des stations de base utilisées. Cette étape de planification cellulaire radio est une tâche répétitive où les essais pratiques et les corrections occupent une large place pour tenir compte, le plus possible, des particularités de la zone et pour s'approcher, le mieux, de la solution optimale.

Dans la planification radio des réseaux WLL, on suit généralement les étapes suivantes :

- La collecte des données
- La prévision de la demande.
- L'élaboration d'un schéma directeur de planification
- L'analyse des performances des solutions obtenues
- La modifications de la solution en fonction des performances obtenues

#### 3.3.2.1 La collecte des données

Avant d'entreprendre la planification radio, des informations diverses doivent être collectées. Ces données concernent :

- La zone à desservir par le réseau : le nombre d'abonnés, la distribution du trafic, la description du terrain (par exemple un fichier numérique d'altitude), nature de la zone (rurale, suburbaine ou rurale...)...
- Le service : qualité de services désirée, service de voix uniquement ou communication de données incluse.
- La technologie WLL utilisée : bande de fréquence, puissance d'émission, seuil de réception, types de terminaux abonnés et d'antennes des stations de base utilisés, capacité des stations de base, seuil C/I minimal...

#### 3.3.2.2. La prévision de la demande

La prévision de l'évolution de la demande dans une zone quelconque nécessite la collecte de statistiques et de données socio-économiques (niveau de vie, évolution du nombre d'habitants, activité industrielle et économique dans la zone...). Cette étude permet de subdiviser la zone en des secteurs résidentiels et des secteurs professionnels. Une étude de l'ETSI [2] estime la charge de trafic en Europe pendant les heures chargées comme suit:



	<i>Service de voix uniquement</i>	<i>Service de voix et de données</i>
<i>Milieu administratif</i>	150-200 mE <sup>2</sup> /abonné	300-400 mE/abonné
<i>Milieu résidentiel</i>	50-70 mE/abonné	100-140 mE/abonné

**Tableau 3.1** Estimation de la demande de trafic

Une bonne prévision de la demande permet d'éviter des situations ennuyeuses pour l'opérateur telles que la saturation rapide du réseau, des investissements supplémentaires et une qualité de service médiocre.

### **3.3.2.3. L'élaboration d'un schéma directeur**

La planification constitue un processus itératif comprenant plusieurs étapes qui peuvent être parfois très complexes. Le planificateur doit d'abord disposer d'un schéma directeur initial, s'il s'agit d'une création d'un réseau ou d'un état de l'existant dans le cas de modification d'un réseau.

En fonction du trafic demandé et de la qualité de service exigée, l'opérateur d'un réseau peut déduire le nombre de canaux de communications nécessaires. L'opérateur désire toujours concentrer toute l'infrastructure en un seul site pour minimiser les coûts de connexion et de maintenance. Ceci n'est pas toujours possible pour les raisons suivantes:

- Tout d'abord, un seul site radio ne peut pas couvrir dans la majorité des cas toute la zone parce qu'il a un rayon limité en fonction des caractéristiques des émetteurs et des récepteurs de ce site et des conditions de propagation dans la zone d'étude. On cherche alors à distribuer les sites radio pour couvrir toute la zone.

- Ensuite, l'interférence limite le nombre de canaux de communications accessibles à la fois à chaque endroit. Si un grand nombre de stations de base sont montées sur le même pylône, les interférences seront importantes et la communication n'aura pas lieu ce qui cause la création de zones d'ombre malgré que les abonnés sont situés dans la zone de couverture des stations de base.

• Erlang (voir **annexe A**)

L'étape suivante consiste à déterminer la position des sites radio de façon à couvrir toute la zone par les sites radio déterminés. Pour ceci, on a généralement recours à des algorithmes de positionnement automatique des sites. Après cette génération automatique de sites radio, l'opérateur doit trouver pour chaque site radio, une position réelle plus convenable sur le terrain.

Toutes ces étapes étant réalisées, le planificateur doit passer à l'étape d'analyse des performances de la solution trouvée.

#### **3.3.2.4. Analyse des performances**

Cette étape comprend, pour chaque site radio, le calcul du trafic offert, du niveau de champ électrique, ainsi que la détermination des zones à couverture radio insuffisante due à un manque de champ ou aux interférences.

La couverture radio est analysée grâce au bilan de liaison radio, on a :

$$Pr=Pe+Ge+Gr-Lp-Lc-Lf \text{ (dB)}$$

Avec  $Pr$ ,  $Pe$ ,  $Ge$ ,  $Gr$ ,  $Lp$ ,  $Lc$  et  $Lf$  désignent respectivement : la puissance de réception, la puissance d'émission, le gain de l'émetteur, le gain du récepteur, les pertes de propagation, les pertes des câbles, la perte du signal par l'effet d'évanouissement. L'estimation des pertes de propagation par les câbles des émetteurs et des récepteurs, de la marge d'évanouissement à prendre en compte et l'estimation de l'affaiblissement par les modèles de propagation permettent de prédire le niveau de champ dans toute la zone. A partir de là, les zones non couvertes sont déduites : ce sont les points dont le niveau de champs est inférieur aux sensibilité des récepteurs du réseau.

Pour une configuration du réseau, le trafic écoulé par le réseau est calculé par la formule d'Erlang B : elle détermine le trafic écoulé par le réseau à partir de la probabilité de blocage et à partir du nombre de canaux disponibles<sup>3</sup>.

Concernant les interférences, elles sont dues aux interférences co-canal et canal adjacent. Pour garantir une qualité de service satisfaisante, il est nécessaire d'assurer un niveau minimal de rapport signal/interférences (C/I). Pour la norme DECT, le seuil de C/I requis est de 10 dB [9]. Les interférences peuvent être évaluées pour une configuration du réseau par une évaluation du rapport C/I.

(Voir Annexe A)

Grâce à l'évaluation de la quantité de trafic écoulee, du niveau de champ et des interférences, l'opérateur peut décider si la solution atteinte est satisfaisante ou non. Dans plusieurs cas, on effectue des améliorations qui peuvent prendre la forme d'un ajout de sites radio, de changement des caractéristiques des antennes telle que l'utilisation d'antennes de gains plus élevés pour étendre la couverture radio. La procédure de planification radio est alors un processus itératif dans le but est d'atteindre la solution optimale du point de vue coût, qualité de service, couverture et capacité.

### 3.3.3. Planification fixe des réseaux WLL

La planification fixe consiste à dimensionner les équipements nécessaires au réseau fixe [7]. On entend par réseau fixe, dans le cas des réseaux WLL, les contrôleurs de station de base (BSC), les équipements nécessaires pour connecter les sites radio aux BSCs et les BSCs au réseau téléphonique ainsi que les supports de transmission utilisés.

#### 3.3.3.1 Les données de la planification fixe

Lors de la conception de la structure du réseau (partie fixe), un opérateur de réseau WLL doit collecter un ensemble de données que nous pouvons classer comme suit :

**1. Données caractérisant la technologie :**

- Nombre maximal d'abonnés par contrôleur de station de base.
- Nombre maximal de stations de base par contrôleur.
- Les possibilités de connexions offertes par le système (équipements nécessaires et supports de transmission) entre les stations de base et les contrôleurs d'une part, et entre les contrôleurs et le réseau téléphonique d'une autre part

**2. Données caractérisant la zone:**

Avant d'entamer la planification fixe, l'opérateur doit collecter d'autres données concernant la zone d'étude. Ces données sont les suivantes :

- Contraintes concernant les supports de transmission et la nature des liaisons à utiliser entre les contrôleurs et les stations de base d'une part et entre les contrôleurs et le réseau téléphonique d'une autre part.

- Les supports de transmission existants dans la zone et qui peuvent être utilisés par l'opérateur.
  - Liste des emplacements possibles des contrôleurs et des autres équipements nécessaires (tels que les distributeurs de station de base pour le cas du système TAWA)
  - Coût de génie civil et des supports de transmission par unité de longueur
- Après la collecte de ces données, l'opérateur passe à la planification fixe.

### **3.3.3.2. Planification fixe**

La planification fixe consiste à déterminer la configuration du réseau fixe qui minimise les investissements tout en vérifiant les contraintes concernant la technologie utilisée et aussi les données de la zone à desservir par le réseau.

Tout d'abord, le nombre des éléments du réseau fixe peut être déduit à partir de la capacité du système. L'emplacement et la nature des liaisons entre les éléments du réseau fixe, les sites radio et le réseau téléphonique sont déterminés en fonction de la distribution géographique des sites sur la zone et aussi en fonction de la nature et des coûts des supports de transmission choisis à utiliser, et ceci en utilisant des algorithmes d'optimisation pour déterminer la position des équipements et le chemin des connexions qui minimisent le coût du réseau fixe .

### **3.3.4. Conclusion**

La planification d'un réseau radio n'est pas une tâche évidente, elle met en oeuvre de nombreux paramètres à dimensionner et elle est appelée à vérifier plusieurs contraintes. C'est un processus itératif qui commence avant l'installation du réseau et continue tout au long de son exploitation.

Pour réaliser cette tâche avec le plus de performances, des règles d'ingénierie sont présentes. Elles donnent tous les principes à suivre par l'opérateur lors de la phase de planification. Le but du chapitre suivant est alors de présenter et d'étudier ces règles qui vont être utilisées lors de l'élaboration des différentes procédures de planification à implanter sur l'outil logiciel à développé.

## 3.4. Spécification du cahier de charge du logiciel

### 3.4.1. Introduction

Ce projet consiste à réaliser d'un outil de planification adapté pour les systèmes TAWA WLL. A l'IITM (Indian Institute of Technology, Madras), deux projets sont sous études : le premier a pour sujet la propagation et la détermination des dimensions des cellules étant donné une quantité de paramètres tels que la morphologie des zones et les modèles de propagation, le second donne le coût de l'installation d'un réseau étant donné une configuration du réseau (coût de cartes, câbles ). Ce projet doit donc compléter ces deux travaux, il sera un outil qui détermine les positions des composants de la partie fixe et radio du réseau, en utilisant une variété de scénario de déploiements étant donné plusieurs paramètres réalistes tels que la disponibilité des MICs, câbles du cuivre, la densité des abonnés, le trafic par abonné et le taux de coupure. On a appelé cet outil TAWA-Plani.

Pour garantir un réseau TAWA-WLL optimisé, l'opérateur doit utiliser TAWA-Plani en premier lieu, ainsi, il détermine le nombre et les positions potentielles des sites de CBS, la configuration des antennes dans chaque site (Omnidirectionnelle ou directive), nombres de BSCs, BSDs...

Pour valider le bon positionnement des sites de CBS, il faut utiliser le deuxième outil, il donnera une idée sur l'efficacité de la couverture et les régions où le signal n'existe pas. Réutiliser le premier outil sera une nécessité pour assurer une couverture complète.

Finalement, comme la configuration de notre réseau est prête, il faut calculer le coût de cette installation. L'opérateur a la configuration du futur réseau et le coût correspondant, il décide, par conséquent, d'accepter ou de réutiliser tous les outils pour minimiser ce coût.

### 3.4.2. Quelques définitions

#### 3.4.2.1. La région :

C'est la zone sur la carte géographique qu'on va planifier.

### **3.4.2.2. Une zone**

Une partie de la région qui a sa propre densité d'abonnés, son trafic par abonné et la probabilité de blocage.

### **3.4.2.3. Site de stations de base (site de CBS) :**

Point unique d'emplacement d'une ou plusieurs stations de bases. Il peut être une tour, un poteau ou sur le toit d'un immeuble.

### **3.4.2.4 Cellule :**

La zone couverte par un site de stations de base.

### **3.4.2.5. Configuration d'un Site :**

C'est l'ensemble des stations de base d'un même site avec la nature des antennes utilisées. Deux types d'antennes sont disponibles, une antenne omnidirectionnelle avec un rayon de couverture de 180 degrés, une antenne directive avec un rayon de 60 ou 90 degrés.

## **3.4.3. Généralités sur l'outil de planification**

Notre outil de planification doit prendre soin d'un nombre de contraintes tel que

- Détermination des emplacements des sites des CBS.
- Minimisation du nombre de sites CBS.
- Donner une configuration en antennes de chaque site CBS en assurant une couverture globale, un trafic suffisant avec le taux de blocage exigé.

Prédiction du nombre des équipements fixe du réseau (BSCs et BSDs) pour assurer une installation complète pour tous les abonnés avec un taux d'extension en future de 25%.

Dans notre projet, nous nous concentrerons sur quatre axes de travail :

### **3.4.3.1. Densité d'abonné Quantifiée**

Un des points les plus important dans notre planification est la détermination des positions des sites de stations de base.

Usuellement, les planificateurs utilisent pour cela des cartes à trois dimensions (3D maps) des régions à servir, ils auront besoin des hauteurs des immeubles et des largeurs des rues pour bien appliquer leurs modèles de propagation et pour déterminer la hauteur des stations de bases à installer.

Puisque ce genre de cartes n'est pas toujours disponible et même s'il existe, il est cher, nous proposons d'utiliser des cartes à deux dimensions plus faciles à trouver. Pour valider les positions des sites CBS et la taille des cellules, il faudrait revenir à l'outil de propagation, néanmoins, notre outil doit intégrer une limitation sur la taille de ces cellules (voir § III.3.4.)

En général, les abonnés ne se repartissent pas d'une façon uniforme à l'intérieur de la région à servir. Leurs densités diffèrent d'une zone à une autre, d'un quartier à un autre. On trouve qu'un quartier d'habitation est beaucoup moins dense qu'un quartier d'affaires.

Par conséquent, l'utilisateur de l'outil doit définir et séparer ce genre de régions (probablement plusieurs régions). En suite, il aura à définir la résolution de la carte.

La résolution : c'est la longueur d'un carreau à l'intérieur duquel la densité des abonnés est supposée répartie d'une façon uniforme.

Cette résolution va permettre de quadriller la carte en un ensemble de carreaux. On suppose qu'une résolution de 50m à 100m est suffisante pour une région urbaine et que de 500m à 1km l'est pour des zones rurales.

Ainsi, on aura défini une carte quantifiée en densité d'abonné où les abonnés sont uniformément répartis. C'est ce qu'on appelle la densité quantifiée.

### **3.4.3.2. La disponibilité des câbles de cuivre**

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre II, les câbles de cuivre sont utilisés pour rattacher les stations de base aux contrôleurs (ESC). Si les câbles sont disponibles d'une manière distribuée, une configuration distribuée de CBS sera possible [5]. Autrement, on sera limité par leurs disponibilités ou à les installer

(coût en plus). Enfin, on peut utiliser les pylônes déjà installés (comme celles déployés pour les réseaux GSM), ça limite le degré de liberté des sites CBS mais cause une diminution des coûts d'installation.

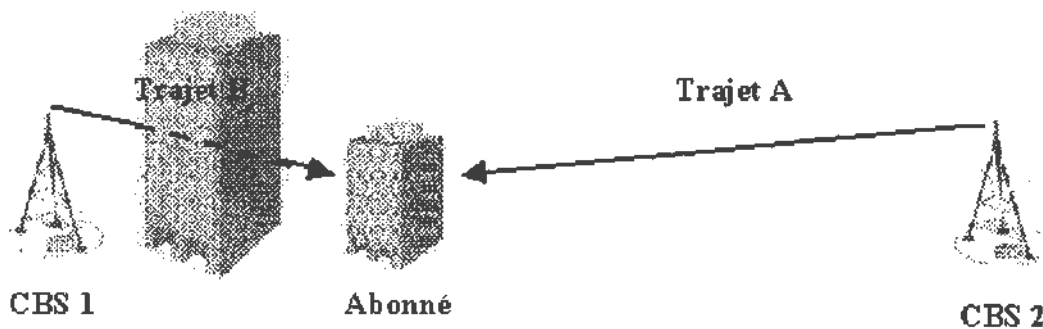
#### 3.4.3.3. Disponibilité des MICs

C'est nécessaire dans la mesure où ils représentent l'interface de connexion pour les BSDs et les BSCs. Donc elle influe sur le positionnement de ces deux éléments de base du réseau TAWA. L'absence des MICs cause des coûts supplémentaires pour l'opérateur (coût d'une nouvelle installation) et peut même entraîner l'annulation du projet.

#### 3.4.3.4. Taille maximale des cellules

Dans le système TAWA-WLL, il est possible d'atteindre 10 km de portée en visibilité directe [10].

Cependant dans les régions urbaines, il n'est pas toujours possible d'assurer cette visibilité. Il faudrait tenir compte des pertes causées par les immeubles. La portée du signal se dégrade à des distances inférieures à 10 km. Alors, un autre critère doit être introduit qui est la taille maximale des cellules. D'où, on doit fixer un rayon maximal inférieur à 10 km. Dans ce cas, le terminal abonné peut se connecter à la station de base la plus proche, de même il est très probable qu'il se connecte à des stations plus lointaines mais en visibilité directe.



**Figure 3.2** Effet de la limitation de la taille des cellules



## 3.5. Structure de L'outil de planification

### 3.5.1. Optimisation des positions des sites CBS

#### 3.5.1.1. Description de la région

Tout d'abord, on utilise comme donnée principale la carte géographique avec la densité d'abonnés quantifiée (voir § ni.3.1.). Ainsi, cette carte représente une matrice à deux dimensions. Les éléments de cette matrice représentent le nombre d'abonnés à l'intérieur de chaque carreau de la carte. Ces valeurs seront utilisées comme des poids dans l'optimisation qui va être définie par la suite au moyen de l'algorithme de groupage.

#### 3.5.1.2. L'algorithme de groupage (Clustering algorithm) [11]

« To cluster » signifie partitionner, le clustering n'est autre que le partitionnement des données, ce qui correspond à leur classification. En effet le clustering consiste à trouver des classes ou des groupes dans un ensemble de données. Les algorithmes utilisés pour partitionner les données en formants de nouveaux groupes sont appelés les algorithmes de groupage (clustering algorithms).

Une difficulté rencontrée avec beaucoup de ces algorithmes c'est qu'on doit spécifier à l'avance le nombre de clusters qu'on cherche. Le partitionnement créé peut être dur (chaque exemple est associé seulement à un cluster) ou mou (chaque exemple est associé de manière probabiliste à tous les clusters à des degrés divers).

Dans notre recherche des positions optimales des sites CBS, nous allons utiliser un algorithme de groupage. Au moyen de cet algorithme, nous allons tracer nos cellules d'abonnés et déterminer les positions des sites. Ainsi chaque groupe représentera une cellule couverte par un site CBS.

La difficulté à surmonter est le nombre de groupes et les positions initiales des sites, nous avons laissé la liberté à l'utilisateur de choisir entre une initialisation automatique ou manuelle.

Dans le cas automatique, l'outil aura à poser un nombre de sites égale au nombre total des abonnés divisé par 750. Nous avons supposé une interconnexion entre chaque site avec un BSC indépendant, or la capacité d'un BSC est de 1000

abonnés, donc nous avons laissé une extension possible de 25 % au future. Les sites auront des positions initiales totalement aléatoires mais dans des zones non vides.

Dans le cas manuel, l'utilisateur aura à poser librement les sites sur la région à planifier, avec le nombre qu'il souhaite. Il aura le choix entre assigner un site la propriété d'être fixe ou mobile. Un site qui a la propriété de la non mobilité ne change pas de position au cours de l'exécution de l'algorithme, ceci est justifié par le faite que l'opérateur va utiliser des pylônes déjà installés (comme pour la cas des pylônes de GSM). Alors qu'un site mobile changera de position vers une autre plus optimale au cours de l'exécution.

Le principe de notre algorithme de groupage est le suivant :

Notre carte est modélisée par une matrice dont les éléments sont le nombre d'abonnés dans chaque carreau. D'autre part, on dispose au départ d'un nombre de sites dispersés sur la carte. Appelons cette matrice ( $N$ ), elle possède  $I$  lignes et / colonnes. Pour chaque élément  $N_{ij}$ , nous posons  $Abs(N_{ij})$  et  $Ord(N_{ij})$  l'abscisse et l'ordonné du centre du carreau  $N_{ij}$ . En plus, la donnée site est un vecteur de  $K$  éléments, avec  $Abs(S_k)$  et  $Ord(S_k)$  l'abscisse et l'ordonné de  $S_k$ . On appelle  $distance(N_{ij}, S_k)$  la distance entre le centre du carreau  $N_{ij}$  et le site  $S_k$ .

On cherche à trouver pour chaque carreau le site le plus proche et on le lui assigne (voir la figure 3.3).

Pour  $i = 1 \dots I$ , pour  $j = 1 \dots J$ , trouver  $n$  tel que

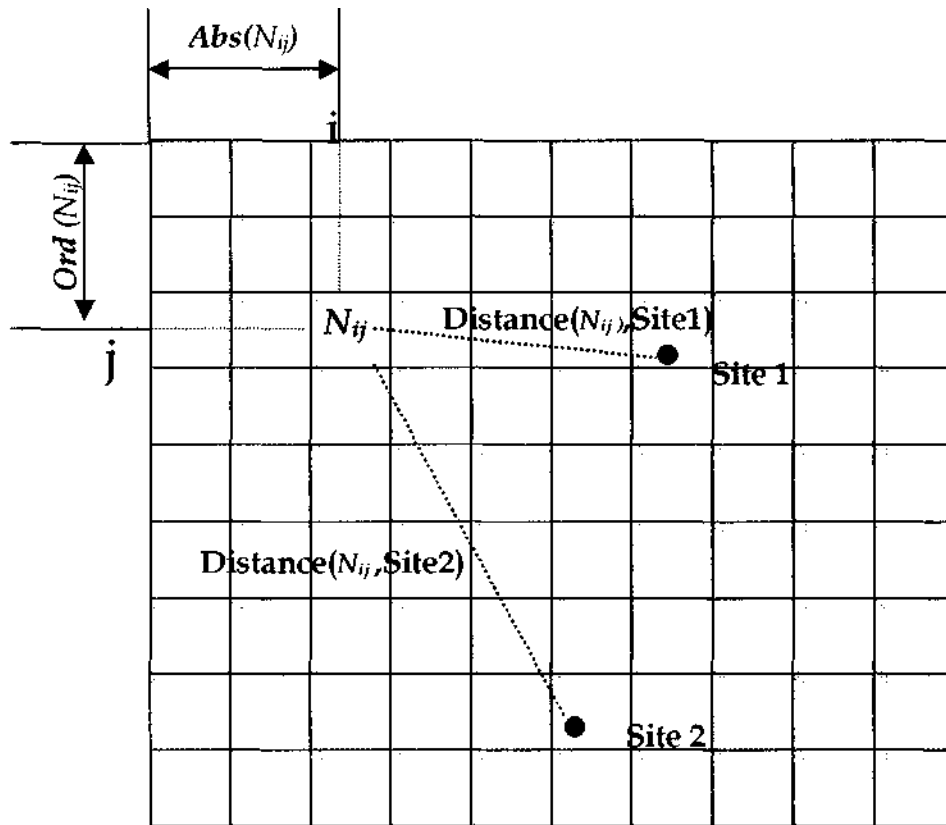
$$distance(N_{ij}, S_n) < distance(N_{ij}, S_k) \text{ pour tout } k = 1 \dots K.$$

En balayant tous les carreaux, on aura grouper tous les carreaux en un nombre de cellules égale au nombre de sites.

Ensuite, pour chaque cellule on cherche son centre de gravité pour l'affecter comme nouvelle position du site correspondant (si le site est mobile). Pour trouver ce centre de gravité il suffit de trouver l'abscisse et l'ordonné par les formules :

$$Abs(S_k) = \frac{\sum_{i,j} N_{ij} \times Abs(N_{ij})}{\sum_{i,j} N_{ij}} \quad \text{et} \quad Ord(S_k) = \frac{\sum_{i,j} N_{ij} \times Ord(N_{ij})}{\sum_{i,j} N_{ij}}$$

avec  $N_{ij} \in$  la cellule  $k$ .



**Figure 3.3** Modélisation de la carte géographique

Si le site est immobile alors on conserve les positions initiales pour chaque itération.

Ainsi, on a défini de nouvelles positions pour les sites. Il est possible maintenant de regrouper encore une fois.

Après plusieurs itérations, les positions des sites vont converger vers des points optimaux, on peut choisir comme critère pour mettre fin aux itérations le taux d'augmentation du carré de la distance entre les sites et les carreaux. En effet, à chaque itération on calcule pour chaque cellule « le nombre :  $\text{Distance}^2(N_{ij}, S_n) \times N_{ij}$  » avec  $N_{ij} \in \text{cellule } n$ ,

puis on fait la somme pour toutes les cellules. On a choisit un taux de 1% comme limite d'augmentation.

à la sortie des itérations, on aura trouver les positions finales des sites CBS.

### 3.5.2. Configuration des sites

#### 3.5.2.1. Les stations de base

Au niveau des stations de base, OMNIACOM utilise actuellement les antennes suivantes:

- Des antennes omnidirectionnelles de 2,4 et 6 dB de gain.
- Des antennes Directionnelles de 7.5 dB de gain et d'ouverture horizontale de 80 à 90°
- Des antennes Directionnelles de 12 dB de gain et d'ouverture horizontale de l'ordre de 60°.

#### 3.5.2.2. Capacité des stations de base

Plusieurs stations de base peuvent être montées sur le même site pour augmenter la capacité d'une cellule et aussi pour minimiser le nombre de sites radio [12].

Une combinaison d'antennes directionnelles et d'antennes omnidirectionnelles est possible pour améliorer la capacité, nous avons utilisé une méthode pour déterminer le nombre d'antennes exigé avec le déploiement associé pour une quantité de trafic donnée. En premier lieu on calcul le trafic à écouler sur une cellule, ensuite on cherche la configuration associée dans le tableau 3.2. Ce tableau est le résultat d'une simulation réalisée au sein de l'IITM[12] (simulation réalisée pour un taux de blocage de 1 %). par exemple, si on doit écouler sur une cellule un trafic de 60 Erlang, alors d'après le tableau on doit utiliser une configuration de six antennes directionnelles de 60 degrés et une antenne omnidirectionnelle, dans ce cas, on a une marge de six Erlang d'extension pour le future, ce qui correspond à 60 nouveaux abonnés pour un trafic de 0.1 Erlang par abonné.

Nombre de stations de base	Configuration d'antennes	Capacité (Erlang) à un taux de blocage =1%
1	Omni	5.8
2	Omni <sup>4</sup>	15.3
3	Omni	25.5
5	4 Dire <sup>5</sup> (80°)+1 Omni	36.0
6	4 Dire (80°)+2 Omni	54.0
7	6 Dire (60°)+1 Omni	57.0
8	6 Dire (60°)+2 Omni	74.0
9	8 Dire (80°)+1 Omni	80.0
10	8 Dire (80°)+2 Omni	95.0
11	9 Dire (80°)+2 Omni	110.0
13	12 Dire (60°)+1 Omni	114.0
14	12 Dire (60°)+2 Omni	135.0
19	18 Dire (60°)+1 Omni	174.0
20	18 Dire (60°)+2 Omni	196.0

**Tableau 3.2** Configurations et capacité des stations de base

<sup>4</sup> Omni : antenne omnidirectionnelle

<sup>5</sup> Dire : antenne Directionnelle

### 3.5.3. Choix du langage de programmation

TAWA-Plani a été développé sous un environnement de développement *Windows* basé sur le langage de programmation orienté objet : Delphi.

Le recours à un langage de programmation orienté objet est justifié par les avantages suivants : structuration des données en terme de clarté et de simplicité en manipulant les classes d'objets, la libération automatique de la mémoire allouée aux objets, etc.

Lors d'une conception orientée objet, on procède à une implantation progressive. En première étape, nous repérons les objets réels (dans notre cas : les équipements fixes du réseau cellulaire considéré). En seconde phase nous concevons des objets modélisant ces objets réels et enfin ces objets seront implantés comme objets informatiques. Un objet, dans le sens informatique du terme, est défini par ses caractéristiques propres (des données membres) et par son comportement (des méthodes). Une classe d'objets est une description des variables et des méthodes d'objets similaires, de même identité. Un objet est donc une instance d'une classe. Il définit les variables avec ses propres valeurs et partage les instances avec les autres instances de la classe [13].

### 3.5.4. Méthodologie utilisée

Lors de l'implantation du logiciel, nous commençons par la conception orientée objet. La procédure de cette implantation doit être progressive.

Au début, on s'arrange à repérer les objets réels de telle sorte qu'ils représentent le mieux l'environnement de simulation formé de carreaux et de CBSs comprenant des propriétés radio spécifiques et une position sur la carte.

Ainsi, l'étape suivante repose sur la conception des objets modèles qui sont des modèles de représentation de ces objets réels.

Après cette reformulation, on implante ces objets en tant qu'objets informatiques répondant aux exigences du langage BORLAND DELPHI.

Enfin, on manipule ces objets à l'aide de procédures tout en répondant au cahier des charges du logiciel.

### 3.5.5. Les objets utilisés

Dans notre application nous utilisons les objets suivants :

#### 3.5.5.1. L'objet environnement

C'est l'objet autour duquel tourne l'application. Ses membres se composent de données soit servant d'entrée pour l'outil de planification soit réalisant des résultats de calcul.

Parmi ces membres, on peut citer les suivants :

1. Longueur, largeur et résolution de la carte géographique.
2. Identificateur de la zone.
3. trafic par abonné par zone.
4. probabilité de blocage qui détermine la qualité de service.
5. nombre d'abonnés par zone.
6. nombre et positions initiales des sites CBS.

Ces données permettent de trouver la configuration du réseau la plus optimale possible en terme de nombre, de position et de configuration des stations de base.

Cette configuration est enregistrée dans la donnée résultat suivante : 7. liste des stations.

#### 3.5.5.2. L'objet station

Il comporte les données suivantes :

1. identificateur de la station(son numéro)
2. abscisse.
3. ordonnée.
4. configuration de la station de base.
5. l'élément du réseau fixe avec lequel il est relié (BSC ou BSD).

#### **3.5.5.1. L'objet cellule**

Il comprend les membres suivants :

1. Identificateur du site CBS correspondant.
2. nombre d'abonnés dans cette cellule.
3. trafic à générer dans cette cellule.
4. listes des carreaux appartenant à cette cellule.

Ne sont indiquées ici que les classes ayant un impact direct sur la structure de l'application. D'autres classes non citées qui sont incorporées automatiquement par l'environnement de travail de BORLAND DELPHI tel que la classe FORM, la fenêtre principale, les boîtes de dialogue,...

### **3.5.6. Paramètres d'entrée et de sortie et principales fonctions utilisées**

#### **3.5.6.1. Paramètres d'entrée**

##### **✓ Données géographiques**

Ce sont des données générales décrivant l'environnement sur lequel on va planifier le réseau.

Nous avons choisi deux environnements de travail, urbain et rural. La seule différence entre eux est la résolution permise qui est plus petite en milieu urbain (plus dense) qu'en milieu rural.



Ensuite l'utilisateur aura à délimiter les zones sur la carte, c'est le deuxième point dans la donnée géographique.

Le dernier point et le nombre initiale des sites CBS ainsi que leurs positions initiales.

✓ Données de la partie radio

Pour chaque zone, on aura besoin du trafic à générer par abonné, de la probabilité de blocage maximale qui détermine la qualité de service.

✓ **Les données du réseau**

Le nombre d'abonnés par zone qui détermine la densité de trafic. On choisit une résolution qui laisse l'approximation de la distribution uniforme à l'intérieur de chaque carreau de la zone valable.

### **3.5.6.2. paramètres de sortie**

1. La taille des cellules (nombre de carreaux appartenant à cette cellule).
2. nombre d'abonnés par cellule.
3. nombre, emplacement et configuration de chaque site CBS.
4. l'élément du réseau fixe avec lequel il est relié chaque site CBS.

### **3.5.7 Principe de la méthodologie adoptée pour l'outil**

Tout d'abord, il faut déterminer le type de l'environnement de travail. Cela implique l'introduction de toutes les caractéristiques nécessaires de la région à planifier. Le point le plus important dans cette étape est la délimitation de la région en un nombre de zones en donnant le trafic dans chaque zone par abonné.

Ensuite, il faut établir une configuration initiale du réseau se résumant par le nombre et les positions initiales des sites CBS.

Par la suite, il faut lancer l'algorithme de groupage. Ce dernier donne une délimitation de la région en cellules couvertes par des sites de CBS en donnant le nombre d'abonnés par cellule et la configuration de chaque site.

Si la condition du rayon maximale des cellules n'est pas respectée, alors une densification du réseau en site s'avère nécessaire. En outre, si une cellule contient un nombre faible d'abonnés, alors, pour des raisons de coût, on peut l'éliminer et regrouper de nouveau. Enfin, si une cellule contient un nombre très grand d'abonnés de façon que le site CBS correspondant n'arrive pas à servir tous les abonnés, alors il faut densifier le réseau.

Ainsi de suite, on regroupe plusieurs fois jusqu'à remplir les conditions du cahier de charge (Voir l'organigramme dans la figure 3.4 illustrant le principe de l'outil sous forme algorithmique)

### **3.6. Conclusion**

Ce chapitre est une description des procédures de planification implantées dans l'outil logiciel réalisé dans ce projet. Il présente une brève description de ses fonctionnalités et de la méthodologie suivie.

Le chapitre suivant s'intéressera à la présentation de l'organisation de ces procédures ainsi que l'acquisition des données et la visualisation des résultats dans le logiciel réalisé.

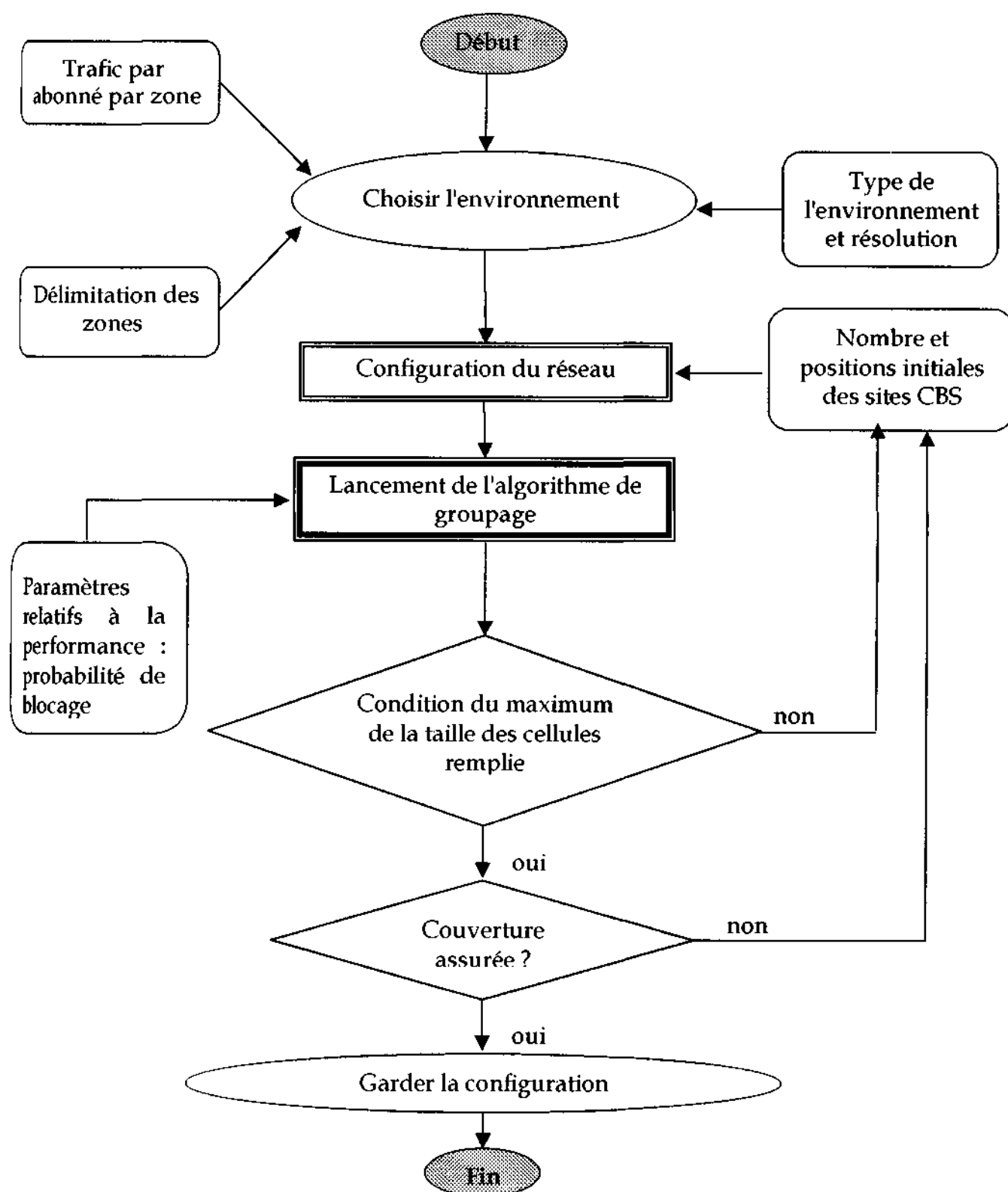


Figure 3.4. Organigramme de la méthodologie adoptée pour TAWA-Plani

## **Chapitre 4**

### **Réalisation de l'outil de planification**

#### **4.1. Introduction**

Nous avons présenté dans le chapitre précédent le cahier des charges du logiciel avec une brève description de ses fonctionnalités et de la méthodologie suivie. Dans ce chapitre, nous allons décrire la réalisation de l'outil logiciel d'aide au dimensionnement des réseaux TAWA, dont les procédures et les fonctions ont été détaillées dans le chapitre précédent. Pour cela, nous allons présenter la façon avec laquelle l'acquisition des données, les procédures de planification, le dialogue avec l'utilisateur ainsi que la visualisation des résultats sont réalisés et présentés. Cet outil est conçu pour être utilisé lors de la planification des réseaux TAWA. On tient compte pour les performances exigés par l'opérateur pour garantir un réseau optimisé tout en satisfaisant la qualité de service et une couverture maximale.

Dans ce chapitre, nous allons décrire les différents modules implantés et les situations dans le cadre de notre projet de fin d'études.

Les interfaces utilisateur développées seront également présentées et argumentées de sorte à remplacer un manuel d'utilisation du logiciel. Ce présent chapitre comporte aussi les perspectives d'avenir du logiciel réalisé permettant de le faire évoluer.

#### **4.2. Différents modules implantés**

L'outil de planification TAWA-Plani vise à réaliser la planification et l'aide au dimensionnement des réseaux TAWA. Il a pour avantage la possibilité de traiter les cartes numériques, ce qui représente une aide précieuse pour l'opérateur. Il offre un ensemble de fonctions de gestion et de traitement de l'ensemble des paramètres de l'interface radio et du réseau fixe pour aider l'utilisateur à trouver la solution optimale du point de vue coût, qualité de service et capacité.

Les principales fonctions de l'outil logiciel développé sont les suivantes :

1. trouver le groupage le plus optimal (clustering) de la région à planifier en cellules.
2. chercher le nombre, l'emplacement et la configuration en antennes de chaque site de CBSs.
3. détermination du nombre de contrôleurs de stations de base (BSCs).
4. élaboration d'un plan de connexion entre les contrôleurs de stations de base (BSCs) et les sites de CBSs.
5. détermination du nombre et de l'emplacement des distributeurs de stations de base nécessaires.

Pour y parvenir, nous avons développé un nombre de module fondamentaux pour réussir la planification.

#### 4.2.1. Module 1 : Acquisition des données

C'est un module de traitement automatique des données. Il inclut les procédures de planification radio et fixe des réseaux TAWA à partir des données entrées par l'utilisateur.

#### 4.2.2. Module 2 : Le groupage (thé Clustering)

Au moyen de ce module, nous allons tracer nos cellules. Il nous permet de grouper les abonnés d'une façon optimale. Il tient compte du nombre de sites possible à implanter d'une part, et de la densité variable des abonnés d'une zone à une autre d'autre part. Il implémente l'algorithme de groupage déjà expliqué dans le chapitre précédent.

#### 4.2.3. Module 3 : Tracé des sites

il s'agit de tracer les limites des cellules à la sortie du module de groupage. Ce module cherche aussi la position du site CBS correspondant à chaque cellule tracée, en calculant son centre de gravité à l'aide de l'algorithme de groupage.

#### 4.2.4. Module 4 : Détermination de la quantité de trafic générée

Ce module trouve le nombre d'abonné appartenant à chaque cellule. Ensuite il détermine la quantité de trafic à générer par cellule.

#### 4.2.5. Module 5 : Détermination de la configuration des antennes

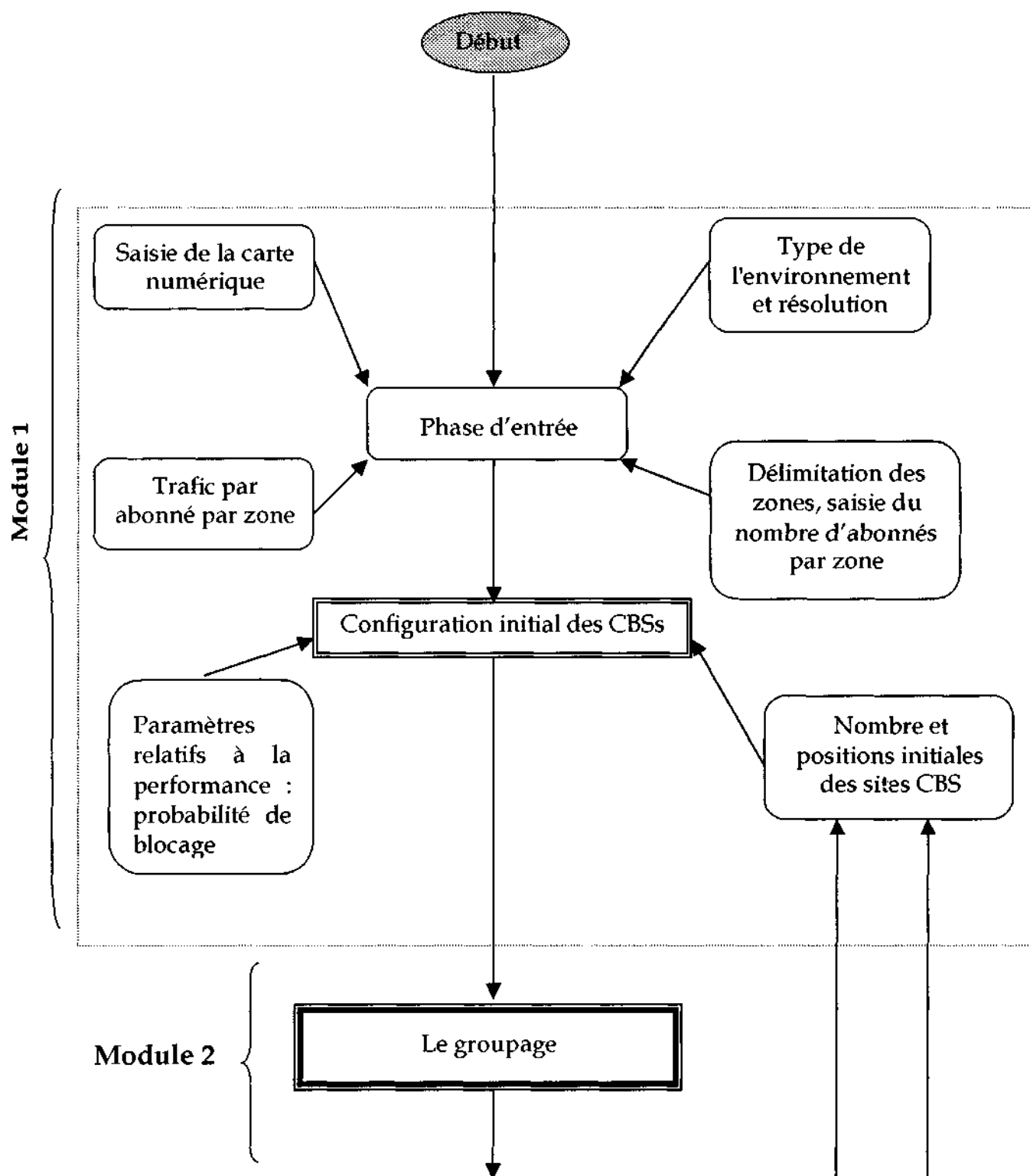
Il s'agit de chercher la configuration en antenne sur chaque site de CBSs qui assure la quantité de trafic exigée.

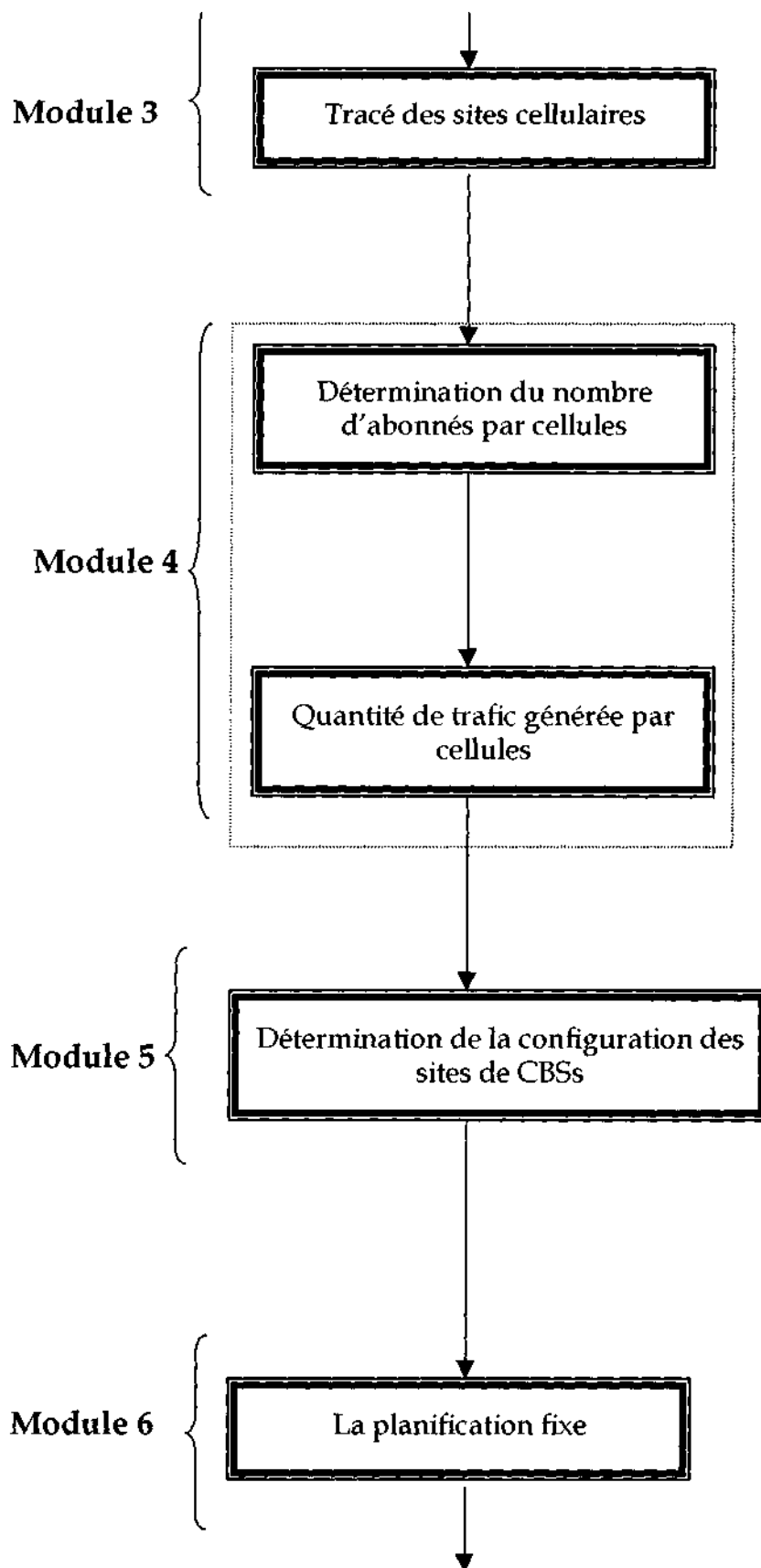
#### 4.2.6. Module 6 : Planification fixe du réseau

Ce module détermine l'interconnexion entre chaque site de CBSs et l'élément fixe du réseau. Il s'agit de trouver le nombre de BSCs et de BSDs et leurs positions afin de supporter la planification radio déjà implanté dans les modules précédents.

### 4.3. Organigramme

La figure 4.1 illustre les différents modules développés dans l'organigramme général.







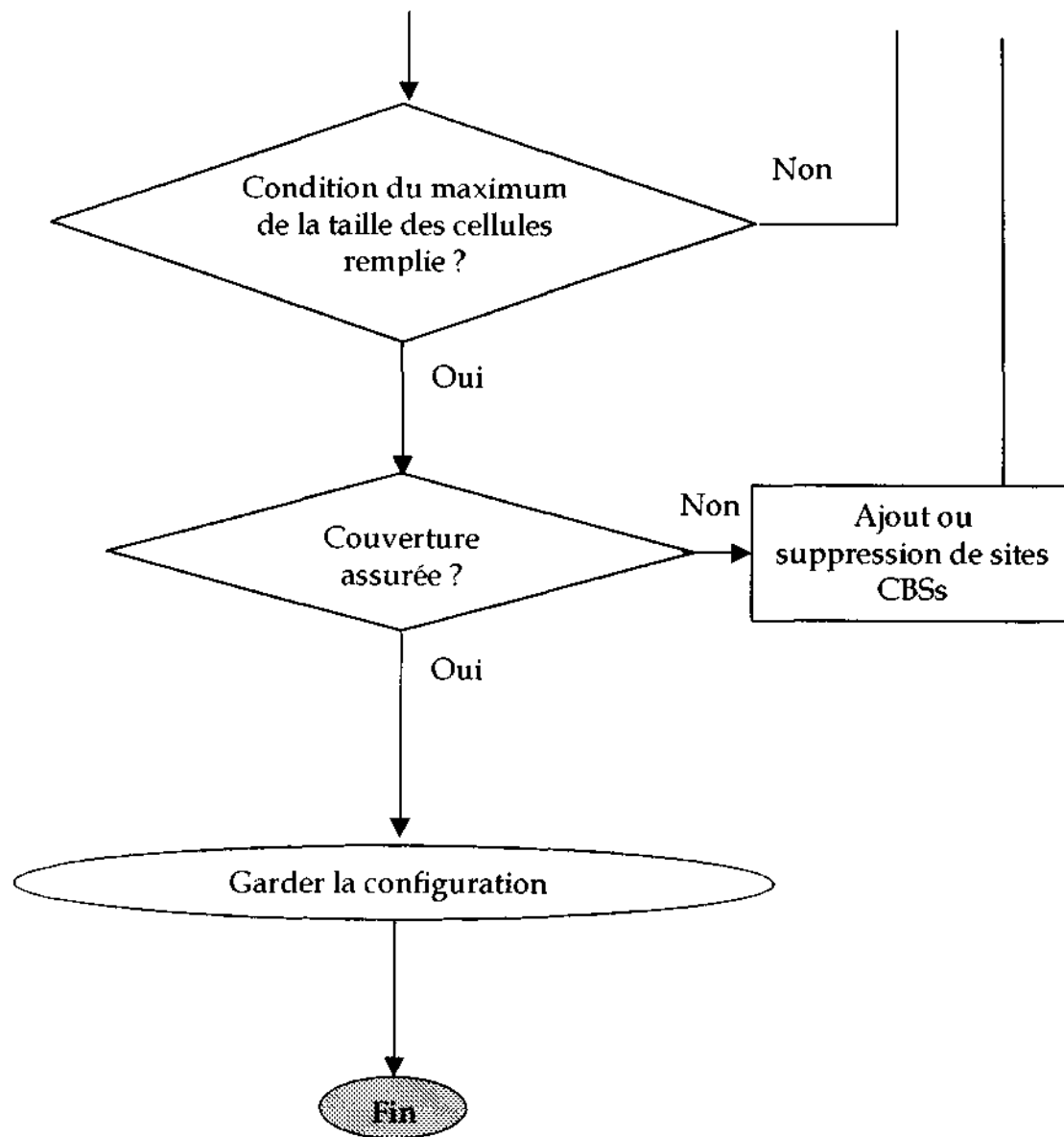


Figure 4.1. Organigramme de l'outil

## 4.4. Description du processus de planification

En première étape, nous commençons par saisir la carte numérique à planifier. Nous avons choisi le format BITMAP (Fichier.bmp) qui est le plus courant. Ensuite, on introduit la résolution de cette carte qui permet d'assurer une uniformité dans la distribution des abonnés (cette condition est vérifiée si on choisit une résolution petite par rapport aux dimensions de la carte). La taille maximale des cellules est également introduite avec les données de la partie radio. A la sortie de cette démarche, la carte apparaît comme une grille dont la distance entre chaque nœud est la résolution choisie.

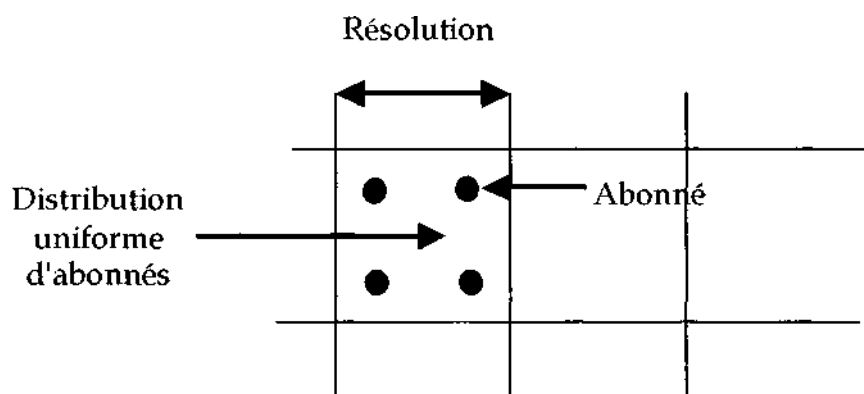


Figure 4.2. Illustration de la résolution

En deuxième étape, on délimite la carte en un nombre de zones, le but dans cette opération est de séparer les zones de densités différentes (zone industrielle, zone d'habitation,...). Ensuite, on introduit les données relatives à chaque zone à savoir le nombre d'abonnés par zone, le trafic à fournir par abonné et le taux de blocage associé.

La troisième étape consiste à choisir une configuration initiale des CBSs. Dans ce cas, l'utilisateur aura le choix entre une initialisation automatique où l'outil place aléatoirement, mais dans des zones non vides, les CBSs, ou bien manuellement en utilisant la souris. D'autre part, nous avons créé deux propriétés pour l'initialisation, une station mobile ou une station fixe qui ne change pas de position lors du traitement (voir chapitre 3 § IV.1.2).

Dans la quatrième étape et à la sortie de l'algorithme de groupage, l'outil trace les limites des cellules en illustrant le nombre d'abonnés appartenant à chaque cellule. Si l'utilisateur juge qu'une cellule contient un nombre très faible d'abonnés ( $< 100$ ), alors il peut éliminer la station correspondante pour regrouper encore une fois. De même, il a l'opportunité d'ajouter de nouvelles CBSs pour densifier le réseau s'il s'aperçoit que les cellules sont encombrées d'abonnés.

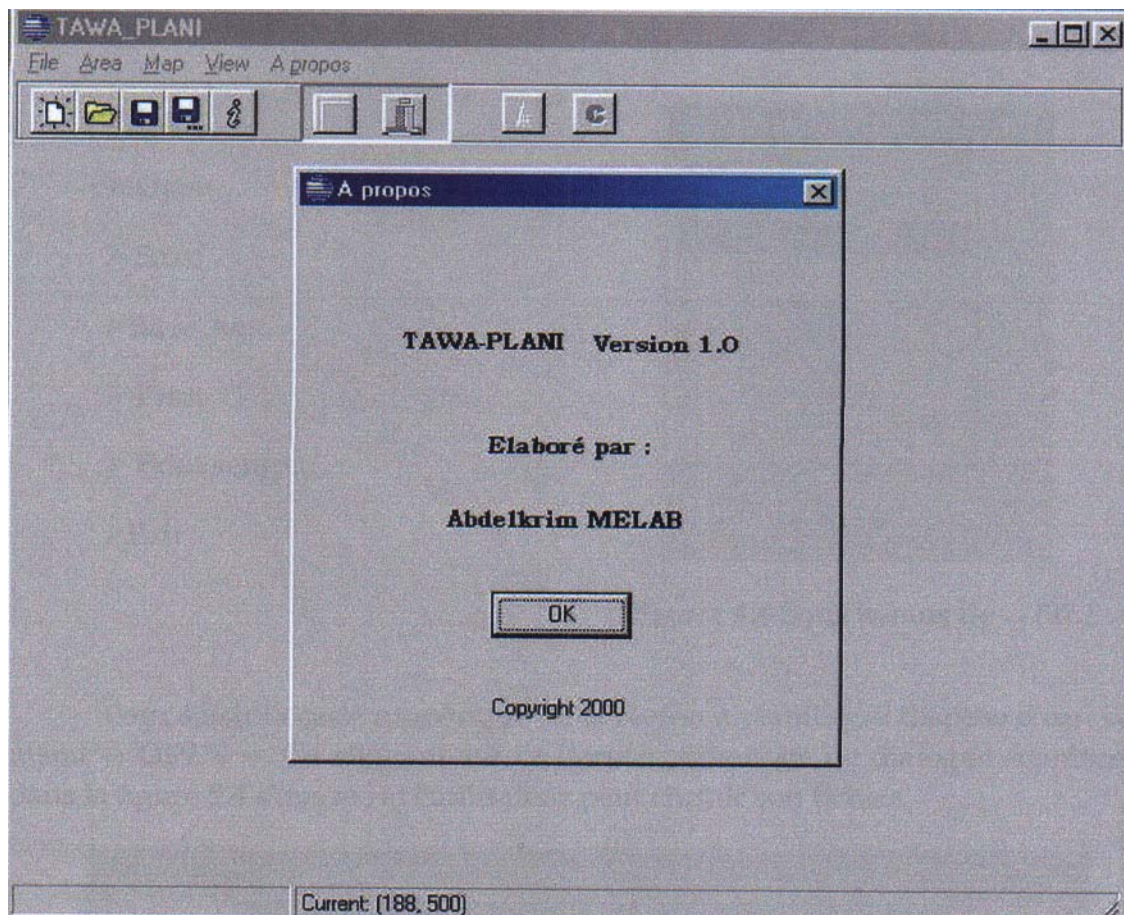
Enfin, on procède à la planification fixe pour déterminer la configuration finale de notre réseau optimisé.

## 4.4. Interface utilisateur développée

### 4.4.1. Fenêtre principale de l'outil

La fenêtre principale comme apparaît dans la figure 4.3. est composée de cinq menus :

- File : il représente toutes les fonctions de traitement sur les cartes numériques. Il inclut l'ouverture, l'enregistrement et l'impression.
- Area : pour introduire toutes les données relatives à l'environnement de planification (la région à planifier).
- Map : il contient toutes les entrées qui caractérisent l'algorithme de groupage (l'optimisation).
- View : un outil pour visualiser la carte, la planification, et les résultats
- About : c'est le 'A PROPOS' de l'application.

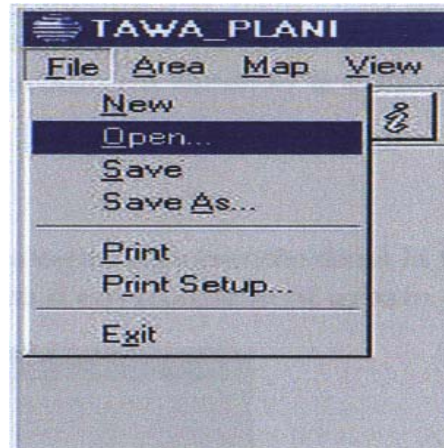


**Figure 4.3** Fenêtre principale de l'outil

#### 4.4.2. Menu FILE

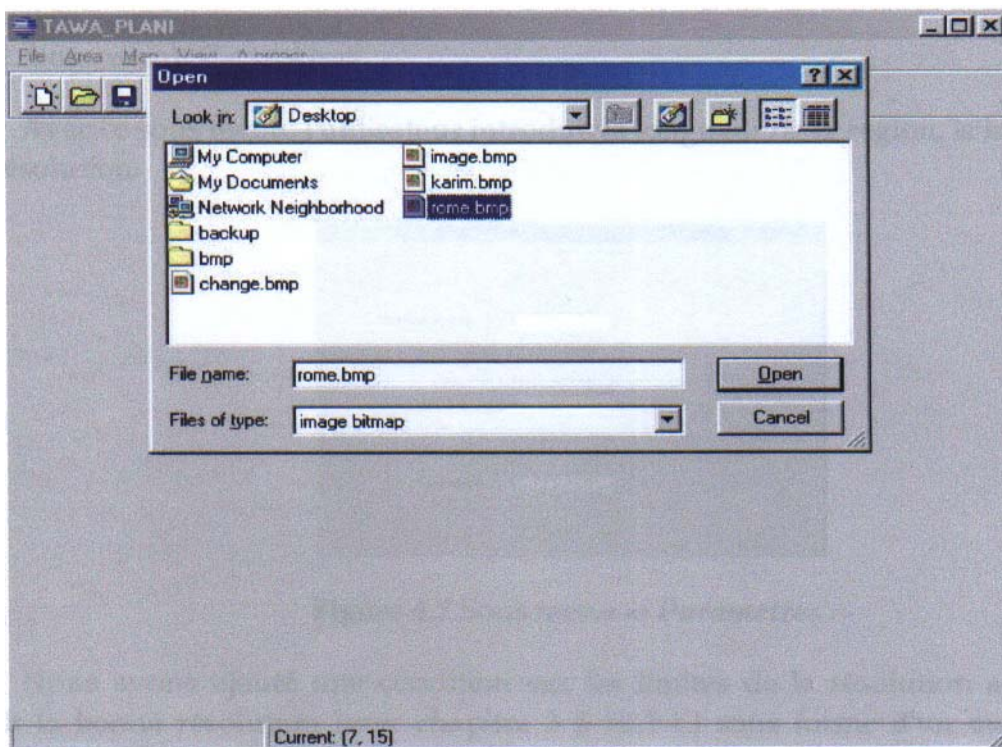
Pour commencer, l'utilisateur de cet outil dispose d'un menu principal «*FILE*». Ce menu offre toutes les opérations nécessaires de traitement sur les cartes numériques à savoir l'ouverture, l'enregistrement et l'impression. Un autre sous menu «*NEW* » est disponible et qui a pour utilité la réinitialisation de la planification. Les sous menus de «*FILE* » sont :

- New
- Open...
- Save
- SaveA..
- Print
- Print
- setup...



**Figure 4.4** Sous menus de « *FILE* »

Pour saisir la carte numérique de la région à planifier, il dispose d'un sous menu « *OPEN* ». En cliquant sur ce dernier, une boîte de dialogue représentée dans la figure 5.4 s'ouvre ; et l'utilisateur peut choisir son fichier.



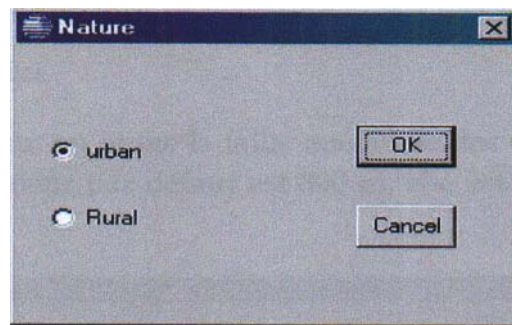
**Figure 4.5** Saisie de la carte numérique

### 4.4.3. Menu Area

Avec ce menu, on dispose de trois sous menus qui permettent de spécifier les caractéristiques de la région. Ces caractéristiques incluent la longueur, la largeur, la résolution, la nature de la région (urbain ou rural) et la taille maximale des cellules.

#### 4.4.3.1. Sous menu Nature

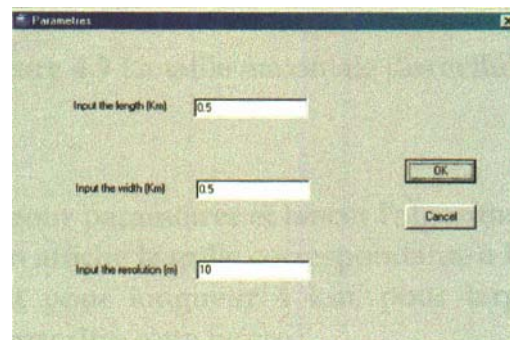
En choisissant ce menu, une boîte de dialogue représentée dans la figure 4.6 s'ouvre, l'utilisateur peut choisir entre un milieu d'environnement urbain ou rural.



**Figure 4.6** Sous menu «*Nature* »

#### 4.4.3.2. Sous menu Paramètres

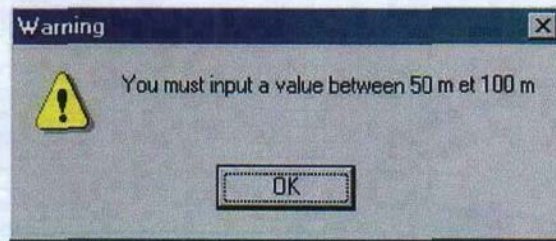
Avec ce sous menu, l'utilisateur introduit la longueur de la région, la largeur et la résolution.



**Figure 4.7** Sous menu «*Paramètres* »

Nous avons ajouté une condition sur les limites de la résolution afin de choisir la bonne résolution (voir chapitre 3 § III.3.1.) sous forme d'un message d'erreur. Par exemple, si l'utilisateur choisit une zone urbaine, alors cet avertissement apparaît s'il introduit une valeur non comprise entre 50 et 100 m.

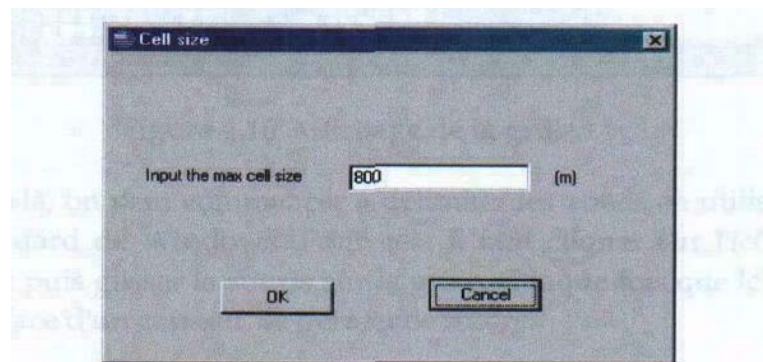




**Figure 4.8** Message d'erreur si la valeur de la résolution n'est pas valide

#### 4.4.3.3 Sous menu Cell size

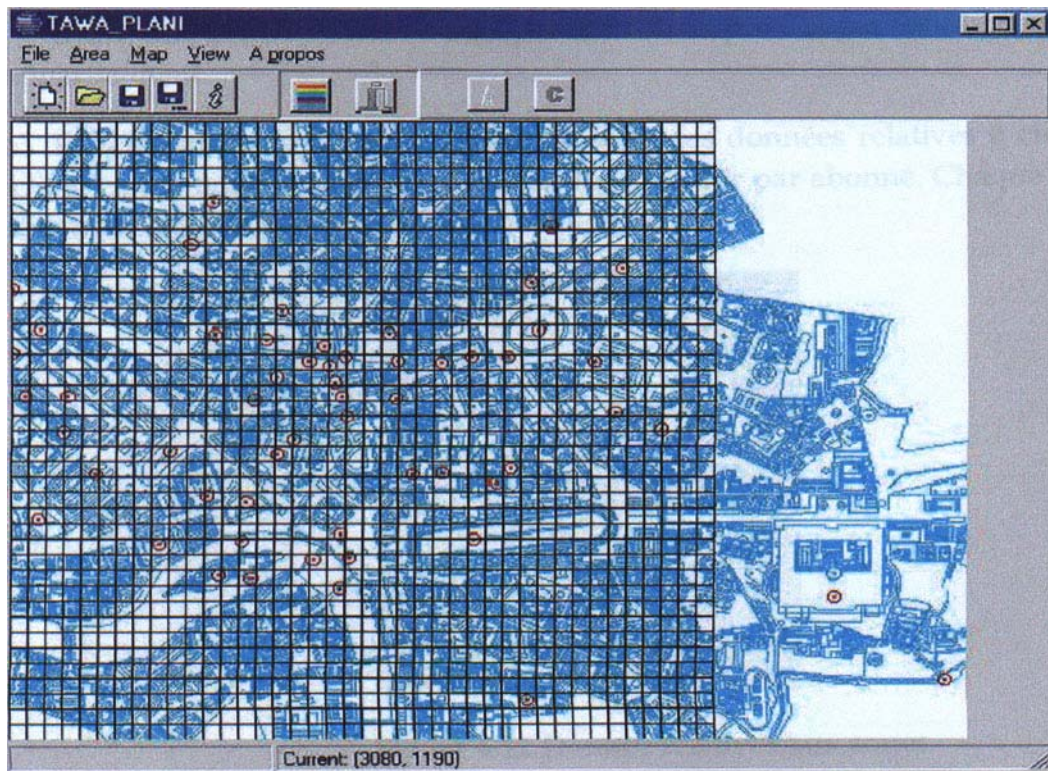
Avec ce sous menu, on limite la taille maximale des cellules, l'unité choisit doit être en mètre. La valeur par défaut est 800 m, elle est convenable pour une zone très dense.



**Figure 4.9** La taille maximale des cellules

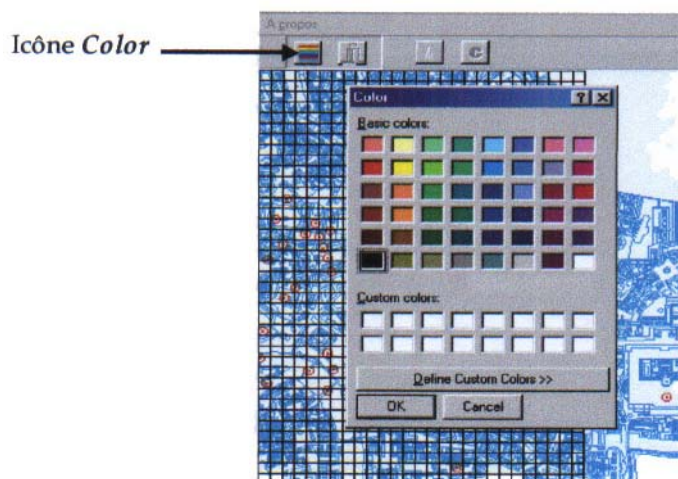
#### 4.4.4. Menu MAP

Ce menu est utilisé pour paramétrer et lancer l'algorithme de groupage. En cliquant sur « *Display* » on affiche la grille correspondante à la résolution choisie. Par exemple, si on choisit pour longueur 4 km, pour largeur 4 km et pour résolution 100 m on voit apparaître cette figure :



**Figure 4.10** Affichage de la grille

A ce stade là, on peut commencer à délimiter les zones en utilisant la boîte de dialogue standard de Windows. Pour cela il faut cliquer sur l'icône *color* et choisir la couleur puis glisser la souris sur la grille. Chaque fois que le pointeur se trouve sur la surface d'un carreau, ce dernier se colore.

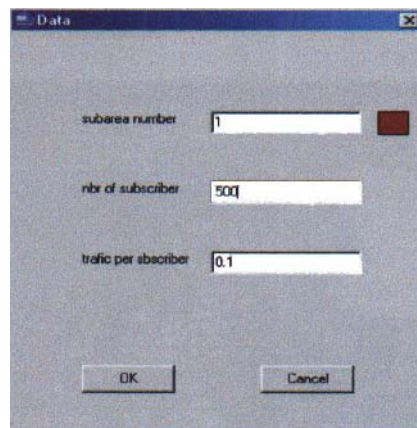


**Figure 4.11** coloration



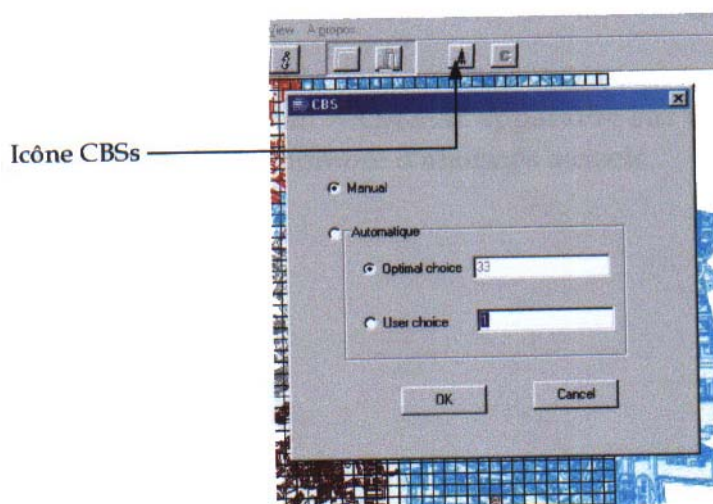
Donc, une zone se caractérisera par sa couleur prise et par les carreaux qui lui appartiennent.

Le sous menu « *Data* » permet de saisir les données relatives à chaque zone à savoir le nombre d'abonnés et le trafic à fournir par abonné. Chaque zone est identifiée par son numéro ou par sa couleur.



**Figure 4.12** Donnée relatives aux zones

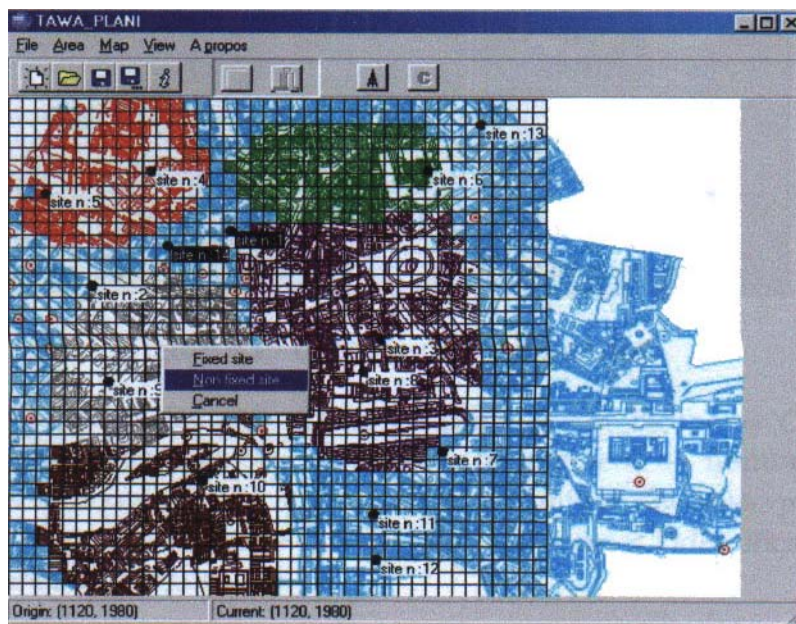
Pour lancer l'optimisation, il ne reste qu'à donner une configuration initiale des sites de CBSs. L'utilisateur dispose d'une icône pour l'exécuter, une fois cliquée, une boîte de dialogue apparaît, elle sert à choisir entre une initialisation automatique ou manuelle et le nombre de sites associés (voir chapitre 3 § IV.1.2.).



**Figure 4.13** initialisation des sites CBSs

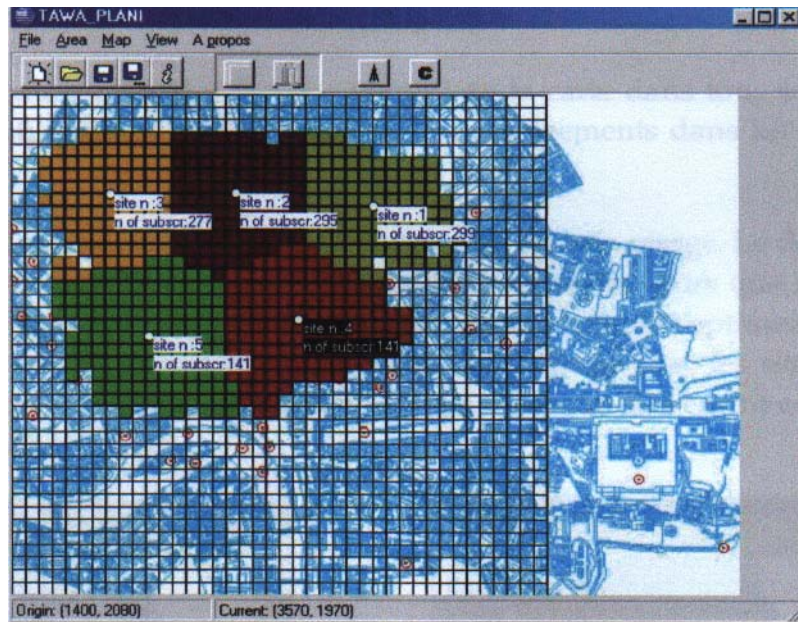
Avec l'option manuelle, chaque clique sur un point de la carte dessine un site. Alors que pour l'option automatique, c'est l'outil qui place les sites (voir chapitre 3 § IV.1.2).

Pour la première option, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton droit de la souris. Un menu contextuel apparaît incluant la propriété de mobilité ou d'immobilité des sites CBSs. Les sites dont le fond est noir sont les sites fixes alors que les sites blancs sont les sites mobiles.



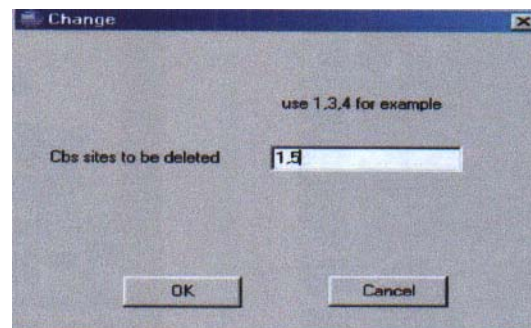
**Figure 4.14** L'option manuelle dans l'initialisation des sites CBSs

il est maintenant possible de lancer l'optimisation, pour cela, il faudra cliquer sur le sous menu « Run ». On voit apparaître sur la carte les cellules d'abonnés avec les sites et le nombre d'abonnés associé.



**Figure 4.15** La sortie de l'optimisation

On peut ajouter des sites CBSs, en cliquant sur l'icône « CBS », pour densifier le réseau si on juge que les cellules contiennent un nombre important d'abonnés (>1000 abonnés). De même, on peut éliminer des sites, pour cela, on dispose du sous menu « *Change* » où il suffit de donner l'identificateur du site pour le supprimer (voir figure 4.16).



**Figure 4.16** Suppression de sites

Après la suppression des sites, on peut relancer l'optimisation. Les sites restants conservent leurs nouvelles positions comme valeurs initiales pour l'optimisation. Ceci accélère la convergence de l'algorithme.



#### 4.4.5. Menu View

Ce menu est dédié à la visualisation de la carte dans tous ses états. Il est utile pour l'utilisateur pour s'apercevoir des changements dans les positions des sites CBS.

Le sous menu « *map* » permet de revoir la carte vierge. Le deuxième sous menu à savoir « *grid* » permet de visualiser les zones alors que le sous menu « *clusters* » est utilisé pour afficher les cellules (la sortie de l'optimisation) et enfin le sous menu « *planned map* » donne la carte vierge avec les sites de CBS, ce dernier est important pour l'opérateur car il lui indique clairement où installer ses sites potentiels.

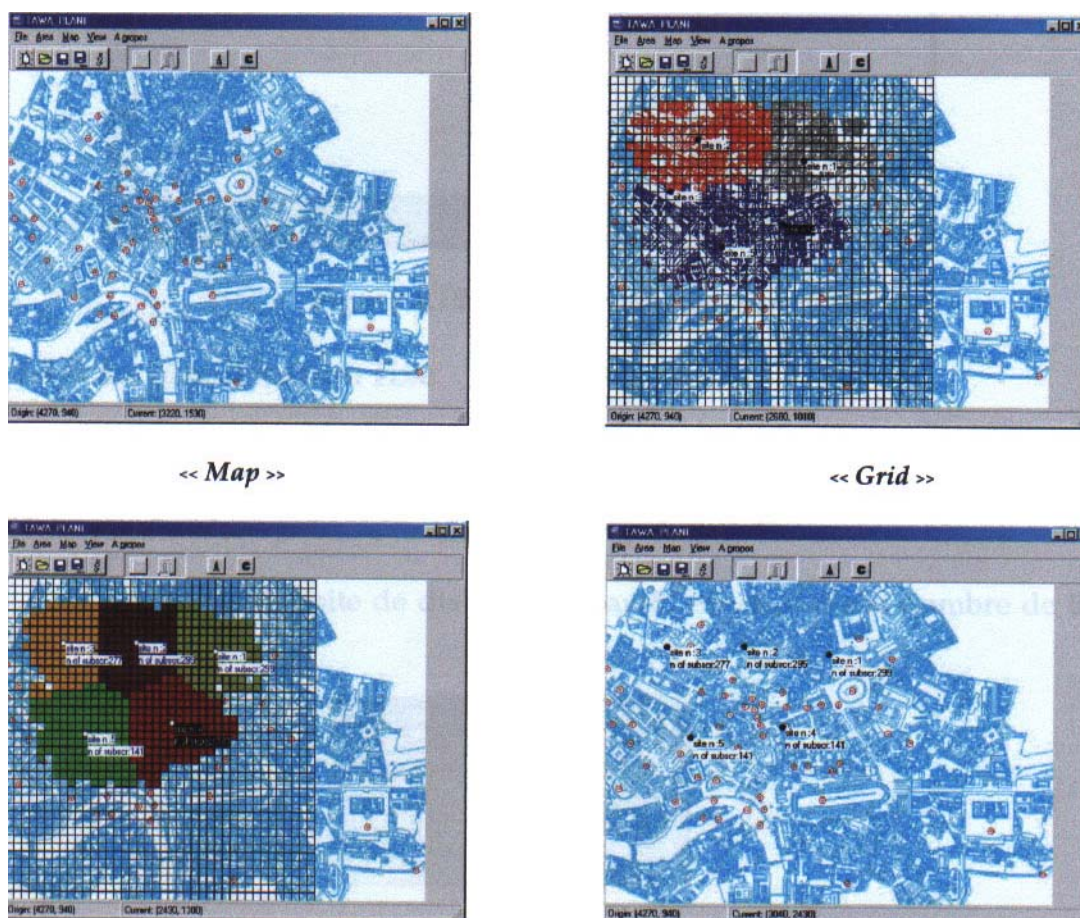
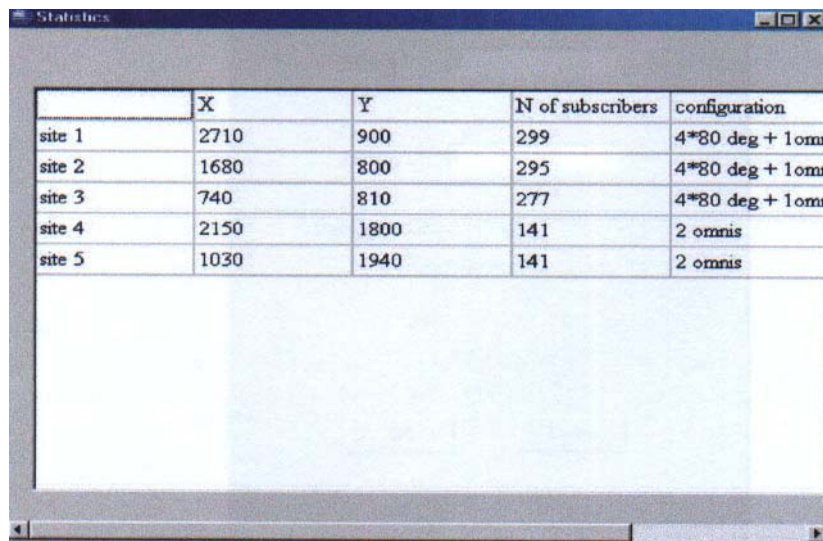


Figure 4.17 Visualisation de la carte avant et après l'optimisation

Pour la visualisation des propriétés de chaque site de CBS, il suffit de cliquer sur le sous menu « *Statistiques* ». Ce sous menu permet de donner les

positions d'un site sur la carte (abscisse et ordonnée), le nombre d'abonnés appartenant à la cellule correspondante et la configuration des antennes (nombre d'antennes omnidirectionnelles et directionnelles ) comme l'indique la figure 4.18 pour un exemple.



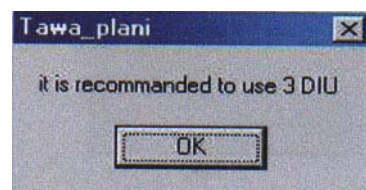
	X	Y	N of subscribers	configuration
site 1	2710	900	299	4*80 deg + 1omn
site 2	1680	800	295	4*80 deg + 1omn
site 3	740	810	277	4*80 deg + 1omn
site 4	2150	1800	141	2 omnis
site 5	1030	1940	141	2 omnis

**Figure 4.18.** Les propriétés des sites CBS

#### 4.4.6. La planification fixe

C'est la dernière partie dans la planification et dans notre application. Pour l'exécuter, l'utilisateur a deux choix, entre le sous menu « *configuration* » ou bien l'icône « *C* » dans la barre de tâche (c)

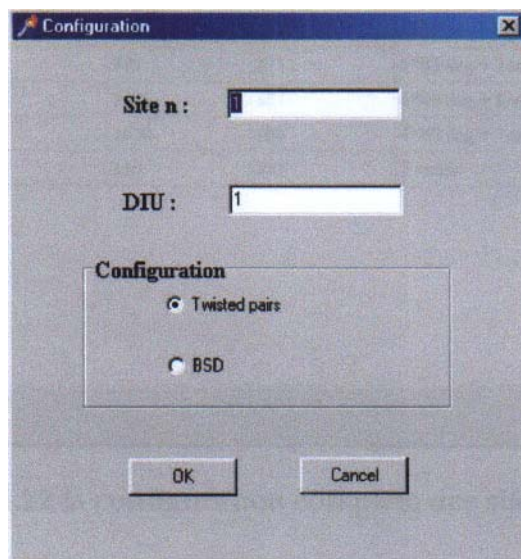
Un première boîte de dialogue apparaît, elle indique le nombre de BSCs à installer.



**Figure 4.19.** Le nombre de BSCs suggéré par l'outil

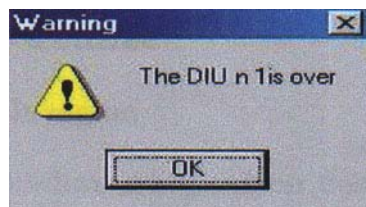
En suite une deuxième boîte de dialogue apparaît, elle sert comme interface entre l'utilisateur et l'outil pour assurer la planification fixe.

Comme expliqué dans le chapitre 2, un site de CBS s'interconnecte directement à un ESC en utilisant des paires de cuivre, ou bien en utilisant des distributeurs de stations de base.



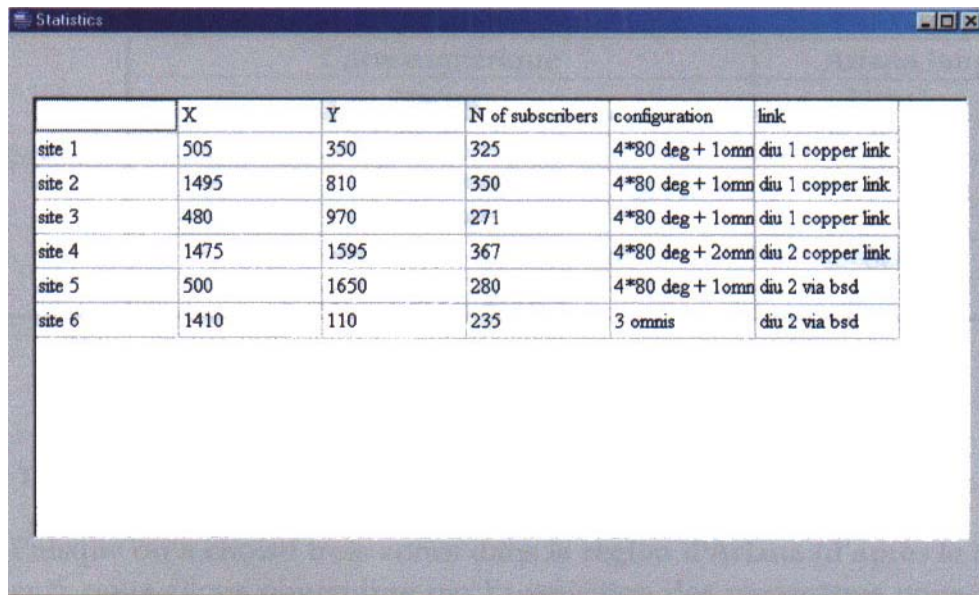
**Figure 4.20** La planification fixe

Puisque un ESC ne peut pas supporter plus de 1000 abonnés, alors un message d'erreur apparaît lorsque un des BSCs est saturé, dans ce cas, l'utilisateur doit assigner le site en cour à un ESC non saturé ou bien il crée un autre.



**Figure 4.21** message d'erreur sur la capacité d'un ESC

Si on revient au sous menu « *Configuration* », on remarque que la dernière colonne du tableau des statistique contient de nouvelles informations. Donc, pour chaque site, on connaît l'identificateur du ESC dont il doit être rattaché et la nature de la liaison. *f*



	X	Y	N of subscribers	configuration	link
site 1	505	350	325	4*80 deg + 1omn	diu 1 copper link
site 2	1495	810	350	4*80 deg + 1omn	diu 1 copper link
site 3	480	970	271	4*80 deg + 1omn	diu 1 copper link
site 4	1475	1595	367	4*80 deg + 2omn	diu 2 copper link
site 5	500	1650	280	4*80 deg + 1omn	diu 2 via bsd
site 6	1410	110	235	3 omnis	diu 2 via bsd

**Figure 4.22** la configuration complète des sites de CBS

## 4.5. Exemple de planification

Nous nous proposons d'utiliser le logiciel TAWA-Plani pour planifier un réseau TAWA à installer dans la région d'ARIANA (Tunisie). Pour cela, il faut collecter des informations sur le nombre d'abonnés et leurs densités. Vu que nous ne disposons pas de ce genre d'informations, alors tous les paramètres d'entrée sont fictifs. Toutefois, nous allons essayer d'utiliser des données qui s'approche de la réalité.

### 4.5.1. Valeurs et données d'entrée

#### 4.5.1.1. Données relatives à la région

Nous suivons la procédure d'acquisition des paramètres d'entrée décrite dans le chapitre précédent. Le tableau suivant contient les différents paramètres d'entrée pour la totalité de la région.

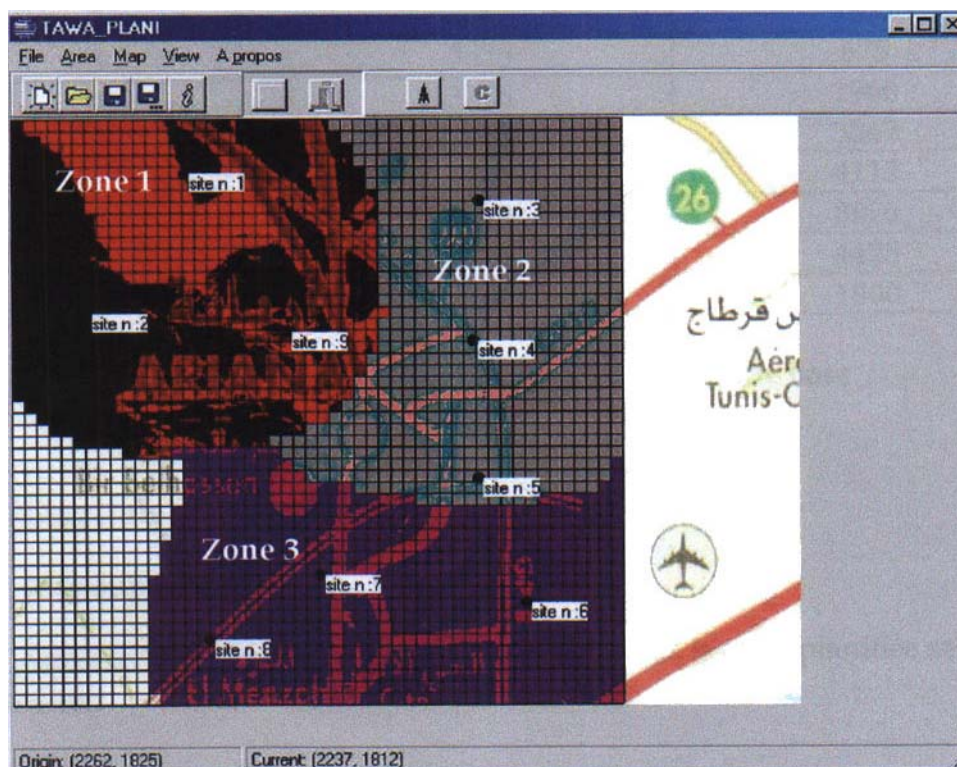


	Type de données	Valeur ou nature
La région	Carte numérique	Ariana.bmp
	Nature	Urbaine
	Longueur	5 km
	Largueur	5 km
	Résolution	100 m
	Taille maximale des cellules	800 m
	Nombre de zones	3

**Tableau 4.1** Paramètre d'entrée pour la région

#### 4.5.1.2. Données relatives aux zones

Puisque on a choisit trois zones dans la région d'Ariana (d'après le tableau précédent), nous allons poursuivre par l'acquisition des paramètres pour chaque zone (pour la localisation de chaque zone sur la carte voir la figure 4.23). Comme nous l'avons décrit dans le chapitre précédant, nous supposons un taux de blocage del %.



**Figure 4.23** Délimitation des zones

Ensuite nous saisissons les paramètres relatifs à chaque zone.



	Type de données	Valeur
La zone 1	Nombre d'abonnés	1600
	Trafic par abonne	0.1
La zone 2	Nombre d'abonnés	800
	Trafic par abonne	0.07
La zone 3	Nombre d'abonnés	2800
	Trafic par abonne	0.1

**Tableau 4.2** Paramètres d'entrée pour les zones

la dernière étape consiste à l'initialisation des sites CBS, nous avons choisi une configuration manuelle avec neuf stations de base avec la propriété de mobilité.

Station de base	Abscisse (m)	Ordonnée (m)
1	1425	450
2	625	1637
3	3825	675
4	3775	1960
5	3825	3062
6	4212	4112
7	2512	3875
8	1612	4425
9	2262	1800

**Tableau 4.3** Positions initiales des stations de base

## 4.5.2. Résultats de planification

### 4.5.2.1. Le groupage

Après avoir exécuté la commande de groupage, la carte planifiée se présente comme suit :

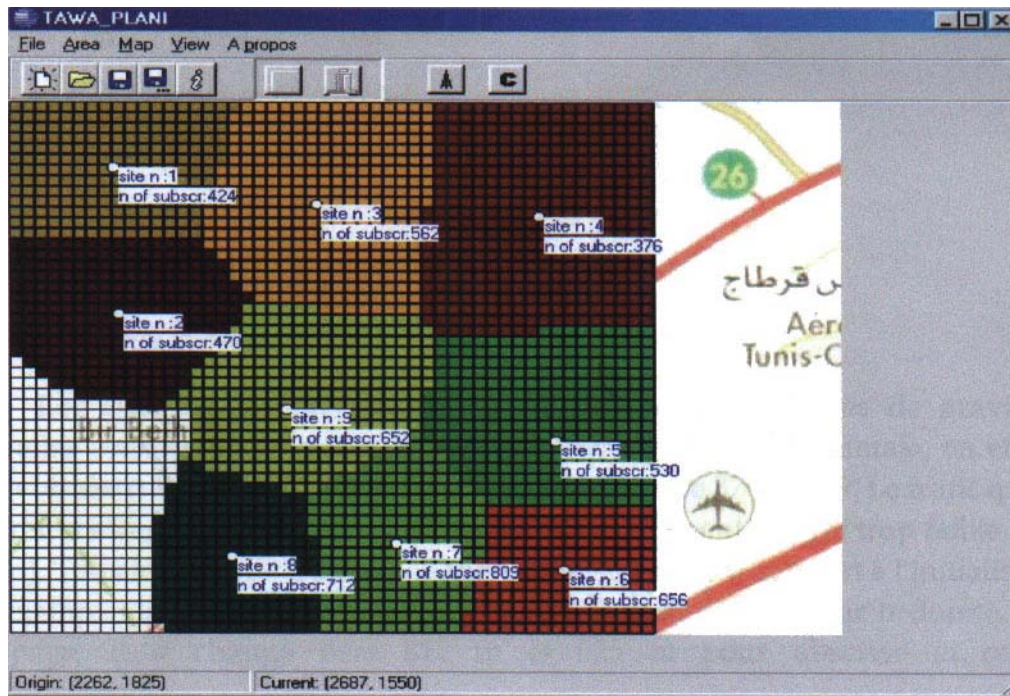


Figure 4.24 le groupage de le région

Neuf cellules se présentent sous différentes couleurs. Chaque cellule à ses

	X	Y	N of subscribers	configuration
site 1	812	625	424	4*80 deg + 2omr
site 2	850	2000	470	4*80 deg + 2omr
site 3	2387	975	562	6*60 deg + 1omr
site 4	4112	1087	376	4*80 deg + 2omr
site 5	4237	3200	530	4*80 deg + 2omr
site 6	4300	4412	656	6*60 deg + 2omr
site 7	3000	4162	809	8*80 deg + 2omr
site 8	1725	4287	712	6*60 deg + 2omr
site 9	2150	2900	652	6*60 deg + 2omr

Figure 4.25 propriétés des site de stations de base

Avec :

1. X : abscisse du site.
2. Y : ordonnée du site.
3. N of subscribers : nombre d'abonnés.
4. configuration : configuration des antennes.

#### **4.5.2.2. Interprétation**

Les sites de stations de base sont localisés aux centres de gravité des nouvelles cellules. Ils se partagent les abonnés de manière optimale, en effet, on peut voir dans la figure 4.25 que ce nombre varie entre 376 et 809. Le trafic que doit générer le site pour desservir les abonnés est aussi acceptable (ni trop faible ni trop grand). Tous les sites de CBS ont changé de positions (par rapport à l'initialisation), par exemple, le site 1 avait pour abscisse 1425 m et 450 m pour ordonné. Après groupage, il a changé vers 812 m et 625 m pour abscisse et ordonné respectivement.

La configuration des antennes des sites CBS satisfait la quantité de trafic exigée. Par exemple, pour la cellule 1, la configuration est six CBSs, deux antennes omnidirectionnelles et quatre antennes directionnelles de 80 degrés (gain 7.5 dB). Ceci correspond à une quantité de trafic de 54 Erlang (voir chapitre 3 § IV.2.2). Le nombre d'abonnés dans cette cellule est de 424. Donc en supposant dans le cas échéant où chaque abonné exige une quantité de trafic de 0.1 Erlang, on aura une marge de 11.6 Erlang ce qui correspond à une extension possible de 116 abonnés.

#### **4.5.2.3. Planification fixe**

Après avoir effectuer la planification fixe et l'affectation aux sites de CBS les composants fixes du réseau à savoir les BSCs et les BSDs, on peut visualiser ce résultat (voir figure 4.26)

	X	Y	N of subscribers	configuration	link
site 1	812	625	424	4*80 deg + 2omn	diu 2 copper link
site 2	850	2000	470	4*80 deg + 2omn	diu 2 copper link
site 3	2387	975	562	6*60 deg + 1omn	diu 3 copper link
site 4	4112	1087	376	4*80 deg + 2omn	diu 3 copper link
site 5	4237	3200	530	4*80 deg + 2omn	diu 4 copper link
site 6	4300	4412	656	6*60 deg + 2omn	diu 5 copper link
site 7	3000	4162	809	8*80 deg + 2omn	diu 6 copper link
site 8	1725	4287	712	6*60 deg + 2omn	diu 7 copper link
site 9	2150	2900	652	6*60 deg + 2omn	diu 8 copper link

**Figure 4.26** Configuration complète des sites de CBSs

Nous avons utilisé sept BSCs avec une liaison en câbles de cuivre avec les sites.

## 4.6. Conclusion

Les fonctionnalités du logiciel nous ont permis d'évaluer la structure d'un réseau TAWA en fonction des données de configuration initiales.

Dans ce chapitre, nous avons testé ce logiciel à travers un exemple de planification pour la zone d'Ariana. Nous avons aussi interprété les résultats afin d'analyser l'efficacité de la planification.

Bref, ce chapitre a donné une idée assez détaillée sur le fonctionnement du logiciel et peut servir de guide à l'utilisateur.

# Conclusion générale

*Le travail réalisé dans le cadre de ce projet de fin d'études est un logiciel d'aide au dimensionnement des réseaux TAWA, solution radio dans la boucle locale d'abonnés proposé par OMNIACOM.*

*Nous avons commencé par prendre connaissance de la technologie radio dans la boucle locale d'abonnés et en particulier la solution TAWA. Dans une deuxième partie, nous avons fait le tour des différents éléments principaux dans la démarche de planification radio et fixe des réseaux WLL. A partir de l'étude de conception des réseaux WLL, nous avons fait ressortir les contextes de base sur lesquels se fondent les procédures de planification radio et de planification fixe. Cette première étude nous a permis d'amorcer les premières phases de conception de l'outil. Ensuite, nous nous sommes intéressés à la détermination des règles de l'ingénierie radio qui nous ont permis de gérer les différentes procédures de dimensionnement.*

*Ce travail se propose comme le noyau d'un logiciel de planification plus complet. Les voies d'amélioration sont nombreuses :*

- 1. Le constructeur tunisien OMNIACOM à l'intention d'intégrer dans ses réseaux des Wallset IF, ce sont des terminaux abonnés qui incluent des modems pour la réception des données (Internet), et une planification de voix et de données serait nécessaires pour le future.*
- 2. Intégrer des modules de calcul d'affaiblissement, en utilisant des modèles de propagation bien adaptés pour la norme DECT et l'environnement tunisien.*

1. La prise en compte des diagrammes de rayonnement des antennes lors du calcul du niveau de champ
2. Etude des interférences et trouver des configurations d'antenne pour différents taux de blocage.
3. Introduction d'un module de calcul de coût.

Ce travail nous a été très enrichissant dans la mesure où il nous a permis de découvrir la technologie radio dans la boucle locale d'abonnés qui émerge maintenant comme étant une alternative très intéressante pour l'accès au RTCP.

Ce fut aussi l'occasion de découvrir et appliquer une méthodologie de conception orienté objet qui se distingue des autres outils de planification par sa puissance d'expression et qui couvre toutes les phases de la conception et la réalisation. La maîtrise de l'outil de conception de logiciels sous environnement Windows, Delphi ne manque pas d'être d'un grand intérêt.

## Annexe A

### Eléments de la théorie du trafic

Un réseau, quelle que soit sa topologie ou son architecture, doit être en premier lieu capable d'acheminer le trafic pour lequel il a été conçu tout en respectant la qualité de service exigée. La conception d'un réseau demande alors une connaissance ou une estimation précise du trafic des utilisateurs qui va conduire vers un dimensionnement correspondant, en termes de capacité du réseau et de qualité de service, et ceci au moindre coût. Avant d'entrer dans les détails de la théorie du trafic, il faut commencer en premier lieu par définir les termes 'qualité de service' et 'trafic'

La Qualité de Service est mesurée en terme de probabilité de blocage qui est la probabilité que la demande des utilisateurs dépasse la capacité du réseau ou autrement la probabilité qu'un utilisateur demande d'établir une liaison avec le réseau, mais sa demande se trouve non satisfaite à cause de la non disponibilité de canaux de communications libres . Concernant le terme "Trafic", le trafic d'un réseau est le nombre d'événements que celui-ci est capable de recevoir, traiter et acheminer par unité de temps. Par événement, il faut entendre une forme particulière de stimulus propre au type de réseau : appel téléphonique, paquet, cellule ou trame, caractère, bloc de caractères, etc. Dans le cas des réseaux WLL, un événement correspond à un appel téléphonique. Autrement dit, le trafic écoulé par le réseau est le nombre moyen d'appels simultanés ou aussi le nombre moyen de canaux occupés à chaque instant. Le trafic s'exprime en Erlangs

Dans le cas où la loi d'arrivée des appels est une loi de poisson et dans le cas aussi où les appels perdus sont rejetés et non stockés, la probabilité de blocage est donnée par la formule suivante connue sous le nom de la formule d'*Erlang B* :

$$Pb = \frac{\frac{A^n}{n!}}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{A^i}{i!}}$$

où A (Erlangs) représente la quantité du trafic écoulé par le réseau et n est le nombre de canaux de communications disponibles au réseau.

Grâce à cette formule, on peut déterminer, pour une probabilité de blocage et un trafic total donnés, le nombre de canaux de communications nécessaires pour écouler cette charge de trafic tout en respectant la qualité de service demandée.



## **Annexe B**

### **La sélection dynamique des canaux**

La norme DECT, contrairement à la plupart des normes radio numériques, utilise la technique de sélection dynamique des canaux. Cette technique permet à la norme DECT d'atteindre de hautes performances. Pour cette raison, on va donner dans ce qui suit les importantes caractéristiques et avantages de cette technique de sélection des canaux tout en la comparant à la technique d'allocation fixe des canaux.

La technique traditionnelle d'allocation fixe des canaux consiste à allouer à chaque cellule un certain nombre de canaux suivant la densité de trafic dans sa zone de couverture. Les canaux sont réutilisés à des distances planifiées en fonction de l'estimation des interférences dans la zone à desservir, des rayons des cellules et aussi en fonction du rapport C/I minimal exigé par la norme utilisée. Par contre avec la sélection dynamique des canaux, il n'y a pas de distribution des canaux entre les cellules. C'est le profil d'interférence qui se présente à l'instant de l'appel qui décide quel canal utiliser. Ceci permet d'atteindre de très faibles distances de réutilisation de fréquences et donc une meilleure efficacité spectrale.

Avec la sélection dynamique des canaux, l'interférence canal adjacent et l'inter modulation ont un faible impact dans les systèmes basés sur la norme DECT vue que les terminaux communiquant avec la même station de base utilisent différentes porteuses et différents slots. Ceci permet de garantir une robustesse des canaux DECT. De ce fait, plusieurs applications de la norme DECT peuvent se partager la bande de fréquence sans avoir recours à distribuer les canaux entre elles.

Pour les environnements pico et micro-cellulaires, les irrégularités et les effets de masques sont très variables et non prévisibles et donc la propagation est difficile à modéliser et les interférences sont mal prédites ce qui rend l'allocation fixe des canaux mal adaptée à ces environnements. Cette technique est plutôt bien adaptée aux environnements radio mobiles à larges cellules où la propagation est plus facile à prédire et peu variable. Par contre la sélection dynamique des canaux, combinée avec les handovers inter et intra cellulaires et la diversité de l'antenne au niveau de la station de base permet à la norme DECT le suivi rapide des changements imprédictibles et les irrégularités des environnements radio à faible distance de l'émetteur. A l'aide de ce concept, une architecture micro-cellulaire peut être utilisée pour desservir une zone à haute densité de trafic tout en se protégeant des effets de l'affaiblissement dû aux trajets multiples.

Un autre avantage principal de la sélection dynamique des canaux par rapport à l'allocation fixe des canaux est que la planification est beaucoup plus simplifiée avec la première technique vue l'absence de la phase d'allocation des fréquences entre les cellules. Des stations de base peuvent alors être ajoutée avec la sélection dynamique des canaux pour augmenter le trafic sans problèmes d'interconnexions entre les stations de base existantes.

# Bibliographie

- [1] William WEBB, "Introduction to Wireless Local Loop", Artech House Publishers, 1998.
- [2] ETSI Technical Report ETR139, Référence DTR/RES-03021, November 1994.
- [3] Saadi Bessa, Sébastien Winiarz, "La norme DECT", Epita Télécoms, 1998.
- [4] OMNIACOM, "Présentation technique du système TAWA", 1999.
- [5] Midas communications Ltd, "System description (DDS)", DDS-CDWIN200-100.
- [6] Analog Devices, Inc. USA, Indian Institute of Technology Madras, India. Midas Communication Technologies (P) Ltd. Madras, India "corDECT Wireless Local Loop", July 1997.
- [7] Sami TABBENE, "Réseaux mobiles", Editions HERMES, Paris, 1997.
- [8] D.M. Balston and R.C.V. Macario, "Cellular Radio Systems", Artech House Publishers, 1993.
- [9] ETSI Technical Report ETR 042, Référence DTR/RES-3003, July 1992.
- [10] Bhaskar RAMAURTHI, "sitting of CBS and WS", IITM Indian Institute of technology, Madras.
- [11] Eric DESVEAUX, Sébastien DUBUISSON, Xavier LOCARD, "Data Warehouse", EPITA 97.
- [12] CH. VIJAYALAKSHMI, "Capacity of high density Macro cellular wireless local loop System based on dynamic channel sélection", thesis for the award of the degree of Master of science, IITM, August 1998.
- [13] Jörg RENSMANN, Jörg et Jens HERBES. Traduit en français par Jean-claude MENGIS, *Delphi 2* (PC Poche), Edition Micro Application, France 1995.

## ***Résumé***

Ce projet concerne l'étude et la planification des réseaux WLL et plus particulièrement les systèmes TAWA d'OMNIACOM. Après une étude générale de la technique WLL et de la norme DECT, nous avons mis l'accent sur les caractéristiques fonctionnelles du système TAWA en terme d'architecture, d'interconnexion, de propagation et de capacité.

Connaissant ce système, nous avons étudié les principes de la planification et synthétisé des concepts adaptés à notre application. En faisant appel aux algorithmes de groupage, nous avons mis au point un outil de planification basé sur une programmation orientée objet et dont l'efficacité a été testé sur des cas concrets.

## **Mots- clés**

WLL, DECT, planification, algorithme de groupage, densité quantifiée, programmation orientée objet.