

Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis

Projet de fin d'études

**DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL DE CALCUL DE
COUVERTURE D'UN RESEAU GSM**

Réalisé par
Wael Rouis
Karim Souissi
TS5 - Télécommunications

Encadré par
Sami Tabbane
Tmim Bouzidi

2001 - 2002

Projet de fin d'études

Développement d'un outils de calcul de couverture d'un réseau GSM

Réalisé par:

*Rouis Wael
Souissi Karim*

Encadré par:

*Sami Tabbane
Tmim Bouzidi*

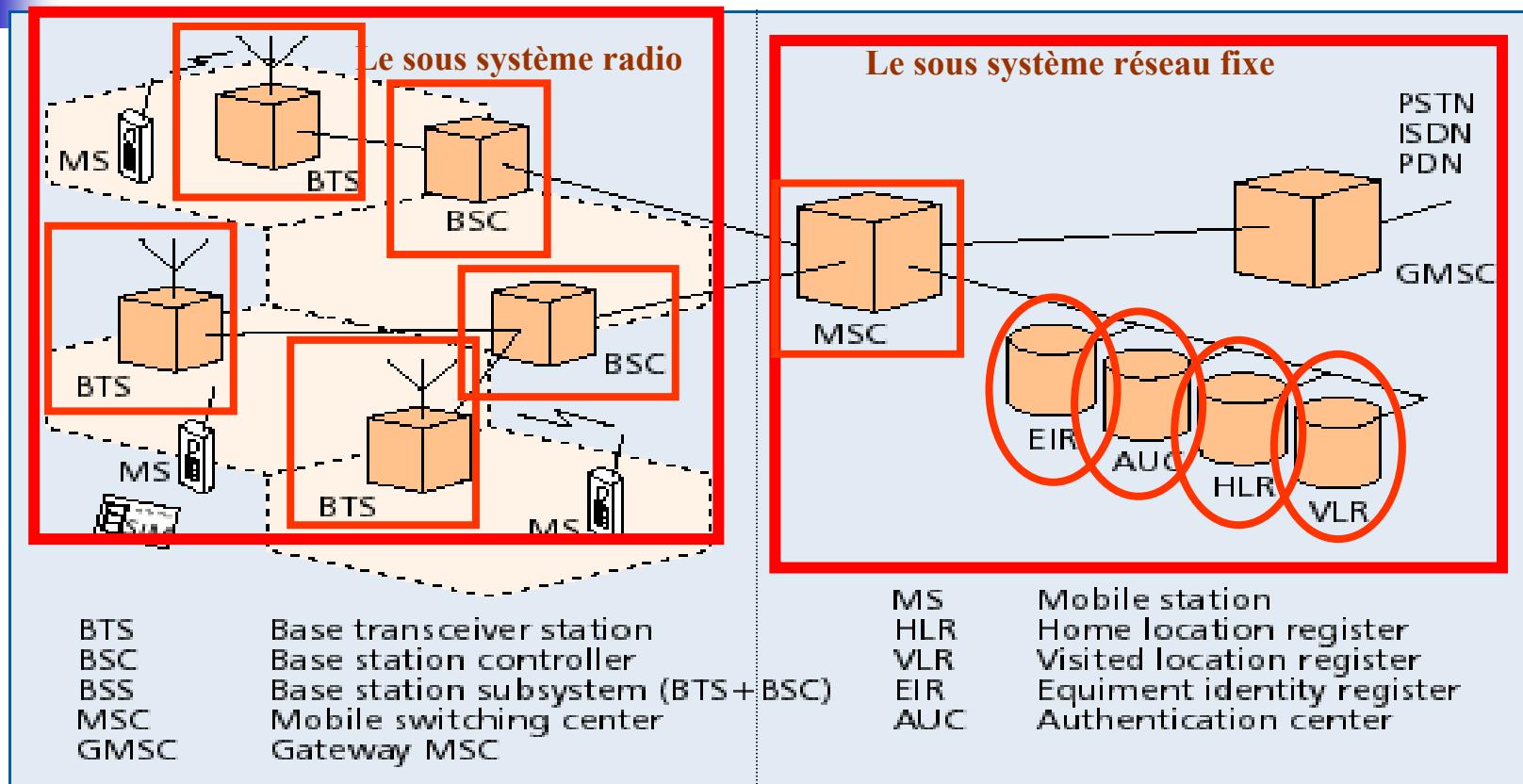


Plan de l'exposé

- Architecture GSM
- Modèles de propagation
- Présentation de l'outil de calcul
- Conclusion



Architecture GSM

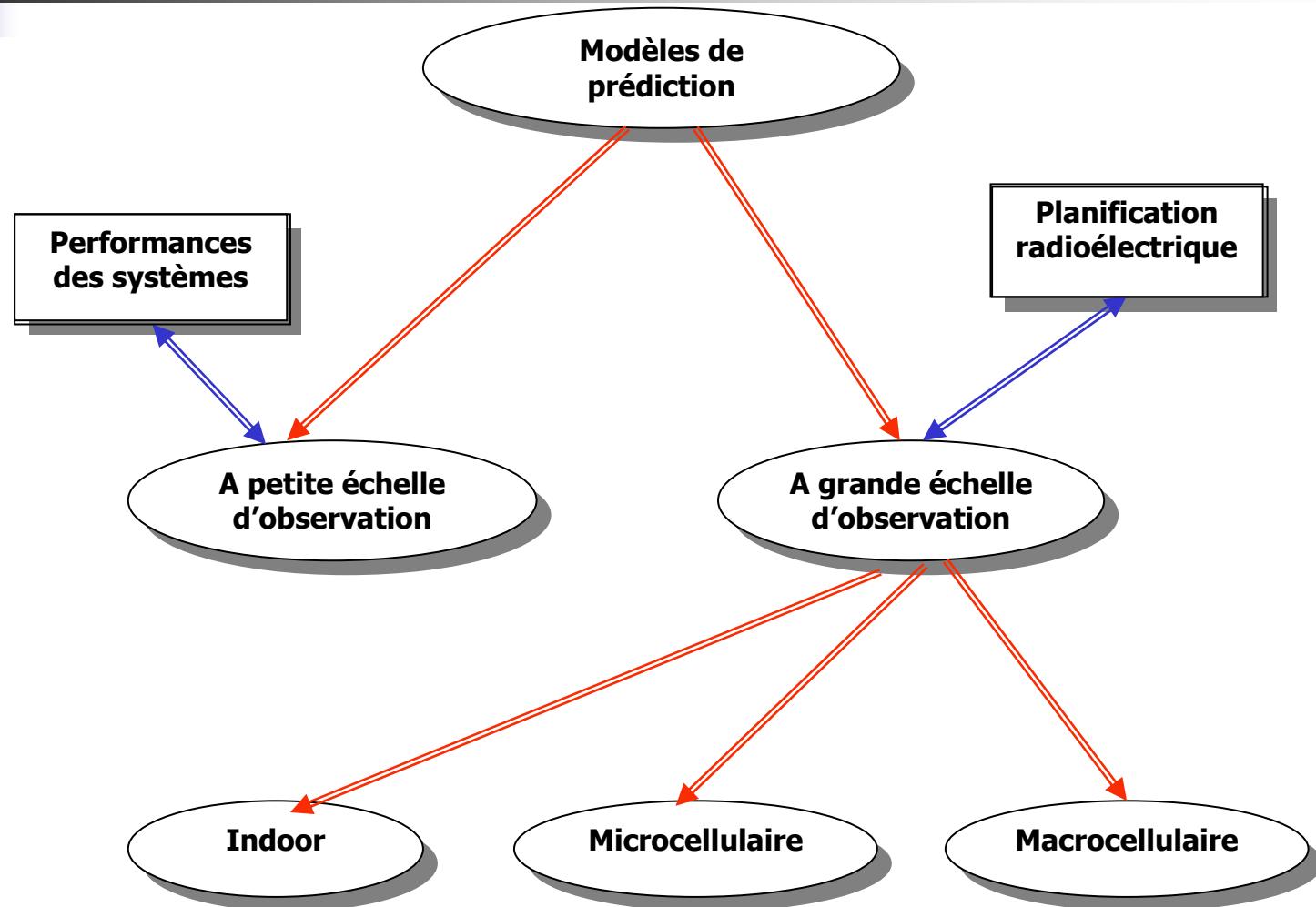


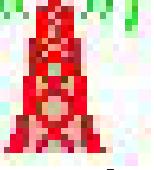
La couverture GSM est un critère très important pour l'opérateur



Pour garantir une bonne couverture il faut bien choisir
un Modèle de propagation

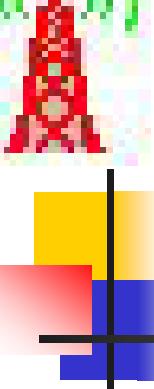
Modèles de propagation(1)





Modèles de propagation(2)

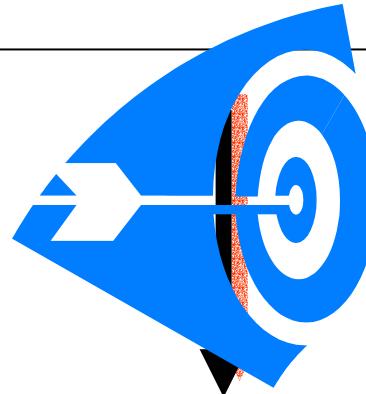
- Modèle pico-cellulaire : Lafortune
- Modèle de microcellulaire : Walfish-Ikegami
- Modèle macro cellulaire : Cost231-OKUMURA-HATA



Modèles de propagation

Présentation de l'outil de calcul(1)

Zones à couvrir



Outil de calcul de couverture :



WK2002

Présentation de l'outil de calcul(2)

Objectif

Calcul de couverture en tout point de la carte

Modules développés

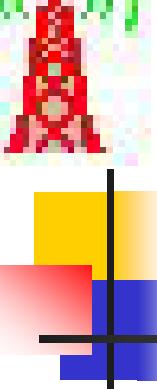
Saisie de carte

Choix de l'environnement

Choix du modèle de propagation

Distribution des BTS

Affichage des résultats de calcul



Présentation de l'outil de calcul(3)

Simulation



Conclusion



☞ Cet outil reste ouvert à l'extension à savoir améliorer la précision de calcul

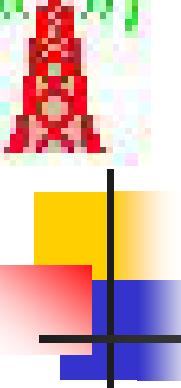




Perspective

- Correction du Modèle de propagation
- Intégration des cartes de type MNT
- Base de donnée des fréquences
- Couverture par couleur





Fin de l'exposé

Merci pour votre attention

Dédicace

Je dédie ce travail, en signe d'amour et de fidélité :

A mon père AHMED pour son soutient moral et financier et pour les sacrifices qu'il m'a déployé durant ma vie.

A ma tendre et ma chère mère AICHA qui n'a pas cessé de m'encourager depuis l'enfance et pour tous ses sacrifices.

A ma chère sœur et mes chères frères.

A tous mes amis.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Karim

Dédicace

A ma mère **Monjia** et mon père **Mohamed**, pour l'éducation et le grand amour dont ils m'ont entouré, pour leur patience et leurs sacrifices.

A mes sœurs **Wiemme** et **Wissal**.

A ceux qui me sont proches.

A tous mes amies.

Ce memoire leur est dédié.

Wael

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude à **M. Sami TABBANE**, maître de conférence à l'école Supérieur des Communications SUP'COM de Tunis, pour son encadrement et son suivi lors de l'élaboration de ce projet.

Nous présentons nos profonds remerciements à **M. Tmim BOUZIDI** qui a alloué beaucoup d'efforts pour nous éclaircir la bonne voie et nous aider dans le développement de notre logiciel.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde reconnaissance à **M. Mohamed Taher MISSAOUI** pour son aide et son encouragement.

Nous voudrons aussi témoigner de notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui nous ont encouragés ou aidé de façon diverse dans la réalisation de notre projet.

Enfin, nous remercions aussi chaleureusement tous ceux qui ont contribué à notre formation.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Introduction générale | 7 |
| Chapitre I LE RESEAU GSM..... | 8 |
| I. Introduction..... | 9 |
| II. Architecture du réseau GSM | 9 |
| 1. Station mobile (MS – Mobile Station)..... | 10 |
| 2. Le sous-système radio (BSS) | 10 |
| 3. Le sous-système réseau (NSS)..... | 11 |
| 4. Le sous système d'exploitation et de maintenance (OMC) | 13 |
| III. Le concept cellulaire | 13 |
| 1. Notion de couverture d'une station de base..... | 15 |
| 2. Réutilisation des fréquences | 15 |
| 3. L'itinérance..... | 17 |
| 4. Le handover | 18 |
| IV. Modèle de propagation | 18 |
| V. Conclusion : | 19 |
| Chapitre II MODELES DE PROPAGATION..... | 20 |
| I. Introduction..... | 21 |
| 1. Modèle de propagation en espace libre..... | 22 |
| II. Modèles de propagation en indoor (pico-cellulaire) | 23 |
| III. Modèles de propagation en environnement urbain (microcellulaire)..... | 23 |
| IV. Modèles de propagation en environnement suburbain ou rural (macro-cellulaire) .. | 24 |
| 1. Modèle du COST231-Okumura-Hata..... | 24 |
| 2. Modèle de Deygout..... | 25 |
| V. Les principaux paramètres utilisés..... | 26 |
| VI. Conclusion | 28 |
| Chapitre III PRESENTATION DE L'OUTIL DE CALCUL DE | 29 |
| COUVERTURE D'UN RESEAU CELLULAIRE | 29 |

| | | |
|--|--|-----------|
| I. | Introduction..... | 30 |
| II. | Spécifications du cahier de charge du logiciel..... | 30 |
| 1. | Généralités sur le logiciel..... | 30 |
| 2. | Intérêt et objectif du logiciel..... | 31 |
| 3. | Définition du cahier de charge..... | 31 |
| III. | Fonctionnalités de l'outil | 32 |
| IV. | Structure de l'outil..... | 33 |
| 1. | Utilisation de l'outil | 33 |
| 2. | Les objets utilisés | 34 |
| 3. | Paramètres d'entrée et de sortie et principales fonctions utilisées..... | 34 |
| V. | Conclusion | 35 |
| Chapitre IV INTERFACE UTILISATEUR DEVELOPPEE | | 36 |
| I. | Introduction..... | 37 |
| II. | Installation du logiciel..... | 37 |
| III. | Fenêtre principale de l'outil..... | 37 |
| 1. | Menu Fichier | 39 |
| 2. | Menu édition | 42 |
| 3. | Menu cartes | 42 |
| 4. | Menu affichage | 42 |
| 5. | Menu données : | 43 |
| 6. | Menu modèles de propagation | 45 |
| 7. | Menu bases de données..... | 46 |
| 8. | Menu recherche de site | 48 |
| 9. | Menu Fenêtre | 50 |
| 10. | Menu Aide | 51 |
| IV. | Exemple de calcul de couverture..... | 52 |
| V. | Perspectives d'avenir de notre logiciel..... | 60 |
| VI. | Conclusion | 61 |
| Conclusion général..... | | 62 |
| Bibliographie..... | | 63 |

| | |
|-----------------|----|
| Annexe | 64 |
| Glossaire | 72 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| <i>Figure I. 1: Architecture GSM suivant la norme</i> | 11 |
| <i>Figure I. 2 : Architecture du sous système NSS</i> | 12 |
| <i>Figure I. 3: Le concept cellulaire</i> | 14 |
| <i>Figure I. 4: Une cellule radio</i> | 14 |
| <i>Figure I. 5: Concept pratique de couverture cellulaire : cellule irrégulière</i> | 15 |
| <i>Figure I. 6: Réutilisation des fréquences</i> | 17 |
| <i>Figure I. 7: Différence entre couverture théorique et couverture réelle</i> | 17 |
| <i>Figure II. 1: Différents effets sur l'onde radioélectrique</i> | 21 |
| <i>Figure II. 2: Classification des modèles de prédiction de la propagation radio</i> | 22 |
| <i>Figure II. 3 : Diffraction sur arêtes multiples. Méthode de Deygout</i> | 25 |
| <i>Figure II. 4 : Paramètres de modèle d' Walfish-Ikegami</i> | 27 |
| <i>Figure III. 1: Fonctionnalités de l'outil</i> | 32 |
| <i>Figure III. 2: Organigramme de fonctionnement de l'outil</i> | 33 |
| <i>Figure IV. 1 : Fenêtre principale</i> | 38 |
| <i>Figure IV. 2: Boite de dialogue Ouvrir</i> | 39 |
| <i>Figure IV. 3: Affichage</i> | 40 |
| <i>Figure IV. 4: Boite de dialogue enregistrer</i> | 40 |
| <i>Figure IV. 5: Boite de dialogue Imprimer</i> | 41 |
| <i>Figure IV. 6: Boite de dialogue configuration de l'imprimante</i> | 41 |
| <i>Figure IV. 7: Menu édition</i> | 42 |
| <i>Figure IV. 8: Menu carte</i> | 42 |
| <i>Figure IV. 9: Le menu affichage</i> | 42 |
| <i>Figure IV. 10: Sous menu barre d'outil</i> | 43 |
| <i>Figure IV. 11: La fenêtre standard Figure IV. 12: La fenêtre modèle de propagation</i> | 43 |
| <i>Figure IV. 13: Menu données</i> | 43 |
| <i>Figure IV. 14: Boite de dialogue données radio</i> | 44 |
| <i>Figure IV. 15 : Boite de dialogue données de qualité</i> | 44 |

| | |
|---|----|
| <i>Figure IV. 16: Menu modèles de propagation.....</i> | 45 |
| <i>Figure IV. 17: Boite de dialogue paramètre du modèle de propagation.....</i> | 45 |
| <i>Figure IV. 18: Sous menu explorateur.....</i> | 46 |
| <i>Figure IV. 19: Boite de dialogue explorateur des sites</i> | 46 |
| <i>Figure IV. 20: Boite de dialogue ajout de BTS.....</i> | 47 |
| <i>Figure IV. 21: Boite de dialogue de suppression de BTS.....</i> | 47 |
| <i>Figure IV. 22: Le menu recherche de site.....</i> | 48 |
| <i>Figure IV. 23: Boite de dialogue recherche par nom de site.....</i> | 48 |
| <i>Figure IV. 24: Boite de dialogue recherche site par coordonnées.....</i> | 49 |
| <i>Figure IV. 25: Boite de dialogue recherche personnalisée</i> | 49 |
| <i>Figure IV. 26: Boite de dialogue affichage Figure IV. 27: Boite de couleur.....</i> | 50 |
| <i>Figure IV. 28: Affichage</i> | 50 |
| <i>Figure IV. 29: Le menu Fenêtre</i> | 50 |
| <i>Figure IV. 30: Le menu aide</i> | 51 |
| <i>Figure IV. 31: Boite de dialogue A propos.....</i> | 51 |
| <i>Figure IV. 32 : Saisie de carte.....</i> | 53 |
| <i>Figure IV. 33 : Distribution des BTS.....</i> | 54 |
| <i>Figure IV. 34 : Résultat de la distribution des BTS.....</i> | 55 |
| <i>Figure IV. 35 : Exemple Ariana.....</i> | 56 |
| <i>Figure IV. 36 : Exemple de Soukra.....</i> | 57 |
| <i>Figure IV. 37 : Zoom arrière</i> | 58 |
| <i>Figure IV. 38 : Zoom avant.....</i> | 59 |
| <i>Figure IV. 39 : Caractéristique des sites.....</i> | 60 |

Liste des Tableaux

| | |
|--|----|
| <i>Tableau II. 1: Les caractéristiques du modèle d'Okumura-Hata.</i> | 24 |
| <i>Tableau IV. 1: Paramètres d'entrée de la simulation</i> | 52 |

Introduction générale

L'intérêt d'un réseau radio-mobile est explicité dans son appellation même : la mobilité.

Ainsi, pour garantir cette mobilité, il faut assurer une certaine qualité de communication en tout point de la zone à couvrir.

En effet, les systèmes radio-mobiles sont actuellement en pleine expansion dans la plupart des pays du monde. En plus de la mobilité, ces systèmes offrent plusieurs services.

Le GSM utilise la bande de fréquence 900MHZ et les modèles de prédition de la propagation doivent être utilisés afin de permettre une planification adéquate du système.

La planification d'un réseau cellulaire nécessite le calcul de couverture en tout point afin de s'assurer que le champ est supérieur à un seuil prédéfini.

En effet, dans ce projet nous nous sommes intéressés au calcul de couverture d'un réseau cellulaire en tenant compte du choix du modèle de propagation utilisé.

Dans le premier chapitre, nous présentons les réseaux cellulaires (architecture du réseau GSM, le concept cellulaire).

Dans le deuxième chapitre, nous introduisons les caractéristiques des modèles de propagation (OKUMURA-HATA, Deygout, Lafortune...).

Dans le troisième chapitre, nous présentons les fonctionnalités et la structure de notre logiciel.

Dans le quatrième chapitre nous montrons la réalisation de notre projet : outils de calcul de couverture de réseaux cellulaires.

Chapitre I LE RESEAU GSM

I. Introduction

II. Architecture du réseau GSM

III. Le concept cellulaire

IV. Modèle de propagation

V. Conclusion

I. Introduction

Les télécommunications mobiles permettent de communiquer par la parole, la télécopie ou de transmettre des données informatiques entre un abonné mobile, où qu'il soit, et d'autres abonnés du réseau téléphonique.

Le terme télécommunications mobiles englobe les téléphones mobiles montés à bord des véhicules ainsi que les téléphones portatifs, qui permettent aux utilisateurs de recevoir et d'envoyer des appels quelque soit l'endroit où ils se trouvent.

Les systèmes radio-mobiles sont actuellement en pleine expansion dans la plupart des pays du monde. En effet, les services offerts par ces systèmes sont innovants grâce à la multitude des révolutions des technologies utilisées.

Le concept cellulaire fut la technologie qui affranchit les réseaux radio-mobiles de la contrainte visant qu'une bande de fréquence ne peut être utilisée que par un nombre limité de mobiles, ce concept met en œuvre la réutilisation des fréquences : une même porteuse peut être utilisée par plusieurs cellules différentes dans le but d'optimiser l'usage des ressources radios.

Dans ce chapitre nous présentons l'architectures de réseau GSM, le concept cellulaire et introduisons les modèles de propagation.

II. Architecture du réseau GSM

Un réseau GSM compte une (ou plusieurs) station de base par cellule. La station mobile choisit la cellule selon la puissance du signal. Une communication en cours peut passer d'une cellule à l'autre permettant ainsi la mobilité des utilisateurs. Les composantes principales sont :

- Le contrôleur de station de base : BSC - Base Station Controller
- La station de base : BTS - Base Transceiver Station
- Le commutateur de service mobile : MSC - Mobile Switching Center

La figure I.1 illustre l'architecture d'un réseau GSM

On peut diviser le réseau en 4 parties principales :

1. La station mobile : MS - *Mobile Station*
2. Le sous-système radio : BSS - *Base Station Subsystem*
3. Le sous-système réseau : NSS – *Network Subsystem*
4. Le sous-système opération : OSS – *Operation Subsystem*

1. Station mobile (MS – Mobile Station)

La station mobile est composée d'une part d'un terminal mobile, et d'autre part d'un module d'identité d'abonné (SIM – *Subscriber Identity Module*). Le terminal mobile est l'appareil utilisé par l'abonné. Différents types de terminal sont prescrits par la norme en fonction de leur application (fixé dans une voiture, portatif) et de leur puissance (de 0.8W à 20W). Chaque terminal mobile est identifié par un code unique IMEI (*International Mobile Equipment Identity*). Ce code est vérifié à chaque utilisation et permet la détection et l'interdiction des terminaux volés.

Le SIM est une carte à puces qui contient dans sa mémoire le code IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) qui identifie l'abonné de même que les renseignements relatifs à l'abonnement (services auxquels l'abonné a droit). Cette carte peut être utilisée sur plusieurs appareils. Il est à noter que l'usager ne connaît pas son IMSI mais il peut protéger sa carte à puce à l'aide d'un numéro d'identification personnel à 4 chiffres.

2. Le sous-système radio (BSS)

Le sous-système radio (BSS) regroupe les équipements assurant toutes les fonctions de gestion des aspects radio et les fonctions qui sont spécifiques à l'environnement cellulaire. Il est en contact direct avec les stations mobiles via l'interface air.

Il comprend :

-les stations de base **BTS** (*Base Transceiver Station*) : Elles constituent des relais radioélectriques qui assurent la couverture des zones géographiques. Elles sont chargées d'exécuter les actions élémentaires nécessaires à la gestion des liaisons radio avec les stations mobiles MS ; elles mesurent en particulier les signaux reçus des MS dans le sens montant permettant de vérifier la QoS.

Bref, c'est l'interface entre structures fixes et mobiles ayant un minimum d'intelligence.

On note qu'on distingue plusieurs catégories de BTS, on cite :

- BTS parapluie dont les zones de couverture sont de l'ordre de 35 km

- Micro BTS dont les zones de couverture est de l'ordre de 200 m

-Le **BSC** (*Base Station Controller*) : c'est la partie intelligente du BSS. Son rôle consiste à contrôler un ensemble de BTSS par l'attribution et la libération des ressources en terme de canaux.

Par ailleurs, il commande les puissances d'émission du mobile et/ou du BTS en utilisant les mesures effectuées.

Un transfert cellulaire est nécessaire chaque fois que la qualité de communication d'un mobile en communication devient inférieure à un seuil minimal, en particulier lorsque la station mobile s'éloigne de la BTS.

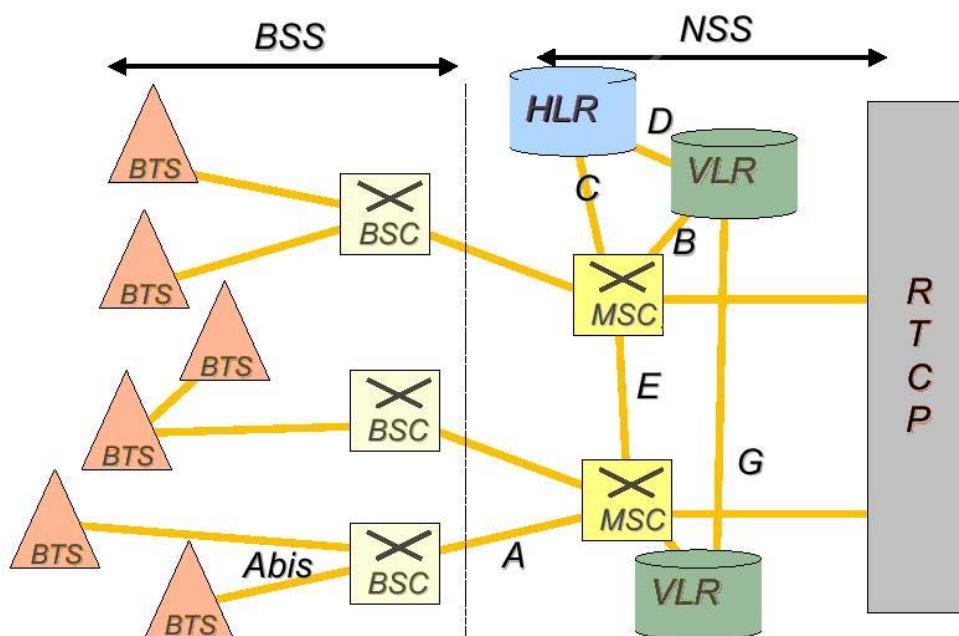


Figure I. 1: Architecture GSM suivant la norme

3. Le sous-système réseau (NSS)

Le Sous Système Réseau a pour principale fonction de gérer les communications à l'intérieur du RMTTP et les communications avec le réseau téléphonique public. Le NSS gère les bases de données d'administration des abonnés. La Figure I.2 montre les éléments constitutifs d'un NSS.

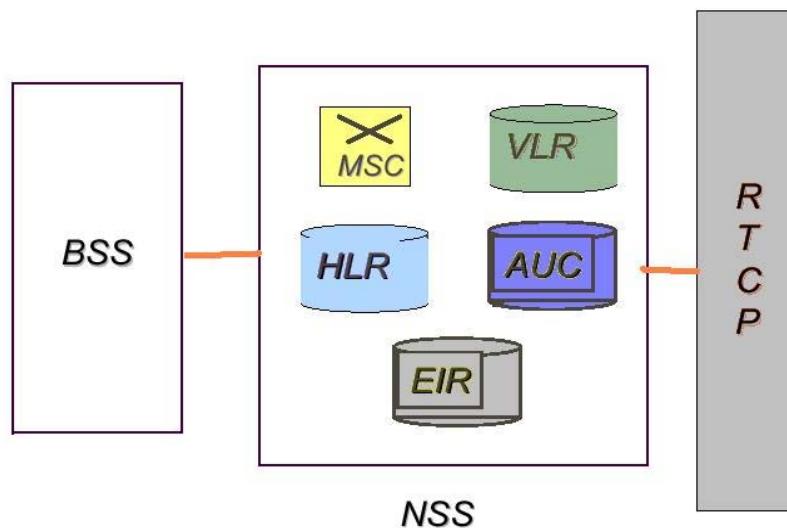


Figure I. 2 : Architecture du sous système NSS

Un NSS comprend :

- ♦ Le centre de commutation des mobiles (MSC) : Il coordonne l'établissement des appels sortants ou entrants pour les abonnés GSM. Il gère le transfert intercellulaire, les abonnées visiteurs et l'interconnexion avec le réseau téléphonique public.
- ♦ Le Registre des abonnés locaux (HLR – *Home Location Register*) : Il s'agit d'une base de données contenant les informations sur les abonnés appartenant à la région desservie par le commutateur de services mobiles (MSC). Cette base de données contient également les positions courantes de ses abonnés.
- ♦ Le Registre des abonnés visiteurs (VLR – *Visitor Location Register*) : Cette base de données contient temporairement des informations sur les abonnés qui visitent une région desservie par un MSC autre que celui auquel ils sont abonnés. Ces informations proviennent du HLR auquel l'abonné est enregistré et indiquent les services auxquels l'abonné a droit. Ce transfert d'informations se fait qu'une seule fois et n'est effacé que lorsque l'abonné ferme son appareil ou quitte la région du MSC courant. En procédant ainsi, le VLR n'a pas à interroger le HLR chaque fois qu'une communication est demandée par ou pour l'abonné visiteur. Il est à noter que le VLR est toujours associé à un MSC.
- ♦ Le Centre d'authentification (AuC – *Authentication Center*) : Le AuC est une base de données protégée qui contient une copie de la clé secrète inscrite sur la SIM de chaque abonné. Cette clé est utilisée pour vérifier l'authenticité de l'abonné et pour l'encryptage des données envoyées.

♦Le Registre d'identification d'équipement (EIR – *Equipment Identity Register*) : Comme nous l'avons vu précédemment, chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI. Le registre EIR contient la liste de tous les terminaux valides. Une consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui a été déclaré perdu ou volé.

4. Le sous système d'exploitation et de maintenance (OMC)

Il se compose d'un sous système d'exploitation et de maintenance réseau OMC-N (*Operating and Maintenance Center-Network*) qui supervise le NSS et d'un sous-système d'exploitation et de maintenance radio OMC-R (*Operating and Maintenance Center-Radio*) qui supervise le BSS.

III. Le concept cellulaire

Les premiers réseaux radio mobiles se comptaient de quelques émetteurs qui couvrent des zones importantes et non interconnectées entre eux.

Cette configuration est caractérisée par un nombre de communication limité et des communications interrompues.

Pour couvrir une zone vaste et avoir une grande capacité, on introduit le concept cellulaire.

Un réseau cellulaire est formé par un ensemble de cellule dont la taille dépend de la puissance d'émission des émetteurs et surtout de la nature de l'environnement (Urbain, Suburbain, Rural).

Un réseau cellulaire est caractérisé par sa grande capacité grâce à la réutilisation de fréquences, il est également caractérisé par les transferts intercellulaires (*Handover*) qui assurent la continuité des services, lors de la transition d'une cellule à une autre.

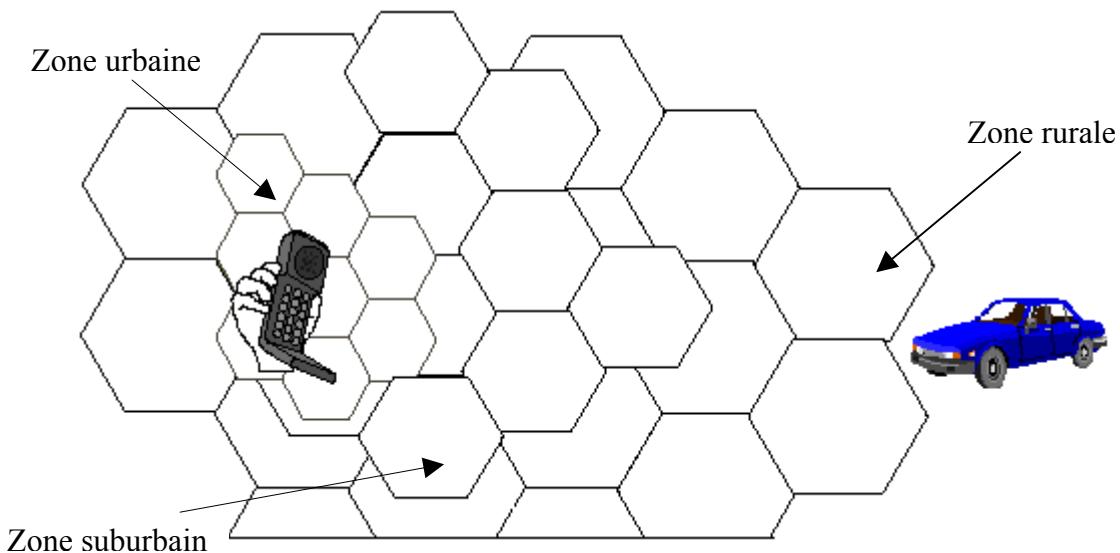


Figure I. 3: *Le concept cellulaire*

Ce concept résout le problème d'augmentation du trafic au cours du temps. Une station de base couvre une zone géographique appelée cellule. Une cellule radio et les facteurs qui dictent la couverture sont illustrés par la figure I.4. La station de base habituellement sera placée en claire a une puissance d'émission appropriée (en excès de 20 W) et un récepteur sensible à faible bruit. La station mobile aura une puissance d'émission et une antenne.

En résumé, une cellule correspond à la zone couverte par la BTS : c'est à dire la zone où le champ radioélectrique émis a un niveau suffisant pour maintenir une qualité de communication acceptable.

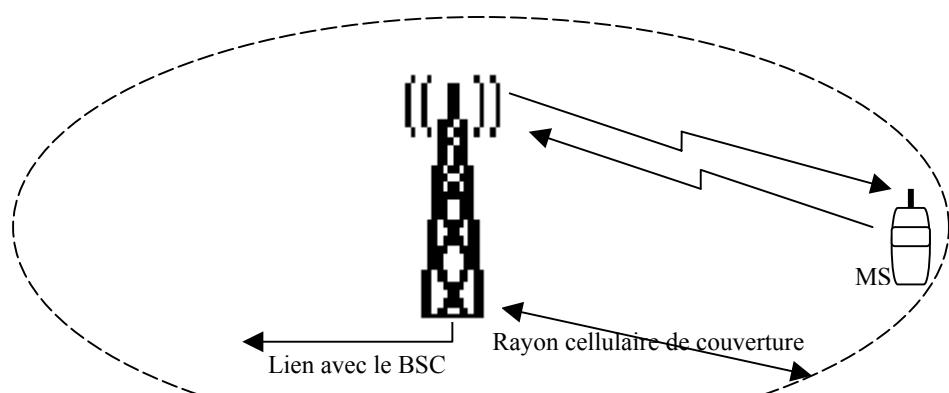


Figure I. 4: *Une cellule radio*

En pratique, la cellule n'est pas forcément circulaire comme en espace libre. En effet, dans un terrain irrégulier ou présentant des obstacles masquant le trajet direct entre l'émetteur et le récepteur tels que les constructions, la végétation et la morphologie du terrain, le rayon R n'est pas fixe.

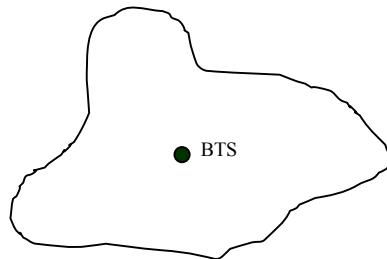


Figure I. 5: *Concept pratique de couverture cellulaire : cellule irrégulière*

1. Notion de couverture d'une station de base

La couverture d'une station de base correspond à la zone où le champ radio électrique qu'elle émet et qui est reçu par la station mobile concernée et suffisant pour maintenir la qualité de communication.

Dans les zones urbaines denses, l'opérateur utilise des micro-cellules de quelques centaines de mètres de rayon pour écouler un trafic important par unité de surface.

Dans les zones rurales faiblement peuplées, les cellules sont de taille importante allant jusqu'à 30 km, elles sont dites des macro-cellules.

Le nombre de communications simultanées que peut écouler une station de base est limité pour des contraintes matérielles, et surtout à cause des fréquences disponibles.

L'opérateur cherche à réaliser une couverture du territoire par un ensemble de cellules contiguës.

Pour économiser le spectre hertzien, il réutilise les mêmes fréquences dans des zones suffisamment éloignées pour que deux communications utilisant les mêmes fréquences ne se brouillent pas.

2. Réutilisation des fréquences

La planification des fréquences est l'une des tâches les plus importantes rencontrées lors de l'implantation d'un système radio cellulaire, elle doit être faite suivant un concept précis.

Grâce à la réutilisation de fréquence, l'architecture cellulaire permet d'atteindre potentiellement une capacité illimitée.

Cependant la réutilisation de la même fréquence radio à l'intérieur d'une zone géographique limitée pose un ensemble de problèmes.

En effet le mobile va recevoir non seulement un signal utile provenant de la station de base à laquelle il est rattaché, mais des signaux interférents provenant des stations de base utilisant la même fréquence dans les zones voisines.

Il est donc indispensable de « sauter » plusieurs cellules avant de pouvoir réutiliser les mêmes fréquences, d'où la notion de co-cellules (cellules utilisant la même fréquence).

La technique de réutilisation de fréquences opère de la manière suivante : la bande de fréquence allouée au système est subdivisée en sous-bandes, chaque sous-bande est alors attribuée à une station de base d'une cellule donnée, pour être ensuite réutilisée dans ses co-cellules.

On désigne par motif de réutilisation ou « cluster » le plus petit groupe de cellules qui utilisent l'ensemble des canaux de la bande de fréquence.

Le nombre de cellules par motif dépend du rapport C/I (Signal/Bruit) que le système peut tolérer.

Un faible nombre de cellules par cluster permet d'obtenir un haut degré de réutilisation de fréquences et par suite, d'avoir une meilleure efficacité spectrale.

Une cellule est modélisée traditionnellement par un hexagone.

En effet, l'hexagone étant le polygone au nombre de côtés le plus élevé assurant une couverture jointive d'un plan, il constitue donc la figure qui permet au mieux de simuler une couverture radioélectrique.

Des cellules circulaires se recouvraient et ne permettraient pas d'avoir un schéma clair de la couverture.

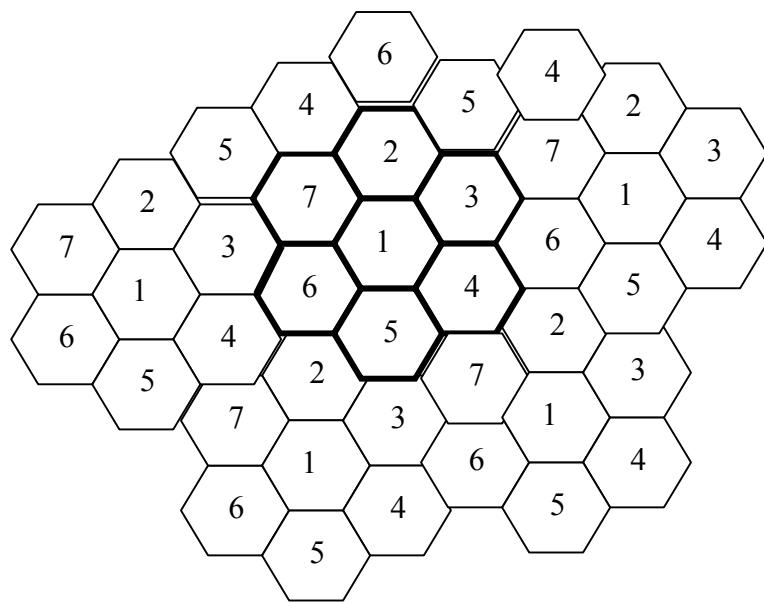


Figure I. 6: Réutilisation des fréquences

En réalité, la forme des cellules dépend des facteurs géographiques tels que la morphologie des terrains à savoir la présence des valets et des collines, la végétation, les constructions, la densité des bâtiments, et des protocoles de gestion du réseau qui conditionnent le passage d'une cellule à l'autre.

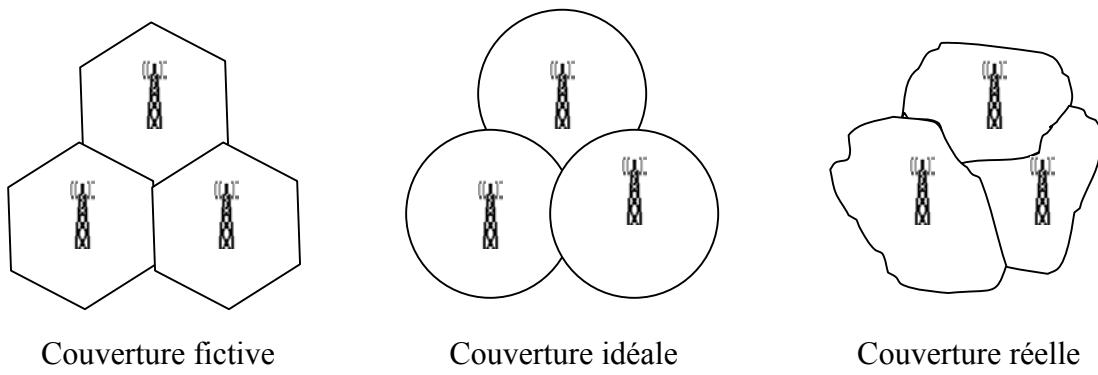


Figure I. 7: Différence entre couverture théorique et couverture réelle

3. L'itinérance

L'usager du réseau GSM qui se déplace en différents points du territoire couvert, doit pouvoir appeler et être appelé: C'est la notion d'itinérance.

En effet, le rôle principale du mécanisme de gestion de la localisation ou de l'itinérance est de permettre au système de connaître la position d'un mobile.

Dans cette gestion de localisation des mobiles, deux mécanismes de base interviennent:

- la localisation qui consiste à savoir où se trouve un mobile à tout moment.
- la recherche d'abonné qui consiste à émettre des messages de recherche de mobile sur chaque site cellulaire où le mobile a été localisé précédemment.

4. Le handover

Pendant une communication, le terminal est en liaison radio avec une station de base bien déterminée. Il est indispensable d'assurer la continuité de services alors que l'utilisateur se déplace.

Il est donc nécessaire de changer la station de base avec laquelle le terminal est relié tout en maintenant la communication: c'est le Handover.

IV. Modèle de propagation

Pour calculer la puissance reçue en un point bien déterminé on doit prédire l'affaiblissement porté par le canal. A cet effet le planificateur doit avoir recours à des modèles de prédition de la propagation.

Un modèle de prédition de la propagation est une expression mathématique permettant d'évaluer l'atténuation du signal.

Les modèles de prédition de la propagation peuvent être regroupés en trois familles :

- Modèles macro cellulaires: utilisés dans les environnements suburbain ou ruraux où l'onde radio peut se propager librement (exp. le modèle OKUMURA-HATA).
- Modèles micro cellulaires : utilisées dans les environnements urbain dense exp.: le modèle WALFICH-IKEGAMI
- Modèles Indoor : sont des modèles de prédition utilisés pour l'évaluation de l'atténuation à l'intérieur des bâtiments.

V. Conclusion :

La connaissance de l'architecture du réseau GSM est indispensable avant d'aborder les modèles de propagation. Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes parties de réseau et le concept cellulaire.

Dans le chapitre suivant nous donnons les caractéristiques des différents modèles de propagation.

Chapitre II MODELES DE PROPAGATION

I. Introduction

II. Modèles de propagation en indoor (pico-cellulaire)

III. Modèles de propagation en environnement urbain (microcellulaire)

IV. Modèles de propagation en environnement suburbain ou rural (macro-cellulaire)

V. Les principaux paramètres utilisés

VI. Conclusion

I. Introduction

A travers son parcours, l'onde radioélectrique subit des multiples déformations causées par des phénomènes physiques et autres. Un récepteur ne reçoit très souvent qu'un ensemble d'ondes réfléchies correspondant à des « trajets multiples ». Le signal est donc affecté par de nombreuses distorsions possibles.

Afin de calculer la puissance reçue en un point bien déterminé on doit prédire l'affaiblissement porté par le canal. A cet effet le planificateur doit avoir recours à des modèles de prédition de la propagation.

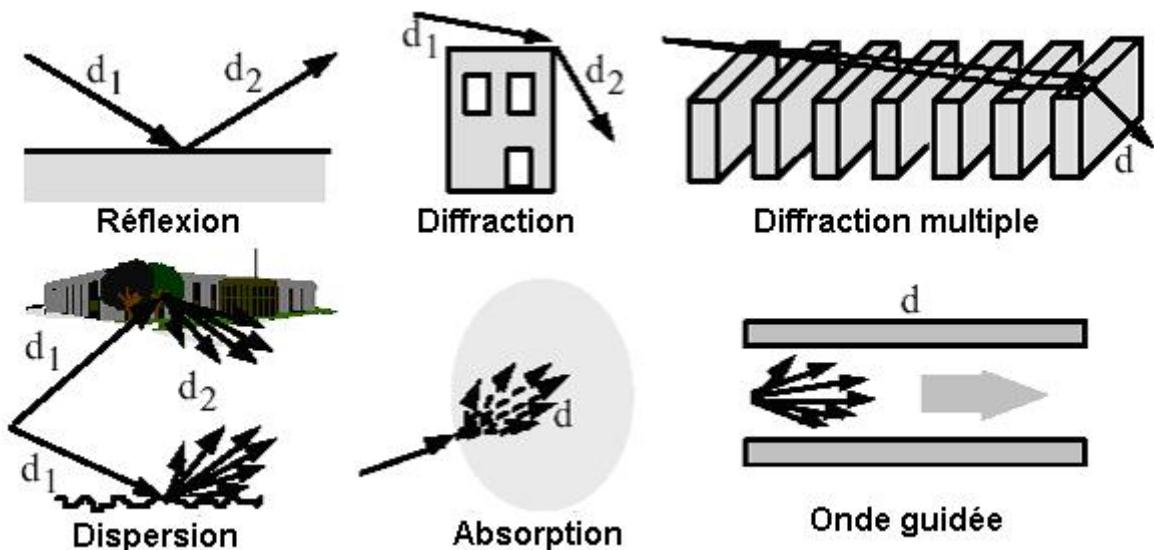


Figure II. 1: Différents effets sur l'onde radioélectrique

Dans le domaine des radiocommunications, il existe plusieurs modèles de propagations qui peuvent être utilisés pour la prédition de la couverture radioélectrique. Le choix de l'utilisation d'un modèle donné plutôt que d'un autre dépend de plusieurs paramètres tels que le type d'environnement, la bande de fréquence, etc.

Ce chapitre sera consacré aux modèles de prédition de la propagation d'observation à grande échelle.

Ces modèles nous permettent de prédire la propagation de l'onde radio en fonction des paramètres de l'environnement à savoir la densité des bâtiments, la densité de végétation, la morphologie du terrain etc...

1. Modèle de propagation en espace libre

Il constitue un modèle théorique fondamental de prédiction de couverture pour un terrain « idéal » sans frontières. L'affaiblissement est donné par la formule suivante :

$$L = 32.45 + 20 * \log(f) + 20 * \log(d)$$

avec f : fréquence en Mhz.

d : distance entre émetteur et récepteur (en km).

Le principe des modèles de propagation est de calculer l'atténuation en espace libre et y ajouter un facteur correctif.

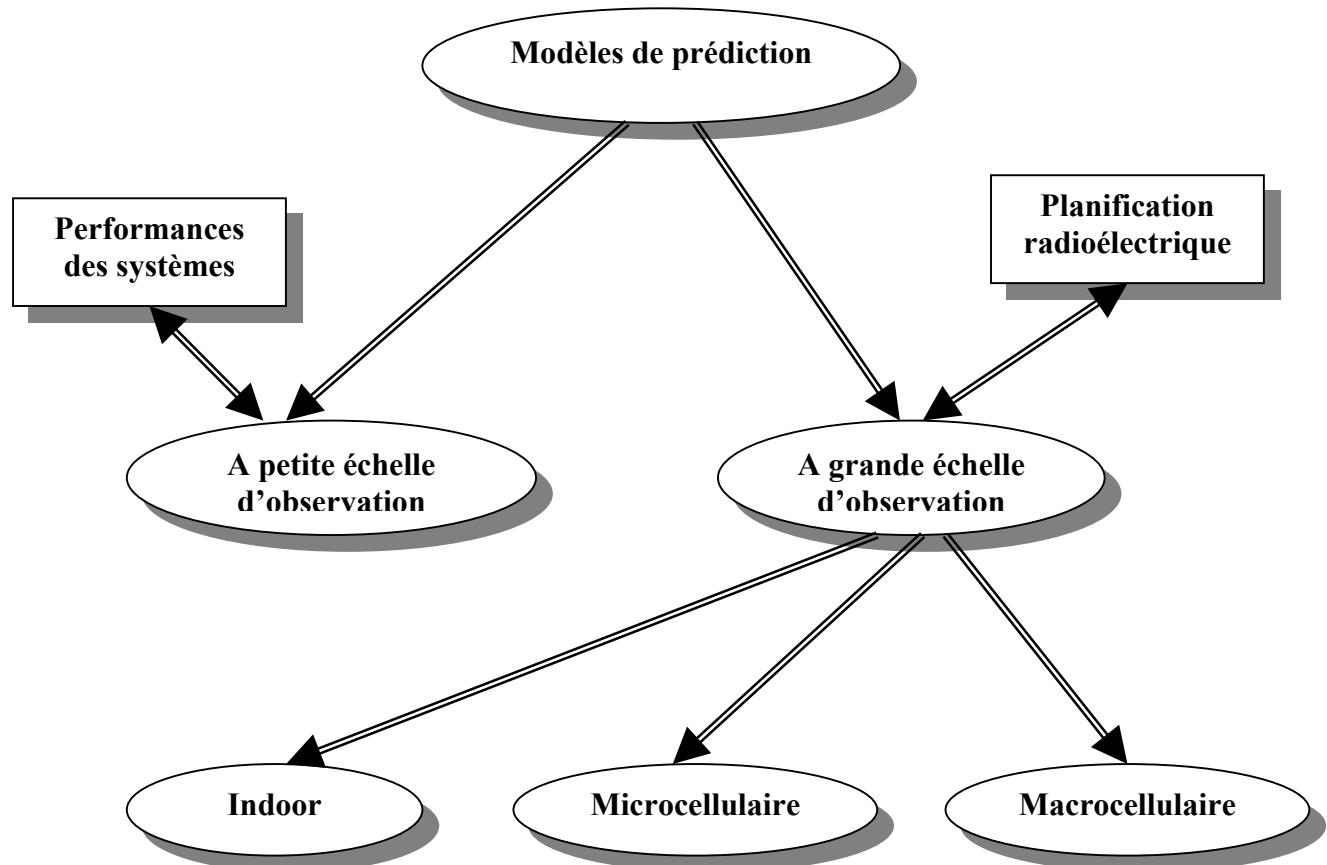


Figure II. 2: Classification des modèles de prédiction de la propagation radio

Les modèles les plus connus seront classés selon les environnements de leur validité à savoir:

- Modèles de la propagation en environnement suburbain et rural.
- Modèles de propagations en environnement urbain.
- Modèles de propagations à l'intérieur des bâtiments.

II. Modèles de propagation en indoor (pico-cellulaire)

En entend par propagation en *Indoor* la propagation à l'intérieur des bâtiments. Un grand nombre de paramètres qui caractérisent l'environnement est utilisé par ces modèles : la nature du terrain, la nature des matériaux de construction, l'épaisseur des murs etc.

On souligne les phénomènes généraux suivants :

- la pénétration d'une onde n'est pas possible lorsque l'épaisseur de l'obstacle est bien supérieure à la longueur d'onde.
- une onde pénètre via une ouverture dont la taille est au moins de l'ordre de la longueur d'onde.
- les phénomènes d'évanouissement sont beaucoup plus sévères à l'intérieur des bâtiments.

Parmi les modèles de propagation en Indoor en cite le modèle de Lafortune (voir l'annexe).

III. Modèles de propagation en environnement urbain (microcellulaire)

Ces modèles sont utilisés dans les environnements urbains denses.

En milieu urbain, lorsque l'antenne de la station de base est située en dessous du niveau des toits et que les puissances d'émission sont faibles, la zone couverte est appelée « microcellule ». Si le mobile est en visibilité de la station de base (*LOS, Line Of Sight*), le trajet direct de l'onde est prépondérant devant les diffractions et les réflexions. L'affaiblissement est estimé par la formule suivante, proposée par le comité 231 :

$$L_{los} = 42.6 + 20 \log(f) + 26 \log(d) \text{ pour } d > 0.02 \text{ km.}$$

Exemples de modèles microcellulaire : le modèle du COST 231, Walfish-Ikegami et le modèle de Sakagami-Kuboi (voir Annexe).

IV. Modèles de propagation en environnement suburbain ou rural (macro-cellulaire)

Le modèle le plus utilisé est celui de Okumura-Hata. Il est souvent désigné sous le terme de formule d'Okumura-Hata et il sert de base à une grande variété de modèles plus affinés, comme le cas du modèle du COST231-Okumura-Hata qu'on le décrira dans le paragraphe suivant.

Ensuite, nous décrivons le modèle de Deygout utilisé dans les environnements ruraux.

1. Modèle du COST231-Okumura-Hata

Pour le calcul de l'affaiblissement dans un environnement suburbain ou rural, nous allons présenter un modèle de prédiction de la propagation adopté par le CCIR et recommandé par le COST 231.

Les caractéristiques du modèle du COST 231-Okumura-Hata sont résumés dans le tableau suivant [2]:

| | |
|--------------------------------|---|
| Environnement : | Micro-cellulaire pour une distance $d < 20\text{km}$ |
| Domaine de la validité: | <ul style="list-style-type: none"> - Fréquence: 150...1500 MHz - Distance : 1...20 km - h_{base}: 30...200 m - h_{mobile}: 1...3 m |
| Paramètres : | <ul style="list-style-type: none"> - Distance émetteur-récepteur - Fréquence - La hauteur de la station de base: h_{base} - La hauteur du mobile: h_{mobile} - Facteur de correction pour les zones urbaines |
| Méthodologies: | Modèle empirique; basé sur les travaux d'Okumura-Hata avec un faveur de correction empirique. |
| Entrées: | <ul style="list-style-type: none"> - d: distance en mètres - f: fréquence en MHz - h_{mobile}: hauteur de l'antenne de la station de mobile - h_{base}: hauteur de l'antenne de la station de base - Nature de l'environnement; urbain, suburbain etc... |
| Sortie: | Affaiblissement total en dB |
| Remarque: | L'antenne de la station de base doit avoir une hauteur supérieure à celle des bâtiments voisines. |

Tableau II. 1: *Les caractéristiques du modèle d'Okumura-Hata.*

Algorithme :

$$L = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_{\text{base}}) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_{\text{base}})) \log(d) + C_m$$

Avec:

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

$$C_m = \begin{cases} 0 & \text{pour les cités de moyenne capacité et les banlieues} \\ 3 & \text{pour les centres métropolitains} \end{cases}$$

f : fréquence en MHz

d : distance entre la station de base et la station mobile en km

h_{base} : hauteur de la station de base en m

h_{mobile} : hauteur de la station mobile en m

2. Modèle de Deygout

La méthode de Deygout est développée par la prédiction de la propagation dans les zones rurales où les obstacles sont généralement isolés.

En effet, cette méthode considère que l'une des arêtes, en principe la première arête rencontrée par le signal émis, crée la majeure partie de l'atténuation de diffraction. Les autres arêtes ne font qu'introduire une atténuation complémentaire. L'atténuation de l'arête principale est calculée comme si les autres arêtes n'existaient pas. L'atténuation apportée par chaque arête diffracte l'énergie diffractée par la précédente sur l'arête suivante (voir figure II.3)[2].

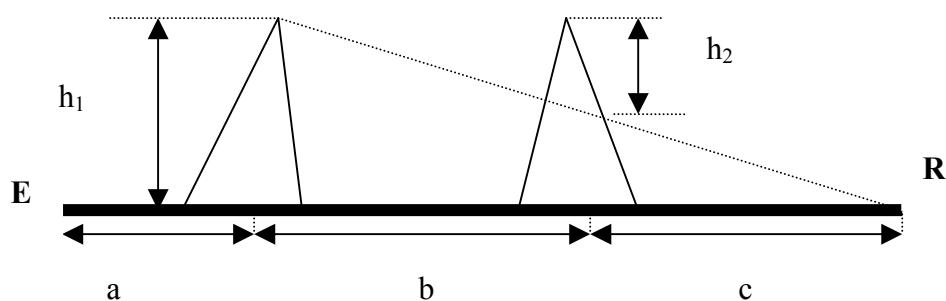


Figure II. 3 : Diffraction sur arêtes multiples. Méthode de Deygout

L'expression de l'atténuation L est donnée par :

$$L = \sum a_m - t_c$$

Avec

$$a_m = \begin{cases} 0 \text{ db} & \text{pour } h_i/r_i \leq -0.5 \\ 6 + 12(h_i / r_i) & \text{pour } -0.5 < h_i/r_i \leq 0.5 \\ 8 + 8(h_i / r_i) & \text{pour } 0.5 < h_i/r_i \leq 1 \\ 16 + 20(\log(h_i/r_i)) & \text{pour } h_i/r_i > 1 \end{cases}$$

V. Les principaux paramètres utilisés

Pour l'environnement macrocellulaire, nous avons présenté le modèle d'Okumura-Hata recommandé par le COST 231 et qui présente comme paramètres [2] :

- la hauteur de la station de base, qui doit être supérieure à la hauteur des bâtiments de l'entourage pour que le modèle soit valable.
- la hauteur de la station mobile comprise entre 1 m et 10 m.
- le rayon de validité de prédiction par ce modèle est compris entre 1 km et 20 km

Pour l'environnement micro-cellulaire, nous avons présenté comme exemples le modèle de Walfish-Ikegami et de Sakagami-Kuboi. Ces modèles nécessitent des paramètres qui caractérisent l'environnement à savoir :

- h_{roof} : hauteur des bâtiments
- w : largeur de la rue
- ϕ : angle entre la direction de la rue et celle de l'émetteur-récepteur

Ces paramètres sont représentés par la figure II.4 :

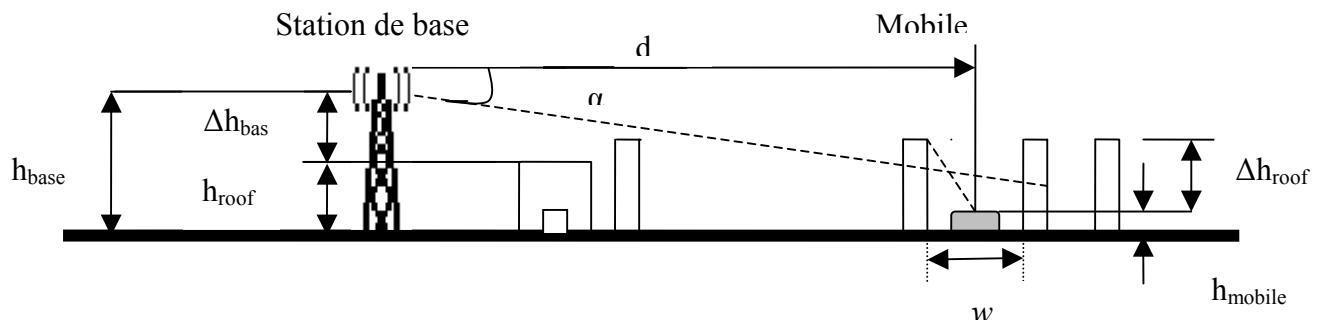


Figure II. 4 : Paramètres de modèle d' Walfish-Ikegami

Le modèle de Walfish-Ikegami est utilisé pour une hauteur de la station de base qui dépasse la hauteur des bâtiments, alors que celui de Sakagami-Kuboi est applicable uniquement pour une hauteur de la station de base inférieur à la hauteur des bâtiments.[2]

VI. Conclusion

Ces modèles ne peuvent être utilisés d'une façon identique d'une ville à une autre ou même d'une zone à une autre. En effet, vu qu'ils comportent des dizaines de paramètres d'« ajustages », ils doivent être adaptés à l'environnement sur lequel ils seront appliqués.

Cette tâche est réalisée lors du processus de planification cellulaire d'une zone, où il appartient au planificateur de choisir le modèle de propagation le plus adapté à la zone à couvrir et de le calibrer ensuite suivant les caractéristiques de cette zone.

Nous passons dans le chapitre suivant à introduire notre logiciel développé dans le but de calculer en tout point d'une zone le niveau de champs pour aider le planificateur à accomplir sa tâche.

Chapitre III PRESENTATION DE L'OUTIL DE CALCUL DE COUVERTURE D'UN RESEAU CELLULAIRE

I. Introduction

II. Spécifications du cahier de charge du logiciel

III. Fonctionnalités de l'outil

IV. Structure de l'outil

V. Conclusion

I. Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons présenté les modèles de propagations et les caractéristiques de chacun.

Nous avons présenté également les différents environnements correspondants à chaque modèle.

Nous allons nous intéresser dans ce chapitre à spécifier le cahier de charge du logiciel avec la définition détaillée du principe et la méthodologie utilisée.

Nous présentons aussi la structure de l'outils avec ses principales fonctionnalités.

II. Spécifications du cahier de charge du logiciel

1. Généralités sur le logiciel

La planification d'un réseau cellulaire nécessite le calcul de couverture en tout point de la zone à couvrir afin de s'assurer que le niveau de champ est supérieur à un seuil prédéfini.

Pour cela la couverture d'un réseau cellulaire se relève importante et représente une des tâches essentielles qui conditionnent le bon fonctionnement et la satisfaction des abonnés.

Pour qu'on puisse réaliser cette tâche, il est important de connaître les emplacements et les propriétés des BTSs et exploiter les données radio.

Les planificateurs doivent disposer donc d'un outil de calcul de couverture d'un réseau GSM permettant de calculer en tout point de la carte, un niveau de champ et doter d'un ensemble de méthodes gérant les étapes de calcul de couverture du réseau.

Afin de répondre au besoin de simulation de la planification cellulaire, un logiciel de calcul de couverture d'un réseau GSM nommé « WK2002 » va être développé.

2. Intérêt et objectif du logiciel

Cet outil permettra de calculer la couverture en tout point du réseau.

Les modules intégrés dans le logiciel sont les suivants :

- ♦ module de saisie de carte
- ♦ module de choix du modèle de propagation
- ♦ module de positionnement des BTS
- ♦ module de calcul

3. Définition du cahier de charge

Nous pouvons résumer les critères d'optimisation et de performance de notre outil restreint au points suivants :

- ♦ saisie des cartes
- ♦ choix du modèle de propagation
- ♦ positionnement des BTS
- ♦ calcul de l'affaiblissement

En outre, il ne faut pas oublier les autres conditions à savoir la précision des résultats, la clarté et la cohérence de l'outil, la modularité de la programmation, et la structuration des données en plus d'une interface graphique utilisateur lisible.

III. Fonctionnalités de l'outil

Les fonctionnalités de notre logiciel sont présentées sur la figure suivante :

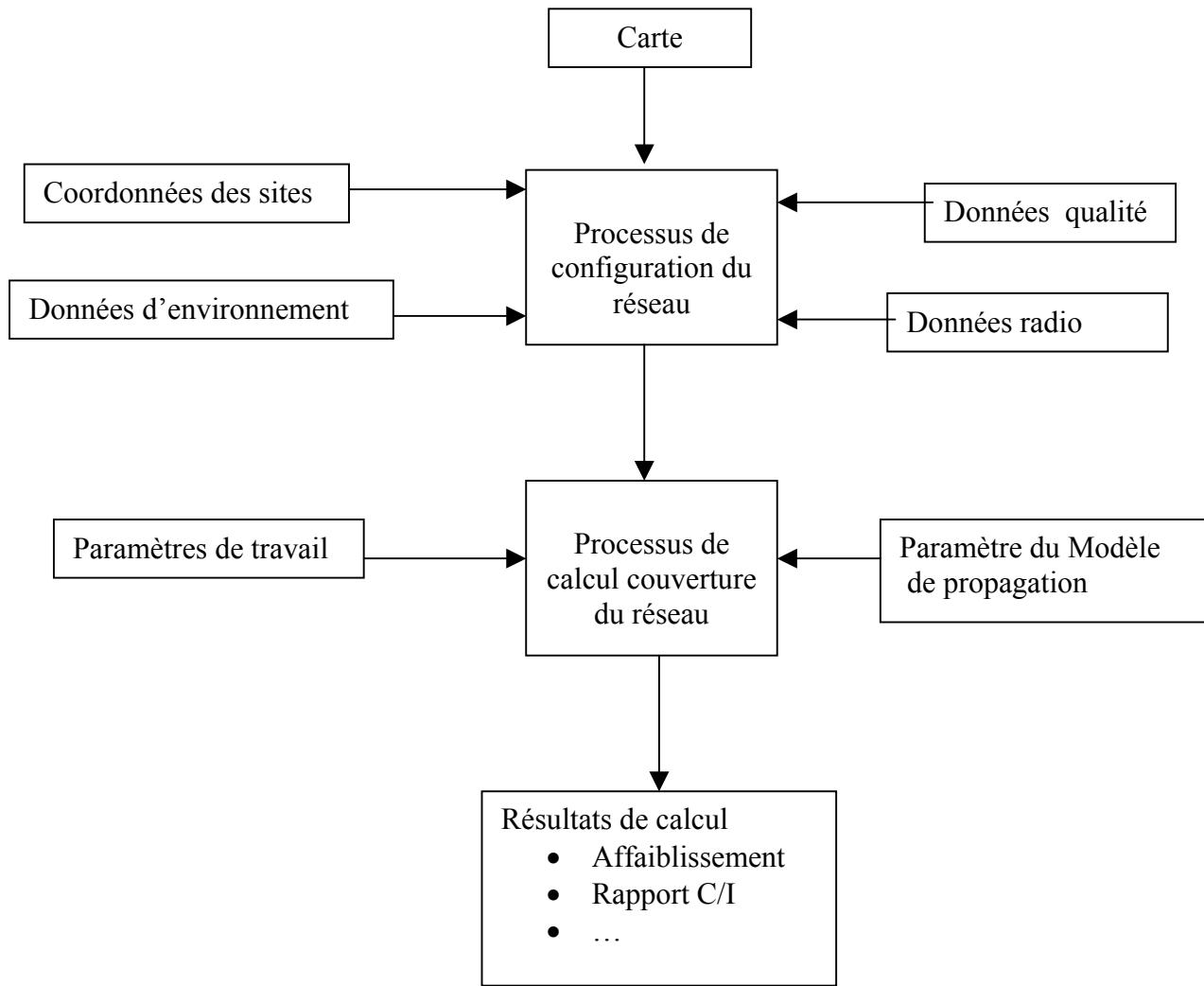


Figure III. 1: Fonctionnalités de l'outil

IV. Structure de l'outil

Notre outil a été développé avec le langage de programmation Delphi 5 qui présente un environnement de développement orienté objet sous windows.

1. Utilisation de l'outil

On commence par choisir un environnement de travail qui est la carte, on choisit une configuration de données d'entrées (Type d'environnement, modèle de propagation,...)

Ensuite pour cette configuration on distribue les BTS et on calcule en tout point de la carte l'affaiblissement Lu ...

L'organigramme suivant illustre le principe de fonctionnement de l'outil :

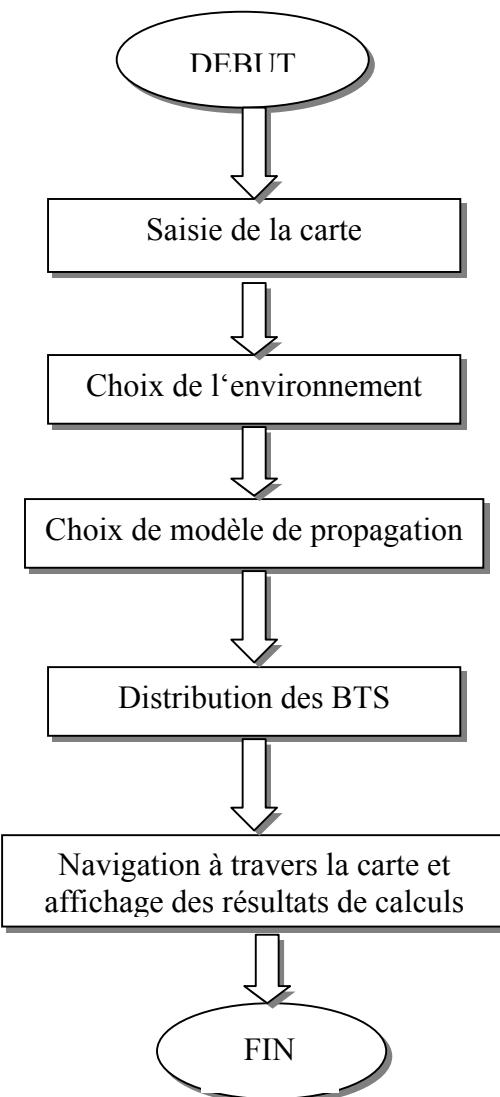


Figure III. 2: Organigramme de fonctionnement de l'outil

2. Les objets utilisés

Parmi les objets que notre logiciel comporte nous citons les suivants :

- Objet station de base :

il comporte les membres suivants :

- site
- longitude
- attitude
- hauteur d'antenne
- azimut
- tilt

Ces données peuvent être changées à tous moment grâce à un accès instantané à la base de données dynamique(ajouter ou supprimer des BTS ou modifier leur caractéristiques).

- L'objet Cartes :

Il affiche la carte choisie et active sa base de données correspondante.

C'est l'objet central de l'application, avec lequel sont liés les données géographiques et les coordonnées des sites à travers une base de données dynamique.

3. Paramètres d'entrée et de sortie et principales fonctions utilisées

- ◆ Paramètres d'Entrée :

Les paramètres d'entrées de notre logiciel sont :

- Type d'environnement : ce sont les données générales décrivant l'environnement sur lequel on va faire la simulation.

- Modèle de propagation : à chaque modèle correspond un algorithme de calcul d'affaiblissement.

Par défaut nous avons utilisé le modèle COST231-Okumura-Hata (car c'est le modèle le plus adapté et utilisé dans l'environnement tunisien.)

- les caractéristiques des BTS : coordonnées, azimut, tilt, hauteur d'antenne,.... .

◆ Paramètre de Sortie :

Les paramètres de sortie de notre logiciel sont :

- Affichage des BTS sur la carte
- Nom du BTS à lequel on est connecté à chaque point de la carte et la distance qui les sépare.
- L'affaiblissement Lu
- Recherche de BTS par différent critères (nom, position, etc..)

V. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudiée la structure de notre outil : a commencée par la méthodologie de l'outil et les paramètres d'entrée sortie en tenant compte du cahier de charge. Dans le chapitre suivant nous allons détaillés l'interface utilisateur.

Chapitre IV INTERFACE UTILISATEUR DEVELOPPEE

- I. Introduction**
- II. Installation du logiciel**
- III. Fenêtre principale de l'outil**
- IV. Exemple de calcul de couverture**
- V. Perspectives d'avenir de notre logiciel**
- VI. Conclusion**

I. Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre précédent le cahier des charges avec une description des ses fonctionnalités et de la méthodologie suivie. Nous allons décrire dans ce chapitre notre outils intitulé « WK2002 ». Cet outil est conçue pour être utilisé dans la planification d'un réseau cellulaire pour calculer la couverture en tout point de la zone à couvrir.

Dans ce chapitre, nous décrivons l'installations de notre logiciel et l'interface utilisateur.

Il comporte aussi les perspectives d'avenir du logiciel réalisé permettant de le faire évoluer.

II. Installation du logiciel

Pour réussir l'installation de WK2002 il suffit de suivre les instructions indiquées sur l'écran. C'est une étape d'installation classique comme la plupart des logiciels sous windows.

III. Fenêtre principale de l'outil

Dans cette interface, l'utilisateur a la possibilité de travailler sur plusieurs cartes. Pour le moment, faute de disponibilité de carte, on ne va travailler que sur une seul carte qui est la carte de grande Tunis.

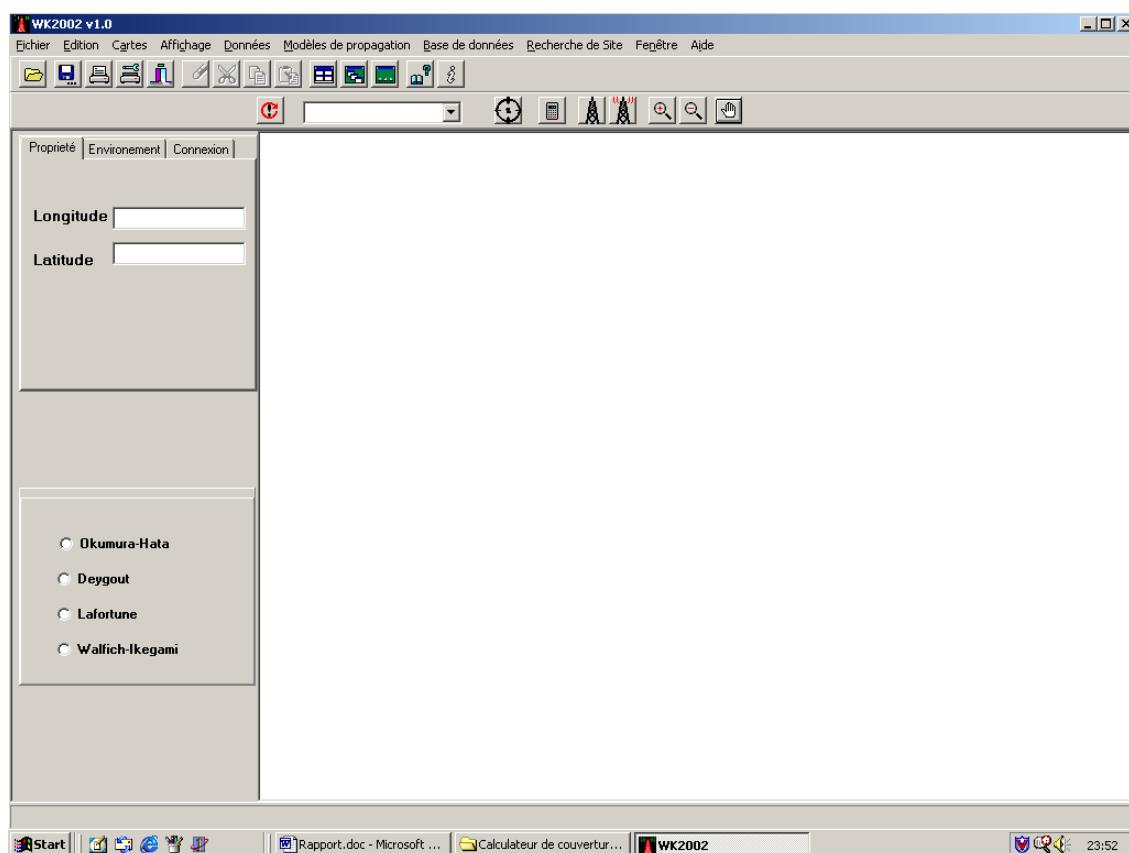
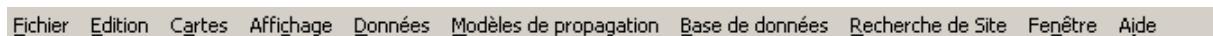


Figure IV. 1 : Fenêtre principale

Cette fenêtre est composée de :

une barre de menu



une barre d'outil standard



et une barre d'outil de commandes



1. Menu Fichier

Il contient des commandes standards pour ouvrir, fermer ,enregistrer ou imprimer un fichier.

- Ouvrir :



Pour commencer, l'utilisateur doit ouvrir un espace de travail qui est en général une carte (pour cette version il y a qu'une seul carte disponible qui est la carte de grand Tunis).

Cette carte va être affichée dans la fenêtre d'affichage.

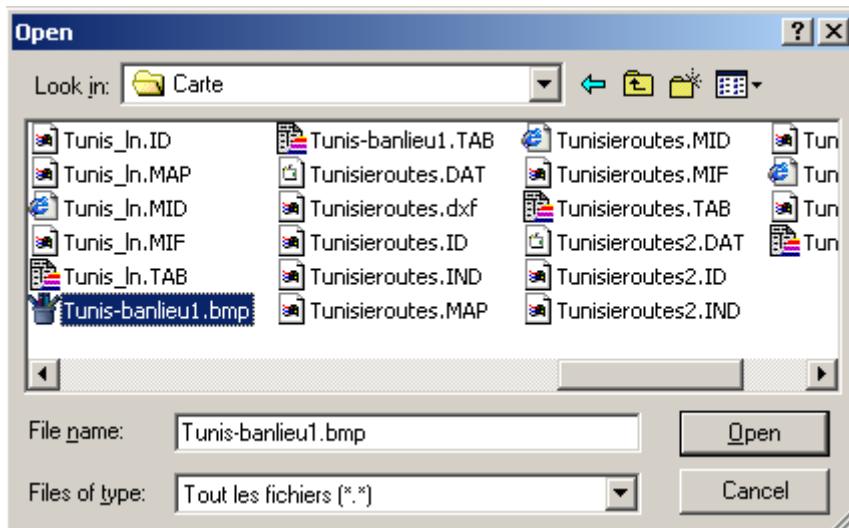


Figure IV. 2: Boîte de dialogue Ouvrir

L'utilisateur spécifie dans cette boîte le nom de la carte à ouvrir ainsi que son emplacement.

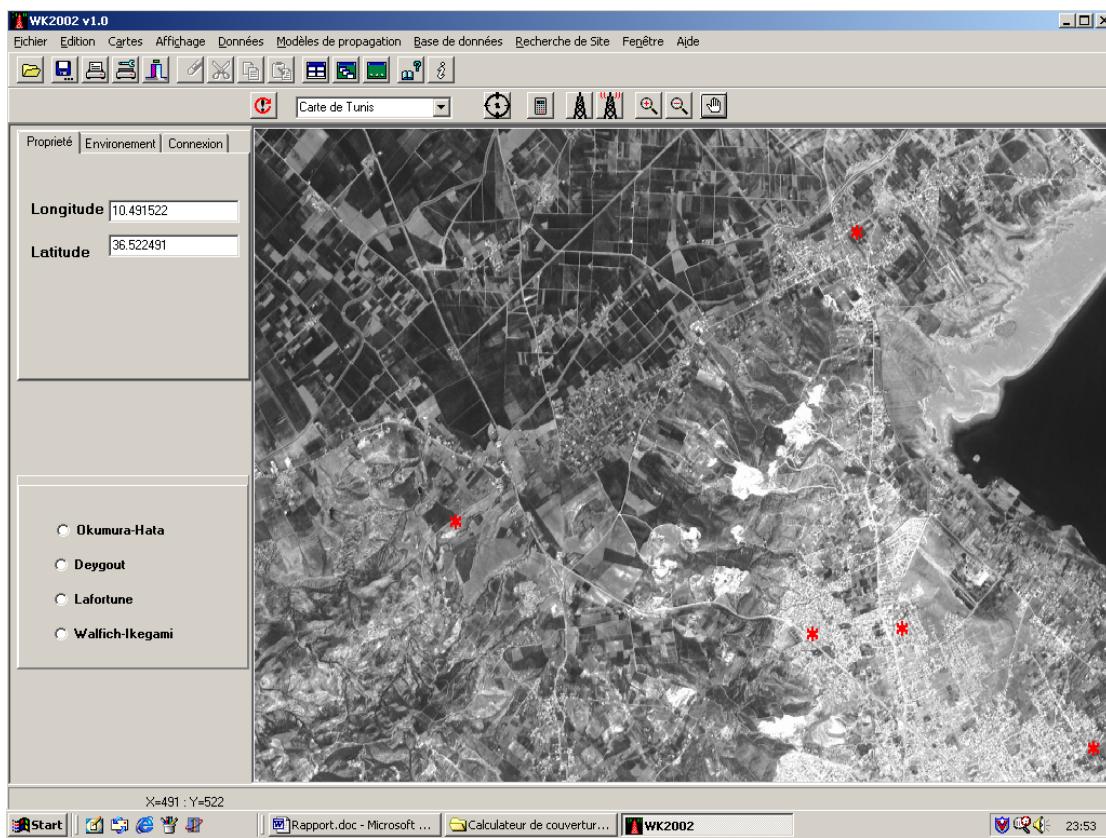


Figure IV. 3: Affichage

-Enregistrer sous :



ce sous-menu enregistre l'espace de travail ouvert, on peut choisir le nom et le répertoire de destination. La boîte de dialogue est comme suit :

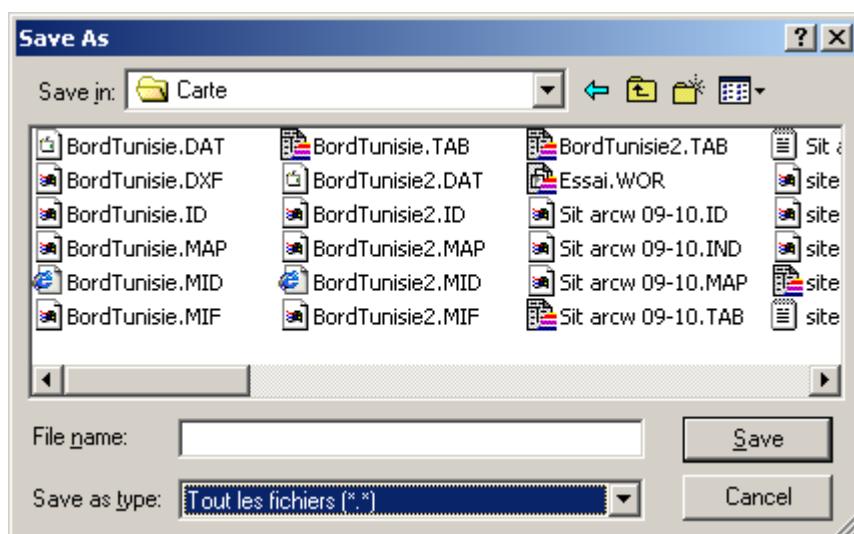


Figure IV. 4: Boite de dialogue enregistrer

-Fermer : pour fermer l'espace de travail courant.

-Imprimer :



Cette option du menu imprime le contenu de la fenêtre de l'affichage représentant une vue d'une partie ou de l'ensemble la carte.

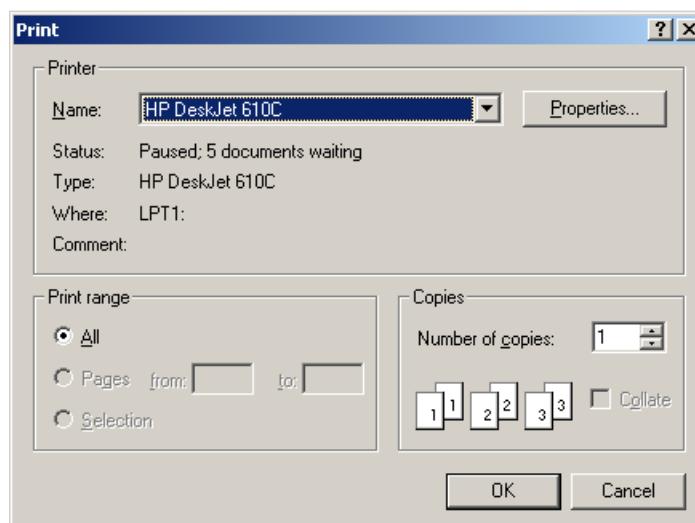


Figure IV. 5: Boite de dialogue Imprimer

-Configuration imprimante :



Cette option configue l'imprimante. Elle provoque l'apparition de la boîte de dialogue suivante :

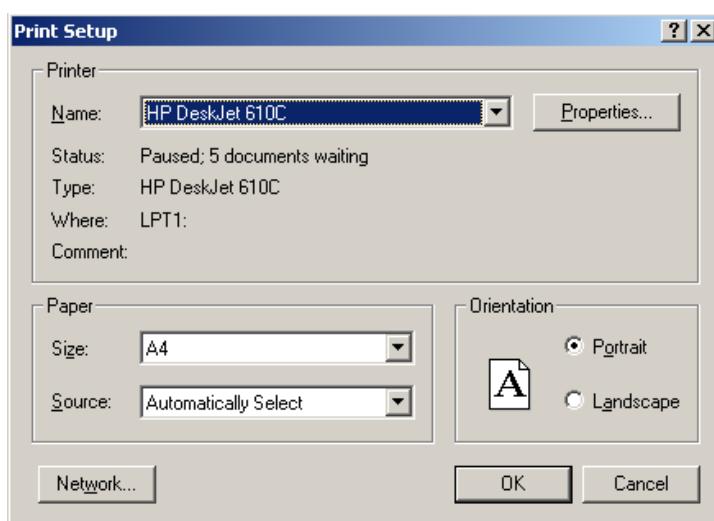


Figure IV. 6: Boite de dialogue configuration de l'imprimante

-Quitter : 

pour quitter le logiciel

2. Menu édition



Figure IV. 7: *Menu édition*

-Défaire : pour annuler la dernière action

-Répéter : pour répéter l'action annulée

3. Menu cartes



Figure IV. 8: *Menu carte*

Il contient les cartes disponibles. On peut ouvrir directement un espace de travail en chargeant une carte. Dans cette première version du logiciel on ne trouvera qu'une seul carte de Grand Tunis.

4. Menu affichage

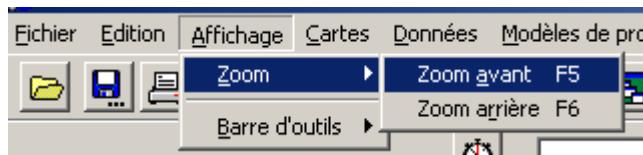


Figure IV. 9: *Le menu affichage*

-Zoom : cette commande permet de faire une zoom avant ou zoom arrière sur la carte 

-Barre d'outils :

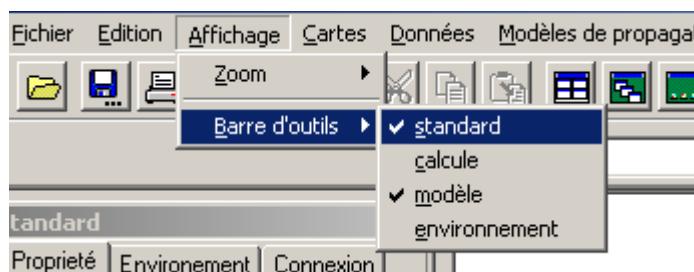


Figure IV. 10: Sous menu barre d'outil

Elle permet d'ajouter ou de fermer les fenêtres de configuration et de calcul.



Figure IV. 11: La fenêtre standard



Figure IV. 12: La fenêtre modèle de propagation

La fenêtre Modèles de propagation permet de sélectionner le modèle de propagation avec lequel on va effectuer le calcul.

La fenêtre Standard permet d'afficher l'état de la connexion en tout point de la carte : le site sur lequel on est connecté, l'affaiblissement à ce point et la distance entre ce point et le site.

Dans la fenêtre Environnement, on doit indiquer la nature de l'environnement.

5. Menu données :



Figure IV. 13: Menu données

Ce menu permet de faire entrer les données radio et de qualité nécessaire pour le calcul. Il permet d'afficher les fenêtres suivantes :



Figure IV. 14: Boite de dialogue données radio

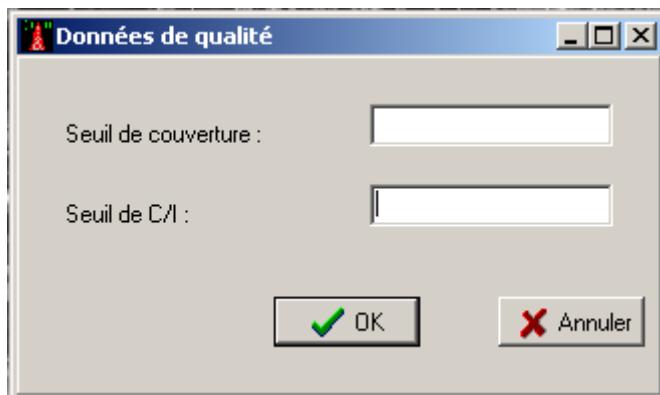


Figure IV. 15 : Boite de dialogue données de qualité

6. Menu modèles de propagation



Figure IV. 16: *Menu modèles de propagation*

Ce menu permet de sélectionner le modèle de propagation avec lequel on va effectuer le calcul. Cette opération peut être exécutée aussi par la boîte d'outil Modèles de propagation. Le modèle sélectionné va être coché.

On sélectionnant le modèle désiré une fenêtre de dialogue va être ouvert pour saisir les paramètres et les données nécessaires au calcul. Si on sélectionne le modèle Okumura-Hata la fenêtre suivante va être affichée :

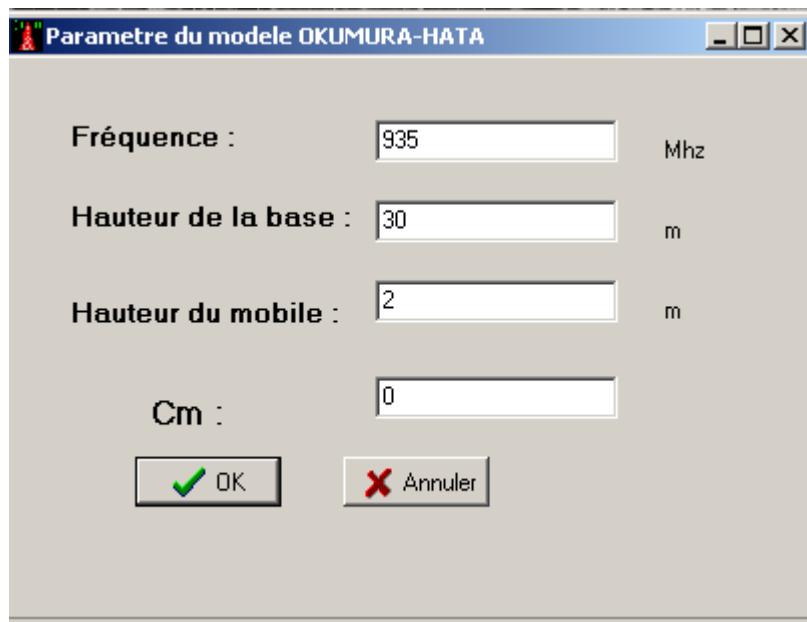


Figure IV. 17: *Boîte de dialogue paramètre du modèle de propagation*

7. Menu bases de données



Figure IV. 18: Sous menu explorateur

Ce menu permet d'explorer la base de données de la carte, d'ajouter des nouveaux BTS ou de les retirés.

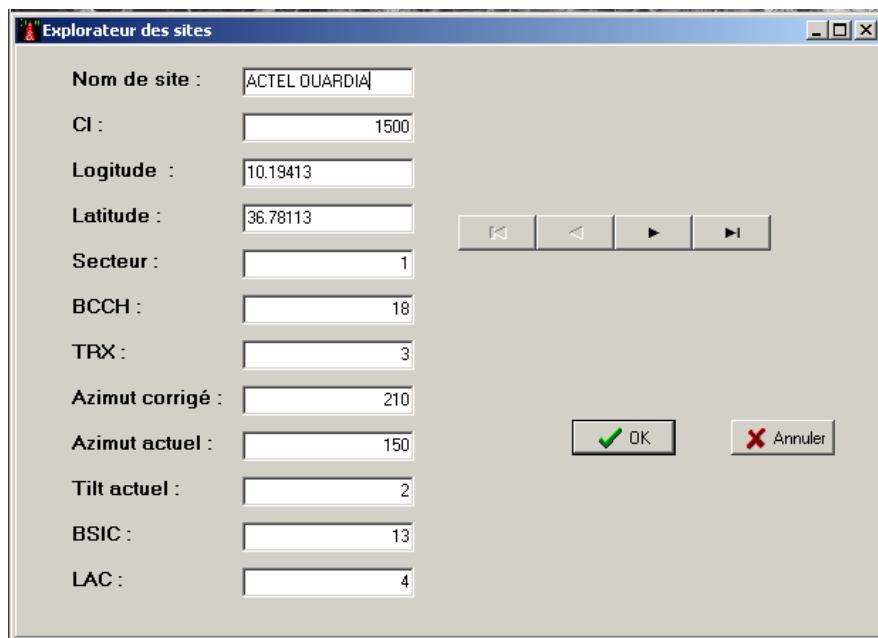


Figure IV. 19: Boite de dialogue explorateur des sites

Ce menu permet d'ajouter à la base de données de la carte des nouveaux BTS.

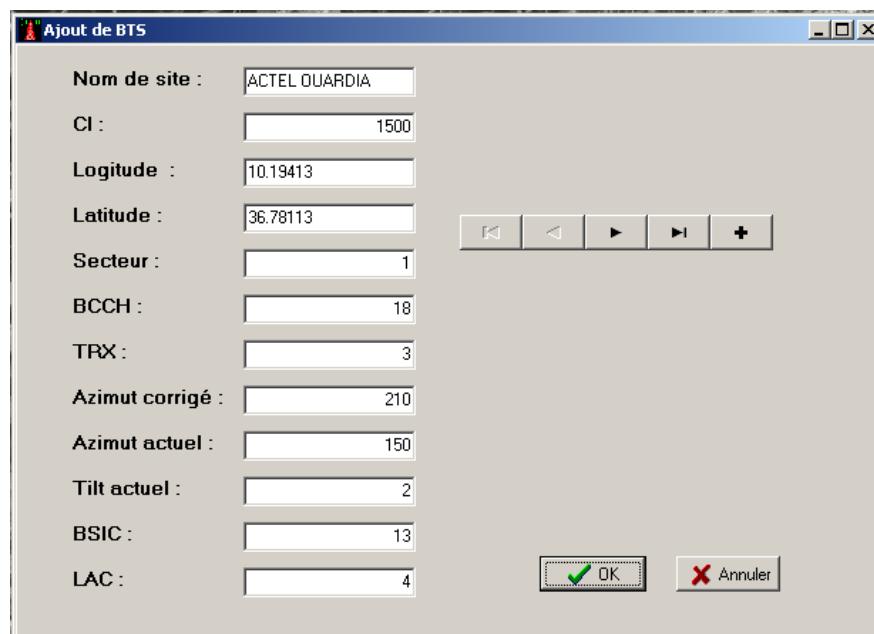


Figure IV. 20: Boite de dialogue ajout de BTS

Ce menu permet de supprimer de la base de données de la carte les BTS

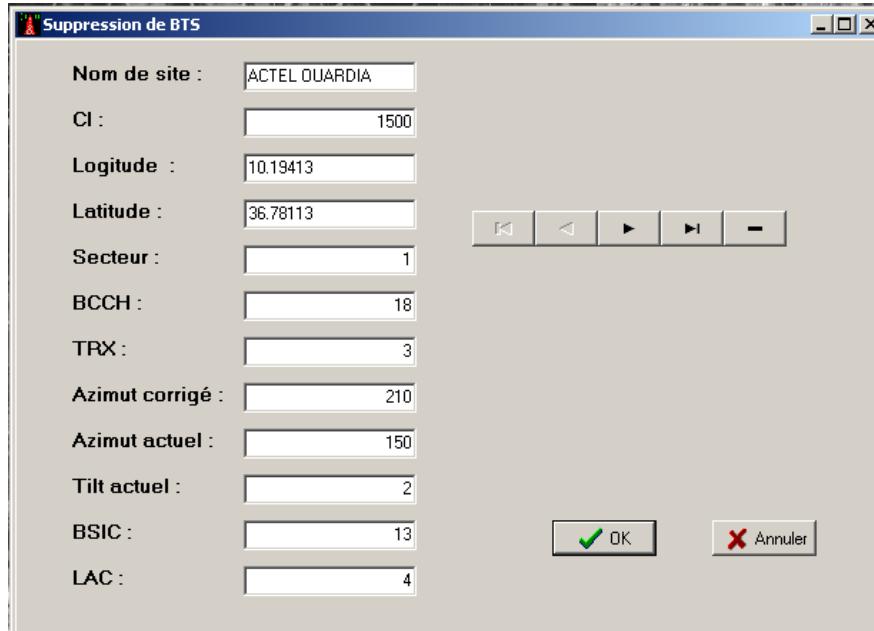


Figure IV. 21: Boite de dialogue de suppression de BTS

8. Menu recherche de site

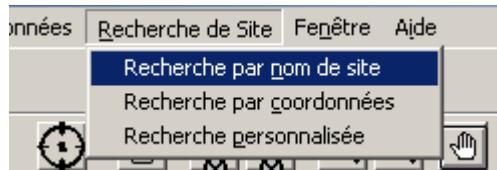


Figure IV. 22: Le menu recherche de site

Ce menu permet de faire une recherche de site, cette recherche peut être soit :

- ✓ Par nom site : on donne le nom du site et on aura ses coordonnées et ses caractéristiques.

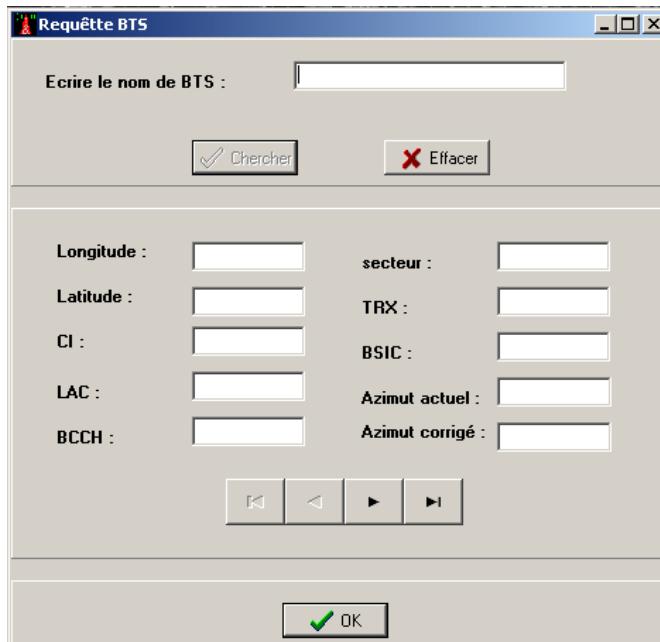


Figure IV. 23: Boîte de dialogue recherche par nom de site

- ✓ Par coordonnée de site : on donne la longitude et la latitude du site et on aura son nom et ces caractéristiques.

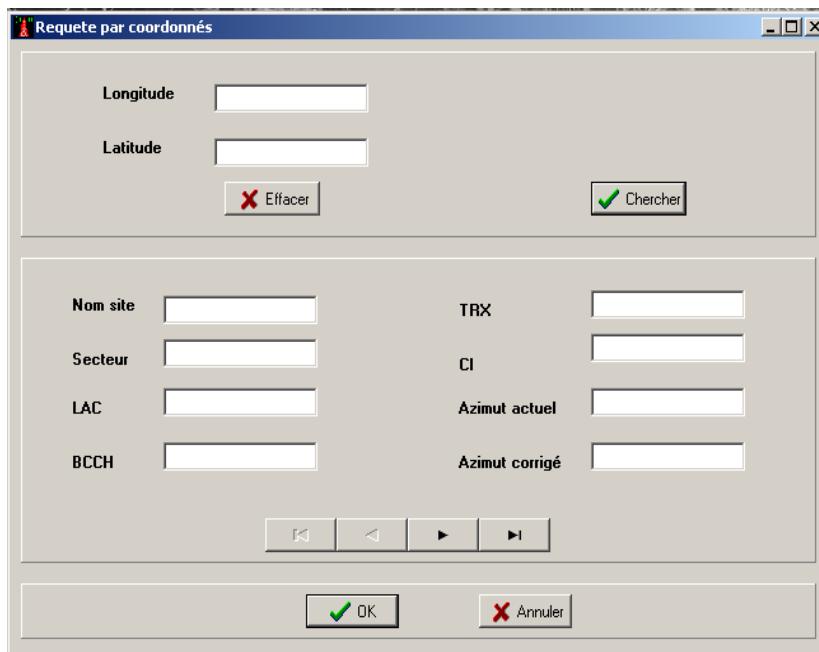


Figure IV. 24: Boite de dialogue recherche site par coordonnées

✓Personnalisée : c'est à dire on a le choix de recherche par nom ou par coordonnées

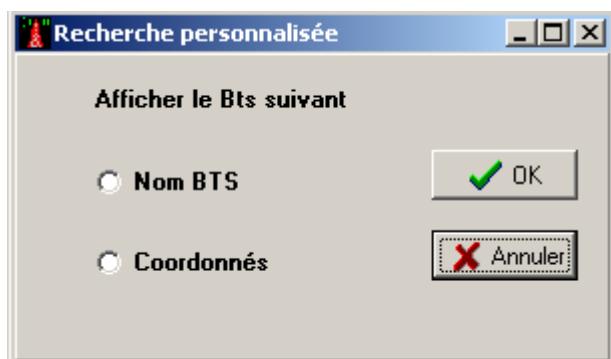


Figure IV. 25: Boite de dialogue recherche personnalisée

Si on choisit la recherche par nom de BTS on aura la fenêtre suivante :

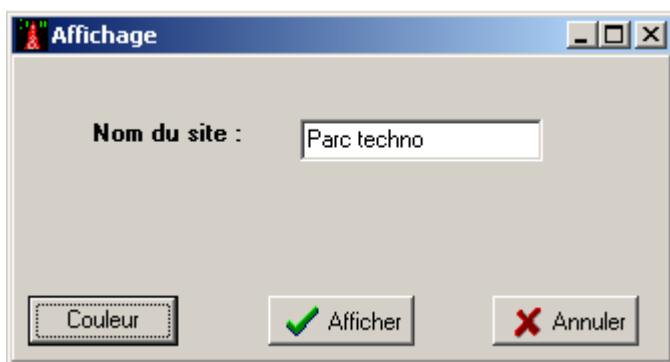


Figure IV. 26: Boite de dialogue affichage



Figure IV. 27: Boite de couleur

Si on clic sur le bouton couleur, une fenêtre de couleur s'ouvrira et on pourra choisir une couleur d'affichage. Le résultat s'affichera sur la carte avec le couleur choisi.



Figure IV. 28: Affichage

9. Menu Fenêtre



Figure IV. 29: Le menu Fenêtre

Si plusieurs fenêtres sont actives, les sous menus « Mosaïque », « Cascade » et « Tout réorganiser » permettent de les visualiser simultanément sur un même écran en mode cascade ou en mode mosaïque.

10. Menu Aide

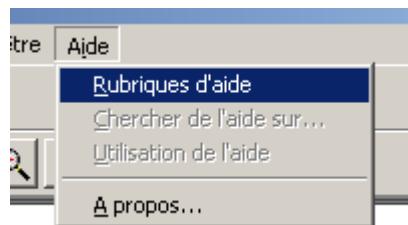


Figure IV. 30: *Le menu aide*

Ce menu affiche des informations sur le logiciel.



Figure IV. 31: *Boîte de dialogue A propos*

Description des boutons de la barre de commande :

[Carte de Tunis] : contient les cartes disponibles

[] : Distribuer les BTS suivant leurs positions.



: Calcul la couverture à chaque point



: Ajouter BTS



: Supprimer une BTS.



: Zoom plus



: Zoom moins



: Déplacer la carte



: Rafraîchir

IV. Exemple de calcul de couverture

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

| | Type de données | Valeur ou nature |
|-----------------------|---------------------------|------------------|
| Environnement | Nature de l'environnement | Zone urbain |
| Modèle de propagation | Type du modèle | Okumura-Hata |
| Station de base | Hauteur | 30 m |
| Station mobile | Hauteur | 2 m |

Tableau IV. 1: *Paramètres d'entrée de la simulation*

Après avoir saisi ces paramètres nous décrivons l'exécution de notre logiciel.
On commence par saisir la carte

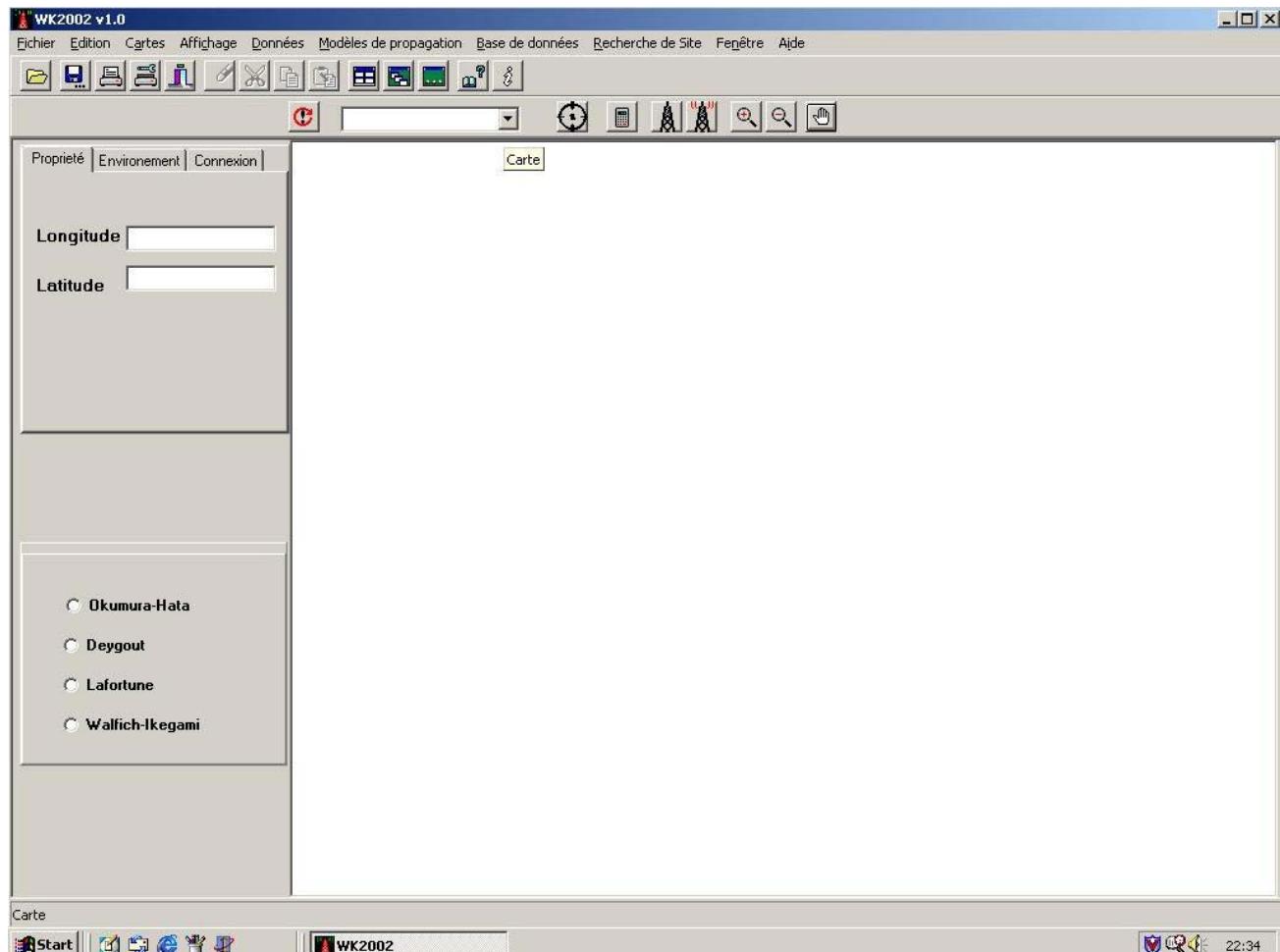


Figure IV. 32 : *Saisie de carte*

Après le saisi de la carte, on distribue les BTS en cliquant sur le bouton de commande « distribution de BTS ».

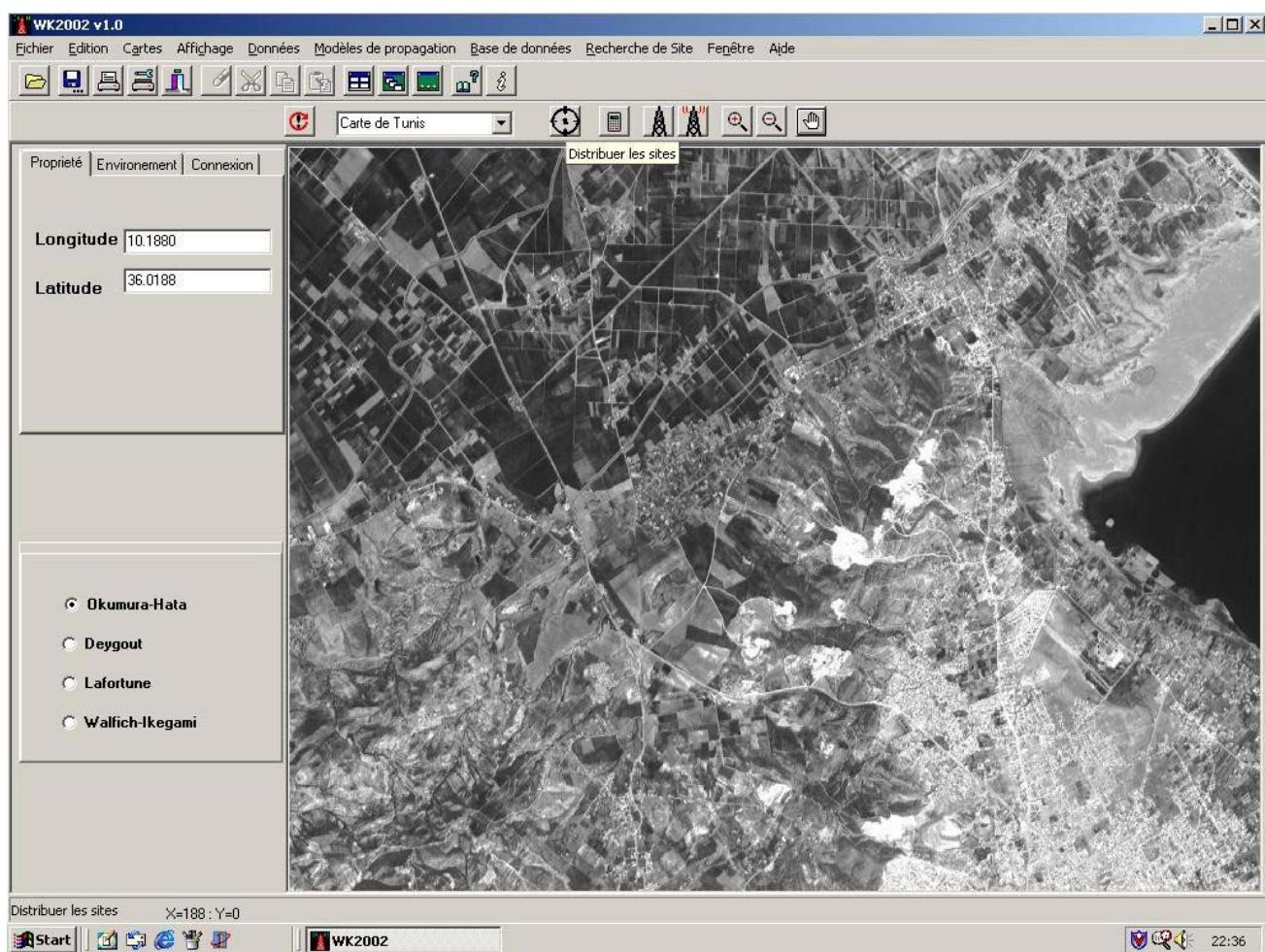


Figure IV. 33 : Distribution des BTS

Le résultat est présenté comme suit :

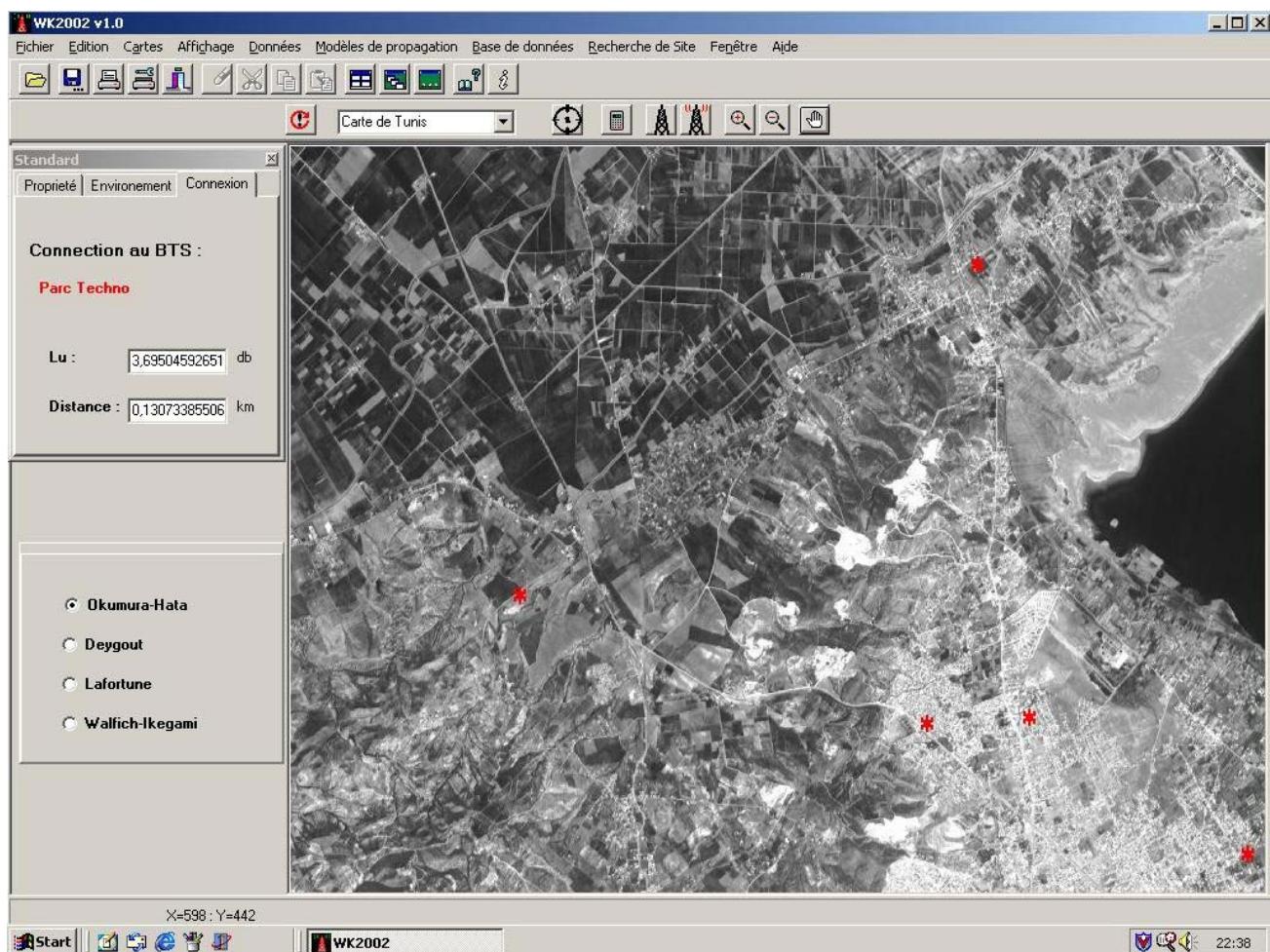


Figure IV. 34 : Résultat de la distribution des BTS

En se déplaçant sur la carte, on aura instantanément l'affaiblissement et la distance du plus proche BTS. Voici un premier exemple proche de site Ariana.

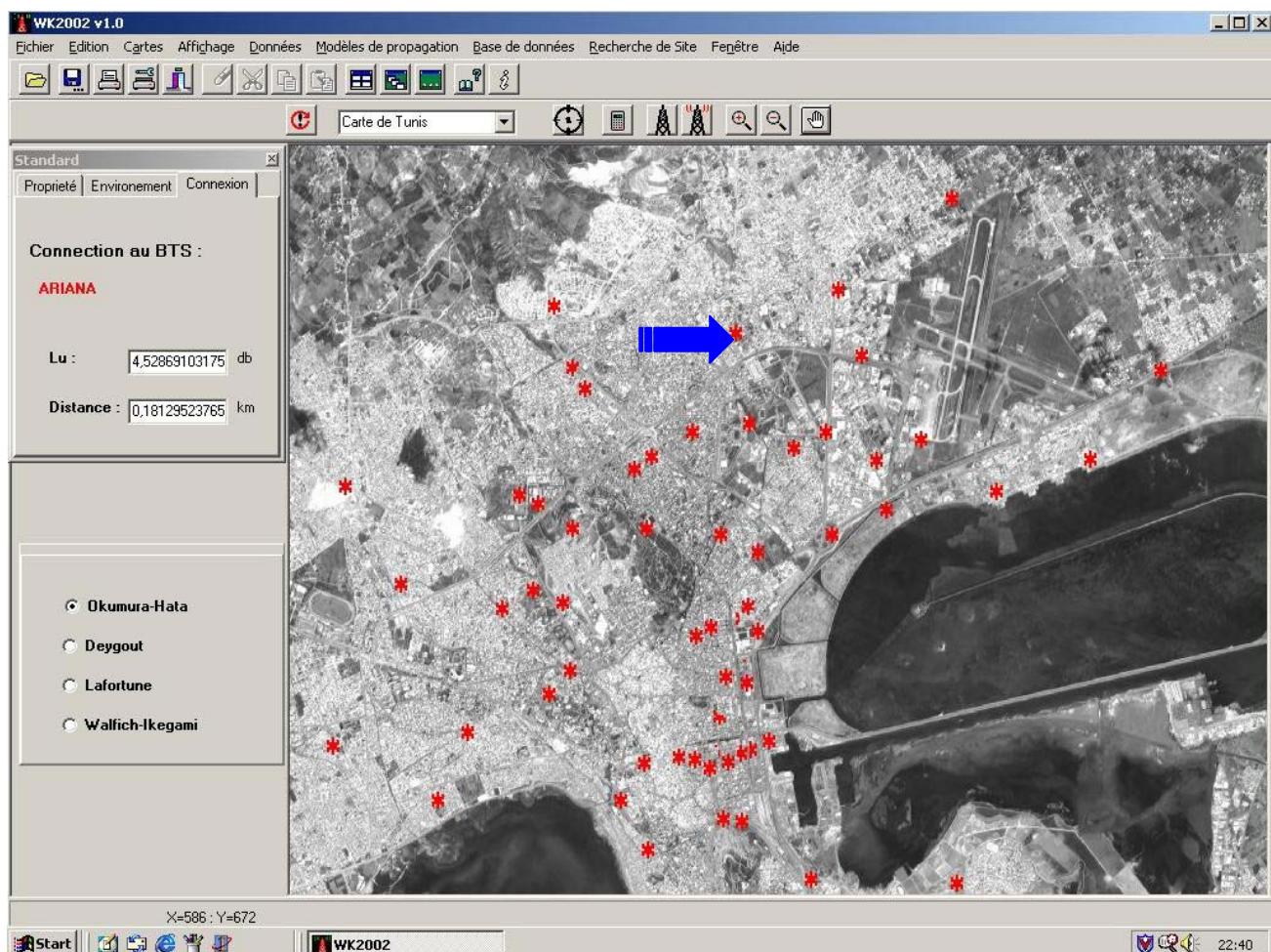


Figure IV. 35 : Exemple Ariana

Voici un deuxième exemple de Soukra :

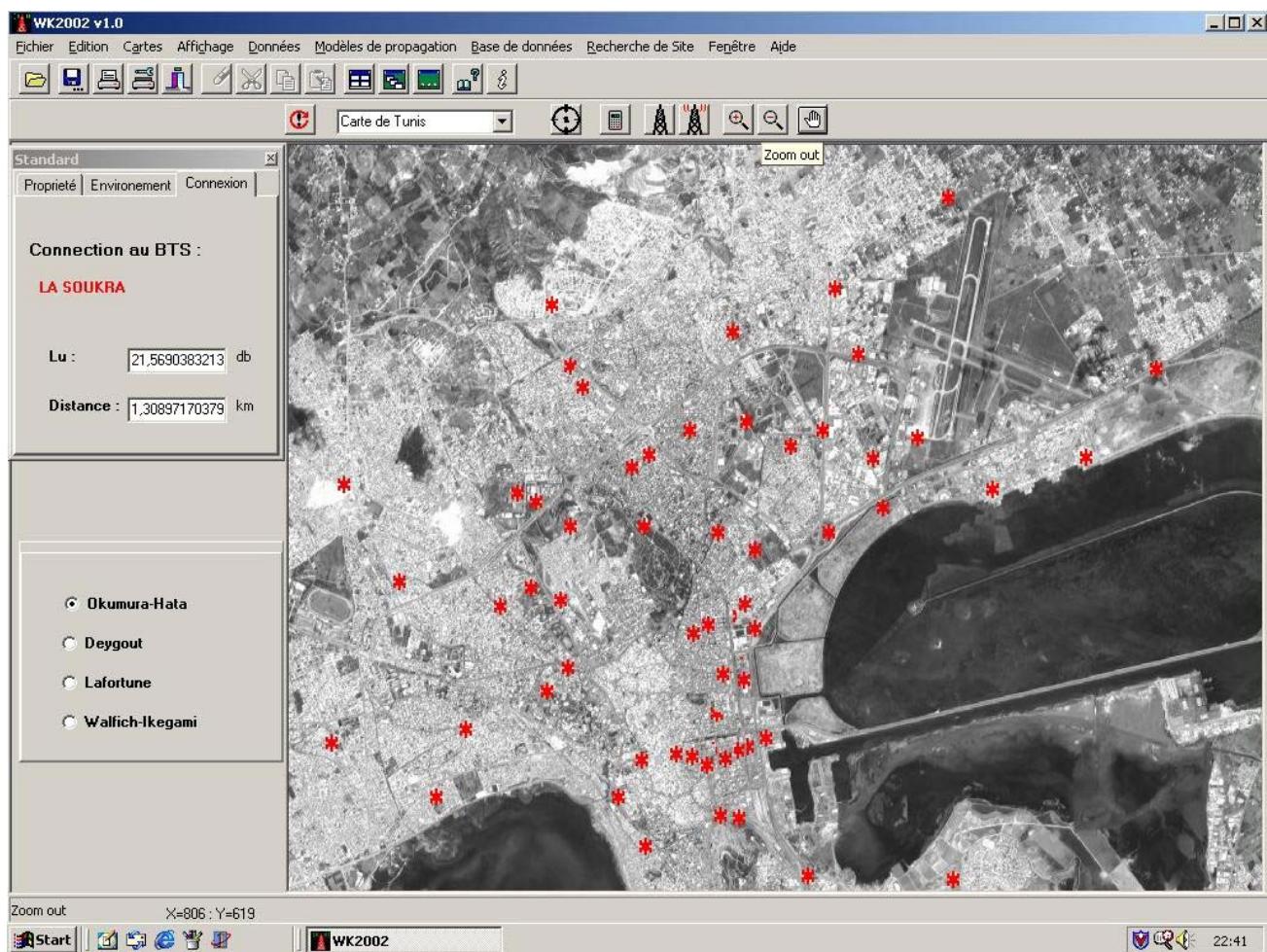


Figure IV. 36 : Exemple de Soukra

Nous allons faire un zoom arrière sur la carte :

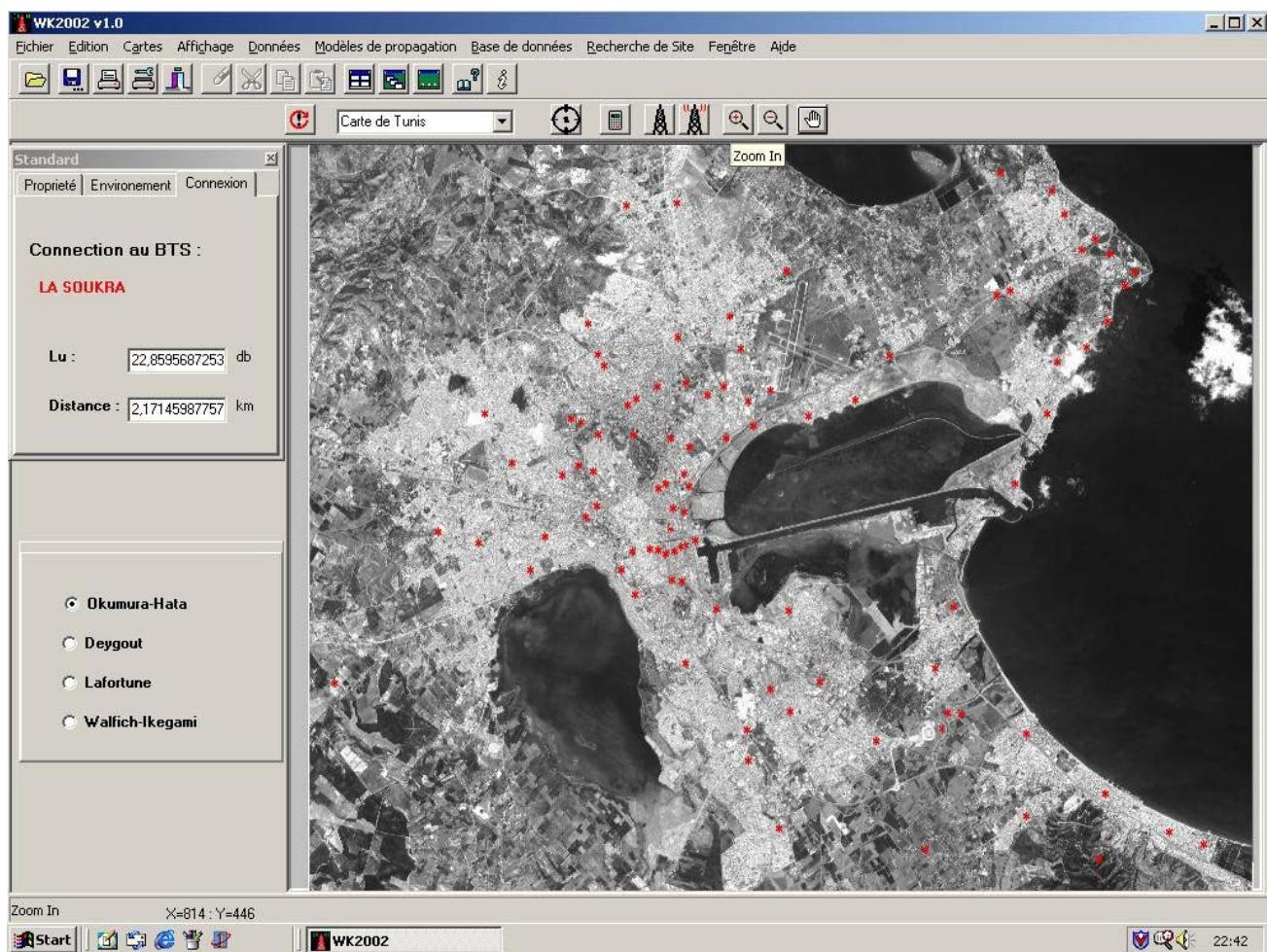


Figure IV. 37 : Zoom arrière

Nous allons faire un zoom avant :

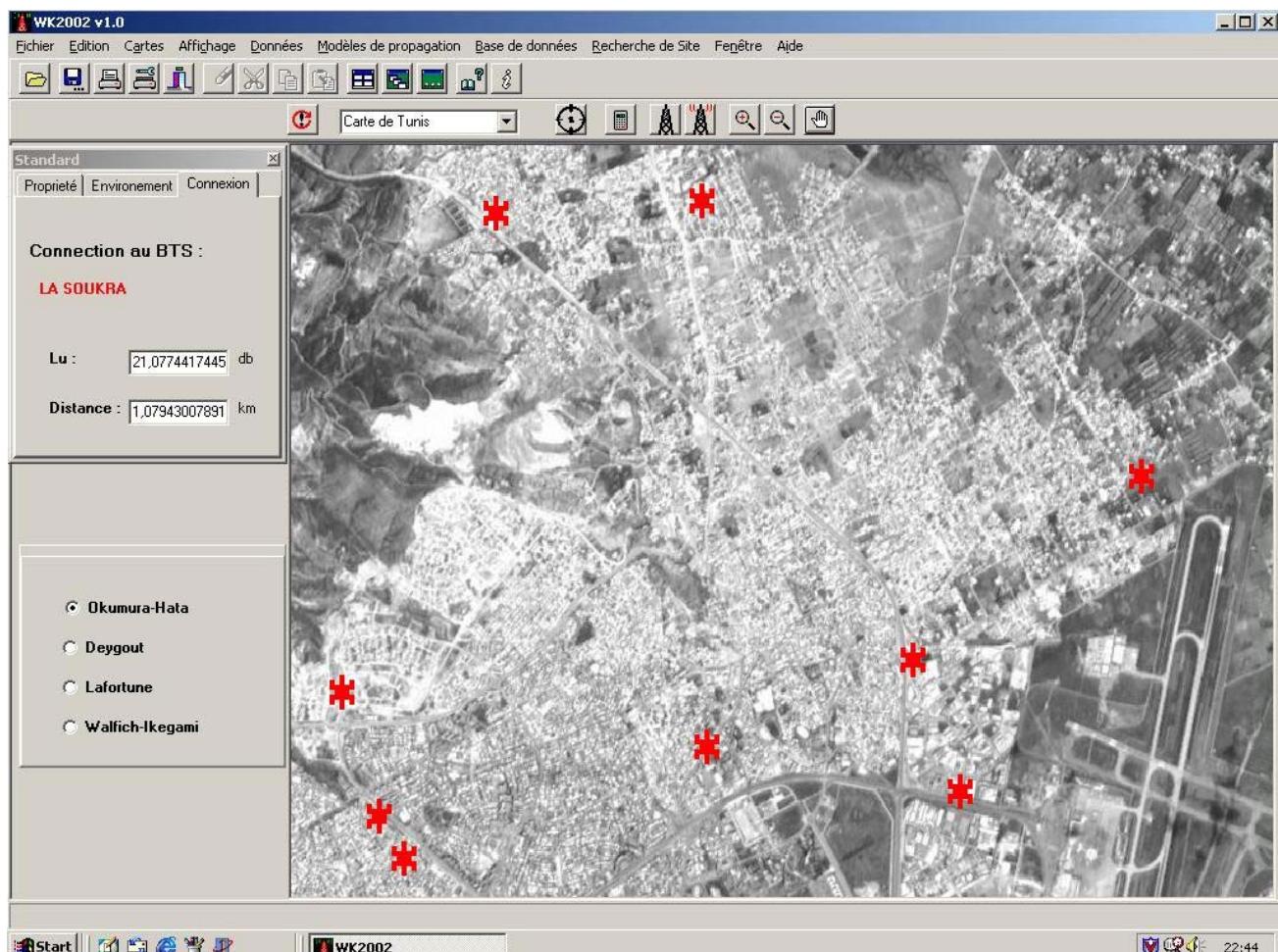


Figure IV. 38 : Zoom avant

Pour consulter les caractéristiques de chaque site, on parcourt la base de données.

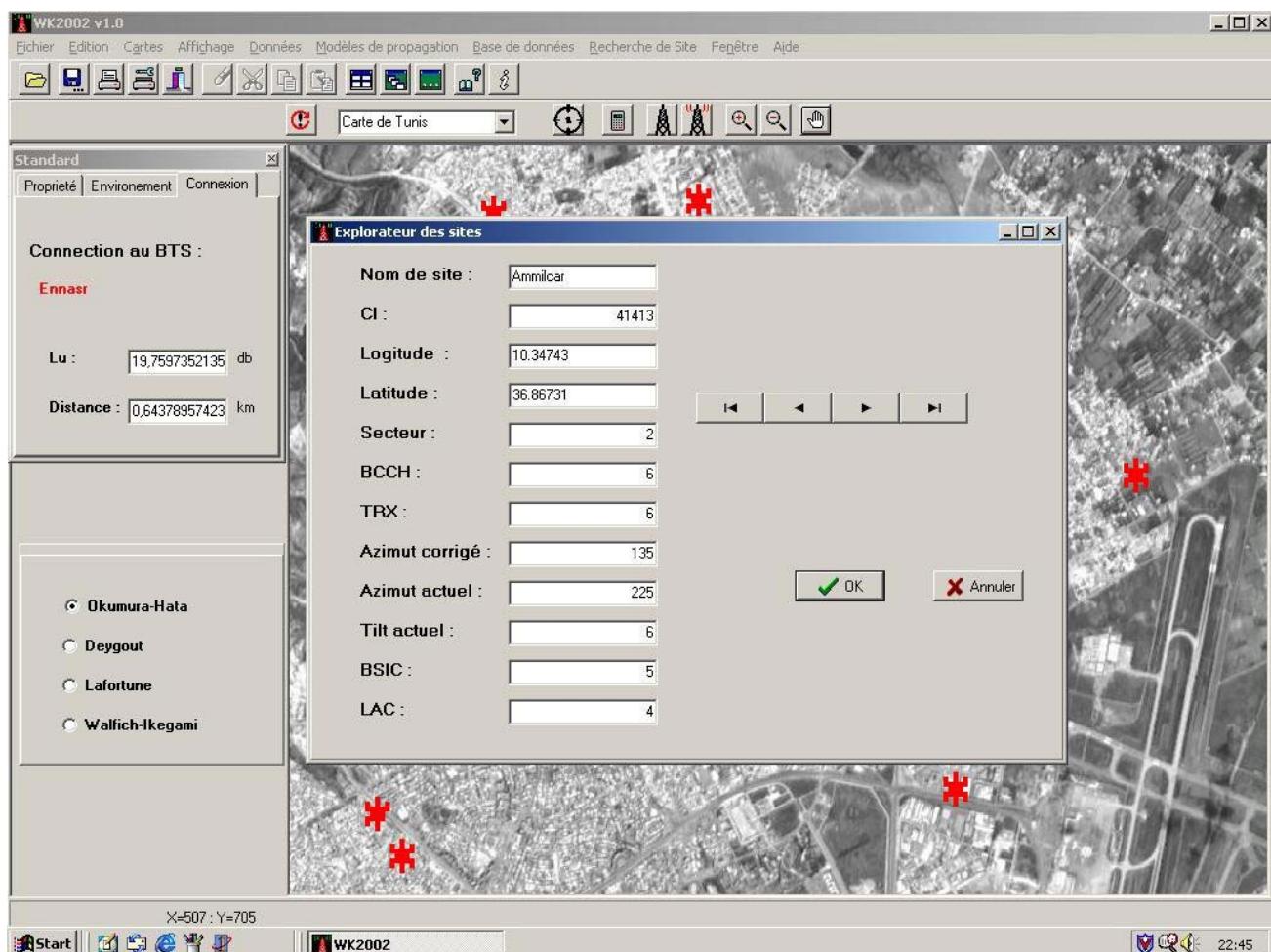


Figure IV. 39 : Caractéristique des sites

V. Perspectives d'avenir de notre logiciel

Plusieurs fonctionnalités peuvent être ajoutées :

- le logiciel peut être utilisé pour d'autres environnements, autre que le milieu urbain. Par exemple, un environnement rural. On peut planifier le réseau pour des zones montagneuses. Pour cela il suffit de récupérer un fichier de données relatifs à une région.
- Le logiciel peut être utilisé pour d'autre modèle d'environnement à noter Deygout, Lafourture,.....

• le logiciel peut être utilisé pour d'autres cartes. Pour cela il suffit de connaître les BTS relatifs à cette Zone et avoir une carte de cette région.

- Intégration de carte de type MNT.

VI. Conclusion

L'utilisation du Logiciel WK2002 v1.0 constitue une séquence de tâches, débutant par le saisie des cartes, le choix du modèle, l'affichage des BTSs et le calcul d'affaiblissement.

Aussi modeste qu'il soit, ce logiciel présente deux avantages majeurs c'est son extensibilité et sa facilité d'utilisation. La norme GSM et les modèles de propagation ainsi que leurs paramètres et les effets sur l'onde radioélectrique sont si compliqués que rend le développement d'un logiciel qui englobe et précise tous les calculs est quasi-impossible.

Conclusion générale

Au cours de ce projet, nous avons d'abord étudié l'architecture d'un réseau cellulaire puis les caractéristiques des modèles de propagation, ensuite nous avons décrit les différentes phases du processus de développement du logiciel et enfin nous avons développé notre logiciel « WK2002 v1.0 » en utilisant le langage de programmation orientée objet Delphi.

Cette outils reste ouvert à l'extension à savoir améliorer la précision de calcul en détaillant les caractéristiques de l'environnement et en apportant des modifications sur les modèles de propagation.

En plus que la conception du logiciel de calcul de couverture, partiellement parachevé, pourrait être à la base de futures améliorations et d'une nouvelle version, aura constitué une expérience dans la programmation orientée objet qui nous était tout à fait étrangère, de même que l'utilisation d'un nouvel environnement de développement, Delphi 5.

Bibliographie

[1] Réseaux GSM-DCS, X. Lagrange, P.Godlewski, S. Tabbane, HERMES, ISBN 4^e édition, 2-7462-0028-7

[2] DEA :Modélisation de la propagation radio dans la bande des 900 Mhz en Tunisie, Mohamed Tahar Missaoui

<http://www.developper.com/delphi/index.htm>

Annexe

Modèle de propagation en indoor (pico-cellulaire)

Pour la prédiction et la simulation de la propagation indoor le modèle recommandé par la COST 231 et valable à 900 MHz est celui de Lafortune [Pro93].

Les caractéristiques de ce modèle sont données par le tableau :

| | |
|-----------------------------|--|
| Environnement : | Indoor |
| Domaine de validité: | Fréquence : 900MHz et 1800 MHz Distance : 1..50 m Hauteur de la station de base : 1,7 m Hauteur de la mobile : 1,5..1,8 m |
| Paramètres : | Distance émetteur-récepteur Fréquence Affaiblissement dû au obstacles Gain dû réflexions Nombre des murs croisés avec le "rayon" direct Distance de l'émetteur au premier mur |
| Méthodologies: | Modèle empirique basé sur des estimations de la transmission, réflexion et les phénomènes de diffraction |
| Entrées: | d (distance) en mètre d' (distance de l'émetteur au premier mur) en mètres f (fréquence) en GHz n: nombre des murs dans la direction des "rayon" |
| Sortie: | Affaiblissement total en dB |
| Algorithme: | Voir formules (II.17) à (II.20) |
| Note: | Ce modèle nécessite une base de données bien détaillée pour une utilisation d'une façon efficace |

Tableau 1: Les caractéristiques du modèle de Lafortune

Algorithme:

$L = L_o + L_{ob} + G_{rm}$, avec:

$$L_{ob} = \begin{cases} -3.7 + 1.5 n + 10.7 \log(d) & \text{pour } d > 4m \\ -3.7 + 1.5 n + 10.7 \log(d) + 7.8 - 15.3 \log(d') & \text{pour } d \leq 4m \end{cases}$$

$$L_o = 32.4 + 20 \operatorname{Log}(d) + 20 \operatorname{Log}(f)$$

$$G_m = \begin{cases} 0 & \text{Dans le cas général} \\ -0.2 - 1.5 \operatorname{Log}(d) & \text{Dans le couloir principales} \end{cases}$$

L_o : affaiblissement en espace libre

L_{ob} : affaiblissement dû aux obstacles

G_{rm} : Gain du réflexion multiples

d : distance émetteur-récepteur(en m)

f : fréquence (en GHz)

n : nombre de murs entre l'émetteur et le récepteur

d' : distance de l'émetteur au premier murs(en m)

Modèles de propagation en environnement urbain (microcellulaire)

Pour le calcul de l'affaiblissement de la propagation en environnement urbain (micro-cellulaire) deux modèles sont posés :

Le premier, recommandé par la COST 231, il est basé sur les approches de Walfich, Bertoni et Ikegami.

Le deuxième c'est le modèle de Sakagami-Kuboi qui compte de la moyenne de la hauteur des bâtiments autour de la station de base et la station mobile.

1. Modèle du COST 231, Walfich –Ikegami

le tableau II.2 montre les caractéristiques de ce modèle.

| | |
|-----------------------------|---|
| Environnement : | Micro-cellulaire pour: -1-Centres métropolitains -2-Moyennes sites -3-centre suburbain avec une densité de végétation modérée |
| Domaine de validité: | - Fréquence : 800...2000 MHz - Distance : 0.02...5 km en non-visibilité et de 0.02..0.2 km en visibilité directe - Hauteur de la station de base : 4..50 m - Hauteur de la mobile : 1..3 m |
| Paramètres : | - Distance émetteur-récepteur - Fréquence - Orientation et largeur des rues - la différence entre la hauteur des toits des bâtiments et la hauteur du mobile - La différence entre la hauteur des toits des bâtiments et la hauteur du mobile |
| Méthodologies: | Modèle semi-empirique basé sur les travaux théoriques de Walfish, Bertonie et Ikegami |
| Entrées: | - d: distance en mètres en LOS et en km en NLOS - f: fréquence en MHz - b: distance de séparation entre les bâtiments - ψ : orientation de la rue avec le trajet de l'onde directe - h_m : hauteur de l'antenne de la station mobile - h_b : hauteur de l'antenne de la station de base - h_r : hauteur des bâtiments (en moyenne) - la nature de l'environnement (urbain, suburbain, métropolitain etc...) |
| Sortie: | Affaiblissement total en dB |
| Algorithme: | Voir formules (II.21) à (II.31) |
| Note: | Ce modèle donne de mauvais résultats pour une hauteur d'antenne inférieure à celle des bâtiments |

Tableau 2: Caractéristiques du modèle de Walfish-Ikegami recommandé par la COST231.

Algorithme:

i/ En visibilité (LOS):

$$L(db)=42.6 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad \text{Pour } d \geq 20 \text{ Km}$$

ii/ En non-visibilité(NLOS):

$$L=L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

$$L_o \text{ si } L_{rst} + L_{msd} \geq 0$$

L_{rts} : donne l'atténuation due aux diffractions sur les toits des bâtiments(rts:rooftop-to-street diffraction)

Si $h_{\text{roof}} > h_{\text{mobile}}$

$$L_{\text{rst}} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(h_{\text{roof}} - h_{\text{mobile}}) + L_{\text{ori}}$$

Sinon

$$L_{\text{rst}} = 0$$

$$\text{Avec } L_{\text{ori}} = \begin{cases} -10 + 0.354 \varphi & \text{Si } 0 \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ) & \text{Si } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4 - 0.114(\varphi - 55^\circ) & \text{Si } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases}$$

L_{msd} (multiscreen diffraction loss) :

$$L_{\text{msd}} = \begin{cases} L_{\text{bsh}} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f) - 9 \log(b) \\ 0 \text{ Si } L_{\text{msd}} < 0 \end{cases}$$

Les termes L_{bsh} , K_a , K_d et K_f sont tels que :

$$L_{\text{bsh}} = \begin{cases} -18 \log[1 + (h_{\text{base}} - h_{\text{roof}})] & \text{Si } h_{\text{base}} > h_{\text{roof}} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

$$K_a = \begin{cases} 54 & \text{Si } h_{\text{base}} > h_{\text{roof}} \\ 54 - 0.8(h_{\text{base}} - h_{\text{roof}}) & \text{Si } d \geq 0.5 \text{ Km et } h_{\text{base}} \leq h_{\text{roof}} \\ 54 - 0.8(h_{\text{base}} - h_{\text{roof}}) d / 0.5 & \text{Si } d < 0.5 \text{ Km et } h_{\text{base}} \leq h_{\text{roof}} \end{cases}$$

$$K_d = \begin{cases} 18 & \text{Si } h_{\text{base}} > h_{\text{roof}} \\ 18 - 15(h_{\text{base}} - h_{\text{roof}}) / h_{\text{roof}} & \text{Si } h_{\text{base}} \leq h_{\text{roof}} \end{cases}$$

Pour les cités à moyenne capacité et les centres suburbains avec une densité de végétation modérée :

$$K_f = -4 + 0.7(f / 925 - 1)$$

Pour les centres métropolitains :

$$K_f = -4 + 1.5(f / 925 - 1)$$

2. Modèle de Sakagami-Kuboi

Les caractéristiques de ce modèle sont résumées dont le tableau II.3:

| | |
|--------------------------------|--|
| Environnement : | Micro-cellulaire pour: Un environnement urbain où l'antenne de la station de base est au dessous inférieur à la hauteur moyenne des bâtiments |
| Domaine de la validité: | - Fréquence: 400...2200 MHz - Distance : 0.5...3 km - $h_{base} - h_{mobile}$: 20...100 m - hauteur des bâtiments (en moyenne) : 5...50 m - largeur des rues: 5...50 m |
| Paramètres : | - Distance émetteur-récepteur - Fréquence - Orientation et largeur des rues - La différence entre la hauteur de la station de base et la hauteur du mobile - La hauteur moyenne des bâtiments autour de la station mobile - Hauteur des bâtiments les plus proches du mobile |
| Méthodologies: | Modèle empirique |
| Entrées: | - d : distance en mètres en LOS et en km en NLOS - f : fréquence en MHz - ψ : orientation de la rue avec le trajet de l'onde directe en degré - h_{mobile} : hauteur de l'antenne de la station de mobile - h_{base} : hauteur de l'antenne de la station de base - $h_{roof,base}$: hauteur des bâtiments autour de la station de base - $h_{roof,mobile}$: hauteur des bâtiments autour du mobile - h_m : hauteur des bâtiments les plus proches du mobile |
| Sortie: | Affaiblissement total en dB |
| Algorithme: | Voir formules (II.32) à (II.35) |

Tableau 3: Caractéristiques du modèle Sakagami-kuboi.

Algorithme

$$L = 100 - 7.1 \operatorname{Log}(w) + 0.023 \psi - A + B + C + 20 \operatorname{Log}(f) + \exp(13(\operatorname{Log}(f) - 3.23))$$

Avec

$$A = 24.37 - 3.7 \left(\frac{h_{\text{roof}}}{h_{\text{base}}} \right)^2 \log(h_{\text{bs,ms}})$$

Le terme A caractérise l'environnement de la station de base.

$$B = (43.42 - 3.1 \log(h_{\text{base}}, h_{\text{mobile}})) \log(d)$$

C'est l'atténuation due à la différence de hauteur la station mobile et la station de base.

$$C = 1.4 \log(H_{\text{rooftop,mobile}}) + 6.1 \log(h_{\text{rooftop,mobile}})$$

Il est clair que le terme C caractérise l'environnement de la station mobile.

Où:

f : fréquence en MHZ

d : distance en Km

w : largeur de la rue

$h_{\text{base,mobile}}$: $h_{\text{base}} - h_{\text{mobile}}$ en mètres

$h_{\text{rooftop,bs}}$: la hauteur moyenne des bâtiments autour de la station de base en mètres

$h_{\text{rooftop,mobile}}$: la hauteur moyenne des bâtiments autour de la station mobile

$H_{\text{rooftop,mobile}}$: la hauteur des bâtiments les plus proches du mobile

Ψ : l'angle entre l'émetteur-récepteur et la direction de la rue

Langage de programmation

L'orientation objet est une méthode de structuration et de développement de logiciels qui présentent de profondes différences par rapport à la méthode traditionnelle de programmation procédurale où l'unité minimale de décomposition est la procédure ou la fonction. Alors que les systèmes procéduraux nécessitent, en général, une approche descendante où la structure des programmes suit le déroulement des traitements, les systèmes orientés objet sont modélisés en fonction des objets qu'ils traitent.

Deux avantages essentiels de la méthode orientée objet par rapport à la méthode procédurale méritent d'être signalés :

- l'orientation objet est une méthode naturelle. D'abord, parce qu'en réalité, peu de problèmes se ramènent à une structure arborescente. Ils s'organisent plutôt en graphes logiques où un élément peut être relié à plusieurs autres. Ensuite, parce que les objets manipulés en orienté objet sont plus que des groupements de données et de traitements. Ce sont des modélisations exactes et complètes d'objets du monde réel.
- L'orientation objet permet une meilleure « évolutivité » car elle s'appuie sur les structures de données plutôt que sur les traitements. En effet, lorsqu'on considère l'évolution d'une application à travers le temps, on s'aperçoit que les structures de données, qui sont en général des objets du monde réel, subissent beaucoup moins de transformations que les traitements sur ces structures.

Lors d'une conception orientée objet, on procède à une implémentation progressive : on commence par repérer les objets réels. Ensuite, on formule les objets modèles qui sont des modèles de représentation des objets réels. Enfin, ces modèles sont implémentés en objets informatiques.

Un objet est un élément d'un ensemble d'objets représentant les mêmes caractéristiques. Un tel ensemble est appelé Classe.

La notion d'héritage permet de délivrer, à partir d'une classe « mère », une classe « fille » qui hérite toutes les caractéristiques qui lui sont propres.

Les caractéristiques d'une classe sont des données et des traitements subis par ces dernières.
Joindre données et traitements est appelé Encapsulation.

Glossaire

| | |
|-----|---|
| AUC | <i>Authentification Center.</i> Centre d'authentification des abonnées d'un réseau GSM |
| BSC | <i>Base Station Controller.</i> Contrôleur de station de base. Cet équipement commande une ou plusieurs BTS et gère la ressource radio (allocation de canal pour un appel, décision du handover). |
| BSS | <i>Base Station Sub-system.</i> Sous-système radio composé d'un BSC et les BTS qui en Dépendent. |
| BTS | <i>Base Tranceiver Station.</i> Equipement composé des émetteurs-récepteurs radio et constituant l'interface entre le BSC et les mobiles. |
| C/I | Rapport porteuse sur interférence. C désigne la puissance du signal utile et I désigne l'ensemble des interférences |
| EIR | <i>Equipment Identity Register.</i> Base de données où sont stockées les identités des terminaux mobiles. |
| GSM | <i>Global System for Mobile communications.</i> Nom du standard européen du système radio cellulaire. |
| HLR | <i>Home Location Register.</i> Base de données concernant les profils et les localisations grossières d'abonnées d'un réseau. |
| MS | <i>Mobile Station.</i> Terminal GSM muni d'une carte SIM et susceptible de fonctionner sur un réseau. |
| MSC | <i>Mobile Switching Center.</i> Commutateur de service radio mobile qui coordonne l'établissement d'appel. |

| | |
|-------|---|
| NSS | <i>Network Sub-System.</i> Sous système réseau. |
| OMC-N | <i>Operation and Maintenance Center.</i> Centre d'exploitation et de maintenance réseau. |
| OMC-R | <i>Operation and Maintenance Center.</i> Centre d'exploitation et de maintenance radio. |
| OSS | <i>Operation Support System.</i> Sous système d'administration englobant l'ensemble des équipements d'administration (EIR, AUC, OMC). |
| RTCP | Réseau Téléphonique Commuté Public. |
| TRX | Matériel d'émission-réception permettant de gérer une paire de fréquences GSM |
| VLR | <i>Visitor Location Register.</i> |

Titre du projet : Développement d'un outil de calcul de couverture d'un réseau GSM.

Noms des étudiants : Wael Rouis & Karim Souissi

Promotion : 2001 - 2002

Résumé

La planification d'un réseau cellulaire nécessite le calcul de couverture en tout point de la zone à couvrir afin de s'assurer que le niveau de champ est supérieur à un seuil prédéfini.

Dans le cadre de ce projet, nous avons développé un outil simple permettant de calculer en tout point de la carte, un niveau de champ. Les modules du logiciel sont les suivants : un modèle de propagation de type Okumura-Hata corrigé avec un modèle de diffraction (Epstein_Peterson ou Deygout) et que l'on pourra modifier (après calibration), un module de saisie de carte numérique sur laquelle on placera des stations de base dont les caractéristiques principales seront précisées (hauteur d'antenne, azimut, diagramme de rayonnement et tilt).

Cet outil devra permettre également le calcul des interférences et de rapport C/I dans le cas où la même fréquence est utilisée sur deux sites différents.

Mots clés

Calcul de couverture, modèle de propagation, logiciel de calcul de couverture, développement, logiciel, Delphi.