

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique
Spécialité Réseaux & Télécommunication

présenté par

ATTOUT MOUNIA

&

TITOUS MERIEM

Dimensionnement et planification d'un réseau 3G

Promoteur : BOUCHEBBAH Hamza

Co-promoteur : HEBIB Sami

Année Universitaire 2015-2016

Remerciements

Nous tenons à remercier le dieu tout puissant, nous avoir donné la santé, la volonté et l'aide pour réaliser ce travail.

Nous voulons aussi exprimer par ses quelques lignes de remerciement notre gratitude envers tous ceux en qui par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leur conseil, nous avons eu le courage d'accomplir ce projet.

Nous commençons par remercier Mr. BOUCHEBBAH Hamza qui nous a fait l'honneur d'être notre encadreur au sein de la société Mobilis.

Nous le remercions profondément pour son encouragement continu et d'être toujours là pour nous écouter, nous aider et nous guider à retrouver le bon chemin par sa sagesse et ses précieux conseils ainsi que le temps qu'il nous a réservé malgré ses occupations.

Nous tenons à remercier aussi la société Mobilis pour son accueil et de nous avoir donné la chance d'effectuer ce stage.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent de même à Mr. HEBIB Sami, notre promoteur à l'université qui nous a beaucoup aidés dans l'élaboration de ce travail

Nous tenons d'autre part à remercier les responsables membres de jury pour bien vouloir nous accorder de leurs temps pour commenter, discuter et juger notre travail.

Enfin, nous ne pouvons achever ce mémoire sans exprimer notre gratitude à tous les professeurs de l'université de Blida 1 « Saad Dahleb » pour leur dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaires.

Dédicaces

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et d'une joie, que je dédie ce modeste travail à mes très chers, respectueux, et magnifiques parents que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments pour leur patience illimitée, leur soutien, leur aide tout au long de ma vie.

A mon cher père Nacereddine

A ma chère mère Malika

En témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices. Que dieu les accueille dans son vaste paradis.

A ma chère amie et binôme TITOUS Meriem pour sa patience et son encouragement pour accomplir ce projet.

A mes chers amis pour leur encouragement et aide au long de mes études, et à toute ma famille et à ceux que j'aime.

ATTOUT Mounia...

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à mes
chers parents qui ont cru en moi, m'ont soutenu et m'ont
éclairé le chemin par leur conseil judicieux,
que dieu les garde éternellement heureux.*

*A mes frères et toute ma grande famille en reconnaissance de
leurs encouragements.*

*A ma chère amie et binôme ATTOUT Mounia avec qui j'ai
partagé les peines et les joies de ce projet de fin d'étude.*

*A mes très chers amis En leur souhaitant le succès dans leur
vie aussi bien professionnelle que familiale.*

A tous ceux qui me sont chers.

TITOUS Meriem...

ملخص:

هذه المذكرة هي نتيجة دراسة نظرية وعميقة على شبكات UMTS التي تعتمد على WCDMA لمشروع التخرج ماستر بعنوان "التصميم والتخطيط لشبكة الجيل الثالث 3G" و ذلك لفهم كيفية تخطيط الشبكة الخلوية مع الأخذ بعين الاعتبار العوامل المختلفة التي تدخل حيز التنفيذ. بدأنا مذكرتنا مع وصف لشبكة UMTS، من منظور التركيب والعمل وبعد ذلك قدمنا ميزانية الشبكة التي تعتبر واحدة من العوامل الرئيسية في جدولة الشبكة الخلوية. وأخيرا لتوضيح أطروحة المفاهيم النظرية قمنا بمثال تطبيق بيالتخطيط لمنطقة تلمسان باستعمال برنامج ATOLL في نهاية هذه المذكرة.

كلمات المفاتيح: التخطيط, التصميم, ميزانية

Résumé : Ce mémoire est le résultat d'une étude théorique et approfondie sur les réseaux UMTS basés sur la WCDMA. Il a fait l'objet de notre projet de fin d'études MASTER intitulé «dimensionnement et planification d'un réseau 3G » afin de comprendre comment planifier un réseau cellulaire en prenant compte des différents paramètres qui rentrent en jeu. Nous avons débuté ce travail par une description des caractéristiques du réseau UMTS, de point de vue architecture, fonctionnement et propagation, ensuite nous avons réalisé un bilan de liaison pour le dimensionnement du réseau qui est l'un des facteurs clés dans la planification d'un réseau cellulaire. Enfin, afin d'illustrer toutes ces notions théoriques, un exemple de planification d'une zone de Tlemcen sous le logiciel ATOLL est présenté en fin de ce mémoire.

Mots clés : UMTS; planification; dimensionnement; WCDMA; bilan de liaison.

Abstract : This work is the result of theoretical and thorough study of UMTS networks based on WCDMA done for our project graduation MASTER entitled "Design and planning of a network 3G" to understand how to plan a cellular network taking into account the different parameters that come into play. We started our memory with a description of features of the UMTS network, a perspective constitution, functioning and propagation, and then we made a link budget for network dimensioning which is one of the key factors in network cellular planning. Finally, to illustrate these theoretical concepts, an example of planning a Tlemcen area under the ATOLL software is presented at the end of this work.

Keywords : UMTS; network ; network dimensioning; WCDMA; link budget

Listes des acronymes et abréviations

2G	2ème Génération
3G	3ème Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Group
AuC	Authentication Center
BMC	Broadcast/Multicast Control
BPSK	Binary Phase-Shift Keying
BSS	Base Station Subsystem
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network, réseau cœur
COST	Coopération européenne dans le domaine Scientifique et Technique
CS	Circuit Switched Domain, Domaine à commutation de circuits
DL	Downlink, liaison descendante
DTM	Digital Terrain Model, modèle numérique de terrain
D-RNC	Drift Radio Network Controller
EIR	Equipment Identity Register
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FH	Faisceau Hertzien
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	Global Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
HLR	Home Location Register
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT2000	International Mobile Telecommunication 2000
IS-95	Interim Standard 95
LAI	Location Area Identifier
MAC	Medium Access Control

ME	Mobile equipment
MMS	Multimedia Message Service
MSC	Mobile Switching Center
MSISDN	Mobile Station ISDN Number
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor
PHS	Personal Handy-phone System
PS	Packet Switched Domain, Domaine à commutation de paquets
QPSK	Quadratic Phase Shift Keying
RAB	Radio Access Bearer
RAI	Routing Area Identifier
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Management, Gestion des ressources radio
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Message Service
S/N	Signal Noise ratio
SPM	Standard Propagation model
S-RNC	Serving Radio Network Controller
TD-CDMA	Time Division-CDMA
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TS	Time Slot
UE	User Equipment, Equipement usager
UL	Uplink, liaison montante
UMTS	Universal Mobile Télécommunication System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access, CDMA large bande
WGS84	World Geodetic System 1984

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 Généralités sur les réseaux UMTS	3
1.1 Introduction	3
1.2 Rappel sur les générations de téléphonie mobile	3
1.3 Présentation de l'UMTS	4
1.3.1 Définition & objectifs	4
1.3.2 Les classes de service	5
1.3.3 La couverture globale de l'UMTS.....	6
1.4 WCDMA dans l'UMTS.....	6
1.4.1 Pourquoi le WCDMA ?	7
1.4.2 L'étalement de spectre	8
1.4.3 Les codes d'étalement	10
1.4.4 Dés-étalement des signaux.....	12
1.4.5 Méthodes d'accès radio.....	12
1.5 L'architecture d'un réseau UMTS	14
1.5.1 Domaine d'équipement de l'utilisateur	15
1.5.2 le réseau d'accès UTRAN	16
1.5.3 le réseau cœur CN.....	18
1.6 Structure des couches de l'interface radio	21
1.6.1 Couche 1 : la couche physique	22
1.6.2 Couche 2 : la couche de liaison de données.....	22
1.7 Les canaux	23
1.7.1 Les canaux logiques	23

1.7.2	Les canaux de transport.....	24
1.7.3	Les canaux physiques.....	26
1.8	Conclusion	28
Chapitre 2	Mécanismes de l'interface radio	29
2.1	Introduction	29
2.2	Canal de propagation radio.....	29
2.3	Propagation radio mobile	29
2.4	Propriétés du canal radio mobile.....	32
2.5	Modèles de propagation pour ingénierie radio.....	32
2.5.1	Catégories des modèles de propagation	33
2.5.2	Types des modèles de propagation	33
2.6	Gestion de la mobilité	36
2.6.1	La macro diversité.....	36
2.6.2	La re-sélection de la cellule.....	36
2.6.3	Le Handover	37
2.7	Le contrôle de puissance.....	39
2.8	Conclusion :	41
Chapitre 3	Planification d'un réseau 3G.....	42
3.1	Introduction	42
3.2	Processus de planification WCDMA.....	42
3.2.1	Définition des exigences	43
3.2.2	Dimensionnement	43
3.2.3	Planification détaillée	53
3.2.4	Optimisation	55
3.3	Conclusion	56
Chapitre 4	Planification d'une Zone de la Wilaya de Tlemcen.....	57

4.1	Introduction	57
4.2	Présentation de l'outil Atoll :	57
4.3	Étapes suivies dans un projet de planification.....	58
4.4	Préparation des données	59
4.5	Planification d'une zone de Tlemcen	62
4.6	Etudes de prédiction	64
4.6.1	Prédiction de la couverture par niveau de champs.....	65
4.6.2	Prédiction du rapport E_c/I_0 du canal pilote CPICH.....	65
4.6.3	Prédiction par émetteur	66
4.7	Résultats et statistiques	67
4.8	Conclusion	68
	Conclusion générale.....	69
	Annexe A.....	70
	Annexe B	71
	Bibliographie	73

Liste des figures

Figure 1.1. Les environnements définis dans un réseau UMTS.....	6
Figure 1.2. Principe de FDMA et TDMA	6
Figure 1.3.Principe de CDMA.....	7
Figure 1.4.Principe de l'étalement de spectre.....	9
Figure 1.5.Étalement de spectre par DS-CDMA [5]	10
Figure 1.6. Arbre des codes OVSF [6].....	10
Figure 1.7. Mécanisme d'embrouillage	11
Figure 1.8.Utilisation de la bande de fréquence pour l'UMTS [7].....	12
Figure 1.9.Mode FDD et TDD	13
Figure 1.10. Structure de trame de l'UMTS [5]	14
Figure 1.11. Schéma synoptique du système UMTS [2]	14
Figure 1.12. Réseau d'accès UTRAN [1]	16
Figure 1.13. Représentation des rôles du RNC [1].....	17
Figure 1.14. Réseau cœur [1]	19
Figure 1.15. Couche de protocole de l'interface radio [9].....	21
Figure 1.16. Les canaux [2]	23
Figure 2.1.Les différents mécanismes de propagation [8]	31
Figure 2.2. Softer Handover [1]	37
Figure 2.3. Soft Handover [1].....	38
Figure 2.4.Hard Handover inter-frequency [1]	39
Figure 2.5. Hard Handover inter-système [1]	39
Figure 2.6. Différents types de contrôle de puissance	41
Figure3.1. chevauchement entre sites [8].....	49

Figure 3.2. Bilan de liaison de service CS 12,2 Kb/s sous Excel	50
Figure 3.3. Bilan de liaison de service PS 64 Kb/s sous Excel	51
b. Planification des codes	53
Figure 4.1. Fenêtre principale du logiciel Atoll	58
Figure 4.2. Création d'un nouveau projet UMTS HSPA	59
Figure 4.3. La projection des DTM	60
Figure 4.4. Calibrage de modèle de propagation (COST 231-HATA)	61
Figure 4.5. Carte de trafic	62
Figure 4.6. Site GSM déjà installé dans la zone	63
Figure 4.7. Distribution des sites de 3G	63
Figure 4.8. La table des sites ajoutés	64
Figure 4.9. Les différentes prédictions	64
Figure 4.10. Prédiction de niveau de champ	65
Figure 4.11. Prédiction du rapport E_c/I_0 du canal pilote CPICH.....	66
Figure 4.12. Prédiction par émetteur	66
Figure 4.13. Rapport des résultats obtenus	67

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Principales caractéristiques des techniques d'accès radio de l'UTRAN	8
Tableau1.2. relation entre le code d'étalement et le code d'embrouillage	12
Tableau 1.3. Les interfaces de réseau UTRAN	18
Tableau 1.4. Les interfaces de réseau cœur	21
Tableau 1.5. Les canaux logiques de l'UMTS	24
Tableau 1.6. Les canaux de transport de l'UMTS	25
Tableau 1.7. Les canaux physiques de l'UMTS	27
Tableau 3.1. La relation entre le rayon et la surface couverte.....	48
Tableau3.2. relation entre le rayon et la distance intersites.....	49

Introduction générale

Le domaine de la téléphonie mobile a connu un formidable essor vu la demande croissante de services mobiles, d'applications internet ainsi que le besoin d'une technologie commune pour le monde entier. Cet essor témoigne le développement rapide des services multimédia comparables à ceux offerts par les infrastructures existantes des réseaux, ce qui a poussé la naissance de l'UMTS comme successeur de GSM (Global System for Mobile Communication).

Le passage des réseaux de 2^{ème} génération aux réseaux de 3^{ème} génération s'avère inévitable, c'est pourquoi les méthodes et les applications d'optimisation se multiplient afin d'améliorer le fonctionnement, réduire le coût et surtout assurer des services d'une qualité optimale pour l'ensemble des abonnés d'un réseau UMTS. L'un des aspects les plus importants dans un réseau UMTS est l'optimisation de la capacité de l'interface radio vu que les services offerts par l'UMTS sont gourmands de point de vue de débit et bande passante.

Ce passage est aussi accompagné d'une révolution dans la technique d'accès : le choix du WCDMA adoptée pour le mode FDD du système UMTS, totalement différente de celles qui existent pour les réseaux 2G afin de garantir les besoins en débit puisque en WCDMA tous les utilisateurs partagent la même bande de fréquence mais cela fait apparaître des interférences d'accès multiples. Afin de remédier à ce type de problème des mécanismes améliorés de gestion des ressources radio sont spécifiés dans la norme. Ces modifications du réseau mobile actuel nécessitent de nouvelles méthodes de dimensionnement, de planification et d'optimisation qui seront différentes de celles utilisées en GSM.

Notre projet consiste à réaliser la première phase par laquelle tout opérateur doit passer, qui est le dimensionnement et la planification cellulaire d'un réseau d'accès en calculant le bilan de liaison. Ce dernier vise à garantir une couverture optimale pour les deux modes PS et CS et améliorer les performances en termes de capacité. Cette étape est d'une importance majeure puisque toute tentative d'optimisation se base sur une bonne planification. La problématique devient encore plus complexe avec la diversité de services offerts aux utilisateurs et des équipements de constructeurs différents, les fluctuations du trafic et de l'environnement, les évolutions de la norme et de la technologie, le coût ...

C'est pour cela nous avons réalisé un bilan de liaison sous Excel pour dimensionner un réseau UMTS en calculant le rayon de la cellule ainsi le nombre de site. Nos résultats seront utilisés par la suite pour la planification d'une zone de la Wilaya de Tlemcen sous Atoll.

Ce mémoire représente un guide plutôt efficace pour le dimensionnement et la planification d'un réseau 3G : commençant par une présentation de la technologie UMTS, ensuite la réalisation du bilan de liaison pour faire le dimensionnement du réseau UMTS et enfin une planification détaillée avec ses différentes phases à l'aide d'un logiciel Atoll.

Cette étude nous a permis d'élargir nos connaissances sur les réseaux 3G, de toucher de près le travail d'équipe avec une coopération bénéfique avec l'opérateur Mobilis et de profiter de la maîtrise de l'outil de planification Atoll.

Chapitre 1 Généralités sur les réseaux UMTS

1.1 Introduction

Les systèmes de troisième génération sont conçus pour fournir des services multimédias avec une qualité et une couverture meilleure ou comparable à celles offertes par les réseaux de 2^{ème} génération. L'idée fondatrice du système 3G est d'intégrer tous les réseaux de deuxième génération du monde entier en un seul réseau. Le principe du système est souvent résumé dans la formule anyone, anywhere, anytime, signifiant que chacun doit pouvoir joindre ou être joint n'importe où et n'importe quand.

Dans ce chapitre, nous présentons l'architecture générale de l'UMTS et le réseau d'accès en particulier. Nous illustrons également les couches de protocoles de l'interface radio ainsi que la description des différents canaux.

1.2 Rappel sur les générations de téléphonie mobile

Il existe quatre catégories de génération de téléphonie mobile:

- **1ère génération** : Téléphones mobiles analogiques (mono bande) des années 1980 longtemps cantonnés aux véhicules automobiles du fait du poids élevé des terminaux.
- **2ème génération** : Téléphones mobiles numériques (bi bande) des années 1990 qui ont été conçus essentiellement pour la téléphonie, mais avec une capacité de 9,6 Kbits/s maximum pour la donnée.
- **2,5ème génération** : Téléphones mobiles numériques (multi bande) des années 2000 prévus non seulement pour la téléphonie, mais avec une capacité de transfert de données de 171 Kbits/s maximum mais de 32 Kbits/s en pratique (norme GPRS).

- **3ème génération:** Téléphones mobiles numériques (multi bande) des années 2002 à 2012 prévus non seulement pour la téléphonie classique avec SMS et MMS, mais avec une capacité d'offrir une gamme de services multimédia (visiophonie, transfert de fichiers, navigation sur WEB...) de 144 Kbits/s minimum, et avec un débit moyen de 384 Kbits/s jusqu'au débit maximum de 2 Mbits/s.

1.3 Présentation de l'UMTS

1.3.1 Définition & objectifs

L'expression UMTS (Universal Mobile Telecom System) désigne la norme cellulaire numérique de troisième génération retenue en Europe, basée sur la technologie WCDMA, fait partie de la famille IMT2000, standardisée par 3GPP (3rd génération partnership Group) avec une idée fondatrice d'intégrer tous les systèmes 2G en un seul réseau vu que la 2G était par région (GSM en Europe, IS-95 aux états unis et PHS au Japon), et d'adjoindre des capacités multimédia (haut débit pour les données). La première version européenne de l'UMTS était appelée " 3GPP SYSTEM release 99" introduite en 1999 et satisfaisant toutes les exigences technologiques de l'IMT 2000 : couche physique flexible pour l'introduction de nouveaux services, débit jusqu'à 2Mbps et la prise en charge de mode paquet. Après la R99 vient la R4 (mars 2001) caractérisée essentiellement par la séparation des plans du contrôle et usager dans le MSC (mode circuit). L'évolution de l'UMTS progresse selon les releases créés (R5, R6, R7, R8, R9). Chaque version est conçue pour introduire de nouvelles fonctionnalités et d'améliorer celles qui existent déjà [1,2].

Les principales recommandations et caractéristiques à respecter étaient :

- Transport de données sans fil à haut débit, 64 kbit/s au minimum pouvant atteindre 2Mbit/s au maximum dans tout type d'environnement.
- Haute efficacité spectrale et grande capacité par rapport aux systèmes 2G.
- Apport d'amélioration sur tous les plans par rapport aux systèmes 2G, ce pendant le système doit assurer dans son début une interopérabilité avec les réseaux d'accès radio de 2^{ème} génération.

- Service utilisant la technique à commutation de circuit pour la transmission de la voix et à commutation de paquet pour la transmission des données.
- Transmission de données de manière symétrique et asymétrique : dans une transmission symétrique, le débit de la voie montante est égal à celui de la voie descendante. Au contraire dans une communication asymétrique, les débits dans les deux voies sont différents.

1.3.2 Les classes de service

L'UMTS offre différents services en fonction de quatre catégories de qualité de service:

- Classe A : mode conversation (conversational) :** Classe qui regroupe tous les services bidirectionnels impliquant deux interlocuteurs, voire plus en temps réel, elle représente La voix (la téléphonie) et La visiophonie qui permet de voir le correspondant à travers son combiné tout en discutant. La visiophonie nécessite néanmoins un débit assez important comparé au débit de la voix [3].
- Classe B : mode flux de données (streaming) :** Classe impliquant un utilisateur et un serveur de données, les données sont majoritairement distribuées dans le sens serveur vers utilisateur. Les services de vidéo à la demande qui existe sur les connections internet de type Home, et, grâce à l'augmentation des débits, sur le portable avec l'UMTS, la diffusion radiophonique et applications de transfert d'image... [3]
- Classe C : mode interactif (interactive) :** Représente la navigation sur Internet, le transfert de fichiers par FTP, le transfert de message électroniques ou toutes les applications de commerce électronique (classe ne requièrent aucune performances temps réel particulière) [3].
- Classe D : mode tâche de fond (Background):** Pour les applications de données sensibles aux erreurs de transmission, elle représente entre autres le transfert de fax, la notification de message électronique et la messagerie de type SMS. (La différence entre cette classe et la classe précédente est : les informations transmises sont de priorités inférieures à celles de la classe interactive) [3].

1.3.3 La couverture globale de l'UMTS

La couverture globale de la planète s'organise en une structure cellulaire hiérarchisée qui assurera l'itinérance mondiale, illustrée dans la figure 1.1. Au sommet de la hiérarchie, se trouvent les satellites qui assurent une couverture sur l'ensemble de la planète.

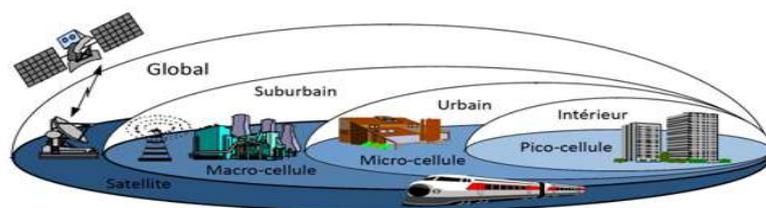


Figure 1.1. Les environnements définis dans un réseau UMTS

Le réseau radio terrestre assure la couverture terrestre par une répartition hiérarchisée **pico**, **micro** et **macro** cellule. La composante satellitaire sert pour le roaming mondial et pour compléter la couverture par l'UTRAN (réseau universel d'accès radio terrestre). Les pico-cellules sont conçues pour la couverture des bâtiments c'est-à-dire en environnement intérieur, les microcellules pour les zones urbaines et les macro-cellules assurent la couverture dans les zones suburbaines et rurales.

1.4 WCDMA dans l'UMTS

Les systèmes cellulaires reposent sur l'accès multiple : FDMA, TDMA, CDMA ou sur une combinaison de deux de ces techniques. Le facteur le plus important dans toutes ces techniques est le nombre d'utilisateur et le service supporté pour des conditions de propagation données. Si on considère un système basé sur le FDMA et/ou le TDMA présentés dans la figure 1.2. On s'aperçoit que leur capacité est limitée par la bande de fréquence allouée à chaque utilisateur [4].

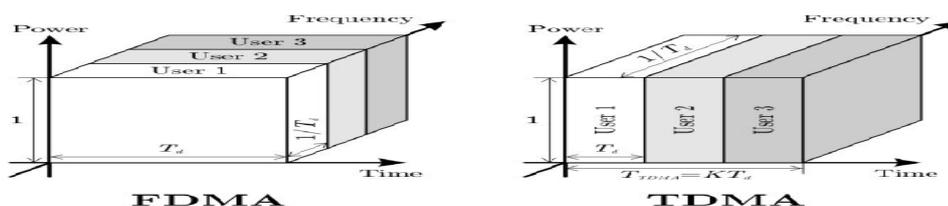


Figure 1.2. Principe de FDMA et TDMA

Donc, le CDMA est la technique la plus proche pour réaliser les deux points précédents, vu qu'elle permet à différents utilisateurs de se communiquer simultanément dans une même bande de fréquence. La distinction entre les différents utilisateurs s'effectue grâce à un code qui leur est attribué et connu exclusivement par l'émetteur et le récepteur (voir la figure 1.3). Mais la capacité d'un système basé CDMA est aussi limitée, notamment par le niveau d'interférence dans le réseau. Ce qui a provoqué l'utilisation de WCDMA dans l'UMTS [4].

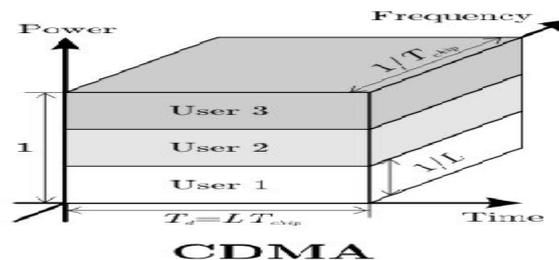


Figure 1.3.Principe de CDMA

1.4.1 Pourquoi le WCDMA ?

Le WCDMA est une variante de la technique d'accès multiple par répartition de codes CDMA, basée sur la technique d'étalement de spectre, utilisant une modulation par séquence directe (DS-WCDMA) garantissant un débit élevé Avec 5 MHz de largeur de bande, permettant d'atteindre un débit de 2 Mbit/s et un grand nombre d'UE [1]. En plus de ces deux avantages, on cite :

- Transmission efficace en mode paquet
- Compatibilité avec les systèmes 2G et possibilité d'intégrer de nouvelles technologies
- Gain de traitement plus élevé: en élargissant la bande, le signal est moins sensible aux interférences.
- Meilleure performance pour détecter les trajets multiples
- Meilleure sécurité: le signal, codé par une séquence connue seulement de l'émetteur et du récepteur, a l'allure d'un bruit inintelligible.
- Possibilité de partage de la bande par plusieurs émetteurs, ce qui évite le multiplexage par temps du GSM et permet un meilleur débit. De plus, le débit peut être variable, ce qui est beaucoup plus flexible qu'une division temporelle.

- Support des deux modes FDD et TDD, caractérisés par le tableau 1.1 :

	UTRA/FDD	UTRA/TDD
Technique d'accès multiple	FDMA/CDMA	TDMA/CDMA
Mode de duplexage	FDD	TDD
Séparation entre porteuse (MHz)	5	5
Spectre de fréquence (MHz)	1920-1980 en UL 2110-2170 en DL	1885-1920 en UL/DL 2010-2025 en UL/DL
Type de modulation	BPSK en UL QPSK en DL	QPSK
Durée d'une trame	10 ms	10 ms
Durée d'un slot (ms)	10/15=0.667	10/15=0.667
Débit chip	3.84 MChips	3.84MChips
Synchronisation entre node B	Optionnelle (synchrone/asynchrone)	synchrone

Tableau 1.1.Principales caractéristiques des techniques d'accès radio de l'UTRAN [1]

Notons que la technique la plus utilisée est le FDD.

1.4.2 L'étalement de spectre

L'étalement de spectre est une technique permettant de transmettre un signal sur une largeur de bande plus grande que celle qui est nécessaire comme l'indique la figure 1.4. Pour cette raison, l'étalement de spectre est aussi considéré comme une forme de modulation. Cette technique diminue le risque d'interférences avec d'autres signaux reçus tout en garantissant une certaine confidentialité.

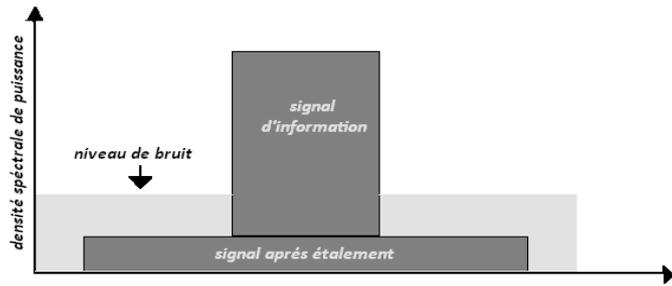


Figure 1.4. Principe de l'étalement de spectre

Pour bien comprendre pourquoi l'étalement de spectre a eu tant de succès, bien qu'on pose toujours la question, pourquoi on gaspille la fréquence, alors que c'est une ressource rare La réponse vient de célèbre formule de la capacité de canal de Claude Shannon [4] :

$$C = B \log_2\left(1 + \left(\frac{S}{N}\right)\right) \Rightarrow \left(\frac{S}{N}\right) = \exp\left(\frac{C \ln 2}{B}\right) - 1 \quad (1.1)$$

Où : C est la capacité du canal en bit par seconde, B la largeur de bande du signal transmis en Hertz, S la puissance du signal en Watt et N la puissance du bruit en Watt.

De première vue, en augmentant la largeur de bande B, on a un signal sur bruit moins important à la réception pour conserver la même capacité de canal. C'est ainsi qu'on démontre les vertus de l'étalement de spectre, la largeur est accrue et le S/N est réduit au minimum afin d'obtenir de bonnes performances et un débit élevé [4].

Le paramètre clé dans tout système d'accès radio à étalement de spectre est le gain de traitement Gp (Processing Gain) qui est défini comme le rapport entre la largeur de bande occupée par un bit d'information avant (B₀) et après l'étalement(B₁) [4].

$$G_p = \frac{B_1}{B_0} \quad (1.2)$$

La valeur de ce paramètre représente la capacité des systèmes d'accès radio à étalement de spectre à rejeter l'interférence, plus le Gp augmente plus le système résiste au bruit.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour élargir ou moduler un signal, le WCDMA réalise l'étalement de spectre selon la méthode de répartition par séquence directe afin de

distinguer les utilisateurs émettant sur le même canal. C'est la technique la plus répandue dans les systèmes de radiocommunication mobiles, dont son principe est présenté par la figure 1.5.

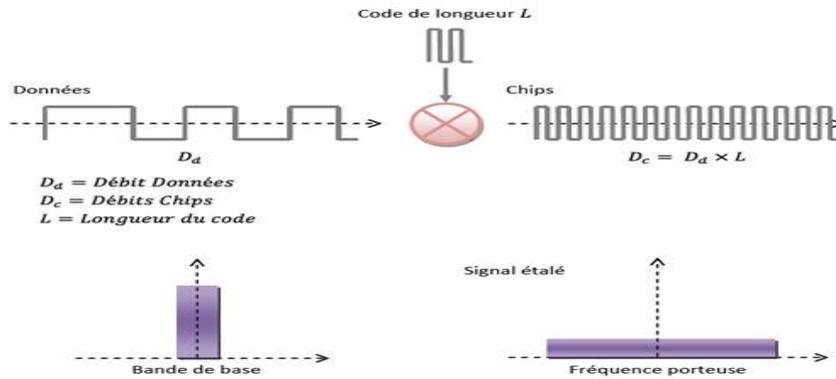


Figure 1.5.Étalement de spectre par DS-SS [5]

1.4.3 Les codes d'étalement

Il existe deux codes utilisés en UMTS :

a. Les codes de canalisation

C'est la première opération qui consiste à moduler le signal par une séquence (code), appelée OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor Code) qui doit réaliser l'orthogonalité entre les différents utilisateurs dans une cellule et permet de modifier le facteur d'étalement. La séquence est composée des chips qui ont un débit fixe 3.84 MChips (dans l'UMTS). Ces codes sont extraits d'une famille de codes orthogonaux dite famille Walsh [6]. Ils se sont engendrés par l'arbre de la figure 1.6.

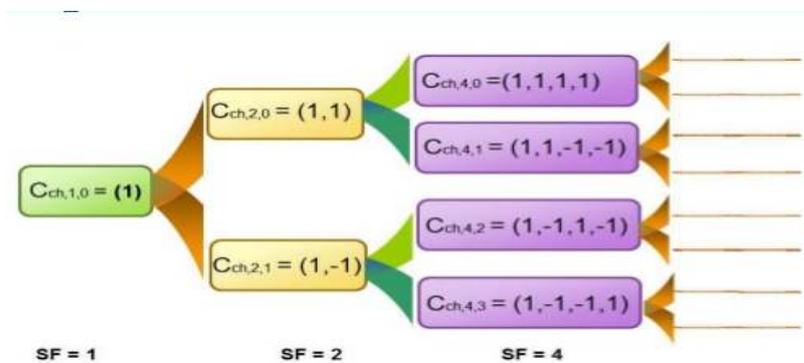


Figure 1.6. Arbre des codes OVSF [6]

En effet, Les codes OVSF présentent certaines limites, ils ne peuvent pas être tous utilisés simultanément au sein d'une même cellule puisqu'ils ne sont pas tous orthogonaux entre eux. Donc lorsqu'un code est alloué, tous les codes issus de la même branche ne peuvent pas être utilisés [6].

b. Les codes d'embrouillage

Cette deuxième opération illustrée par la figure 1.7, utilise des codes qui font partie des codes pseudo-aléatoires dont les propriétés d'inter corrélation sont supérieures à celles obtenues par les codes de canalisation. On utilise donc un code d'embrouillage, c'est un code Gold, qui est une combinaison de deux m-séquences, caractérisé par le grand nombre des codes générés. Ces codes ne sont pas orthogonaux. Ils sont appliqués sur le signal étalé sans affecter ni la largeur de bande ni le débit. Il permet au node B de différencier sur la voie montante les utilisateurs sous son contrôle, et aux utilisateurs d'identifier les node B ainsi d'identifier une cellule et faciliter la tâche du récepteur lors de la détection des symboles transmis dans la voie descendante. L'étalement peut être effectué par plusieurs émetteurs avec le même code de canalisation sans compromettre la détection des signaux par le récepteur [6].

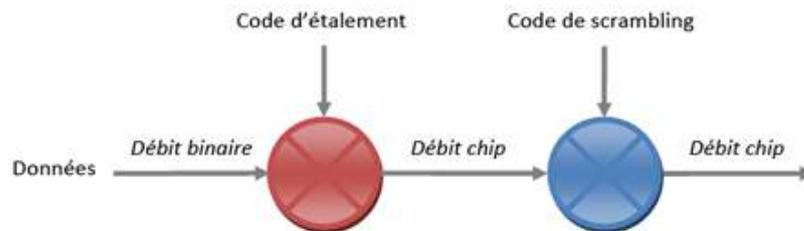


Figure 1.7. Mécanisme d'embrouillage

Donc, les codes de canalisations sont utilisés à l'intérieur de la cellule, tandis que les codes d'embrouillages pour garantir l'orthogonalité entre les cellules.

Le tableau 1.2 récapitule la relation entre le code d'étalement et le code d'embrouillage pour les deux voies montante et descendante.

	Codes d'étalement	Codes d'embrouillage
	OVSF	Gold
Voie montante	Séparation des canaux de données d'un même terminal.	Séparation des terminaux
Voie descendante	Séparation des connexions des différents utilisateurs d'une même cellule	Séparation des cellules.

Tableau1.2. relation entre le code d'étalement et le code d'embrouillage

1.4.4 Dés-étalement des signaux

A la réception, le signal est transformé en bande de base, puis multiplié par le même code utilisé en émission, ce qui a pour effet d'enlever la contribution du code et de ne garder que le message d'information.

1.4.5 Méthodes d'accès radio

Les bandes de fréquence allouées pour l'IMT2000 sont : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz [7]. L'UMTS propose la répartition suivant la figure 1.8.



Figure 1.8.Utilisation de la bande de fréquence pour l'UMTS [7]

Un système de radiocommunication bidirectionnel doit transmettre des signaux du mobile vers le réseau, dit sens montant et du réseau vers le mobile, dit sens descendant.

Deux méthodes sont utilisées pour permettre la séparation de la transmission UL et DL. Ce sont la division duplexe par fréquence (FDD : dont les bandes apparaissent (2x60 MHz) en utilisant un accès W-CDMA) et la division duplexe par temps (TDD : dont les bandes apparaissent (35 et 15 MHz) en utilisant un accès TD-CDMA).

La différence entre les deux modes est présentée dans la figure 1.9.

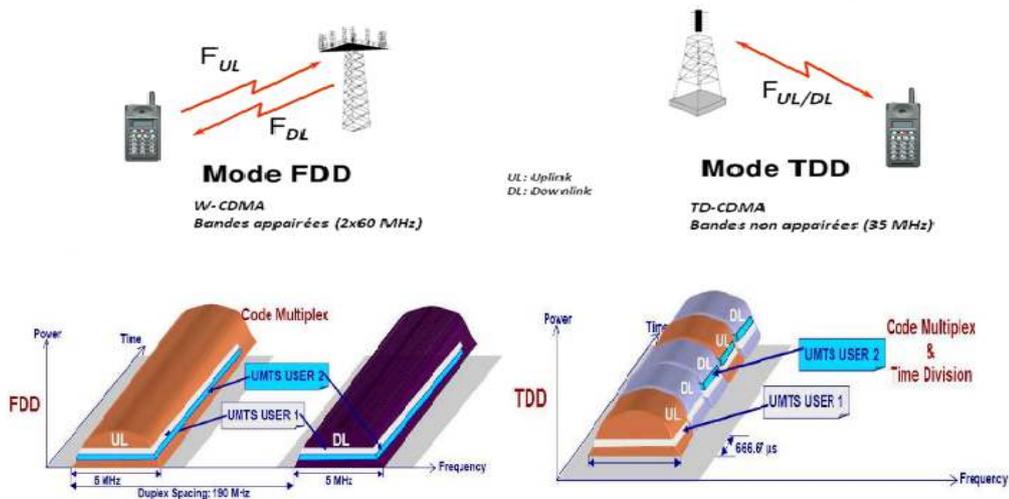


Figure 1.9. Mode FDD et TDD

a. FDD (Frequency Division Duplex) :

Désigne une méthode de duplexage où l'émission et la réception se font simultanément, en utilisant chacune une bande de fréquence différente et constante pour toutes les stations mobiles dans une même norme. L'espace pour les deux bandes de fréquence pour l'UL et le DL est appelé l'écart duplexe et vaut 190 MHz [4].

La bande de fréquence DL est placée à une fréquence plus élevés [2110 à 2170 MHz] que la bande de fréquence UL [1920 à 1980 MHz] pour limiter la consommation des équipements mobiles. Plus la fréquence est élevée plus la consommation est forte [4].

Le mode FDD est bien adapté à tous les types de cellule, y compris aux grandes cellules, mais n'est pas souple pour gérer des trafics asymétriques [7].

b. TDD (Time Division Duplex) :

C'est une technique permettant à l'émission et à la réception de partager la même bande de fréquence [1885 à 1920 MHz] et [2010 à 2025 MHz], en la divisant en 15 times slots (TS) de 667 μs qui constituent une trame de 10 ms [5]. Sa structure est définie dans la figure 1.10.

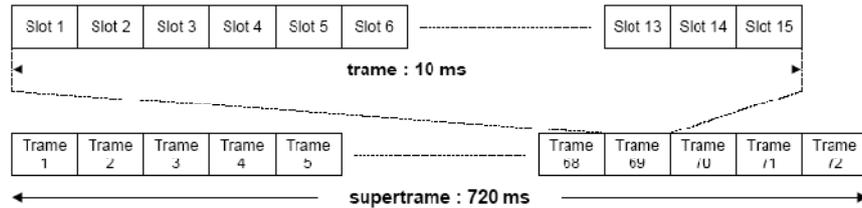


Figure 1.10. Structure de trame de l'UMTS [5]

Certains TS sont réservés pour l'UL et le reste pour le DL. La durée d'une trame détermine la répétition cyclique de la transmission correspondante UL/DL.

Cette technique présente un avantage en débit, permet d'adapter le rapport de transmission UL/DL en fonction de l'asymétrie de trafic, mais exige une synchronisation des node B et n'est pas bien adapté aux grandes cellules à cause des temps de gardes trop important. Ainsi, il est impensable de réserver une paire de canaux pour chaque abonné à cause de la limite de nombre de canaux d'où la nécessité de définir des méthodes d'accès multiple afin de permettre à tous d'accéder au réseau.

Les deux modes d'accès doivent être harmonisés pour favoriser la réalisation de terminaux bi-modes TDD/FDD à bas coût. C'est l'originalité présentée par l'UMTS.

1.5 L'architecture d'un réseau UMTS

L'architecture d'un réseau UMTS présentée dans la figure 1.11, est divisée en trois entités principales selon les spécifications du groupe de normalisation 3GPP. La première correspond à l'équipement terminal UE (User Equipment), la deuxième correspond au réseau d'accès radio UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et la troisième correspond au réseau cœur CN (Core Network).

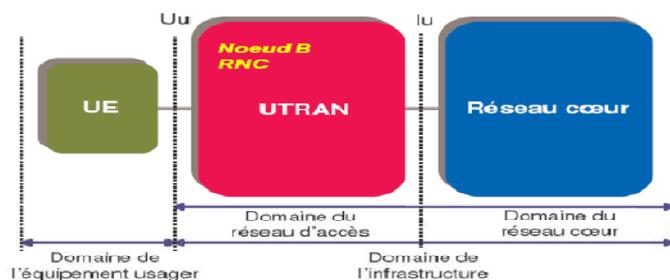


Figure 1.11. Schéma synoptique du système UMTS [2]

1.5.1 Domaine d'équipement de l'utilisateur

Il désigne la station mobile dans un réseau UMTS. Il représente le vecteur qui permet à l'abonné d'accéder au réseau et ses services. On distingue deux différentes parties au point de vue fonctionnel, reliés par l'interface Cu [3]:

- a. **ME (Mobile Equipment)** : c'est un équipement électronique émetteur-récepteur et interface homme-machine, chargé de la transmission radio et des procédures associées, divisé à son tour en MT (Mobile Termination) qui assure la transmission de l'information vers le réseau UMTS (ou autre) à travers l'interface radio et applique les fonctions de modulation, de correction d'erreurs, d'étalement de spectre ... TE (Terminal Equipment) qui peut être un ordinateur, portable... MT et TE peuvent faire partie d'un équipement unique ou être séparés en deux [3].
- b. **USIM (Universal Subscriber Identity Module)** : comme on utilise la carte SIM en GSM, l'USIM en UMTS conserve les informations liées à la souscription de l'abonné, permet d'accéder aux services souscrits et gère les procédures d'authentification et de chiffrement pour assurer la sécurité de terminal et la confidentialité des communications [3].

Comme en GSM, en UMTS, le numéro IMSI (International Mobile Subscriber Identity) permet au réseau d'identifier l'abonné de manière unique. Ce numéro n'est pas connu par l'utilisateur. Pour être appelé, l'abonné peut se voir attribuer un ou plusieurs numéros MSISDN (Mobile Station ISDN Number), chacun d'entre eux peut être associé aux services éventuellement personnalisés, auxquels il a souscrit. Toujours pour préserver la compatibilité du système avec le GSM, le terminal UMTS doit communiquer l'IMEI (International Mobile Equipment Identity) au réseau. Ce paramètre identifie le terminal et peut, le cas échéant, empêcher son utilisation si le terminal s'avère être un terminal volé ou non homologué.

1.5.2 le réseau d'accès UTRAN

Le réseau UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) est doté de plusieurs fonctionnalités. Il sert de passerelle pour le transfert des données utilisateurs de et vers le CN, c'est sa fonction principale. Il permet l'accès au réseau (gestion de l'admission, allocation des ressources radio, contrôle de congestion, diffusion des informations système), la synchronisation (maintien de la base temps de référence) entre le réseau d'accès et l'UE, et entre les différents éléments qu'il contient. Il assure aussi la sécurité et la confidentialité des informations de l'utilisateur, la gestion de la mobilité (estimation de la position géographique) et la gestion des ressources [8].

En plus, de nouvelles fonctions par rapport au BSS (Base Station System) [1] :

- Quatre nouvelles interfaces ouvertes (normalisées)
- Utilisation du CDMA comme méthode d'accès
- Gestion des données des services PS et CS par la même pile de protocoles de l'interface radio
- Support du soft-Handover (dans la macro diversité), ceci est l'impact majeur du design de l'UTRAN.
- Gestion de la mobilité indépendamment du réseau cœur. Lorsque ceci est possible, une interopérabilité avec le réseau d'accès GSM peut exister.

L'UTRAN est constitué de deux éléments présentés par la figure 1.12.

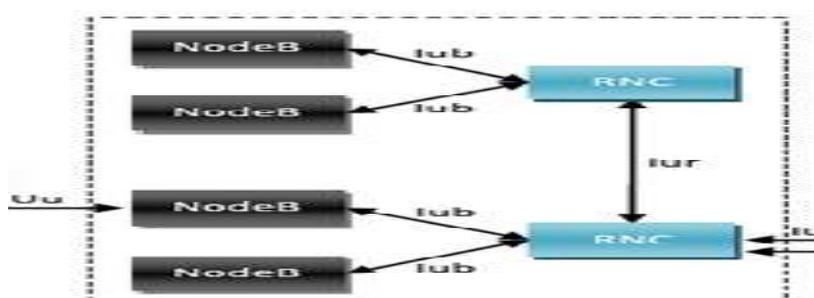


Figure 1.12. Réseau d'accès UTRAN [1]

a. Le node B :

C'est l'équivalent du BTS dans le réseau GSM. Il assure la transmission/réception radio, la zone qu'il gère est appelée cellule.

Le node B est un relais radio électrique qui assure la couverture d'une cellule pour les terminaux UMTS avec une pile de protocole spécifiques à l'interface radio, opère

principalement dans la couche physique et gère : l'allocation des canaux physiques, le codage canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit, l'étalement/désétalement, modulation/démodulation (QPSK ou QAM pour les débits élevés), filtrage et amplification. Il est aussi responsable du contrôle de puissance en boucle fermée [1].

b. Le RNC (Radio Network Controller) :

Le RNC s'interface avec le réseau pour les transmissions en mode paquet et en mode circuit. Il a des fonctionnalités équivalentes au BSC des réseaux GSM. Il est directement relié à un node B, il gère le contrôle de charge et de congestion (saturation) des différents node B, le Contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio qui s'établissent dans les cellules gérées ainsi le contrôle et la gestion des ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Ressource Control), en définissant les procédures de routage des communications entre le mobile et l'UTRAN [8].

Deux types de RNC se distinguent :

- **S-RNC (Serving RNC) :** c'est une passerelle vers le réseau et gère les connexions RRC établies entre le mobile et un RNC de l'UTRAN. Il sert d'un point de rattachement au CN (Core Network) via l'interface Iu. Il contrôle et exécute le Handover [2,8].
- **D-RNC (Drift RNC) :** sa principale fonction est de router les données d'une manière transparente, il gère les ressources radio des nodes B qui dépendent de lui sous l'ordre du S-RNC. Il effectue la recombinaison des liens lorsque plusieurs liens radio sont établis avec des nodes B qui lui sont attachés [2,8].

Chaque RNC peut-être à la fois Servig et Drift pour des mobiles différents suivant la manière dont les connexions RRC sont établis. Les rôles des deux types RNC sont présentés par la figure 1.13.

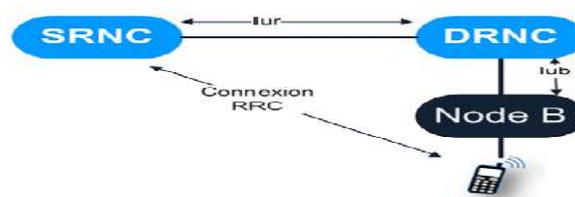


Figure 1.13. Représentation des rôles du RNC [1]

- **Les interfaces du réseau UTRAN :**

Le tableau 1.3 présente les fonctions de chaque interface du réseau UTRAN

Interfaces	Extrémités	Fonctions
Uu	UE-Node B	Interface radio permet l'accès et la communication avec le réseau UTRAN. Elle se base sur la technologie WCDMA
Iu	UTRAN-CN	Permet la communication de réseau UTRAN avec le Réseau cœur en utilisant l'interface Iu-CS pour connecter l'UTRAN avec le domaine à commutation de circuit du CN et Iu-PS pour connecter l'UTRAN avec le domaine à commutation de paquet du réseau cœur
Iur	RNC-RNC	Elle relie deux RNC, nécessaire pour la Macro diversité et Soft Handover
Iub	Node B-RNC	Allocation du support à l'UE vers le RNC et permet le RNC de contrôler les nodes B. L'UMTS est le premier système de téléphonie mobile à proposer une interface ouverte à ce niveau.

Tableau 1.3. Les interfaces de réseau UTRAN

1.5.3 le réseau cœur CN

Le réseau cœur UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. C'est la partie du système chargée de la gestion des appels, responsable de la commutation et du routage des communications (voix/données) dans le même réseau ou vers les réseaux externes fixes ou mobiles. Il fournit les logiciels d'application qui permettent, tout en garantissant la sécurité des échanges, de maintenir la communication, même lorsque l'utilisateur est itinérant [3].

Il se décompose en deux parties : **le domaine circuit** en premier temps et **le domaine paquet** comme illustre-la figure 1.14.

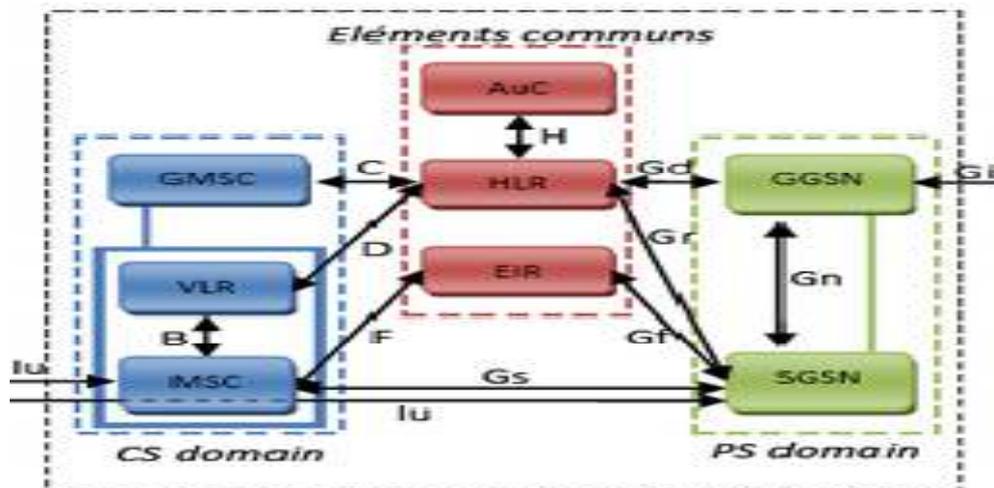


Figure 1.14. Réseau cœur [1]

- a. **Le domaine à commutation de circuit (CS):** est mieux adapté pour la transmission de voix et pour les services de type à temps réel tel que la visioconférence, jeux vidéo, streaming, et les applications multimédia. ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS, le débit du mode circuit sera de 384 Kbits/s. l'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GSM [2,3].
- **MSC (Mobile Switching Center) :** il assure l'interface à un mobile pour l'accès aux services à commutation de circuit. Il gère l'inscription des abonnés, l'authentification et la mise à jour de localisation.
 - **GMSC (Gateway MSC) :** il est l'un des MSC du réseau et assure l'interface vers les réseaux extérieurs.
 - **VLR (Visitor Location Register) :** c'est une base de données contenant les informations sur la position de l'abonné et ses identificateurs temporaires.
- b. **Le domaine à commutation de paquet (PS) :** le PS est constitué d'une plateforme IP. Le routage des informations se fait soit dans le même réseau, soit vers les réseaux paquets externes à savoir (internet, X25, VPN,...). Ce domaine traite les services non en temps réel. Il s'agit principalement de la navigation sur internet, l'accès/l'utilisation des e-mails, le téléchargement... ces applications sont moins sensibles au temps de transfert. Le débit du domaine

de paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environs 2Mbits/s. l'infrastructure s'appuiera sur les principaux éléments du réseau GPRS [2,3].

- **SGSN** (Serving GPRS Support Node) : son rôle est comparable au MSC/VLR dans le domaine CS. Il achemine les paquets de données, exécute les procédures de routage, la gestion de la mobilité et l'authentification.
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) : équivalent du GMSC en GSM qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données et négocier la qualité de service réseau avec un serveur de politique tel que COPS (Common Open Policy Server).

➤ **Eléments communs aux domaines CS et PS :**

- **HLR** (Home Location Register) : c'est une base de données contenant les éléments définissant l'abonnement de l'utilisateur et permettant l'identification et l'authentification de l'abonné.
- **AuC** (Authentication Center) : contient les paramètres de gestion de la sécurité de l'accès au système.
- **EIR** (Equipment Identity Register) : contient une liste des équipements, dite liste noire, dont l'accès doit être refusé (équipement volé ou non homologué).
- **Les interfaces du réseau cœur CN :**

Le tableau 1.4 présente les fonctions des interfaces du réseau Cœur

Interfaces	Extrémités	Fonctions
C	GMSC-HLR	Informations sur les abonnés lors d'une communication entrante
D	VLR-HLR	Authentification et mise à jour de localisation
F	MSC-EIR	Vérifier que l'UE n'est pas dans la liste noire
B	MSC-VLR	Recherche des identificateurs et localisation des abonnés

Gf	SGSN-EIR	Vérifier que l'UE n'est pas dans la liste noire
Gr	SGSN-HLR	Authentification et mise à jour de localisation
Gd	GGSN-HLR	Informations sur les abonnés lors d'une communication entrante
Gi	GGSN-autre réseau	Communication avec les réseaux à commutation de paquets externes
Gn	GGSN-SGSN	Routage des paquets vers les réseaux externes
Gs	MSC-SGSN	Interaction des domaines PS et CS
RTC	MSC-GMSC ou GMSC-autres réseaux	Communication avec les réseaux à commutation de circuit externes

Tableau 1.4. Les interfaces de réseau cœur

1.6 Structure des couches de l'interface radio

C'est les protocoles mise en œuvre entre un terminal mobile et le réseau d'accès radio qui font les plus nettes différences entre l'UMTS et les systèmes 2G. Ces protocoles agissent au niveau de trois principales couches définies dans la figure 1.15.

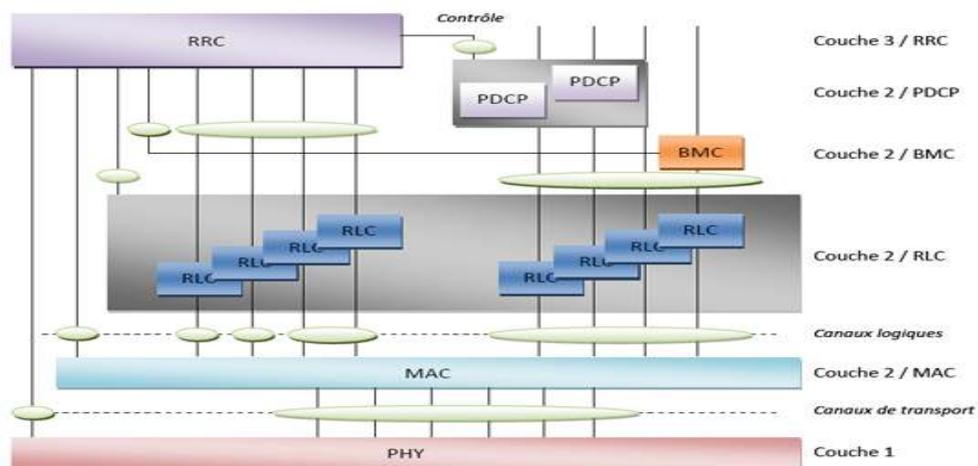


Figure 1.15. Couche de protocole de l'interface radio [9]

1.6.1 Couche 1 : la couche physique

Elle réalise le codage/décodage canal pour la protection contre les erreurs sur les canaux de transport, multiplexage en émission de plusieurs canaux de transport sur des canaux physiques, l'adaptation de débit pour ajuster la taille des données à la capacité du canal physique, La modulation et l'étalement du spectre [3].

1.6.2 Couche 2 : la couche de liaison de données

Qui est elle-même composée de quatre sous-couches :

- a. **La sous-couche MAC (Medium Access Control)** : Elle gère l'accès au medium de transmission à travers l'association des canaux logiques avec les canaux de transport, le contrôle de volume de trafic sur les canaux de transports actifs à l'aide des informations fournies par la sous-couche RLC, la gestion des priorités entre les flux de données d'utilisateurs, le multiplexage en émission de plusieurs canaux logiques sur un canal de transport et le démultiplexage en réception et l'identification des mobiles lorsqu'ils utilisent les canaux de transport commun [3].
- b. **La sous-couche RLC (Radio Link Control)** : Elle fournit le service de transfert des unités de données des couches supérieures (SDU RLC) [3].
- c. **La sous-couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol)** : Elle fournit le service de transfert des communications par paquet en s'appuyant sur des services offerts par la sous-couche RLC ainsi de compresser les données via des algorithmes de compression pour exploiter plus les ressources radio[3].
- d. **La sous-couche BMC (Broadcast/Multicast Control)** : Elle assure du coté UTRAN le service de diffusion de message utilisateur sur l'interface radio [3].

1.6.3 Couche 3 : la couche RRC (Radio Ressource Control)

C'est la tour de contrôle de l'interface radio, elle gère la signalisation entre l'UTRAN et les mobiles et assure la gestion des connexions RRC, de paging et de la mobilité dans

l'UTRAN, la diffusion des informations système, la sélection de la cellule ainsi la configuration de chiffrement et de l'intégrité [3].

1.7 Les canaux

Le système UMTS utilise le concept de canal afin d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio, les caractéristiques de qualité de service associées, ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission. Ces canaux sont des composantes de l'architecture du système et sont donc à distinguer du canal de transmission (qui capture les effets de la propagation radio) et du canal fréquentiel (ou porteuse). On distingue trois classes de canaux : canaux logiques, canaux de transport et canaux physiques classés dans la figure 1.16.

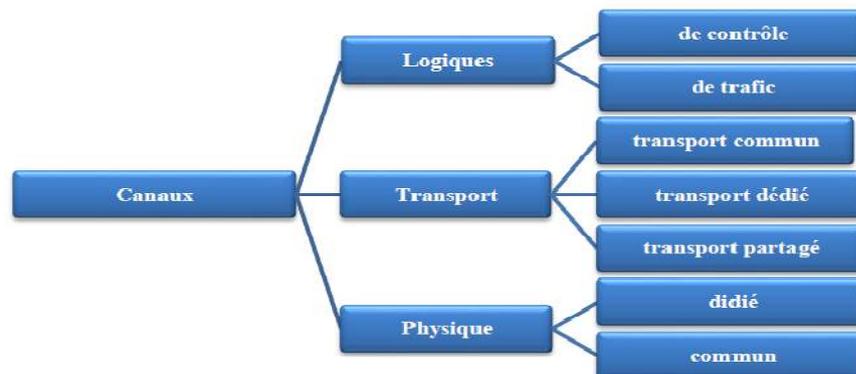


Figure 1.16. Les canaux [2]

1.7.1 Les canaux logiques

Un canal logique opère entre les couches RLC et MAC, associé à un ou plusieurs flux de données (ou de signalisation) qui possèdent des caractéristiques communes : typologie des données transportées (plan usager ou plan de contrôle), priorité du flux, débit nominal (garanti ou non). Un canal logique est donc caractérisé par ce qu'il transporte, et non par la façon dont ces données sont véhiculées. Les canaux logiques se séparent en canaux de contrôle et canaux de trafic détaillés dans le tableau 1.5. Les canaux de contrôle transportent uniquement des informations du plan de contrôle, tandis que les canaux de trafic véhiculent exclusivement les données du plan usager.

Noms	Liaison	Rôle
Canaux logiques de contrôle		
BCCH (Broadcast Control Channel)	↓	C'est une voie balise, permet au mobile de lire les informations systèmes pour accéder la première fois au réseau ou sortir du mode veille.
PCCH (Paging Control Channel)	↓	Il transporte les informations de paging diffusées dans la cellule pour localiser un UE
DCCH (Dedicated Control Channel)	↓↑	Il transporte les informations de contrôle à des mobiles connectés au réseau et porte les informations de signalisation dédiée à un UE.
CCCH (Common Control Channel)	↑↓	Envoi ou réception des informations de contrôle à des mobiles non connectés au réseau et porte les informations de signalisation pour établir un Handover par exemple.
Canaux logiques de trafic		
DTCH (Dedicated Traffic Channel)	↓↑	Transportant l'échange de données usager avec un mobile connecté au réseau
CTCH (Common Traffic Channel)	↓	Canal unidirectionnel, pour l'envoi de données usager en mode diffusion (groupe de mobiles)

Tableau 1.5. Les canaux logiques de l'UMTS [6]

1.7.2 Les canaux de transport

Ils opèrent entre la couche MAC et la couche physique et sont définis par la manière et les caractéristiques selon lesquelles les données sont transportées par l'interface radio. Le tableau 1.6 présente en détail les canaux de transport.

Noms	Liaison	Rôle
Canaux de transport dédiés		
DCH (Dedicated Channel)	↑↓	Canal point à point dédié à un seul UE, existant dans les deux sens pour transférer des données à un mobile et transporter indéfiniment les données de contrôle et de trafic en supportant le DCCH et le DTCH qui sont multiplexés sur un même DCH.
Canaux de transport communs		
BCH (Broadcast Channel)	↓	Utiliser pour la diffusion d'informations sur la cellule et transporte le canal logique BCCH
PCH (Paging Channel)	↓	Il diffuse les informations de paging sur l'ensemble de la cellule et transporte le canal logique PCCH
FACH (Forward Access Channel)	↓	Canal d'accès avancé, transporte des messages de signalisation et des paquets usagers. Il doit comporter l'indicateur de l'UE.
CPCH (Common Packet Channel)	↑	Seulement en mode FDD, il sert à la transmission de burst données de trafic
RACH (Random Access Channel)	↑	Utilisé par l'UE pour la demande d'accès aléatoire au réseau lorsqu'il veut s'enregistrer dans une cellule ou passer un appel eut aussi être utilisé pour le transport de paquet de trafic ou de signalisation.
Canaux de transport partagés		
USCH (UplinkSharred Channel)	↑	Seulement en mode TDD. Il porte le contrôle dédié ou des données de trafic
DSCH (DownlinkSharred Channel)	↓	Utilisé en association avec un ou plusieurs canaux dédiés, il est partagé dynamiquement par plusieurs utilisateurs

Tableau 1.6. Les canaux de transport de l'UMTS [6]

1.7.3 Les canaux physiques

Les canaux physiques sont utilisés par la couche physique et sont définis par les caractéristiques physiques de leur transmission. Ils fournissent le moyen de transmettre par radio les données des canaux de transport. Un canal physique correspond à un ensemble d'élément de ressource temps-fréquence dans la sous-trame. De plus, il est associé à des caractéristiques physiques particulières, comme une séquence d'embrouillage, des schémas de codage et modulation... Le tableau 1.7 présente les canaux physiques.

Noms	Liaison	Rôle
Canaux physiques dédiés		
DPCH (Dedicated Physical Channel)	↓	Supporte les canaux de transport de type DCH, ils servent à alerter un utilisateur ou le réseau et contrôlent l'information entre le réseau et l'utilisateur et inversement.
DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)	↓↑	Supporte les données usagers des canaux de transport de type DCH et transporte les données dédiés à u utilisateurs
DPCCH (Dedicated Physical Control Channel)	↑↓	Un seul canal DPCCH associé à un ou plusieurs canaux DPDCH. Il transporte les informations de contrôle générées au niveau de la couche physique
Canaux physiques communs		
PRACH (Physical Random Access Channel)	↑	Il permet l'accès aléatoire des mobiles et supporte le canal de transport RACH
PCPCH (Physical Common Packet Channel)	↑	Canal partagé montant

PDSCH (Physical Downlink Shared CH)	↓	Supporte les canaux DSCH, toujours associés à un canal DPCH qui transporte dans son DPCCH les informations de contrôle du PDSCH
P-CCPCH (Primary common Control Physical Channel)	↓	Diffusion d'informations système. Il supporte le canal de transport BCH
S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel)	↓	Paging et réponse des couches hautes aux accès initiaux, il supporte le canal de transport PCH et/ou un ou plusieurs canaux FACH
AICH (Acquisition Indicator Channel)	↓	associé au PRACH, il transporte les indicateurs d'acquisition AI pour acquitter positivement ou négativement la réception d'un préambule d'accès sur le canal PRACH.
SCH (Synchronization Channel)	↓	Il transmet en parallèle deux codes de synchronisation primaire et secondaire pour permettre aux terminaux de se synchroniser en temps et de connaître les groupes des codes d'embrouillage afin de pouvoir décoder les informations des autres canaux physiques
PICH (Paging Indicator Channel)	↓	associé à un canal S-CCPCH, il transporte les bits PI (paging Indicator) relatifs au PCH porté par le S-CCPCH associé
CPICH (Common Pilot Channel)	↓	Transporte un train binaire prédéfini et joue le rôle de balise de référence pour l'estimation des conditions de propagation et pour le prélèvement des mesure nécessaires. Il permet au mobile de se synchroniser sur la cellule et d'estimer la puissance reçue

Tableau 1.7. Les canaux physiques de l'UMTS [6]

1.8 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté d'une manière générale l'architecture et l'interface radio du réseau UMTS basé sur la technique d'accès multiple WCDMA qui se distingue par ses caractéristiques très améliorées par rapport aux générations précédentes, dont témoignent les fonctionnalités multiples utilisées de plus en plus durant ces dernières années.

Dans le chapitre suivant, on va étudier les mécanismes de l'interface radio pour qu'on puisse aborder la planification dans le 3^{ème} chapitre.

Chapitre 2 Mécanismes de l'interface radio

2.1 Introduction

La planification d'un réseau cellulaire demande une bonne connaissance de l'interface air afin de mieux gérer les ressources radio disponibles. Ce chapitre inclut un aperçu sur les propriétés naturelles du milieu de propagation et des processus de gestion des ressources radio pour faciliter l'estimation des marges lors de l'établissement de bilan de liaison.

On décrira également les processus WCDMA les plus importants. Dans un premier lieu, on parle du Handover qui a connu une nette amélioration avec l'arrivée de WCDMA par rapport aux réseaux 2G en rendant possible la communication simultanée avec plusieurs cellules ainsi le transfert d'une cellule à une autre sans aucune interruption. En deuxième lieu, on s'est intéressé à l'utilisation de contrôle de puissance rapide qui s'est imposé à cause de la grande sensibilité du système aux interférences et aux évanouissements rapides.

2.2 Canal de propagation radio

Le canal de transmission radio-mobile est l'un des média de communications les plus variables, ce qui le rend le point critique des systèmes de radiocommunications à cause des dégradations engendrées sur le signal transmis. Donc, le choix des techniques à utiliser et le dimensionnement du système cellulaire dépendent de ses caractéristiques.

2.3 Propagation radio mobile

La propagation peut être en espace libre dont l'étude de phénomène de propagation est simple et la détermination du niveau de signal reçu est facile.

Dans un système mobile, on parle plus de propagation en espace libre, mais de propagation à trajets multiples puisque le récepteur se trouve dans la plupart du temps encaissé dans des bâtiments vu sa mobilité. A cet effet, puisque nous nous intéressons dans ce projet à la communication radio mobile, donc il est nécessaire d'illustrer les caractéristiques et les problèmes de la propagation à trajets multiples.

a. Propagation en espace libre :

On parle de propagation en espace libre quand il y a une visibilité directe entre les antennes d'émissions et de réception et qu'aucun obstacle ne se trouve sur le trajet des ondes dans un volume donné. Elles sont susceptibles aux nombreuses irrégularités de morphologie, de caractéristiques électromagnétiques, de température, d'humidité... du milieu traversé [10].

L'affaiblissement est donné par la formule suivante :

$$L = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (2.1)$$

Avec : f : fréquence exprimée en MHz

d: la distance entre l'émetteur et le récepteur exprimée en Km

b. Propagation par trajets multiples :

Dans la pratique, il est fréquent que plusieurs phénomènes s'appliquent simultanément au trajet de l'onde électromagnétique de l'antenne d'émission à l'antenne de réception quand elle rencontre un ou plusieurs obstacles qui agissent différemment sur le signal, en découlant une multitude d'ondes retardées, atténuées et déphasées au niveau de récepteur. En effet la taille des obstacles vis-à-vis de la longueur d'onde du signal, sa nature et sa forme engendre différents phénomènes qui sont à l'origine de la distorsion et de l'atténuation du signal [10].

Donc pour mieux comprendre la propagation dans un environnement complexe, il est important d'avoir quelques notions sur le comportement des ondes en présence d'un obstacle, d'un changement de milieu de propagation... Les phénomènes les plus persistants dans la propagation radio sont Présentés sur la figure 2.1, à savoir :

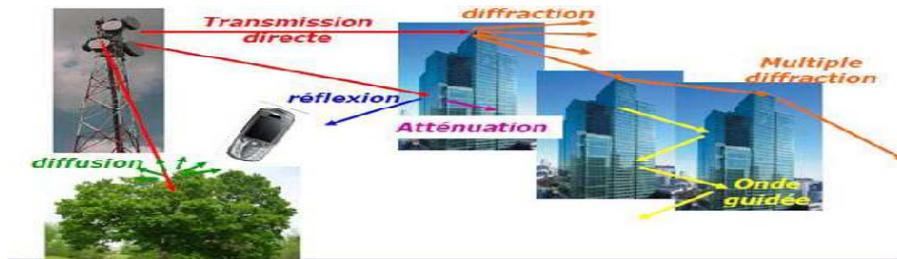


Figure 2.1. Les différents mécanismes de propagation [8]

- **La réflexion :**

La réflexion d'une onde électromagnétique apparaît lorsque cette dernière rencontre un obstacle dont les dimensions sont importantes comparées à sa longueur d'onde. Le signal réfléchi aura des caractéristiques qui dépendront des propriétés de l'obstacle. Ainsi, si une onde se propageant dans un milieu se heurte à un autre milieu ayant des propriétés différentes, elle est donc partiellement réfléchi et partiellement réfractée [10].

- **La diffraction :**

La diffraction apparaît lorsque le trajet d'une onde entre un émetteur et un récepteur est obstrué par des obstacles imperméables aux ondes qui présentent des formes irrégulières, ce qui implique l'apparition des ondes secondaires se propageant dans tout l'espace en particulier dans la région derrière l'obstacle. Ce phénomène est très courant en environnement urbain [10].

- **La diffusion :**

Quand une réflexion se produit sur un objet dont la surface présente des rugosités dont les dimensions sont comparables ou inférieures à la longueur d'onde, la réflexion devient diffusion. L'énergie incidente de l'émetteur sera dans ce cas diffusée dans toutes les directions. En environnement urbain, les obstacles courants qui font apparaître ce phénomène sont typiquement les lampes d'éclairage public, les panneaux de signalisation... [10].

- **La réfraction :**

La réfraction c'est la déviation d'une onde causée par les caractéristiques non homogènes du milieu qu'elle traverse. Elle subit une atténuation qui dépend de ce milieu de transmission [10].

2.4 Propriétés du canal radio mobile

On trouve trois types d'évanouissements du canal radio mobile :

- a. **A grande échelle** : Ce phénomène porte le nom de Pathloss. L'atténuation subite par le signal dépend de l'environnement de propagation, la fréquence porteuse, la distance entre l'émetteur et le récepteur [8].
- b. **A moyenne échelle** : Shadowing ou effet de masque du aux atténuations successives de gros obstacles [8]
- c. **A petite échelle** : C'est le fading multi-trajets. La propagation à travers les obstacles se fait par des trajets multiples. Le déphasage des signaux sur ces trajets multiples est aléatoire, ce qui implique que la puissance du signal reçu est variable et aléatoire [8].

2.5 Modèles de propagation pour ingénierie radio

Les besoins sans cesse croissante des télécommunications en matière de débit nécessitent d'avoir une modélisation de plus en plus précise du canal de propagation dans des conditions d'environnement, de gamme de fréquence, des largeurs de bande... toujours plus diverses. Cette modélisation est faite par des modèles de propagation mathématiques, qui permet de prédire l'impact d'un émetteur sur une zone de réception soit la puissance reçue de signal. Elle s'avère être la phase la plus délicate pour planifier la couverture d'un réseau radio mobile, ainsi sert aussi à :

- Estimer la portée d'un émetteur radio
- Dimensionner les interfaces radio en termes de qualité
- Optimiser les réseaux lors de leurs déploiements pour assurer une couverture radio d'une capacité et qualité de service suffisante
- Calculer le niveau d'interférences lorsque plusieurs émetteurs coexistent

Un modèle de propagation permet de déterminer les pertes de propagation (L) qui relie la puissance reçue (P_r) et la puissance émise (P_e), à partir de la fréquence, la distance, les hauteurs (H_e) et (H_r) des émetteurs et des récepteurs et de l'environnement.

$$P_r = P_e - L(f, d, H_e, H_r, \text{environnement}) \quad (2.2)$$

2.5.1 Catégories des modèles de propagation

En se basant sur l'environnement radio, les modèles de prédictions peuvent être classés en deux principales catégories :

a. Modèles macro cellule :

Les modèles macro cellule sont des modèles adaptés à la propagation dans un espace quasiment libre, en s'appuyant généralement sur des données géographiques de sol et de sursol. Ces modèles sont destinés aux environnements ruraux et suburbains [8]. On distingue deux types de modèles :

- Modèles ruraux : prend uniquement en compte la coupe de terrain verticale entre l'émetteur et le récepteur pour déterminer les affaiblissements et notamment ceux dus à la diffraction par les obstacles [10].
- Modèles montagneux : prend en compte le trajet direct et les trajets réfléchis sur le flanc des montagnes [10].

b. Modèles micro cellule :

Les modèles micro cellule sont des modèles utilisés en environnement urbain et semi-urbain, en prédisant une zone de couverture moins étendue mais plus précise. Contrairement aux modèles statistiques macros cellule qui prédisent une couverture moyenne et pas très précise en milieu ouvert [8].

2.5.2 Types des modèles de propagation

On distingue trois grands types de modèles de prédiction de propagation des ondes radio électriques à savoir :

➤ Les modèles empiriques :

Ils sont basés sur l'analyse d'un grand nombre de mesures expérimentales longues et couteuses de différentes positions émission/réception, en fonction de différents paramètres, donnant une valeur moyenne d'affaiblissement à une distance donnée. Ils sont robustes, rapides et nécessitent pas de bases de données géographiques, adaptés au dimensionnement des systèmes mais peu précis plus particulièrement à courte distance.

- **Le modèle OKUMURA-HATA**

Le choix du modèle de propagation est un compromis entre la précision de la prévision et l'efficacité de calcul. OKUMURA-HATA est le modèle le plus utilisé. Il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement (urbain, suburbain et rural) [10].

- **Le modèle de COST 231-HATA**

Le modèle COST 231-HATA a les mêmes conditions que le modèle OKUMURA-HATA. Cependant, il couvre un large éventail de fréquence de plus de sa simplicité et la disponibilité des facteurs de corrections rendent applicable aux urbains, suburbains et les zones rurales [10]. L'affaiblissement de parcours est donné par l'expression 2.3 [11]

$$L_u = 49.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) \quad (2.3)$$

Où f est la fréquence en MHz, d est la distance entre émetteur et récepteur en Km, h_b est la hauteur de l'antenne émettrice et $a(h_m)$ est un terme de correction sur la hauteur de l'UE, négligeable pour $h_m = 1,5$ m et donné par :

Pour une petite ou moyenne ville :

$$a(h_m) = [(1.1) \log(f) - 0.7] h_m - [(1.56) \log(f) - 0.8] \quad (2.4)$$

Pour une grande ville :

$$a(h_m) = 3.2 [\log(11.75 (h_m))]^2 - 4.97 \quad (2.5)$$

Les termes correctifs permettant une généralisation aux milieux suburbains et ruraux sont respectivement :

$$L_{su} = L_u - 2[\log(f/28)]^2 - 5.4 \quad (2.6)$$

$$L_r = L_u - 4.87 [\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94 \quad (2.7)$$

Le modèle COST 231-HATA à la plage de validité suivante :

- Fréquence : 1500 Mhz à 2000 Mhz.
- Distance : 1 à 30 Km.
- Hauteur de l'antenne émettrice de 30 à 200 m.
- Hauteur de l'antenne mobile 1 à 10 m.

- **Le modèle Standard Propagation Model SPM**

Le modèle Standard Propagation Model (SPM) est un modèle ayant des paramètres variables, basé sur la formule de modèle COST-231, mais avec des fonctionnalités en plus : les facteurs sont variables et la diffraction est prise en considération sur la carte. Grâce aux nouvelles fonctionnalités précédentes, SPM est plus souple et s'applique à d'autres scénarios [10]. L'affaiblissement de parcours est donné par [11] :

$$L = K1 + K2 \log(d) + K3 \log(H_{Tx}) + (K4 * \text{diffraction loss}) \\ + (K5 \log(d) * \log(H_{Tx})) + (K6 * H_{Rx}) \\ + K7 \log(H_{Rx}) + (K(\text{clutter}) * f(\text{clutter})) \quad (2.8)$$

Avec : K1 : décalage constant (dB)

K2, K3, K4, K5, K6, K7 : facteur de multiplication donné par l'opérateur

d: distance entre l'émetteur et le récepteur (m)

H_{Tx} : hauteur de l'antenne d'émission (m)

H_{Rx}: hauteur de l'antenne de réception (m)

K (clutter) : facteur de multiplication de f (clutter)

- **Les modèles déterministes :**

Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité d'information sur la zone où ils vont être appliqués. De plus ils demandent un temps de calcul excessif. Ce type de modèle sert de modèle de référence en s'appuyant sur les lois fondamentales de la physique, réservé à des lieux particuliers où les autres modèles ne peuvent pas être utilisés [10]. Parmi ces modèles on cite :

- **Le modèle de lancer de rayon :**

C'est une technique entièrement déterministe dont le principe est :

- Lancement à partir de l'émetteur des lignes directives (rayon) dans toutes les directions
- Rayons espacés régulièrement à partir de l'émetteur et tracés au fur et à mesure de leur propagation
- Trajets émetteurs-récepteurs recherchés

➤ **Les modèles semi-empiriques :**

Ils combinent une formulation analytique des phénomènes physiques et un ajustement statique à l'aide de mesures expérimentales. Ils prennent en compte la topologie de la zone à couvrir.

Ces types de modèles se révèlent plus avantageux en termes de calcul que les modèles théoriques et plus performants en termes d'estimation de l'atténuation de puissance induit par un site de propagation.

Leur usage pour la validation d'une solution sans fil pour un site de propagation tel qu'un environnement intérieur, reste relativement peu fréquent en raison de son degré de complexité [10].

Avant d'entamer la partie de dimensionnement et planification dans le chapitre qui suit, nous commençons par introduire quelques notions générales fortement liées à la planification dans le cadre de l'UMTS dont on a parlé en introduction. La compréhension de ces notions est nécessaire lors du déploiement d'un réseau radio mobile WCDMA.

2.6 Gestion de la mobilité

La gestion de la mobilité est un concept très important dans les réseaux cellulaires pour parvenir à une bonne couverture. La localisation des UE s'appuie sur la répartition géographique de la zone à couvrir en régions définies par les identificateurs LAI (Location Area Identifier) pour le domaine CS, et RAI (Routing Area Identifier) pour le domaine PS. Les principales procédures impliquées dans la gestion de mobilité sont :

2.6.1 La macro diversité

C'est un nouveau principe très important qui permet à l'UE de communiquer simultanément sur la même fréquence porteuse et pour le même service, en *downlink* avec plusieurs Node B.

2.6.2 La re-sélection de la cellule

Une fois calé sur une cellule, l'UE cherche des cellules voisines offrant une qualité meilleure par rapport à celle active et suivant des critères définis, il la re-sélectionne.

Elle se fait lorsque l'UE est en mode veille (Idle) ou pendant qu'il est dans les états Cell-FACH et Cell-PCH.

2.6.3 Le Handover

C'est un mécanisme qui implique le changement automatique du canal physique sans coupure, permettant ainsi de gérer la mobilité de l'UE et de choisir la meilleure cellule. A la différence de la re-sélection de cellule, le Handover se fait en cours de communication quand l'UE est en état Cell-DCH. Différents types de H.O ont été introduit par les systèmes WCDMA pour contrôler la charge du système, pour remédier aux problèmes de la couverture et pour offrir une qualité de service satisfaisante. Les Handover peuvent être classés suivant plusieurs modes [6]. Nous distinguons :

- **Le Softer Handover :**

Le terminal mobile se trouve dans une zone de couverture commune à deux secteurs adjacents d'un même Node B, les communications avec le Node B empruntent simultanément deux canaux radio, un pour chaque secteur, deux codes d'étalement doivent alors être utilisés dans le sens DL afin que le terminal mobile puisse distinguer les deux signaux issus des deux secteurs et on a donc deux connexions simultanées pour cet usager. Dans le sens UL, les signaux provenant du terminal mobile sont reçus par les deux secteurs de Node B et routés vers le même récepteur RAKE. Les signaux sont ainsi combinés au niveau de Node B. on compte généralement 5 à 10% des terminaux mobiles d'une cellule qui sont en situation de softer Handover [5].

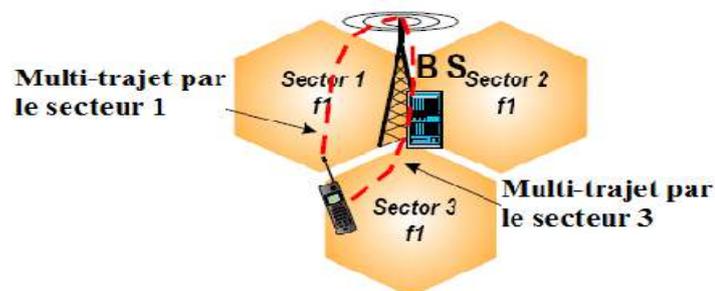


Figure 2.2. Softer Handover [1]

- **Le Soft Handover :**

Durant un soft Handover, le terminal se trouve dans la zone de couverture commune à deux nodes B. les communications entre le terminal mobile et les nodes B utilisent simultanément deux canaux radio, un pour chaque node B [4].

De point de vue de terminal mobile, il existe très peu de différence entre le Softer et le Soft Handover.

En revanche, dans le sens UL ces deux Handover diffèrent car dans le cas du Soft Handover les signaux reçus par les nodes B sont routés et combinés au niveau du RNC, cela permet à cette dernière de sélectionner la meilleure trame reçue. Un usager mobile peut être en situation de Soft Handover avec deux nodes B ou plus. S'il quitte la zone de couverture commune pour s'approcher d'un node B, cette dernière le prend en charge [4].

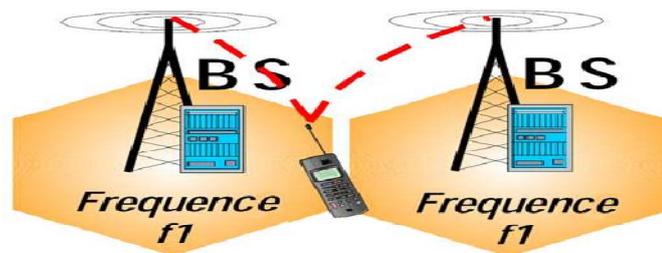


Figure 2.3. Soft Handover [1]

Le Soft Handover permet de limiter la perte de connexion quand un usager se déplace vers une autre cellule. on considère que 20 à 40% des usagers sont en situation de Soft Handover, donc il est indispensable de prendre en compte les connexions dans une cellule dues au Soft Handover lors du dimensionnement du réseau.

L'utilisation de Soft Handover et du softer Handover permet également d'accroître les performances de la liaison en y ajoutant une forme de diversité. Il est cependant nécessaire de minimiser les situations du Soft, sous peine de gaspiller les ressources et diminuer la capacité du système [4].

- **Hard Handover :**

C'est un Handover dans lequel l'UE relâche l'ancien lien radio avant de s'engager avec le nouveau. Il est accompagné d'une coupure de quelques microsecondes dans la communication, mais qui n'est pas détectable par l'utilisateur. C'est le cas en GSM ou entre deux RNC qui n'ont pas d'interface leur entre eux [6].

Dans l'UMTS, ce type de Handover n'est pas souhaitable dans la transmission des paquets puisqu'il entraîne la perte des paquets pendant la coupure.

Il existe deux types de Hard Handover :

- le Hard Handover intra-fréquence : qui permet à un terminal mobile de passer d'un spectre de fréquence à un autre.

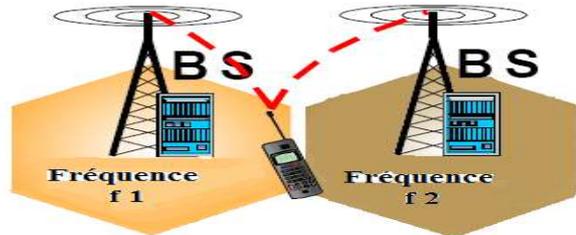


Figure 2.4. Hard Handover inter-frequency [1]

- le Hard Handover inter-fréquence : qui permet au terminal mobile de passer d'un système à un autre comme d'un mode FDD à un mode TDD ou pour passer d'un système 2G à un système 3G.

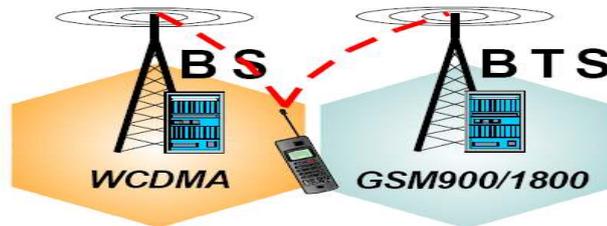


Figure 2.5. Hard Handover inter-système [1]

2.7 Le contrôle de puissance

Le contrôle de puissance est primordial, c'est l'aspect important en WCDMA plus particulièrement sur la liaison montante, puisqu'un seul UE se trouvant proche du node B avec une puissance élevée non contrôlée peut bloquer une cellule entière en noyant les signaux des autres utilisateurs plus éloignés émettant sur la même fréquence. Cet effet est appelé effet proche-lointain [1]. Chaque utilisateur peut être une source d'interférence pour les autres. C'est pour cela, un mécanisme est mis en œuvre en WCDMA permettant aux terminaux mobiles d'ajuster leur puissance d'émission tout en garantissant une bonne réception au Node B [4]. En liaison descendante, la capacité de système est directement liée à la puissance de code requis

pour chaque connexion, il est aussi nécessaire le contrôle des puissances émises par les Nodes B pour limiter les interférences intercellulaires.

a. Le contrôle de puissance sur le lien montant :

Trois boucles de contrôle de puissance sont mises en œuvre illustrées par la figure 2.6.

- **Contrôle de puissance en boucle ouverte (Open Loop) :**

Le contrôle de puissance en boucle ouverte est utilisé pour initialiser le niveau de puissance au début de la communication. Le mobile ajuste la puissance d'émission de sa demande d'accès en fonction de la perte de propagation mesurée grâce au CPICH [4].

- **Contrôle de puissance en boucle fermée interne (Inner Loop) :**

C'est entre le node B et le mobile. Elle contrôle la puissance d'émission du mobile tous les slots, soit avec une fréquence de 1500Hz pour lutter contre les effets des évanouissements, le node B mesure E_b/N_0 reçu sur le lien montant et le compare au E_b/N_0 qui dépend de la nature de communication en cours. A chaque slot, le node B envoie une consigne au mobile lui demandant d'augmenter ou de réduire sa puissance d'émission en fonction d' E_b/N_0 mesuré. Ce principe est aussi utilisé dans le sens descendant, bien que dans ce cas les signaux proviennent du node B [4].

- **Contrôle de puissance en boucle fermée externe (Outer Loop) :**

C'est entre le RNC et le node B. c'est une boucle lente qui fixe la valeur d' E_b/N_0 dans le S-RNC pour chaque boucle fermée. Cette valeur est fixée d'après une mesure de pourcentage de trames erronées. Si ce dernier augmente, nous augmentons le seuil d' E_b/N_0 pour pouvoir le diminuer. Elle est appliquée seulement sur les canaux dédiés. L' E_b/N_0 requis est transmis au node B sur un lien de signalisation [6].

b. Le contrôle de puissance sur le lien descendant :

Il y a uniquement un contrôle de puissance en boucle fermée. Chaque mobile demande au node B d'augmenter ou de diminuer sa puissance d'émission de tous les

slots sur le code de canalisation correspondant. Si beaucoup de mobiles demandent une augmentation de puissance, il faut transférer certains mobiles sur des cellules moins chargées [4].

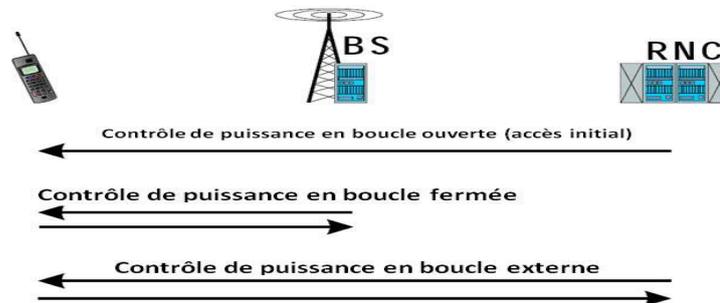


Figure 2.6. Différents types de contrôle de puissance

2.8 Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre nous avons défini les dégradations du signal dues à la propagation en environnement réel et les différents modèles de propagation. Par ailleurs, on a introduit les notions et les processus les plus importants qui caractérisent et améliorent la qualité et la capacité d'un réseau WCDMA, afin de bénéficier au maximum des ressources radio. Dans le chapitre suivant on entame la planification dont le modèle choisi est le modèle de COST 231-HATA.

Chapitre 3 Planification d'un réseau 3G

3.1 Introduction

La planification du réseau cellulaire 3G, comme pour un réseau 2G, est une étape d'importance capitale pour le succès d'un opérateur puisque elle permet de gagner ou perdre l'enjeu de satisfaire le client.

La planification du réseau d'accès UTRAN vise d'une part à assurer la meilleure couverture possible de la zone de déploiement en fournissant un niveau de champ satisfaisant et une gestion adéquate des ressources radio, et d'autre part à répondre aux exigences de capacité et du trafic pour les différents services proposés, tout en gardant un bon rapport qualité/coût.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes phases de planification, en commençant par définir les paramètres de bilan de liaison nécessaires pour le dimensionnement. Ensuite, ce bilan a été implémenté sous Excel. Enfin, nous détaillerons la phase de planification et d'optimisation pour l'amélioration du réseau.

3.2 Processus de planification WCDMA

Le déploiement d'un réseau radio WCDMA compte trois phases principales après la définition des exigences à savoir le dimensionnement, la planification détaillée de la capacité et de la couverture ainsi que l'optimisation. L'objectif de la phase de dimensionnement est d'estimer le nombre de sites et leur configuration en fonction des besoins et des exigences en termes de couverture, de capacité et de qualité de service de l'opérateur ainsi que de la propagation radio suivant le type d'environnement. La capacité et la couverture sont deux aspects étroitement liés dans les réseaux WCDMA et doivent par conséquent être considérés simultanément dans le dimensionnement. La planification de la capacité et de la couverture est réalisée par un outil de planification WCDMA. Pour cette phase, des cartes géographiques

détaillées et une estimation du trafic sont nécessaires. La localisation des stations de base est déterminée par l'outil de planification.

3.2.1 Définition des exigences

Elle met en évidence les exigences concernant le réseau : la technologie utilisée, la capacité, la couverture ainsi que la qualité des services pour des régions données. Cette phase définit aussi le marché des équipements, leur déploiement et des prédictions sur la croissance de la population.

3.2.2 Dimensionnement

Le dimensionnement d'un réseau radio WCDMA est un processus qui permet d'estimer, à partir des besoins et des exigences de l'opérateur définis dans la phase précédente, le nombre d'équipements nécessaires ainsi que leurs configurations [5]. Les principaux objectifs du dimensionnement sont de définir les bilans de puissance, la couverture, la capacité et d'estimer le nombre de sites, de stations de base, de RNC ainsi que le nombre d'équipements du réseau cœur nécessaire, que ce soit dans le domaine circuit ou dans le domaine paquet.

a. Dimensionnement par couverture :

➤ Bilan de liaison :

Le dimensionnement commence par le calcul du bilan de liaison qui donne l'affaiblissement de propagation maximum toléré sur la liaison Node B – UE. Il est réalisé pour chaque type de service et inclut les aspects spécifiques au WCDMA.

La forme globale du bilan de liaison peut être présentée comme suit :

$$L_p = P_{tx} - P_{rx} - \sum \text{pertes} + \sum \text{gains} - \sum \text{marges} \quad (3.1)$$

Les termes impliqués dans ce bilan sont les termes classiques connus dans tout bilan d'une liaison radio, sauf pour quelques-uns qui sont spécifiques au WCDMA.

Le sens décisif dans la liaison est le sens montant. Ceci revient au fait que l'UE est limité en terme de Puissance d'émission [12].

➤ Les paramètres du Bilan de liaison pour WCDMA :

❖ Paramètres de transmission :

- **Bruit thermique N_0 (dBm/Hz)** : La densité de bruit thermique N_0 est définie comme étant la puissance de bruit par Hertz à l'entrée du récepteur et qui est donné par $K \cdot T_0$ avec K est la constante de Boltzmann ($K=1,38 \cdot 10^{-20}$ mW/Hz/K) et $T_0=293K$ donc on aura $N_0 = -174$ dBm/Hz [13].
- **Facteur de bruit du récepteur NF (dB)**:
C'est le bruit de réception à l'entrée du récepteur .le bruit au niveau d'une Node B a été fixé à 3db et MS à 8 dB.
- **Débit Chip W**: fixé à 3.84 Mchip/s.
- **Marge de fading de masquage (Shadowing margin) Mfm**: elle est due aux effets de masquage. elle est plus importante en indoor qu'en outdoor et est en fonction de la probabilité de couverture de la cellule, localisation de l'UE et du gain de soft/softer Handover.
- **Marge fading rapide (fading de Rayleigh) Mff**: Marge de fading rapide, elle est nécessaire sur la puissance d'émission de la station mobile pour maintenir en bon état la boucle interne de contrôle de puissance dans des conditions de propagation défavorables. Le fading rapide dépend de la qualité de service requise et de la nature de l'environnement auquel l'utilisateur appartient, inversement liée à la vitesse du mobile [14].

❖ Paramètres de l'équipement utilisateur :

- **Puissance totale PUE (dBm)**: Les terminaux mobiles 3G sont répartis selon leurs puissances d'émission en quatre classes. La classe (4) représente les mobiles émettant à 125mW (la plus basse parmi les quatre). Pour cette raison, la valeur 125mW (21dBm) est utilisée dans le calcul.
- **Gain de l'antenne GUE (dBi)**: L'équipement utilisateur est doté d'une antenne omnidirectionnelle avec un gain de 0dBi.
- **Perte du corps Lcorps (dB)** : la perte du corps est la perte du signal par le corps de l'utilisateur. Si le mobile est collé à la tête de l'utilisateur, le diagramme de rayonnement de son antenne se déforme et perd presque une moitié. Ceci se traduit par une diminution de la PIRE qui peut atteindre 3dB sachant que cette dernière est prise que pour le service CS12.2 Kb/s.

❖ Paramètres de Node B :

- **Puissance maximale PNodeB (dBm):** la puissance maximale du Node B intervient au niveau du bilan de liaison pour le lien descendant elle est de 43 dBm.
- **Gain d'antenne GNodeB (dBi):** C'est le gain d'antenne de réception par rapport au radiateur isotrope. En règle générale, le gain d'antenne de Node B est élevé en raison des antennes directionnelles. Pour une configuration tri-sectorielle des sites, des antennes directives avec des angles d'ouverture d'environ 60° et un gain variant entre 12 et 19dBi sont le plus souvent employées.
- **Pertes des câbles et des connecteurs Lcâble (dB):** Ce sont les pertes combinées de toutes les composantes du système de transmission entre les sorties de l'émetteur et l'entrée d'antenne (Feeders et Jumpers) et leurs connecteurs, la perte du câble dépend de la fréquence, diamètre et la distance. En général, Le constructeur donne une valeur de cette affaiblissement en dB/100m pour une bande de fréquence donnée. Les valeurs utilisées sont prise de [15].

❖ Paramètres liés au service

- **Gain de traitement G_p (dB) :** Le rapport entre la largeur de bande de modulation du signal transmis et des informations bande passante est appelé facteur d'étalement. La valeur logarithmique de ce dernier est connue sous le nom gain de traitement. C'est un paramètre spécifique du WCDMA [13].

$$G_p = 10 * \log(W/R) \quad (3.2)$$

- **Rapport signal sur bruit E_b/N_0 (dB) :** E_b est l'énergie par bit multipliée par le taux de bit, N_0 est la densité du bruit, dépend du service utilisé par le mobile. cette variable caractérise la qualité de service à atteindre pour le service considéré, elle varie en fonction de la mobilité de l'utilisateur.
- **Gain soft Handover GSHO (dB) :** Gain prévue contre l'évanouissement rapide, il correspond au gain que le mobile réalise dans une situation de soft Handover dans cette situation le mobile est connecté à plus d'une station de base et donc utilise une puissance minimale. Le gain global de SHO est d'ordre de 3 dB [14].

❖ Les marges

La planification cellulaire nécessite de prendre en compte ces incertitudes. Celles-ci peuvent être compensées sous la forme de marges, permettant de s'assurer que même dans une situation de forte atténuation, le mobile ne se trouve pas hors de la zone de couverture prévue.

- **Marge d'interférence nRul (dB)**: Ce paramètre correspond au niveau d'augmentation du bruit due à l'augmentation de la charge dans la cellule. Cette marge d'interférence est liée au facteur η qui mesure la charge de chaque lien (montant ou descendant). La marge d'interférence est importante si la capacité et la charge autorisée dans la cellule sont importantes [12].

$$I_m = 10 * \log \left(\frac{1}{1-\eta} \right) \quad (3.3)$$

Cette dernière dépend de la charge de la cellule qui est différente selon que l'on est en voie montante ou descendante. La charge en Uplink peut être définie comme suit :

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^J \frac{(1+i)}{1 + \frac{W}{(E_b/N_0)_j R_j v_j}} \quad (3.4)$$

Où : J est le nombre de mobiles dans la cellule, R_j le débit utilisé par le mobile j et v_j Facteur d'activité (lors d'un service de voix, un utilisateur ne transmet pas continuellement ($v < 1$)) et i représente le rapport de la puissance reçue des mobiles d'autres cellules par celle reçue des mobiles de la cellule dont nous évaluons la charge.

En Downlink:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^J R_j v_j \frac{(E_b/N_0)_j}{W} (1 + \alpha + i) \quad (3.5)$$

Où : α est le facteur d'orthogonalité

- **pertes de pénétrations (bâtiment) BPL**: Doit être ajusté selon l'environnement choisie et type de murs traversé valeur prise entre (7-20dB)
- **pertes de pénétrations CPL (voiture)** : Ajusté selon la structure des voitures, intervalle proposé (4-10dB) suivant le type de la voiture, la valeur prise est 6 dB

❖ **paramètres de CPICH**

- **RSCP (Received Signal Code Power)** : représente le niveau de la puissance reçue de la fréquence pilote d'un node B.
- **Ec/NO** : c'est l'énergie reçue par chip du canal pilote divisé par le bruit total. Cela revient à estimer une image du rapport signal sur bruit, lequel conditionne la capacité du canal, autrement dit le débit max de transmission sans erreur.

Pour le calcul du bilan de liaison, il faut tout d'abord déterminer EIRP (Effective Isotropic Radiated Power). Elle traduit la puissance totale émise au niveau de l'antenne de l'émetteur. Il prend en compte la puissance maximale de l'émetteur de même que le gain d'antenne et les pertes dans le câble ou dans le corps humain. Donnée par :

$$\text{EIRP(dBm)} = \text{PUE} + \text{GUE} - \text{Lcorps} - \text{Lcâble} \quad (3.6)$$

Pour déterminer la perte maximale admissible, on calcule la somme totale des bruits et des interférences créées par tous les mobiles en suivant les étapes suivantes : On calcule le facteur de bruit du récepteur du Node B. Son expression est donnée par :

$$\text{NNodeB} = N_0 + \text{NF} + 10 * \log(W) \quad (3.7)$$

On calcule la somme des interférences reçues au récepteur. Sa valeur est donnée par :

$$\text{Tot_int} = 10 * \log(10^{(\text{NNodeB} + \text{nRul})/10} - (10^{(\text{NNodeB}/10)})) \quad (3.8)$$

Finalement, on ajoute les bruits pour trouver la somme totale. Elle est donnée par :

$$\text{Tot_int_Bruit} = 10 * \log((10^{(\text{Tot_int}/10)} + (10^{(\text{NNodeB}/10)})) \quad (3.9)$$

Une fois la valeur de la somme des bruits et des interférences est calculée, on détermine la valeur de la sensibilité du récepteur en utilisant la formule suivante :

$$\text{SRx} = (E_b/N_0) + \text{Tot_int_Bruit} - \text{Gp} \quad (3.10)$$

La perte de propagation maximale en Outdoor sur le lien montant ou descendant pour un canal de trafic est donnée par :

$$\text{MAPL} = \text{EIRP} - \text{SRx} + \text{G(UE ou NodeB)} - \text{Lcâble} + \text{GSH} \quad (3.11)$$

Les paramètres seront choisis suivant la voie (montante ou descendante). Pour calculer la perte maximale de propagation en Indoor ou Incar, on ajoute seulement les BPL ou les CPL respectivement.

➤ **Rayon de couverture :**

Le calcul du rayon de couverture a pour paramètres l'affaiblissement de propagation obtenu du bilan de liaison pour le service choisi dans l'un des environnements caractérisant la zone à couvrir. Donc il ne reste plus qu'à adopter un modèle de propagation approprié pour déterminer la portée maximale, pour une fréquence utilisée par le système, une hauteur de la station de base et celle du mobile [12]. Le modèle de propagation que nous avons utilisés est le modèle COST 231-HATA qui associe à chaque type d'environnement une formule spécifique.

➤ **Estimation de nombre de sites :**

L'efficacité de la couverture des systèmes WCDMA est définie par la couverture moyenne par site mesurée en (Km²/site), pour un environnement prédéfini et une densité de trafic donnée.

Après la détermination du rayon, la superficie de site qui est en fonction de sectorisation de la station de base peut être calculée par :

$$S = K * R^2 \quad (3.12)$$

Où S est la surface couverte, R est le rayon maximum de la cellule est K est une constante. Le tableau 3.1 donne quelque valeur de K suivant le nombre de secteur.

Configuration des sites	Omni	2 secteurs	3 secteurs	6 secteurs
Surface de couverture	2,6 * R ²	1,3 * R ²	1,95 * R ²	2,6 * R ²

Tableau 3.1. La relation entre le rayon et la surface couverte [4]

En connaissant la surface de la zone à couvrir, le nombre de site est obtenu par une simple division de cette surface par la surface élémentaire.

➤ **Choix de la distance intersites :**

Le choix de la distance intersites est un compromis entre une grande probabilité de couverture et un large recouvrement pour le soft Handover d'un côté, et la minimisation des interférences entre cellules de l'autre.

La forme hexagonale théorique classique des cellules simplifie la représentation et la planification du réseau cellulaire en permettant une juxtaposition des cellules.

Pour profiter des vertus du soft Handover, une zone de chevauchement de 20 à 25% est prévue entre les surfaces de couvertures des sites voisins [8]. (Voir la figure 3.1).

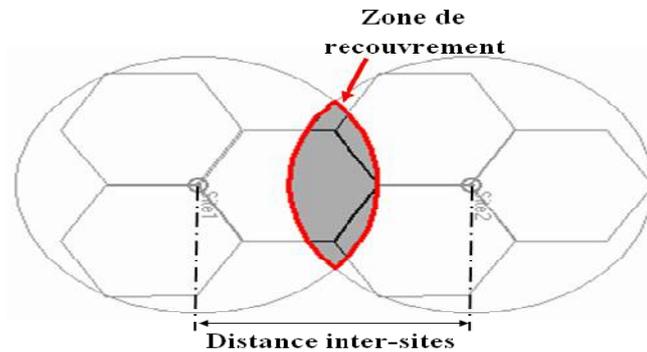


Figure3.1. chevauchement entre sites [8]

La distance intersites qui est aussi en fonction de sectorisation de la station de base peut être calculée par :

$$d_{\text{intersites}} = K' * R \quad (3.13)$$

Où $d_{\text{intersites}}$ est distance intersites, R est le rayon maximum de la cellule est K' est une constante. Le tableau 3.2 donne quelque valeur de K' suivant le nombre de secteur.

Configuration des sites	Omni	2 secteurs	3 secteurs	6 secteurs
Distance intersites	$0,87 * R$	$2 * R$	$1,5 * R$	$0,87 * R$

Tableau3.2. Relation entre le rayon et la distance intersites [4]

❖ **Exemples de bilan de liaison :**

Après avoir présenté tous les paramètres qui entrent en jeux pour le dimensionnement et les calculs faits sous Excel en utilisant les équations données précédemment, nous présentons deux exemples de bilan de liaison pour des services typiques de l'UMTS : service de la voix 12.2 kb/s et le service de données temps réel 64kbit/s dans un environnement dense urbain macro-cellulaire présentées dans la figure 3.2 et la figure 3.3 respectivement.

- Bilan de liaison du service CS 12.2 kb/s :

Link Budget				
propagation model	COST-231			
Environnement	Dense Urban			
Design	Outdoor			
Service	CS12.2			
Data rate	Kb/s	12,2		
Chip rate	Mcps	3,84		
BTS total power	dBm	43		
UE total power	dBm	21		
Ms antenna hight	m	1,5		
Node B antenna hight	m	30		
cable type	7/8" LDF			
longeur de cable	m	40		
Transmitter				
	unité	UL	DL	CPICH
Frequency	MHz	1950	2140	2140
power as % of carrier	%	100%	20%	10%
TX total power	dBm	21	36,01	33,00
TX antenna gain	dBi	0	18	18
Body loss	dB	3	3	
cable loss	dB	0	2,36	2,36
EIRP	dBm	18	48,65	48,64
Receiver				
	unité	UL	DL	CPICH
RX antenna gain	dB	18	0	0
Load	%	50%	75%	75%
Termal noise density	dBm/Hz	-173,93	-173,93	-173,93
Rx noise figure	dB	3,00	8,00	8,00
Rx noise density	dB	-170,93	-165,93	-165,93
RX noise power	dBm	-105,09	-100,09	-100,09
interference margin	dBm	3,01	6,02	6,02
RX interference power	dBm	-105,09	-95,32	-95,32
total noise & interference	dBm	-102,08	-94,07	-94,07
processing gain	dB	24,98	24,98	
Eb/No	dB	5,30	7,20	
Ec/Io	dB	-19,68	-17,78	-13,00
RX sensitivity	dB	-121,76	-111,85	-107,07
SHO gain	dB	3,00	3,00	
RX cable Loss	dB	2,36	0	0
RSCP	dBm			-93
MAPL	dB	161,40	163,50	155,71
UE environnement				
penetration loss	dB	18,00		
Penetration loss (In CAR)	dB	7,00		
fade margin std	dB	14,14		
coverage	%	95%		
Design Path loss	dB	147,26	149,36	141,57
Cell radius	Km	1,56	1,64	0,99

Figure 3.2. Bilan de liaison de service CS 12,2 Kb/s sous Excel

- Bilan de liaison du service PS64 kb/s

Link Budget				
<i>propagation model</i>		COST-231		
<i>Environnement</i>		Dense Urban		
<i>Design</i>		Indoor		
<i>Service</i>		PS64		
<i>Data rate</i>	Kb/s	64		
<i>Chip rate</i>	Mcps	3,84		
<i>BTS total power</i>	dBm	43		
<i>UE total power</i>	dBm	21		
<i>Ms antenna hight</i>	m	1,5		
<i>Node B antenna hight</i>	m	30		
<i>cable type</i>		7/8" LDF		
<i>longeur de cable</i>	m	40		
Transmitter				
	unité	UL	DL	CPICH
<i>Frequency</i>	MHz	1950	2140	2140
<i>power as % of carrier</i>	%	100%	20%	10%
<i>TX total power</i>	dBm	21	36,01	33,00
<i>TX antenna gain</i>	dBi	0	18	18
<i>Body loss</i>	dB	0	0	
<i>cable loss</i>	dB	0	2,36	2,36
<i>EIRP</i>	dBm	21	51,65	48,64
Receiver				
	unité	UL	DL	CPICH
<i>RX antenna gain</i>	dB	18	0	0
<i>Load</i>	%	50%	75%	75%
<i>Termal noise density</i>	dBm/Hz	-173,93	-173,93	-173,93
<i>Rx noise figure</i>	dB	3,00	8,00	8,00
<i>Rx noise density</i>	dB	-170,93	-165,93	-165,93
<i>RX noise power</i>	dBm	-105,09	-100,09	-100,09
<i>interference margin</i>	dBm	3,01	6,02	6,02
<i>RX interference power</i>	dBm	-105,09	-95,32	-95,32
<i>total noise & interference</i>	dBm	-102,08	-94,07	-94,07
<i>processing gain</i>	dB	17,78	17,78	
<i>Eb/No</i>	dB	2,70	6,40	
<i>Ec/Io</i>	dB	-15,08	-11,38	-13,00
<i>RX sensitivity</i>	dB	-117,16	-105,45	-107,07
<i>SHO gain</i>	dB	3,00	3,00	
<i>RX cable Loss</i>	dB	2,36	0	0
<i>RSCP</i>	dBm			-75
MAPL	dB	159,80	160,10	155,71
UE environnement				
<i>penetration loss</i>	dB	18,00		
<i>Penetration loss (In CAR)</i>	dB	7,00		
<i>fade margin std</i>	dB	14,14		
<i>coverage</i>	%	95%		
<i>Design Path loss</i>	dB	127,66	127,96	123,57
<i>Cell radius</i>	Km	0,43	0,40	0,30

Figure 3.3. Bilan de liaison de service PS 64 Kb/s sous Excel

b. Dimensionnement par capacité :

Lorsque la capacité est considérée dans la planification, le nombre de sites est calculé de deux manières, l'une basée sur la capacité et l'autre sur la couverture comme à été détaillé précédemment. On sous-entend par la capacité le nombre maximum d'utilisateurs supporté par une cellule (ou un site) simultanément pour un service donné. On peut aussi calculer le nombre maximum d'utilisateur répartis sur plusieurs services avec une certaine pondération. Une fois ce nombre connu, on peut calculer le nombre de sites nécessaires en divisant le nombre total d'utilisateurs à servir simultanément dans une zone par le nombre d'utilisateurs supportés par un site [8].

Le planificateur doit disposer d'une quantité suffisante d'information sur la demande en trafic dans une zone pour chacun des services offerts. Le nombre maximum théorique d'utilisateurs supportés par une cellule sur la liaison montante est une fonction de type de service support d'accès radio RAB donnée par la formule :

$$M_{\text{barre}} = 1 + \frac{1}{(1+F)\gamma} \quad (3.14)$$

Où γ est le rapport signal à interférence requis pour le service en valeur linéaire :

$$\gamma = (E_b/N_0)/(Débit\ Chip/Débit\ bit) \quad (3.15)$$

Et F est le rapport de l'interférence produite par les autres cellules à celle induite par la cellule elle-même. La valeur de F ne peut pas être donnée avec exactitude. Une valeur typique pour un site tri-sectoriel est 0,93. La barre de capacité ne peut pas être atteinte dans la réalité parce qu'elle implique une interférence infinie et donc un rayon de couverture nul. C'est ici qu'intervient la notion de charge sur la liaison montante qui représente le rapport du nombre maximum d'utilisateurs N réellement permis à la barre de capacité pour tous les services [8].

$$\eta = \frac{M}{M_{\text{barre}}} = \sum_{i=1}^N \frac{M_i}{M_{\text{barre}}} \quad (3.16)$$

Une fois le nombre de sites basé sur la capacité obtenu, il est comparé à celui calculé par la couverture, s'ils sont trop éloignés, la valeur de la charge admise est modifiée et le calcul est repris.

3.2.3 Planification détaillée

Nous allons aborder dans cette section la planification détaillée de la capacité et de la couverture. Dans cette phase de planification, des informations précises et réelles de propagation au niveau des zones à couvrir sont indispensables aussi bien que des informations concernant la densité d'utilisateurs et leurs trafics. La liste des sites GSM déjà installées est également nécessaire afin de les réutiliser et de minimiser les investissements, mais comme le bilan de liaison de WCDMA est différent de celui du GSM900, il peut être nécessaire d'ajouter des sites WCDMA entre les sites GSM900 existants pour atteindre la couverture voulue. L'objectif de cette phase est de déterminer avec précision la localisation des stations de base, leur configuration et leurs paramètres [5].

a. Planification des puissances

Comme en WCDMA, tous les utilisateurs partagent les mêmes ressources sur l'interface radio, il n'est donc pas possible de les analyser individuellement. Un utilisateur a une influence sur la puissance d'émission des autres utilisateurs. La partie de la puissance utilisée pour les canaux communs réduit la capacité du réseau en trafic utile. Environ 20% de la puissance maximale de la node B est allouée à ces derniers. Les deux canaux les plus importants sont CPICH et SCH d'où leur puissances sont un compromis entre le temps nécessaire pour une recherche fiable de cellules et l'interférence maximale permise sur les canaux de trafics. De 5 à 10% de la puissance totale est allouée au CPICH ainsi qu'au SCH [8].

b. Planification des codes

Par ailleurs, les débits et les types de services jouent un rôle bien plus important en WCDMA que dans les systèmes TDMA et FDMA de deuxième génération. En outre, le WCDMA utilise le contrôle de puissance rapide dans les deux sens de transmission, les softer et soft Handover ainsi que des canaux orthogonaux sur le lien descendant, où le nombre maximal des codes d'embrouillage (Gold) qui est une séquence de Gold de 38400 chips est $2^{18}-1$, mais pas tous les codes sont utilisés. Les codes sont divisés en 512 ensembles chacun contenant un code primaire et 15 codes secondaires. Un et un seul code primaire est alloué à chaque cellule. Cependant il faut prendre en compte

que les codes sont répartis en 64 groupes et si des cellules voisines utilisent des codes de groupes différents, la consommation de l'UE est réduite. Les codes de canalisation sur la liaison descendante sont une ressource limitée surtout avec l'utilisation des services à débit élevé et du soft Handover. Si une augmentation de la capacité est nécessaire, l'arbre des codes peut être réutilisé jusqu'à 15 fois dans une même cellule en embrouillant chacun avec l'un des 15 codes secondaires d'embrouillage de la cellule. Toutes ces caractéristiques sont un impact non négligeable sur les performances du système [8].

La principale différence entre les prédictions de couverture pour le WCDMA par rapport à celles des systèmes TDMA et FDMA, est l'importance cruciale de l'estimation des interférences en WCDMA. En WCDMA, la sensibilité des node B peut être différente puisqu'il dépend du nombre d'utilisateurs et des débits utilisés dans les cellules. Notons également que dans les réseaux de troisième génération, les débits des sens montants et descendants peuvent être asymétriques [5].

c. Utilisation d'un outil logiciel de planification

Un logiciel de planification statique permet de simuler différentes variables dans un réseau cellulaire après un calcul basé sur une définition entière et cohérente des paramètres nécessaires.

L'appellation statique vient du fait que le logiciel n'est pas en mesure de simuler une vraie mobilité de l'utilisateur, mais il peut quand même attribuer une vitesse aux mobiles pour l'utiliser dans les calculs [1].

Les paramètres de base à définir dans un logiciel de planification sont :

- Choix d'une technologie du réseau d'accès, UMTS/WCDMA dans notre cas ;
- Utilisation d'une carte numérique (modèle numérique du terrain) incluant des informations sur la hauteur du sol, la nature du sursol, la densité de population, les routes, les rivières, etc.
- Définition des sites et de leurs émetteurs
- Définition des antennes utilisées
- Calibrage du modèle de propagation utilisé

d. Exécution des calculs

Une fois les paramètres cités entrés, plusieurs calculs peuvent être effectués. Ces calculs sont tous basés sur le calcul des affaiblissements de trajet :

- Calcul du niveau de champ à chaque pixel de la zone de calcul
- Zones de recouvrement
- Zone de service (E_b/N_0 satisfaisant)
- Statut du Handover
- Analyse de réception du canal pilote (E_c/I_0)

3.2.4 Optimisation

Comme le cas du GSM, les systèmes WCDMA nécessitent une optimisation continue car les mobiles changent de location de façon continue et donc le trafic va varier entre les zones et dans le temps. Cette variation possède une influence directe sur la qualité radio et la capacité globale du système [5]. Les paramètres qui peuvent être optimisés sont :

- Le trafic et les variations du trafic
- Les puissances moyennes des émetteurs et des récepteurs
- Interférences
- Taux de H.O par cellule et inter-systèmes
- Taux d'erreur binaire

L'optimisation du réseau correspond au processus qui a pour but d'améliorer globalement la qualité du réseau et de s'assurer que les ressources du réseau sont utilisées de façon efficace. Il convient durant cette phase d'analyser le réseau ainsi que d'améliorer sa configuration et ses performances [1], permettant de donner à l'opérateur une vue aussi précise que possible de la qualité. Il est nécessaire de définir précisément les mesures à effectuer par le système de gestion du réseau ainsi que les mesures sur le terrain.

Par ailleurs, l'optimisation automatique jouera un rôle très important dans les réseaux de troisième génération, le nombre de services et de débits étant si important que

l'optimisation manuelle de tous ces services et de leurs paramètres serait beaucoup trop fastidieuse. L'optimisation automatique devrait fournir des réponses rapides aux conditions variables de trafic dans le réseau. Notons qu'au début du déploiement des réseaux de troisième génération, seuls quelques paramètres pourront être optimisés automatiquement et que le processus d'optimisation de deuxième génération devra être maintenu en parallèle [5].

3.3 Conclusion

Une bonne application de processus de dimensionnement et de planification permet d'améliorer considérablement les performances du réseau en termes de couverture, de capacité et de qualité.

Dans ce chapitre, nous avons présenté le bilan de liaison qu'on a réalisé sous Excel en utilisant les équations de calculs exposées pour le dimensionnement. Les étapes suivies pour la planification et l'optimisation ont été abordées.

Dans le chapitre suivant on utilisera les résultats obtenus pour planifier une zone de la Wilaya de Tlemcen.

Chapitre 4 Planification d'une Zone de la Wilaya de Tlemcen

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va aborder les étapes suivies pour la planification d'une zone dense urbaine de la wilaya de Tlemcen, d'une superficie de 24,3 km², située à l'est de l'Algérie. Pour cela, on a utilisé le logiciel Atoll avec les différents résultats obtenus dans le chapitre précédent.

4.2 Présentation de l'outil Atoll :

Atoll est un outil multi-technologies de planification radio des réseaux cellulaires. Ce logiciel fait pour supporter les travaux d'un opérateur de radiocommunication mobile durant tout le cycle de vie du réseau (du design à la densification et l'optimisation). Le logiciel exploite différentes données en entrée à savoir les paramètres du bilan de liaison, le modèle de propagation, les paramètres des antennes, les paramètres des sites selon la technologie adopté au niveau du projet à réaliser. Parmi ses caractéristiques :

- Options avancées de conception de réseau : performance de calcul, support de réseaux en couches, planification automatique de codes/fréquences, support de différentes technologies d'accès et support de réseau multi-technologies (GSM/UMTS par ex.)
- Architecture flexible et ouverte : support des formats standards de fichiers et de bases de données d'autres logiciels

- Atoll est constitué d'un noyau principal et de modules optionnels comme le module UMTS, le module de calibration de modèles de propagation, le module de planification automatique des codes et le module des liaisons FH.

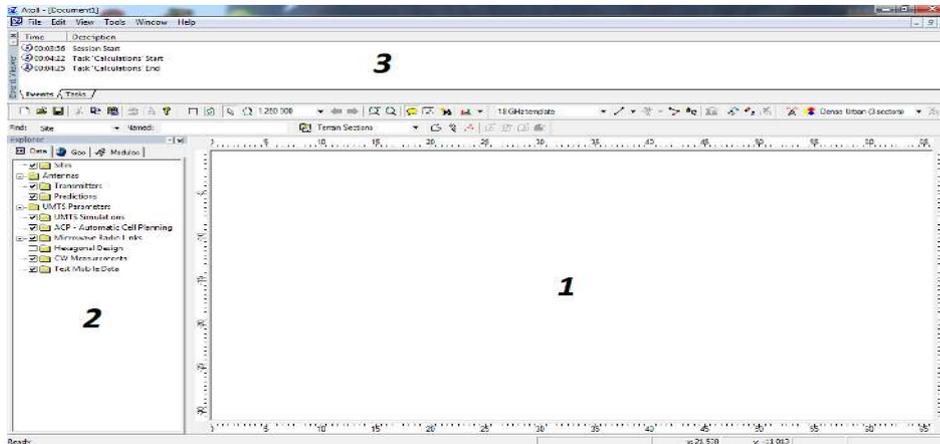


Figure 4.1. Fenêtre principale du logiciel Atoll

1- Zone principale où l'utilisateur peut visualiser la carte numérique ainsi que les sites implantés et les représentations graphiques des calculs, ou une table de base de données (par ex. des sites ou des antennes)

2- Zone d'exploration à trois onglets : le premier 'Données' comporte les éléments du réseau et les différents calculs et prédictions, le deuxième 'Géo' indique les composants de la carte numérique et les données qu'elle contient (modèle numérique du terrain, infrastructures de base, hauteurs, population, etc.) et le dernier 'modules' contient les différents modèles de propagation y compris le modèle standard ;

3- Observateur d'événements pour afficher les calculs en cours d'exécution.

4.3 Étapes suivies dans un projet de planification

- Créer un nouveau projet et choisir UMTS/WCDMA comme technologie
- Importer les données géographiques
- Créer le réseau en utilisant les modèles de stations. Définir les paramètres des sites, des émetteurs et les paramètres radio spécifiques à UMTS
- Calibrer le modèle de propagation utilisé

- Définir une zone de calcul et les paramètres de calcul (résolution, modèles, propriétés du récepteur)
- Créer et exécuter les études de couverture (par émetteur, par niveau de signal, zones de chevauchement)
- Définir les paramètres de trafic multiservices (services, types de mobilité, profils utilisateur, environnements)
- Créer les cartes de trafic par environnement
- Définir les voisins de chaque cellule manuellement ou automatiquement
- Allocation automatique des codes d'embrouillage aux cellules
- Vérifier et valider les résultats par des prédictions.

4.4 Préparation des données

La préparation des données passe par les étapes ci-dessous :

a. Création d'un nouveau projet

Nous choisissons UMTS HSPA puisque notre projet consiste à planifier un réseau 3G

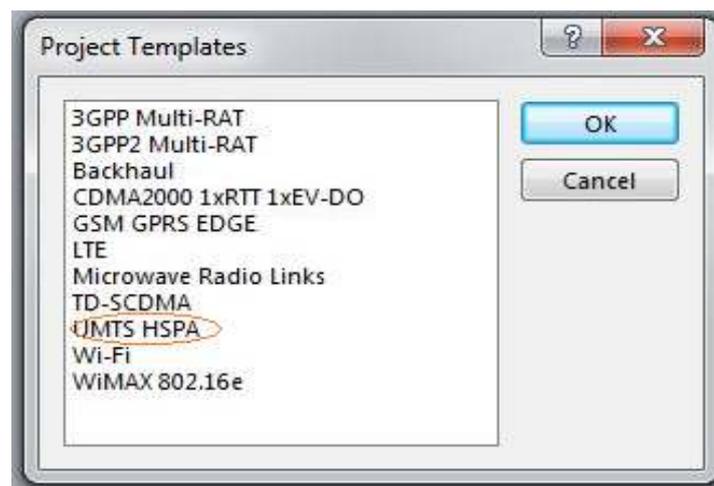


Figure 4.2. Création d'un nouveau projet UMTS HSPA

Avant de débiter, on passe à un système de coordonnées GPS utilisé par Atoll. Cela nous facilitera par la suite les emplacements et la localisation des divers Node B. Le système choisi est WGS 84/UTM zone 31N.

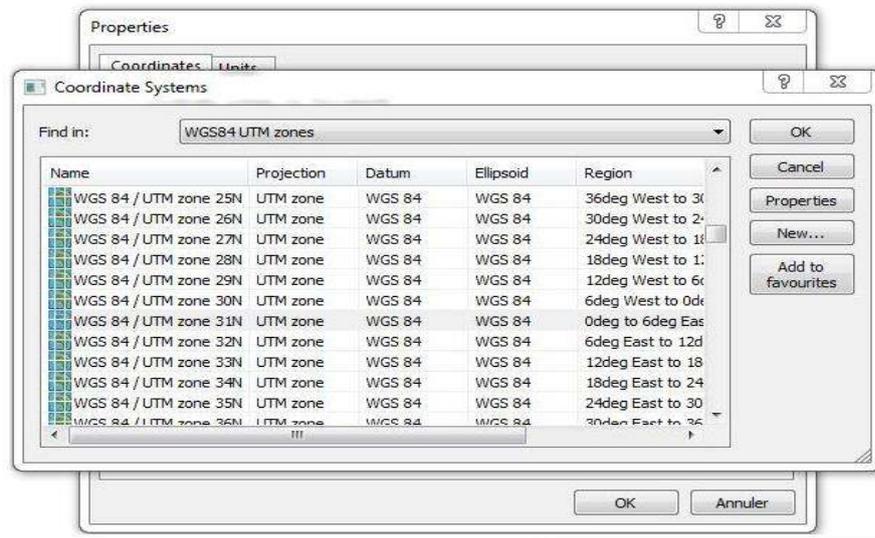


Figure 4.3. La projection des DTM

b. Importation des données géographiques

Pour pouvoir travailler sur une carte réelle, l'utilisateur doit importer les données géographiques du terrain à planifier (hauteur du sol, type du sursol, etc.). Les opérateurs de téléphonie mobile, dont Mobilis (présenté en annexe A), utilisent une carte de modèle numérique du terrain DTM.

Les informations géographiques permettent au logiciel d'effectuer les calculs de propagation et à l'utilisateur de mieux choisir l'emplacement des sites.

c. Définition d'un site

Lors de l'ajout d'un nouveau site, plusieurs paramètres sont à définir : sa position géographique (longitude et latitude), sa hauteur et le type d'équipement utilisé. Les propriétés radio sont introduites dans la définition des émetteurs puisque les secteurs d'un site n'ont pas nécessairement la même configuration.

d. Définition d'un émetteur

Un émetteur caractérise chacun des secteurs d'un site. On peut définir son nom, le site auquel il appartient, la distance qui le sépare de son site (en général nulle), ses pertes

en émission et en réception, son facteur de bruit, sa hauteur, le modèle de l'antenne utilisée (choisi parmi les modèles préalablement définis), son azimut, son down tilt (inclinaison), la porteuse qu'il utilise, la taille maximale de l'active set, la puissance maximale et les puissances des canaux CPICH, SCH, ses voisines, son état d'activité et le modèle de propagation utilisé lors des calculs.

e. Définition d'une antenne

On peut définir pour une antenne son gain, son diagramme de rayonnement (vertical et horizontal) et sa bande de fréquence de travail. Ces données peuvent être obtenues à partir du Datasheet de l'antenne. Dans la définition d'un émetteur, son antenne est choisie parmi les antennes ainsi définies

Après avoir configuré les sites ainsi que les émetteurs qui leur correspondent, les cellules sont automatiquement créées par *Atoll*. Il ne reste plus que préciser les *codes de Scrambling* utilisés pour chaque cellule pour assurer la différenciation entre les cellules dans le sens DL.

f. Calibrage d'un modèle de propagation

Les modèles de propagation doivent être calibrés pour correspondre au mieux à l'environnement réel. la figure 4.4 expose les paramètres de calibrage du model :

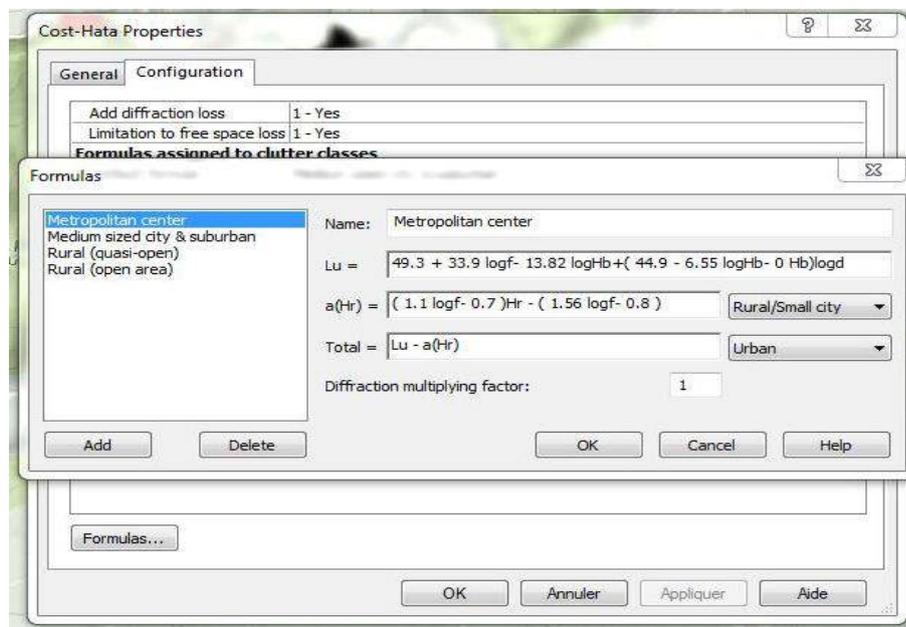


Figure 4.4. Calibrage de modèle de propagation (COST 231-HATA)

g. Création de la carte de trafic :

La création de la carte de trafic réside à faire distribuer tous les utilisateurs sur la zone de planification (voire la figure 4.5).

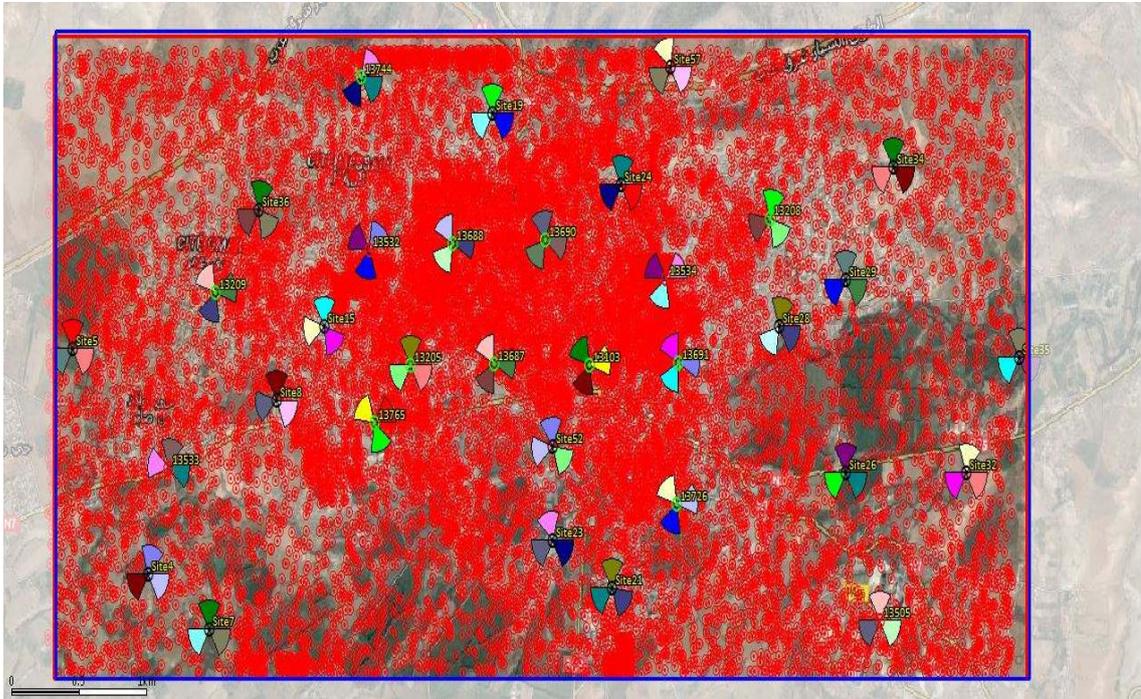


Figure 4.5. Carte de trafic

4.5 Planification d'une zone de Tlemcen

a. Zone géographique à planifier :

Nous avons choisie comme zone a planifier la ville de Tiaret déjà couverte par couverte par 16 sites de GSM (cluster, élévation du terrain et routes, la base de donné des sites (2G). Nous limitons la zone tout d'abord par :

- Computation zone(en bleu) : utilisée pour définir la surface dans laquelle ATOLL prend en considération les émetteurs activent.
- Focus zone (en rouge) : c'est la zone exacte a planifier, dans laquelle ATOLL génère ses rapports et statistiques.

La figure suivante présente un aperçu de la zone à planifier, qui couvre une surface de 24 Km² (les sites qui apparaissent sont celle du trafic GSM existants) illustrés sur la figure 4.6 :

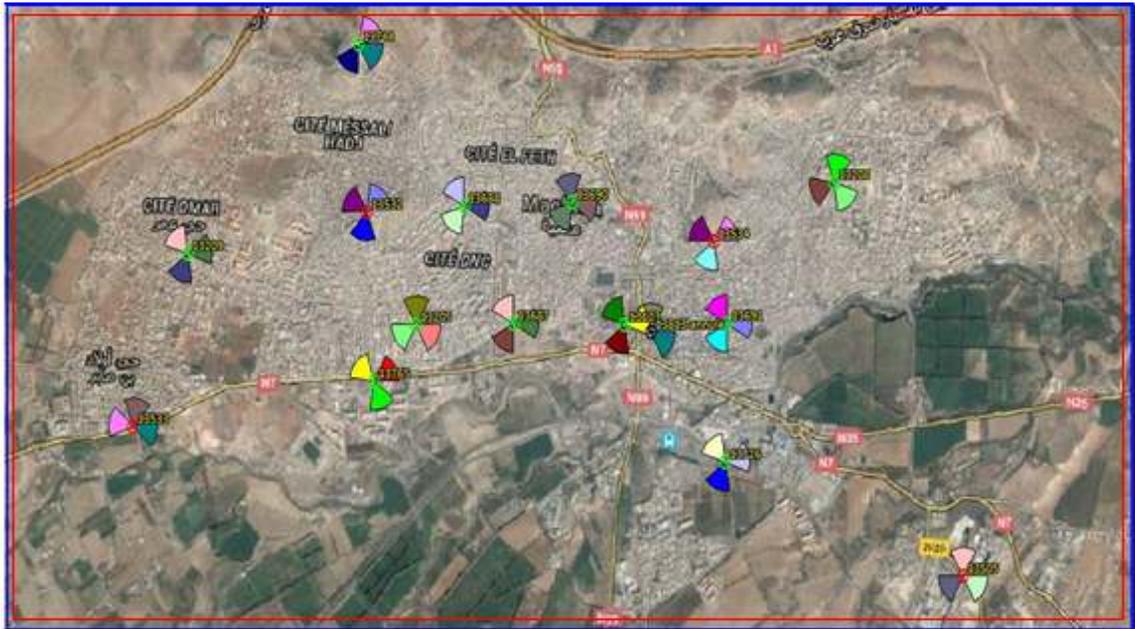


Figure 4.6. Site GSM déjà installé dans la zone

b. Introduction de nouveaux sites :

Pour couvrir suffisamment notre surface en UMTS, nous lançons le calcul d'ATOLL en sorte qu'il réutilise les sites déjà installés de GSM comptant 15 sites et ajouter de nouveaux sites s'il le faut. Dans notre cas il a ajouté 18 nouveaux sites, soit pour couvrir une zone qui n'est pas déjà couverte ou pour améliorer la qualité de couverture. Le résultat obtenu est sur la figure 4.7:

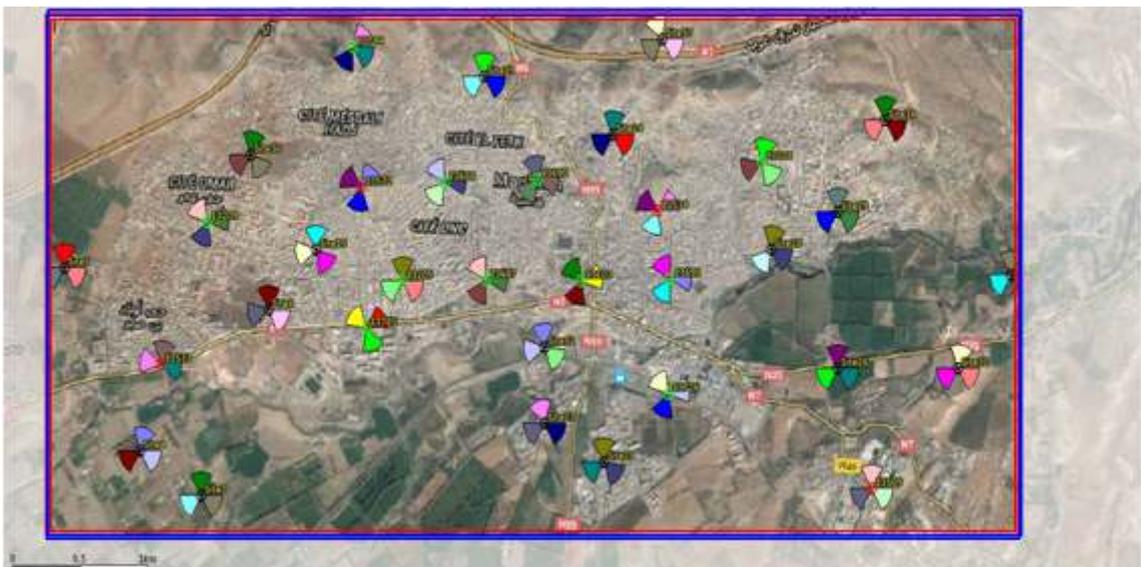


Figure 4.7. Distribution des sites de 3G

Le tableau 4.8 donne tous les nouveaux sites ajoutés :

Change set Table						
Change Order	Enable	Change Type	Name (Site/Tx/Cell)	Initial	Final	Quality Improvement
1	VRAI	Site On	Site23	Off	On	12,03
2	VRAI	Site On	Site28	Off	On	24,06
3	VRAI	Site On	Site21	Off	On	34,25
4	VRAI	Site On	Site15	Off	On	43,93
5	VRAI	Site On	Site34	Off	On	53,41
6	VRAI	Site On	Site24	Off	On	62,49
7	VRAI	Site On	Site26	Off	On	69,11
8	VRAI	Site On	Site32	Off	On	75,64
9	VRAI	Site On	Site4	Off	On	80,84
10	VRAI	Site On	Site7	Off	On	85,42
11	VRAI	Site On	Site5	Off	On	89,81
12	VRAI	Site On	Site35	Off	On	92,86
13	VRAI	Site On	Site19	Off	On	95,82
14	VRAI	Site On	Site29	Off	On	98,47
15	VRAI	Site On	Site8	Off	On	100
16	VRAI	Site On	Site52	Off	On	37,78
17	VRAI	Site On	Site36	Off	On	71,85
18	VRAI	Site On	Site57	Off	On	100

Figure 4.8. La table des sites ajoutés

Sachant qu'on peut apporter des modifications qui nous conviennent mieux au tant qu'opérateur du point de vue économique et commerciale on garde toujours la bonne qualité de service, des sites peuvent êtres supprimer ou déplacer selon la zone à couvrir.

4.6 Etudes de prédiction

Enfin après avoir déployé le réseau, ATOLL permet de réaliser de multiples prédictions (voir figure 4.9):

- Couverture par niveau de champs
- Zone de recouvrement et couverture par C/I
- Couverture par émetteur



Figure 4.9. Les différentes prédictions

4.6.1 Prédiction de la couverture par niveau de champs

Cette prédiction permet d'estimer la puissance reçue par un mobile en chaque point de la zone de calcul. L'objectif de cette étude est de détecter d'éventuelles zones aveugles (dans notre exemples les zones en bleu sont les moins couvertes) et essayer de les éliminer en procédant à des modifications de la configuration des sites et des émetteurs comme un déplacement de site, un changement de l'azimut d'un émetteur, un réglage de puissance ou une inclinaison (tilt) d'une antenne détaillé en annexe B.

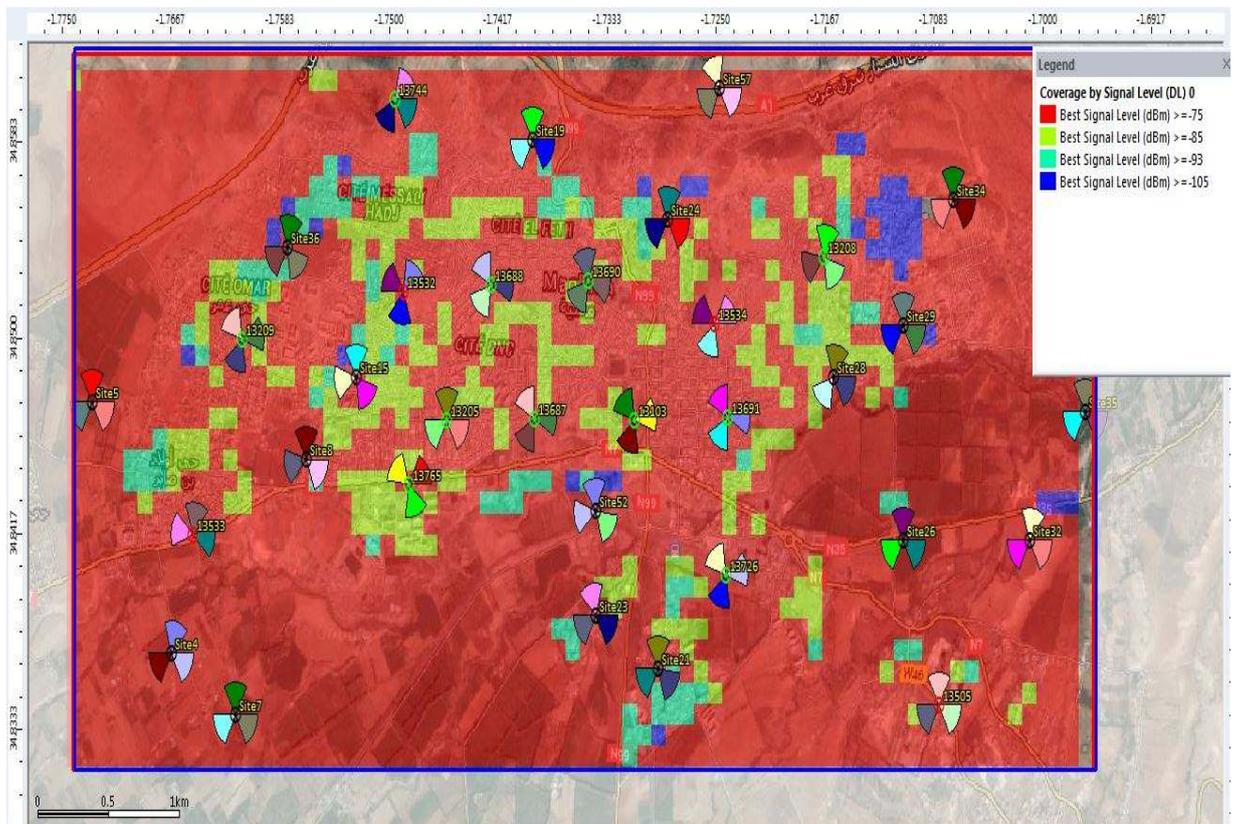


Figure 4.10. Prédiction de niveau de champ

4.6.2 Prédiction du rapport E_c/I_0 du canal pilote CPICH

Le mobile utilise le rapport E_c/I_0 du CPICH pour décider lesquelles des cellules qui l'entourent offrent une meilleure qualité de signal. Pour remédier aux défauts éventuels rencontrés, des changements similaires à ceux cités ci-dessus sont utiles. la figure 4.11 illustre la qualité de couverture pour notre zone.

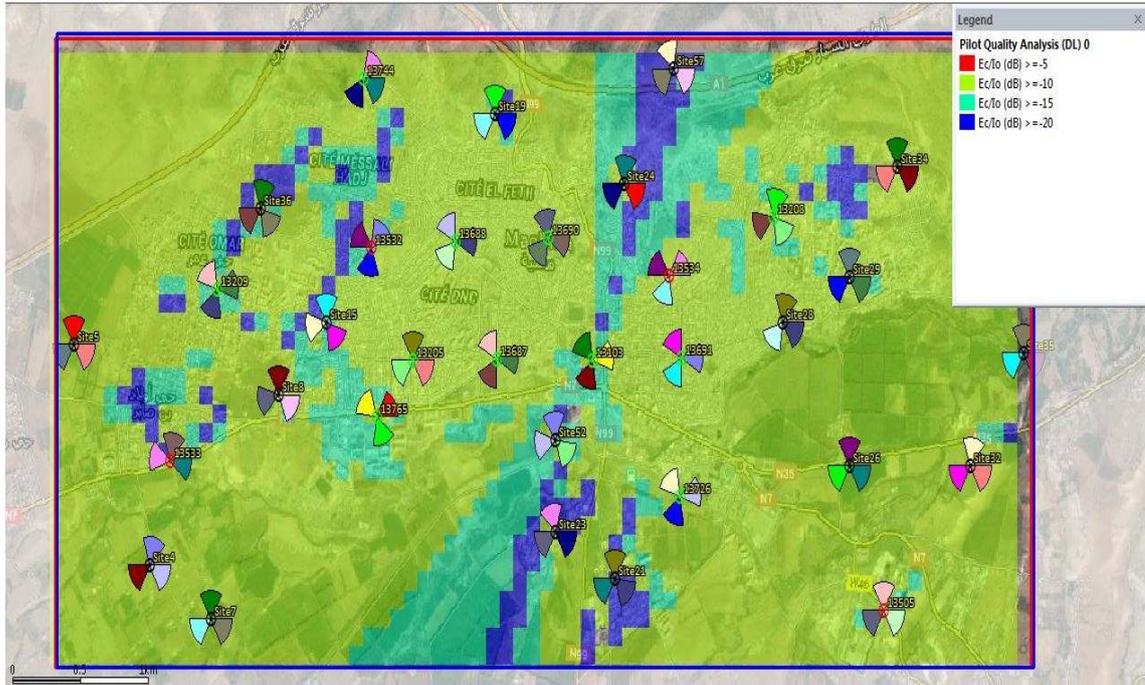


Figure 4.11. Prédiction du rapport Ec/Io du canal pilote CPICH

4.6.3 Prédiction par émetteur

La carte de couverture par émetteur nous permet d'observer les zones de résurgence (voir la figure 4.12). Il y en aurait particulièrement dans les zones denses urbaines. Cela s'explique du fait que ces zones-ci regorgent d'infrastructures urbaines.

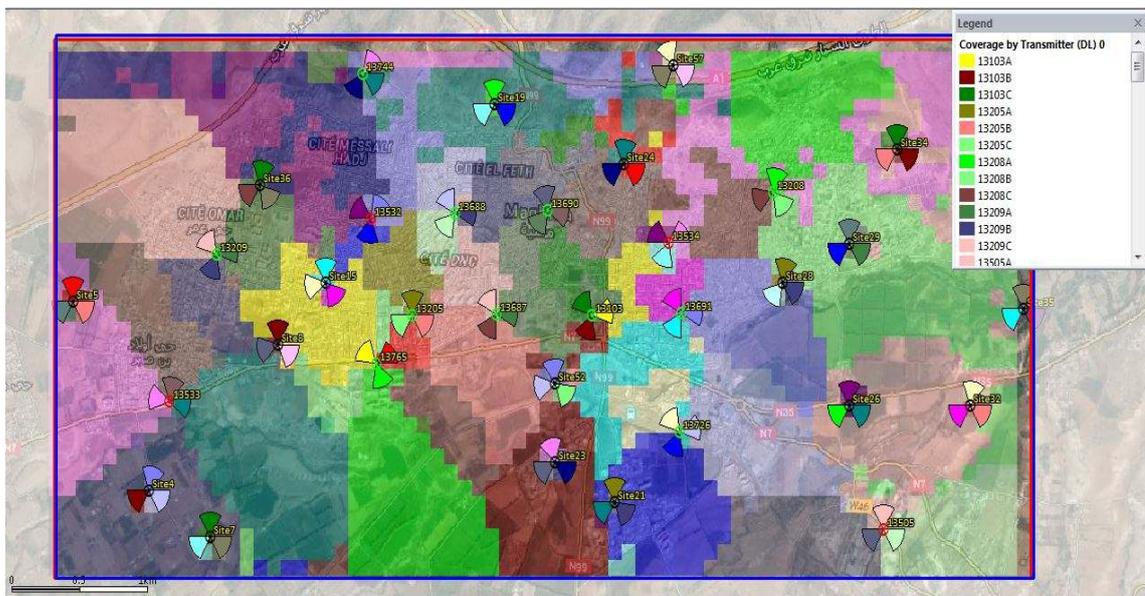


Figure 4.12. Prédiction par émetteur

➤ **Réception et profil par rapport à un émetteur donné**

Cette étude permet de dessiner l'ellipsoïde de Fresnel présenté dans l'annexe B entre l'UE et l'émetteur sélectionné. L'utilité de cette information apparaît dans le cas où un obstacle cache totalement l'UE. La solution la plus évidente pour ce problème est de chercher un emplacement plus haut que celui choisi pour ce site.

Une autre information est le niveau de signal provenant de cet émetteur avec un calcul basé sur le modèle de propagation utilisé.

4.7 Résultats et statistiques

Le tableau 4.13 expose le rapport final de planification de la zone de Tlemcen, il présente les pourcentages finaux atteints en termes de couverture et de qualité ainsi que le nombre final des sites.

Result							
Objective	Initial	Final	Improvement (%)			Target Zone	Requested Coverage (%)
UMTS RSCP Coverage	88,04	99,64	0,01	ACHIEVED		Computation	95,00
UMTS Eclo (%)	92,11	92,34	0,22	FAILED		Computation	95,00
Change Statistics							
Site Selection							
Site Added	18						
From candidate	15						
From site selection	0						
Site tech. added/remo	0						
Site Removed	0						
Tx Removed	0						
Initial Site	15						
Final Site	33						

Figure 4.13. Rapport des résultats obtenus

- Les résultats obtenus sont comparables à ceux trouvés théoriquement. Le nombre de site calculé par notre bilan de liaison est 53. Le nombre de sites final donné par Atoll est 33, on trouve une différence dans les résultats vu que Atoll prend en considération les hauteurs et les obstacles ainsi que les zones ouvertes où il n'est pas important d'installer des sites.
- D'après nos résultats, l'objectif de couverture est atteint par les sites ajoutés, c'est-à-dire la zone choisie est bien couverte. Mais, on remarque que l'objectif en termes de qualité n'a pas atteint le pourcentage désiré.

- L'amélioration de la qualité de couverture se fait à l'étape suivante qui est l'optimisation faite après avoir placé les sites dans la carte géographique qui consiste à désigner les vrais emplacements des sites. Si le site est validé, il sera mis en place et activé. Avant de déployer les sites proches, une vérification de ses secteurs est obligatoire, celle-ci est faite par l'intermédiaire d'un drive test en utilisant un outil logiciel d'optimisation radio. D'après les résultats d'un tel test, des paramètres peuvent être changés comme les tilts mécaniques et électriques, les azimuts des secteurs, les puissances d'émission afin de palier le problème posé.

4.8 Conclusion

Ce chapitre a plutôt présenté le principe et la procédure de planification d'une zone de Tlemcen sous Atoll en utilisant les résultats obtenus dans le calcul de bilan de liaison réalisé précédemment sous Excel. Les étapes décrites sont définies pour garantir une efficacité en termes de qualité, de coût et de temps de planification pris pour aboutir à un plan complet du réseau.

L'interprétation des prédictions et des différentes analyses nécessite une bonne compréhension de l'ensemble des mécanismes naturels et des paramètres de configuration du système intervenant dans les résultats pour pouvoir ensuite appliquer les modifications adéquates.

Conclusion générale

La planification est un processus inhérent au cycle de vie d'un réseau cellulaire, Il permet de déterminer l'efficacité du réseau.

L'objectif de ce mémoire était de procéder à une planification cellulaire de réseau UMTS basée sur la technique d'accès multiple WCDMA d'une ville de la wilaya de Tlemcen pour l'opérateur Mobilis en utilisant Atoll.

Après avoir présentés les différentes fonctionnalités et les caractéristiques de la technologie UMTS et avant de faire notre planification sous Atoll, un dimensionnement a été fait par un bilan de liaison que nous avons réalisé sous Excel pour estimer le nombre des sites pour une bonne couverture de la ville. Cependant les tâches réalisées à travers ce projet de fin d'études ne représentent que les premiers pas de planification, les résultats obtenus doivent être vérifiés sur le terrain car des facteurs imprévisibles peuvent intervenir.

Ce projet peut être le début d'un travail d'optimisation du réseau UMTS étudié pour l'amélioration de ce dernier en termes de couverture et de qualité après son installation.

Ce stage nous a permis d'une part d'approfondir nos connaissances par rapport au savoir-faire acquis durant des années d'études, d'autre part de préparer notre intégration à la vie professionnelle en prenant contact avec le domaine professionnel des télécommunications, ainsi de nous familiariser avec certaines notions utilisées dans les réseaux mobiles et enfin d'avoir une idée de la fonction d'ingénieur en entreprise.

En conclusion, la technologie UMTS continuera à se positionner comme un potentiel évolutif qui constitue la base des futurs réseaux mobiles, comme LTE (Long Term Evolution) en vue de supporter les services et applications évolués.

Annexe A

Identité d'ATM MOBILIS



L'identité d'une entreprise (personne morale) est représentée par les caractéristiques permanentes les plus stables : le nom, la raison sociale, le positionnement, les traditions, le savoir-faire, la qualité. Ils seront suivis par d'autres critères susceptibles de varier plus ou moins en fonction de l'histoire de l'entreprise, comme les produits, la rentabilité et constitueront son identité réelle.

MOBILIS, filiale d'Algérie Télécom, est le premier opérateur de téléphonie en Algérie, Société par actions, située au Quartier des Affaires, Bab Ezzouar, Alger. Devenue autonome en Aout 2003, elle propose à ses clients une large gamme de produits et de services innovants et de haute qualité : offres, poste et prépayés adaptés à tous les budgets, vers tous les opérateurs en Algérie et à l'étranger, roaming à l'international, messagerie vocale, consultation de la facture sur Internet, notification gratuite du solde après chaque appel...., et les rechargements électroniques par cartes de recharges : Arsseli, Racimo, Sellekni et la carte internationale prépayée.

Annexe B

B.1 Caractéristiques radio de l'antenne :

a. L'azimut :

C'est un angle ou l'antenne émet à sa puissance la plus importante (direction principale d'émission), on règle notre angle d'ouverture par rapport au nord

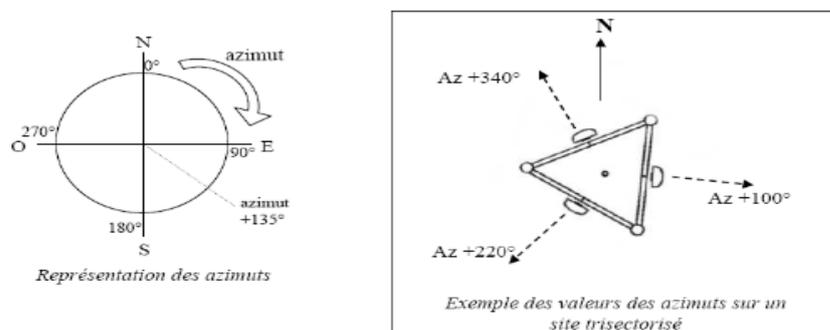


Figure B.1. Présentation de L'azimut de l'antenne

b. Le tilt :

C'est l'angle ou l'inclinaison mécanique et électrique de l'antenne peuvent être appliquées, dans le but de :

- Enlevez la couverture insulaire et diminuer l'interférence.
- Améliorez la couverture de la région proche, aussi couverture d'intérieur (indoor).
- Ajustez les frontières cellulaires (pour arranger les zones de Handover).
L'inclinaison exigée peut être estimée par l'optique géométrique qui prend en considération le HPBW vertical, la hauteur de l'antenne et la topographie au voisinage du site.

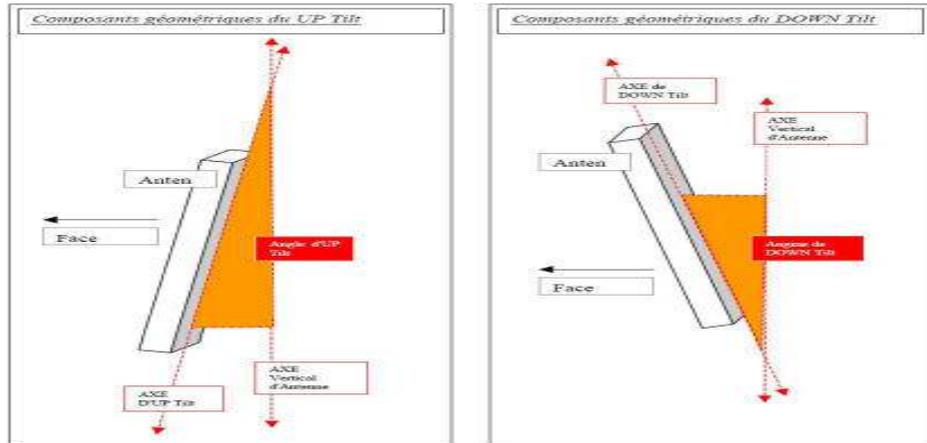


Figure B.2. Les différents types de tilt

B.2 L'ellipsoïde de Fresnel

Parmi les éléments qui interviennent dans la propagation des ondes sur des distances importantes, notamment lorsque l'espace n'est pas totalement dégagé, l'ellipsoïde de Fresnel c'est un volume virtuel dans l'espace permettant d'évaluer l'atténuation apportée par un obstacle (immeuble, colline...) à la propagation d'une onde mécanique ou électromagnétique. Elle représente la partie de l'espace suffisante à la propagation en espace libre entre deux antennes. Si des obstacles sont présents à l'intérieur de cet espace, il faudra s'attendre à une atténuation supplémentaire par rapport à la propagation en espace libre.

Le calcul de cette zone de Fresnel doit tenir compte de la courbure de la surface de la terre et permet d'obtenir la hauteur des Node B nécessaires à l'installation. Le rayon de cette zone est donné par : $r = \sqrt{\lambda * D}$

D'où D est la distance entre l'émetteur et le récepteur et λ la longueur d'onde.

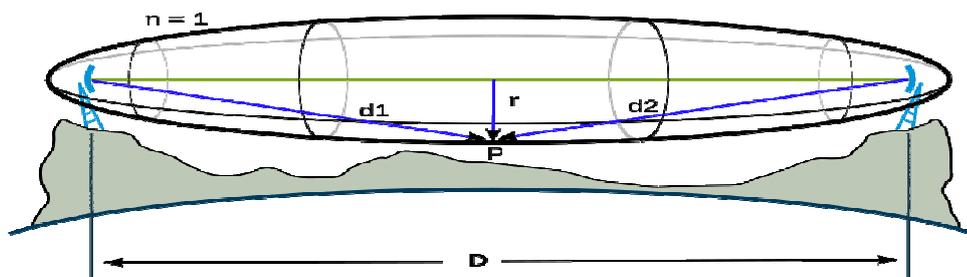


Figure B.3. Zone de Fresnel

Bibliographie

- [1] T.Benyahia et S.Lamari « Planification radio d'un réseau 3G » mémoire de fin d'étude soutenue en 2008, institue de télécommunication d'Oran
- [2] <http://elearning.univ-eloued.dz/main/newscorm>
- [3] J.Chambille, F.Pontavianne et D.Tran « Téléphonie : la troisième génération » 2007
- [4] C.Baassou, « dimensionnement et caractérisation des réseaux mobiles » mémoire de magister soutenue en 2012, université de Batna
- [5] G .Guezewane « Mémoire-Ingénierie-des-réseaux-3G : évolution et ingénierie»
- [6] S.EL Habchi « planification et optimisation d'un réseau 3G (HUAWEI) » ENSA
- [7] M.Terré « UMTS élément d'analyse de la couche physique » école nationale supérieure de télécommunication de Bretagne
- [8] R. Benlaksira et A. Abdessemed « étude d'un réseau UMTS pour la densification (cas de la région de Blida) et le passage vers la 4G » mémoire soutenu en 2015
- [9] A.Tall « étude détaillée de l'architecture d'un réseau 3G dans le cadre d'une migration depuis un réseau GSM : cas de TELECEL Faso » rapport de stage d'ingénieur
- [10] H. Ben Terdayet « calibration de modèle de propagation pour les réseaux GSM, WCDMA et LTE » mémoire soutenu en 2013, Tunisie
- [11] Technical reference guide-Forsk Asia.PDF
- [12] J. LAIHO, A.Wacker et T. Novosad « Radio Network Planning and Optimization for UMTS» second edition, Livres 2006

[13] L.song et J.Shen «Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE », Livres 2011

[14] C.Braithwaite et M.Scott «UMTS Network Planning and Development: Design and Implementation of the 3G ... », Livres 2004

[15] Catalogue Katherine « cables, connectors and Accessories RF catalogue », catalogue 2013, France