



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT TELECOMMUNICATION



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention
du **DIPLOME d'INGENIEUR**

Spécialité : Télécommunication

Option : Services des Télécommunications, de l'Informatique et du Multimédia (STIM)

*par : **Miradontsoa Asafa ANDRIANARISON***

***DIMENSIONNEMENT ET PLANIFICATION DU RESEAU
D'ACCES RADIO DU WCDMA SOUS « ASSET »***

Soutenu le 23 Novembre 2012 devant la Commission d'Examen composée de :

Président :

M. Zidora ANDRIAMIASY

Examineurs :

M. Jules RAZAKARIVONY

M. Constant RATSIHOARANA

M. Lucien Elino RANDRIARIJAONA

Directeur de mémoire :

M. Paul Auguste RANDRIAMITANTSOA

REMERCIEMENTS

J'adresse, en premier lieu, toute ma reconnaissance envers Dieu de m'avoir donné la force de mener à bien la réalisation de ce travail de mémoire de fin d'études.

Je remercie, Monsieur Philippe ANDRIANARY, Professeur, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

Je témoigne également ma reconnaissance à Monsieur Jules RAZAKARIVONY, Maitre de Conférences, Chef de Département de la Filière Télécommunication.

Je tiens à exprimer ma profonde et très sincère reconnaissance à Monsieur Paul Auguste RANDRIAMITANTSOA, Professeur Titulaire au sein du Département Télécommunication, qui a admirablement accepté de bien vouloir m'orienter pendant mes travaux.

Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury du département Télécommunication, présidés par Monsieur Zidora ANDRIAMIASY, Maitre de Conférences, qui ont voulu examiner ce travail :

- Monsieur Jules RAZAKARIVONY,
- Monsieur Constant RATSIHOARANA.
- Monsieur Lucien Eline RANDRIARIJAONA

Je remercie également tous les Enseignants du département Télécommunication, sans qui je n'aurais pas pu arriver aux termes de mes études à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, ainsi que le corps Enseignant et Administratif de cette école.

Je tiens aussi à remercier les Enseignants et le corps administratif de l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs Réunion Océan Indien, spécialement ceux de l'option « Services des Télécommunications, de l'Informatique et du Multimédia » pour la formation que j'ai suivie au sein de cet établissement.

J'exprime ma très grande gratitude à ma famille pour m'avoir soutenu tout au long de mes études. Je les remercie pour leurs encouragements et leurs soutiens moraux.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
TABLES DES MATIERES	iii
NOTATIONS ET ABREVIATIONS.....	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE WCDMA	3
1.1 Introduction sur la télécommunication mobile.....	3
1.1.1 Historique de la télécommunication mobile	3
1.1.2 Recherches sur la technologie de troisième génération	4
1.2 Présentation de quelques standards mobiles existants	5
1.2.1 La technologie de seconde génération et ses variantes	5
1.2.1.1 Historique	5
1.2.1.2 Accès radio	6
1.2.1.3 Architecture du système GSM	6
1.2.2 La technologie 3G	8
1.2.3 Après la technologie 3G.....	9
1.3 La technologie de troisième génération	9
1.3.1 Généralité	9
1.3.2 Objectif du déploiement de la 3G	10
1.4 Présentation du WCDMA	11
1.4.1 WCDMA (Wideband - CDMA)	11
1.4.2 Chaîne de transmission du système WCDMA.....	12
1.4.2.2 Codage Source.....	12
1.4.2.3 Codage Canal	12
1.4.2.4 Étalement ou Spreading	13
1.4.2.5 Modulation	19

1.4.2.6 Transmission	20
1.4.2.7 Architecture du réseau.....	20
1.4.3 UE - User Equipment ou équipement utilisateur (terminal mobile, etc.)	21
1.4.4 UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network)	22
1.4.5 CN (Core Network).....	23
1.4.6 Version du réseau WCDMA	25
1.5 Protocoles de l'UTRAN	26
1.5.1 Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)	26
1.5.2 Protocoles de l'UTRAN.....	27
1.5.3 Access stratum	27
1.5.3.1 Couche 1 ou couche physique	27
1.5.3.2 Couche 2 ou couche liaison des données	28
1.5.3.3 Couche 3 ou couche réseau	29
1.5.4 Non Access Stratum.....	30
1.5.5 Les canaux UMTS/WCDMA.....	30
1.6 RRM (Radio Ressource Management) dans la 3G	31
1.6.1 Problèmes engendrés par le CDMA.....	31
1.6.2 Objectifs du RRM	31
1.7 Handover	32
1.7.1 Définition	32
1.8 Conclusion.....	32
CHAPITRE 2 DIMENSIONNEMENT DU RESEAU RADIO DE LA 3G.....	34
2.1 Introduction à la planification du réseau d'accès radio	34
2.2 Dimensionnement du réseau	35
2.2.1 Définition	35
2.2.2 Bilan de liaison	36

2.2.2.1 Définition	36
2.2.2.2 Calcul du Bilan de liaison	37
2.2.3 Modèle de propagation	44
2.2.3.1 Définition	44
2.2.3.2 Modèle de propagation pour l' « Indoor »	46
2.2.3.3 Modèle de propagation pour l'« Outdoor ».....	48
2.2.3.4 Autres modèles de propagation :.....	53
2.3 Capacité – Charge du lien	53
2.4 Rayon de couverture.....	55
2.5 Conclusion.....	56
CHAPITRE 3 PLANIFICATION DU RESEAU D'ACCES 3G ET SIMULATION SOUS LE LOGICIEL « ASSET »	58
3.1 Introduction	58
3.2 Pré-planification	58
3.3 Outil de planification du réseau d'accès radio	59
3.3.1 Présentation du logiciel de simulation « ASSET »	59
3.3.2 Données Géographiques	61
3.3.2.1 Les rasters.....	62
3.3.2.2 Les vecteurs.....	65
3.3.2.3 Les points	66
3.3.3 Modèles de propagation	66
3.3.4 Fréquences porteuses	70
3.3.5 Types de services	71
3.3.6 Types d'équipements	71
3.3.7 Paramètres du nodeB et des antennes	72
3.4 Simulation	73

3.4.1	Objectif de la simulation	73
3.4.2	Les différentes étapes de la simulation	74
3.4.3	Méthodes utilisées pour la simulation.....	75
3.4.4	La Simulation de Monte Carlo.....	76
3.4.4.1	Définition	76
3.4.4.2	Application de la simulation de Monte Carlo pour le réseau WCDMA	76
3.5	Etude de cas.....	78
3.5.1	Objectifs	78
3.5.2	Choix de l'emplacement	79
3.5.3	Estimation de la couverture en ne tenant compte que du modèle de propagation	80
3.5.4	Paramétrage de la simulation (Type de service, Estimation du trafic)	80
3.5.5	Estimation de la couverture et de la capacité après ajout de trafic	81
3.5.5.1	CPICH E_c/I_0	81
3.5.5.2	Charge du lien	82
3.5.5.3	Couverture Uplink du service voix 12K	83
3.5.5.4	Connexion au réseau pour le service voix 12K et raisons des échecs.....	84
3.5.5.5	Couverture uplink 384K.....	84
3.5.5.6	Cellules Voisines.....	85
3.5.6	Conclusion	86
3.6	Après la planification	86
3.6.1	Le « site survey » ou descente sur site pour inspecter le site.....	86
3.6.2	La phase de déploiement et de paramétrage	86
3.6.3	Après le déploiement – l'optimisation.....	87
CONCLUSION GENERALE		89
ANNEXE 1 CANAUX UMTS DANS L'UTRAN.....		91
Canaux logiques (logical channels).....		91

Canaux de transport (transport channels).....	91
Canaux physiques (physical channels).....	92
ANNEXE 2 EVOLUTION DE L'UMTS	96
BIBLIOGRAPHIE	98
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	100
RESUME.....	101
ABSTRACT	101

NOTATIONS ET ABREVIATIONS

1. Minuscules latines

c	Célérité de la lumière
d	Distance (Distance entre l'émetteur et le récepteur)
f	Fréquence (autour de 2000MHz pour l'UMTS)
h_{NodeB}	Hauteur de l'antenne du NodeB
h_t	Hauteur de l'antenne émettrice
h_r	Hauteur de l'antenne réceptrice
h_{UE}	Hauteur de l'équipement mobile
h_{Rf}	Hauteur des batiments
w_s	Largeur moyenne des rues
$s_j^{section}$	Longueur du j -ème section de route
k_f	Nombre d'étage
k_{wi}	Nombre de mur

2. Majuscules latines

A_{floor}	Facteur d'atténuation d'un étage
E_b/N_o	Rapport énergie bit signal par rapport aux bruits
E_c/I_o	Rapport énergie chip signal par rapport aux interférences
E_c/N_o	Rapport énergie chip signal par rapport aux bruits
L_f	Perte entre deux étages adjacents
L_{wall}, L_w	Facteur d'atténuation d'un mur
M_c	Mot codé
N_s	Nombre de symbole envoyé par seconde

N_{th}	Densité du bruit thermique
P_r	Puissance reçue
b/s	Bits par seconde
C	Code
F	Fréquence centrale en MHz
S	Signal utile
W	Bande passante
$L, L_{...}$	« Path Loss » ou perte à cause du trajet du signal

3. Termes grecs

θ_j^{street}	Angle en degré (°) entre la section j et j-1
η	Cell load factor ou facteur de charge la cellule
σ	Ecart type du slow fading
η_{UL}	Facteur de charge de l'Uplink (cell load factor)
η_{DL}	Facteur de charge du Downlink
λ	Longueur d'onde
φ_{ori}	Orientation dans le plan horizontale

4. Abréviations

12K	Débit à 12 kbits/s
1G	Système de téléphonie mobile de première génération
2G	Système de téléphonie mobile de seconde génération
3G	Système de téléphonie mobile de troisième génération
3GPP, 3GPP2	Groupes responsables du développement de la technologie 3G

ACK	Message d'Acquittement de paquet (reçu)
AICH	Acquisition Indicator Channel
AMPS	American Mobile Phone System
AUC	Authentication Center
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BLER	Block Error Rate
BMC	Broadcast/Multicast Control Protocol
Bps	Débit, bits par seconde
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CCPCH	Common Control Physical Channel
CDM	Chips après CDMA (Code Division Multiplex)
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications
CN	Core Network (Réseau cœur)
CPCH	Uplink Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
Cps	Chip rate, Chips par seconde
CRC	Contrôle de Redondance Cyclique
CS	Circuit Switched
CTCH	Common Traffic Channel
DCCH	Dedicated Control Channel
DCH	Dedicated Channel

D-DPCCH	Downlink DPCCH
D-DPDCH	Downlink DPDCH
DL	Downlink ou liaison descendante
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DSCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identification Register
ERP	Effective Radiated Power
ETSI	European Telecommunication Standardization Institute
FACH	Forward Access Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications Systems
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DPCCH	High Speed Dedicated Physical Control Channel
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel
HSPA	High Speed Packet Access
HS-PDSCH	High-Speed Physical Downlink Shared Channel

HSS	Home subscriber server
HS-SCCH	High-Speed Shared Control Channel
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMT-2000	International Mobile Telecommunication – 2000
IS-95	Technologie 2G américain
ITU/UIT	International Telecommunication Union
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MAPL	Maximum Allowed Path Loss
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
Mcps	Mega-chips par seconde
ME	Mobile Equipement
MGW	Media Gateway
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedia Messaging Service
MSC	Mobile Switching Center
NACK	Message de non-acquittement de paquet (non reçu)
NAS	Non-Access Stratum
NF	Noise Figure
NLOS	Non Line Of Sight
NMT	Nordic Mobile Telephony
NR	Noise Rise
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor
PCCH	Paging Control Channel

P-CCPCH	Primary CCPCH
PCH	Paging Channel
PCPCH	Physical Common Packet Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDP	Packet Data Protocol
PG	Processing Gain
PICH	Page Indicator Channel
PIN	Personal Identification Number
PLMN	Public Land Mobile Network
PRACH	Physical Random Access Channel
PS	Packet Switched
P-SCH	Primary SCH
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadratic Phase Shift Keying
R99, R4, etc.	Release 99, Release 4
RAB	Radio Access Bearer
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Sub-System
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Ressource Management
S-CCPCH	Secondary CCPCH

SCH	Synchronization Channel
SFM	Slow Fading Margin
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIG	Système d'Information Géographique
SMS	Short Message Service
S-SCH	Secondary SCH
TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division-Synchronous CDMA
UARFCN	UMTS Absolute Radio Frequency Number
U-DPCCH	Uplink DPCCH
U-DPDCH	Uplink DPDCH
UE	User Equipement ou Equipement Utilisateur
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UL	Uplink ou liaison montante
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Services
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor location Register
VoIP	Voice over IP ou Voix sur IP
WCDMA	Wideband CDMA

INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, une progression importante de souscriptions aux services de réseaux mobiles est comptée, et cela ne cessera surement pas de croître dans les prochaines années à venir.

Dans les années 1970, les réseaux mobiles étaient créés avec comme objectif d'avoir le monde des affaires comme client principal. La principale valeur ajoutée qui a mis en valeur ce système dans ces temps était la mobilité qu'il offrait par rapport au système de téléphonie filaire classique.

La mobilité était ainsi la première phase et le premier moteur permettant le lancement du système de téléphonie cellulaire ; et même si le nombre d'utilisateurs était relativement faible au départ, le fait que la technologie est acceptée par ses utilisateurs permettait de démontrer la présence d'un nouveau marché émergent.

Au cours des années qui suivent, la télécommunication mobile connaît un important essor.

En effet grâce à ses différentes évolutions technologiques (première génération, seconde génération, troisième génération, etc.), la télécommunication mobile ne s'arrêtait pas seulement à la communication audio ; de nouveaux services (les SMS, la transmission de données, etc.) étaient mis à la disposition des utilisateurs. Certaines de ces services requièrent de plus en plus de quantité de données à transmettre, amenant ainsi les opérateurs téléphoniques à adopter de nouvelles technologies de téléphonie mobile telle que la 3G et ses technologies dérivées.

Toutefois même si un opérateur téléphonique adopte la dernière des technologies de communication mobile, tant que l'utilisateur n'est pas couvert par le réseau d'accès radio de cette technologie mobile, il ne peut pas accéder aux services offerts par l'opérateur. C'est à ce niveau que se trouve l'importance de la couverture en réseau d'accès radio, précédée toujours d'une ingénierie de planification radio.

La planification radio, appelée également « radio design » du réseau d'accès sans fil est une analyse détaillée du réseau radio (RAN ou *Radio Access Network*) à établir. Son objectif est d'estimer les équipements nécessaires et la configuration des nouveaux sites de la zone objet du nouveau déploiement, en se basant sur la couverture, la capacité et les services à offrir.

L'objectif de ces travaux de mémoires effectués et présentés dans cet ouvrage se focalise sur la planification du réseau d'accès radio de la technologie d'accès WCDMA, et l'évaluation de la performance de la couverture réseau établie. Cet ouvrage sera ainsi divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente quelques technologies standard de télécommunications mobiles, en approfondissant un peu plus sur la technologie WCDMA.

Le chapitre 2 détaille la méthodologie utilisée et les différentes bases théoriques de la planification radio du WCDMA, incluant la phase de dimensionnement.

Le troisième chapitre décrit la planification détaillée de la couverture suivie d'un exemple de cas où la mise en place de nouveaux sites est nécessaire pour couvrir une zone donnée. Un outil de simulation sera utilisé pour cette tâche.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE WCDMA

1.1 Introduction sur la télécommunication mobile

1.1.1 Historique de la télécommunication mobile

La première génération, 1G, est la dénomination des réseaux mobiles analogiques (liaison radio analogique) établis au milieu des années 1980, tel que *l'American Mobile Phone System* (AMPS), le NMT (*Nordic Mobile Telephony*) ou le *Total Access Communication System* (TACS). Ces réseaux offraient des services téléphoniques basiques de type voix à ses utilisateurs.

Le NMT, qui présentait déjà un caractère « international », proposait le concept de « *roaming* », qui permettait à ses utilisateurs d'utiliser ses services en dehors de l'opérateur local. Néanmoins, une des caractéristiques qu'on reprochait à ces types de réseau (1G) était l'incompatibilité entre deux nations différentes dues aux spécifications propres à chaque pays (techniques différentes pour le NMT, l'AMPS, le TACS). Ces types de réseaux mobiles étaient aussi considérés dans le temps comme simplement une sorte de valeur ajoutée au-dessus du réseau de téléphonie fixe.

En raison de l'augmentation du besoin de communication mobile, la nécessité d'établir un système de communication mobile globale survenait également. Des organisations internationales (dont le CEPT) commençaient à établir alors des spécifications pour ce que sera le système de communication mobile de seconde génération (2G). Les principaux points clés, accents de la 2G étaient la compatibilité et la transparence au niveau international. Le système peut être régional ou semi-universel (sur un certain nombre de pays comme l'Europe par exemple), ce qui permet aux utilisateurs d'avoir accès à ce réseau, peu importe l'emplacement où il se trouve dans la région.

Par rapport aux technologies de première génération, dans la 2G, la voix est numérisée, apportant ainsi une amélioration de la capacité et de la qualité de service du système. En plus du service téléphonique classique, ces réseaux sont aussi capables d'offrir en supplément des services de données (data service) ainsi que d'autres services supplémentaires (SMS, etc.). Malgré l'objectif de globalisation de ce type de réseau, plusieurs normalisations apparaissaient toujours et plusieurs systèmes 2G étaient ainsi vus apparaître sur le marché. Un des plus connus, ayant connu un fort succès est le *Global System for Mobile Communications* (GSM) et ses dérivés [1] [2].

1.1.2 Recherches sur la technologie de troisième génération

Les travaux concernant la troisième génération de réseau mobile commençaient déjà dans les années 1980 dans l'ITU (*International Telecommunication Union* ou Union internationale des télécommunications). Le secteur radiocommunication de l'ITU (l'ITU-R) a sorti une première recommandation en 1990, qui définissait le *Future Public Land Mobile Telecommunications Systems* (FPLMTS), révisée en 1997. Le FPLMTS a été renommé par la suite en IMT-2000 (*International Mobile Telecommunication – 2000* ; 2000 pour le déploiement prévu en l'année 2000, la fréquence de W autour de 2000MHz, et le débit avoisinant les 2000Kb/s).

La 3G en Europe a été nommée UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Services*).

La troisième génération (3G), est attendue pour compléter le processus de globalisation de la communication mobile. De ce fait, plusieurs acteurs nationaux, régionaux et internationaux y étaient impliqués.

Néanmoins, la tendance était que la 3G sera basée pour la plupart, sur le réseau GSM pour la raison suivante : le réseau GSM dominait le marché, et les investissements importants que nécessitaient le déploiement des réseaux 2G doivent être remis en valeur le plus possible. Basé à ce principe, la spécification de la 3G prévoit aussi une vision de ce que sera les futures évolutions de la télécommunication mobile. Quelques spécifications, faisant la particularité de cette compatibilité aux systèmes existantes, et la préparation aux évolutions sont listées suivantes :

- Le système doit être pleinement défini et expliqué (comme le GSM) et les principales interfaces utilisées doivent être normalisées et ouvertes. Les spécifications produites doivent être valide mondialement.
- Le système se comportera comme une valeur ajoutée, transparente au GSM. Au moins au départ, le système doit être compatible au GSM.
- Le système doit supporter tout ce qui est multimédia et ses composants.
- Le radio d'accès 3G doit offrir une capacité large bande, qui est assez générique (commune) pour être disponible mondialement.
- Les services finaux pour les utilisateurs doivent être indépendants de la technologie d'accès radio utilisée, et l'infrastructure du réseau ne doit pas limiter les services qui

seront produites. Cela signifie ainsi une séparation entre la plateforme et les services qui utiliseront cette plateforme.

Au même période que le développement de la spécification de la 3G, la tendance de la télécommunication changea aussi. En effet, la communication de données (data communication) connaît un fort essor (Internet, Messagerie). Cela amena à la combinaison de la traditionnelle télécommunication voix et de l'Internet Protocol (IP) dans un même empaquetage : la tendance « Tout IP » apparaissait ainsi. Du point de vue de la 3G, une implémentation à échelle complet d'IP était ainsi définie comme un objectif à part entière lors de sa phase de développement.

Les premières phases de déploiement de la 3G commençaient au début des années 2000. Toutefois, plusieurs variantes de la technologie 3G existent (CDMA 2000, UTRA FDD, etc.) malgré l'objectif d'universalité apparu au départ [1] [2] [3].

1.2 Présentation de quelques standards mobiles existants

1.2.1 La technologie de seconde génération et ses variantes

1.2.1.1 Historique

Le GSM est la variante la plus connue des technologies de seconde génération.

Comme la 3G, dans ses premières versions, se base sur le cœur du réseau GSM, cette partie présente un résumé de cette technologie de seconde génération.

En 1982, le CEPT décida de créer un groupe de travail nommé « Groupe spécial mobile » (nom initial du GSM) qui avait pour tâche de développer une norme pour un système de téléphonie mobile opérant sur des bandes de fréquence avoisinant 900 MHz (GSM 900).

Le groupe est devenu sous la responsabilité de l'ETSI en 1989 et une première phase de spécification concernant le GSM 900 a été établie une année plus tard (GSM Phase 1). Des spécifications concernant l'utilisation du GSM sur la bande de 1800 MHz pour une capacité plus importante, et sur les fréquences 850 MHz et 1900 MHz (utilisées aux Etats-Unis et au Japon) ont été aussi établies. L'acronyme GSM prendra plus tard une nouvelle définition qui sera *Global System for Mobile Communications*.

Les travaux concernant la deuxième phase du GSM (GSM Phase 2) ont été achevés en 1995 et de nouvelles fonctionnalités ont été ainsi ajoutées au GSM (SMS, Appel en attente, etc.). Une autre

série de spécifications du GSM a été accomplie en 1998, qui introduisait le GPRS (*General Packet Radio Service*) et son architecture (GSM Phase 2+), et plus tard le EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) [2] [4].

1.2.1.2 *Accès radio*

Concernant le GSM 900, la bande de fréquence utilisée pour la liaison montante se trouve entre 890 et 915 MHz, et entre 935 et 960 MHz pour la liaison descendante. Le GSM 1800 quant à lui utilise les bandes 1710–1785 MHz pour la liaison montante et 1805–1880 pour la liaison descendante. Ces bandes sont divisées en canaux de 200 KHz.

Comme système de multiplexage, le système d'accès radio du GSM utilise en plus de la division de fréquence FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) un système d'accès multiple par répartition de temps TDMA (*Time Division Multiple Access*). Les porteuses sont divisées dans le temps en 8 intervalles de temps appelé « *time slot* » d'une durée de 0,577 ms chacun [4].

1.2.1.3 *Architecture du système GSM*

L'architecture du réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes (figure 1.01) [5]:

- L'équipement utilisateur,
- le système de station de base (BSS : *Base station Subsystem*)
- et le cœur du réseau (*Core Network*).

Le BSS regroupe l'ensemble des stations de base et de leurs contrôleurs. Les stations de bases assurent la couverture radio des équipements utilisateurs se trouvant dans leurs portés. Les signaux transmis ou reçus sont aussi traités au niveau des stations de bases.

Les opérations effectuées par les stations de bases (BTS Base Transceiver Station) sont contrôlées par les BSC (Base Station Controller). Le BSC gère l'allocation des ressources radio à un mobile particulier, gère la puissance d'émission à utiliser, contrôle l'initialisation et la terminaison des appels, évalue et traite les mesures de signaux effectuées par l'équipement utilisateur et les stations de bases pour effectuer ou non un handover.

L'interface A permet de connecter le BSS à la partie commutation de circuit du GSM (Data link Switching) et l'interface Gb, pour la connexion avec la partie commutation de paquet (GPRS) du cœur du réseau.

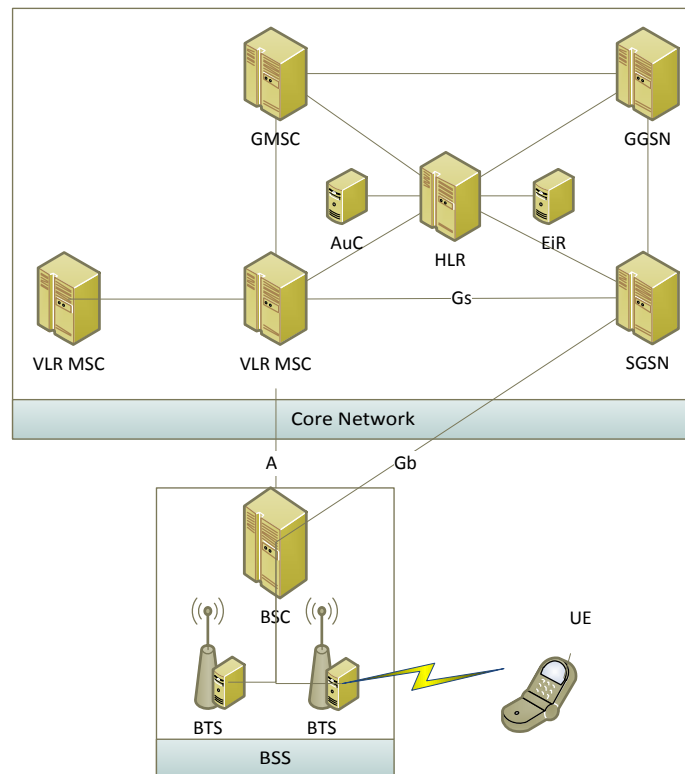


Figure 1.01 : *Architecture du réseau GSM*

Les principaux éléments du cœur du réseau sont :

- Le MSC (*Mobile Switching Center*),
- Le VLR (*Visitor location Register*),
- Le HLR (*Home Location Register*),
- L'AUC (*Authentication Center*),
- L'EIR (*Equipment Identification Register*),
- Le SGSN (*Serving GPRS Support Node*),
- Et le GGSN (*Gateway GPRS Support Node*).

Le rôle principal du MSC consiste à contrôler et à réguler les services fournis par le système, la commutation de paquet et les différentes informations de facturation. En plus de ces fonctions, le MSC doit aussi tenir compte de la mobilité et de l'emplacement de l'utilisateur, qui par conséquent, requiert des fonctions d'identification d'emplacement des stations mobiles (d'où l'existence du HLR et du VLR).

Le VLR est une base de données qui garde les informations concernant les stations mobiles se trouvant dans la zone gérée par le MSC. Ces informations sont collectées lors des initialisations d'appels, au moment où le mobile se connecte au réseau, durant les *handovers* entre deux VLR. L'emplacement de l'utilisateur, l'état du mobile, l'identité du mobile sont des exemples d'informations nécessaires enregistrées dans le VLR.

Le HLR contient les informations concernant chaque mobile souscrit comme le type de souscription, les services autorisés, l'emplacement actuel du mobile, etc.

Le SGSN est l'équivalent du MSC dans la commutation de paquet. Il distribue les services associés à chaque mobile. Il prend également en charge la collecte des informations concernant l'emplacement de l'utilisateur et les données utilisées pour l'authentification. Le SGSN est relié au MSC par l'interface Gs pour permettre à l'un et à l'autre de mettre à jour les informations de localisation.

Le GGSN est l'interface entre le réseau mobile et les réseaux à commutation de paquets externes (comme Internet). Il converti les paquets (venant des UE) reçus par le SGSN en paquets utilisables dans les réseaux de paquets normaux (en PDP ou *Packet Data Protocol*). Après la conversion, les paquets sont retransmis au destinataire. Il effectue l'opération inverse pour les paquets venant de l'extérieur et les retransmet au SGSN servant l'UE.

L'AuC est responsable des actions d'authentification sur le réseau. Il permet de protéger le réseau contre les abonnés illégaux (faux-abonnés) et protège les appels des abonnés normaux.

L'EiR contient la liste des numéros IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) autorisés. Le numéro IMEI, propre à chaque équipement utilisateur, permet d'identifier un équipement [2] [4].

1.2.2 La technologie 3G

UMTS, également appelé système radio mobile troisième génération est vue comme le successeur des systèmes de deuxième génération tel que le GSM et des systèmes 2G évolués comme le GPRS. Il a un système d'accès complètement différent du 2G et est basé sur le CDMA.

Le cœur du réseau, pour les premières versions de cette technologie, se base quand même sur celui de la 2G [6] [7].

Au fil des années, la technologie 3G connaît plusieurs stades d'évolution pour répondre aux demandes de ressource (débit) incessantes (R99, R4, HSPA, etc.).

Le paragraphe 1.3 explique plus de détail concernant cette technologie.

1.2.3 Après la technologie 3G

Le LTE (*Long Terme Evolution*), également appelé 3,9G est une technologie d'accès ayant une architecture et un système de transmission complètement différente de la 3G WCDMA et des dérivés existants de la 3G. Elle a l'avantage d'offrir de débits bien élevés par rapport à la 3G. Ces débits n'atteignent pas cependant 100Mbps, valeur minimale nécessaire pour être candidate à la futur technologie 4G (d'où son appellation 3,9G) [1].

Après des années de conception, la 4G est la technologie mobile supposée succéder la 3G. Les premières phases de déploiement commençaient depuis l'année 2011 dans certains pays. Deux technologies sont candidates à la 4G : Le *Wireless MAN* et la *LTE Advanced*.

1.3 La technologie de troisième génération

1.3.1 Généralité

La 3G, proposé par l'UIT en 1985 sous le nom de FPLMTS ou IMT-2000 (renommé en 1996) (*International Mobile Telecommunication - 2000*) est le successeur prévu de la téléphonie mobile de seconde génération.

Malgré l'objectif d'universalité, plusieurs variantes étaient toujours apparues dont les plus importantes sont :

- Le WCDMA (*Wideband CDMA*) utilisé par la majorité des opérateurs,
- Le CDMA2000 plus connu en Amérique du Nord,
- Et le TD-SCDMA plus connu en Chine.

L'UMTS ou *Universal Mobile Telecommunications System* est la norme 3G européenne, basée sur la technologie WCDMA (d'où son appellation parfois : WCDMA). Elle est aussi la solution 3G préférée de nombreux autres pays et opérateurs qui possèdent déjà un réseau 2G.

La 3GPP est une organisation qui développe les spécifications pour les systèmes 3G basés sur l'interface radio UTRAN et sur l'amélioration du cœur du réseau GSM. Elle est responsable du développement de la technologie UMTS.

La 3GPP2 est l'organisation responsable du développement de la technologie CDMA2000, une autre technologie 3G basée aussi sur le WCDMA. La différence entre les deux organisations (la 3GPP et la 3GPP2) est que : la 3GPP développe de nouveaux interfaces aériens (interface radio) indépendants des systèmes précédents tandis que 3GPP2 se concentre sur le développement de système compatible avec les systèmes IS-95 (IS-95 : standard 2G américain utilisant le CDMA et opérant sur les fréquences 800 et 1900 MHz).

Au départ, l'UIT allouait 230 MHz de fréquence pour la communication mobile 3G IMT-2000 :

- Pour la liaison montante ou *Uplink* : entre 1885 et 2025MHz (largeur de bande : 140 Mhz).
- Et pour la liaison descendante ou *Downlink* : 2110 et 2200MHz (largeur de bande : 90 MHz).

Des bandes de fréquence supplémentaire ont été allouées dans les années 2000 : 806-960MHz ; 1710-1885 MHz et 2500-2690 MHz [7] [8].

1.3.2 Objectif du déploiement de la 3G

Dans la plupart des cas, les déploiements de réseau 3G actuels n'ont pas pour objectif de tout recouvrir et sont plutôt concentrés sur les réseaux urbains encombrés. Ils sont utilisés pour offrir, soit des services à haut débits, soit pour améliorer la capacité afin de gérer les trafics voix dans certaines zones et sont ainsi complémentaires et supplémentaires au réseau GSM.

Les principaux objectifs de la 3G sont de promouvoir la communication multimédia (ajout de nouveaux applications et services) et d'améliorer la qualité de ces services multimédias et des services déjà existants dans l'ancienne technologie 2G.

La 3G est prévue pour être compatible avec les services et applications 2G (GSM) existants, et de nouveaux services sont ajoutés en plus de ces derniers (service multimédia : streaming, service interactif, vidéophonie, etc.) [5] [7].

1.4 Présentation du WCDMA

1.4.1 WCDMA (Wideband - CDMA)

Le système WCDMA utilise en générale les spectres de fréquence suivants : bande de fréquences entre 1920 MHz et 1980 MHz pour la liaison montante et entre 2110 MHz et 2170 MHz pour la liaison descendante.

La technologie WCDMA utilise une paire de fréquence pour pouvoir transmettre sur la liaison montante (ou *Uplink*) et descendante (ou *Downlink*). La bande de fréquence allouée au WCDMA est divisée en plusieurs paires de fréquence (Cette technique est appelée FDD ou *Frequency Division Duplex*).

Chaque fréquence possède une largeur de bande de 5MHz et un écart de 190 MHz sépare deux duplex (illustration : figure 1.02).

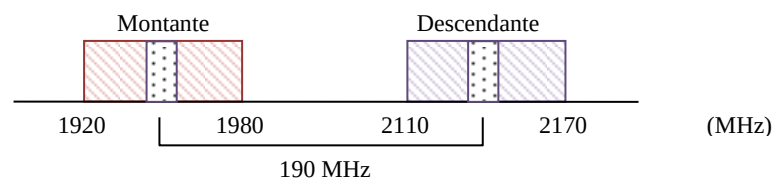


Figure 1.02 : Exemple de bandes de fréquence pour le WCDMA

Certains pays et opérateurs utilisent des bandes de fréquences différentes de celles citées précédemment. Ceci est dû souvent à la non-disponibilité de certaines plages de fréquence dans ces pays. On note par exemple qu'au Japon, on utilise les bandes de fréquence 1710 MHz – 1785 MHz et 1805 MHz – 1880 MHz.

Des numéros permettant une identification plus pratique sont attribués aux fréquences. Ce sont les UARFCN (*UMTS Absolute Radio Frequency Number*). On les obtient par la formule 1.01 suivante où F représente la fréquence centrale :

$$UARFCN = 5 \times F[\text{MHz}] \quad (1.01)$$

Dans le cas du WCDMA, les fréquences doivent être multiples de 200 KHz. Comme une fréquence porteuse a une largeur de 5 MHz, la première fréquence porteuse occupe ainsi la fréquence 1920 MHz - 1925 MHz et sa fréquence centrale se trouve sur 1922,5 MHz (ce n'est pas

un multiple de 200 KHz donc 1922,4 MHz sera considéré comme la première fréquence centrale). Ainsi, le premier UARFCN est le 9612, obtenu à partir de l'équation 1.01.

L'UARFCN du WCDMA varie ainsi entre 9612 et 9888 pour la liaison montante et entre 10562 et 10838 pour la liaison descendante [7] [9].

1.4.2 Chaîne de transmission du système WCDMA

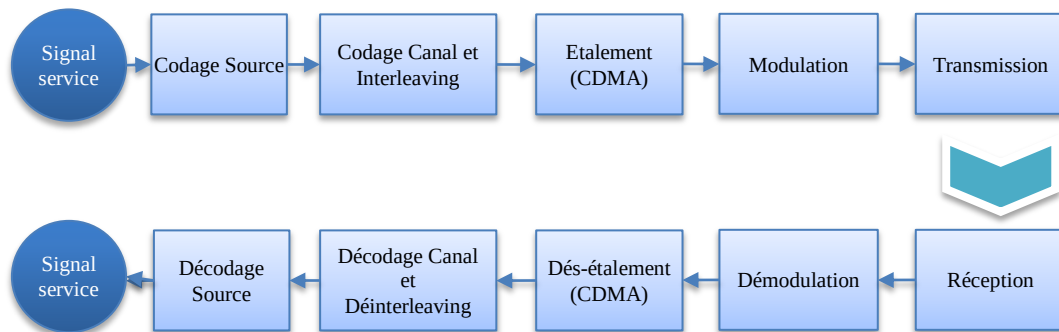


Figure 1.03 : Chaîne de transmission du système WCDMA

1.4.2.2 Codage Source

Le codage source sert à convertir le signal le signal source (tels que les signaux audio), en fonction du système d'encodage choisi, en une séquence de bits. Ces séquences de bits contiennent ainsi les informations nécessaires [7].

Pour les services de type voix, un mécanisme d'adaptation de débit (AMR *adaptive multi-rate* avec 8 niveaux de codage) est utilisé pour pouvoir choisir le type d'encodage en fonction de la qualité du canal (débit, charge, occupation de la cellule, puissance utilisée) ou pour des raisons de compatibilité (exemple : compatibilité avec le système de communication GSM). Une mesure de la qualité est effectuée par le récepteur pendant une communication AMR et le résultat sera envoyé à l'émetteur afin que ce dernier puisse choisir l'encodage optimal pour la communication.

1.4.2.3 Codage Canal

De nombreuses interférences ou atténuations peuvent apparaître durant la transmission.

Le codage canal est utilisé pour surmonter ces influences afin de garantir la fiabilité de la transmission [7] [10].

Plusieurs encodages sont effectués à ce niveau :

- Le codage par bloc : L'encodeur ajoute des bits supplémentaires à chaque bloc de bits, selon un algorithme de calcul des bits à insérer comme le CRC ou Contrôle de Redondance Cyclique. Cette méthode offre la possibilité, à la réception du signal, de détecter si une erreur ou non apparaissait sur un bloc. Ainsi, à partir de la moyenne des erreurs obtenues, elle permet de calculer l'erreur par bloc de bit ou BLER (*Block Error Rate*).
- Pour être plus robuste face aux interférences et éventuellement corriger les erreurs reçues, des codages convolutions sont utilisés après le codage par bloc. On obtient ainsi des mots plus longs que le bloc initial pour un nombre de vocabulaire identique à celui des combinaisons possibles de bit de longueur du bloc initial. Du codage convolution de rendement 1/2 et 1/3 sont utilisés pour le service voix, et des *Turbo code* pour des services nécessitant beaucoup plus de débit comme la vidéo [7] [3].
- *Interleaving* : L'*interleaving* a pour but de distribuer les erreurs successives sur plusieurs blocs. La figure 1.04 suivante représente comment cette répartition se fait :

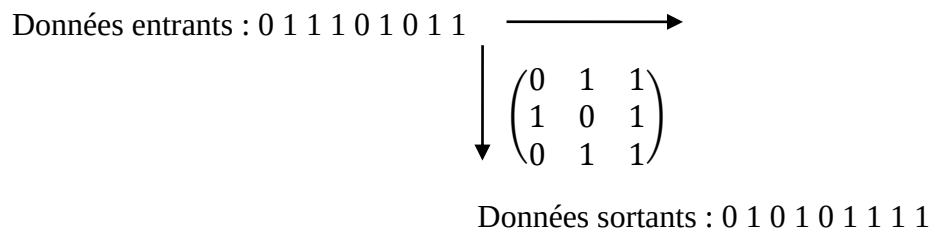


Figure 1.04 : *Interleaving*

Les bits seront ensuite assemblés en plusieurs blocs de bits. Des symboles seront associés aux blocs de bits. Les données obtenues après codage canal et interleaving seront ainsi des symboles.

1.4.2.4 *Etalement ou Spreading*

Le *spreading* a pour objectif d'augmenter la capacité du canal de transmission. C'est à ce niveau que la technique de multiplexage CDMA est appliquée.

a) *Code Division Multiple Access* :

Le CDMA est une technologie de multiplexage des signaux utilisé dans les systèmes 3G incluant le WCDMA.

Contrairement aux technologies de multiplexage TDMA (*Time Division Multiple Access*) ou FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) auxquelles un canal (une fréquence ou un intervalle de temps) entier est alloué à un utilisateur (ou un service), le CDMA permet la transmission de plusieurs services d'utilisateur sur un même canal en même temps. Cela est possible en modulant les différents signaux avec des codes différents. Seul le récepteur qui utilise le même code que l'émetteur d'un signal donné pourra décoder et distinguer le signal qui lui est destiné.

Pour l'étalement (*spreading*), chaque symbole est multiplié par les éléments du code alloué pour l'utilisateur. L'équation 1.02 suivante résume le principe du *spreading* (étalement) [7]:

$$M_c = S \times C \quad (1.02)$$

Où :

- M_c : représente le mot codé,
- S : le signal nécessaire représenté par un symbole (exemple +1 ou -1)
- C : le code à appliquer

L'information envoyée (par CDM *code division multiplex*) sera la somme des mots-codés des utilisateurs. On obtient des chips à ce niveau [7].

$$CDM_{envoyé} [chips] = \sum_{utilisateurs} M_c \quad (1.03)$$

Pour décoder, on applique le code à l'information reçue :

$$S = CDM_{reçu} \times c \quad (1.04)$$

Le tableau suivant (tableau 1.01) montre un exemple de cette technique CDMA où deux signaux de deux UEs (UE1 et UE2) sont envoyés en même temps avec leur code respectif c1 et c2:

UE1	1			
UE2	-1			
c1	-1	1	-1	1
c2	1	1	-1	-1
<u>Spreading</u>				
UE1 × c1	-1	1	-1	1
UE2 × c2	-1	-1	1	1
Information envoyée (CDM)	-2	0	0	2
<u>Dé-spreading</u>				
$S_1 = CDM \times c1$	2	0	0	2
$S_2 = CDM \times c2$	-2	0	0	-2
Somme de S_1	4	(valeur +4 signifie +1)		
Somme de S_2	-4	(valeur -4 signifie -1)		
UE1 reconstitué	1			
UE2 reconstitué	-1			

Tableau 1.01: Exemple de codage et de décodage CDMA

b) Spectre du signal reçu et interférence due aux autres UE.

L'inconvénient majeur du système CDMA est le fait que c'est un système qui interfère à lui-même. Plus on a d'utilisateurs (de canaux), plus le risque d'interférence est élevé ; et les canaux avec des puissances élevées affectent les autres canaux (figure 1.05) [10] [9].

La somme des puissances des signaux envoyés ne doivent pas ainsi dépasser une certaine limite pour pouvoir décoder le signal à la réception (figure 1.06) [2] [7] [9].

c) Principe du spreading

Dans le système WCDMA, le *spreading* consiste à deux étapes (figure 1.07) :

- L'opération de *channelization* (canalisation) qui transforme les données en chips.
- L'opération de *scrambling*, appliquée aux chips de l'étape précédente.

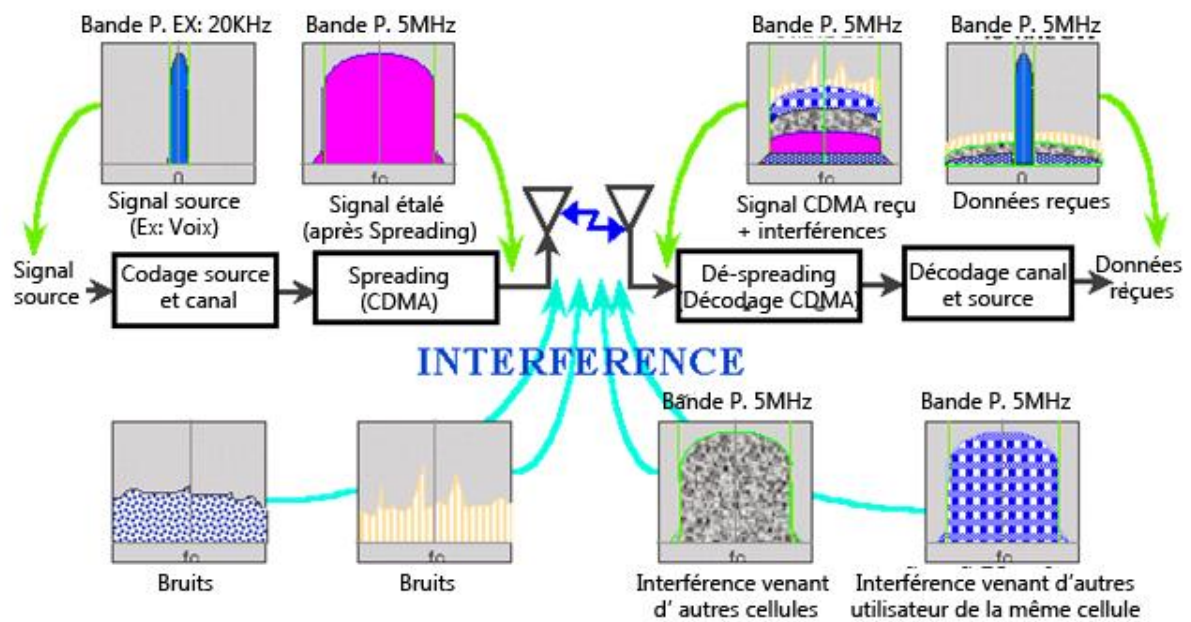


Figure 1.05 : *Interférences affectant le système WCDMA*

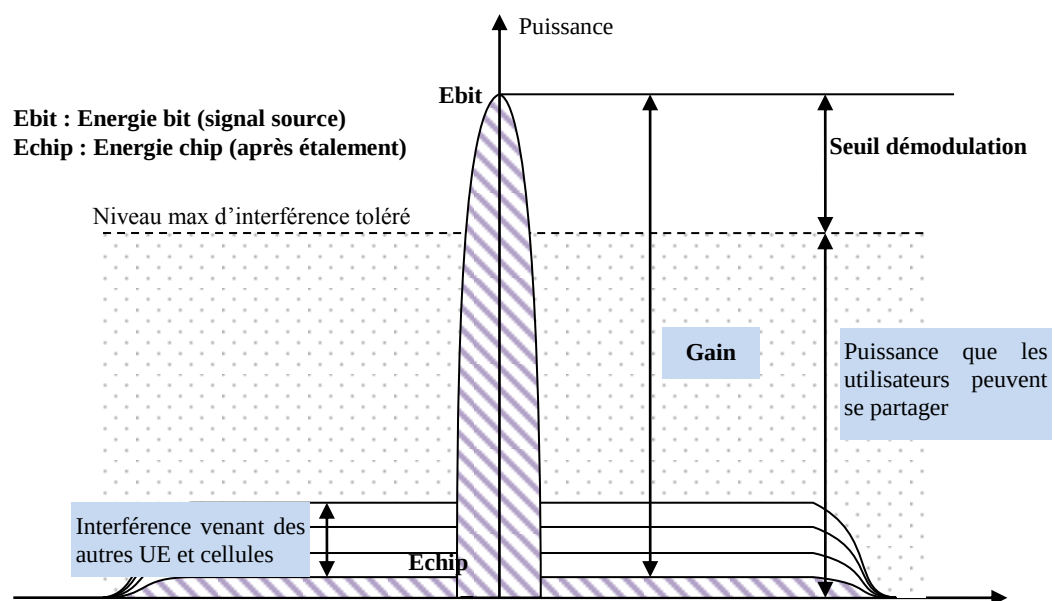


Figure 1.06 : *Interférences sur le spectre du signal à reconstruire*

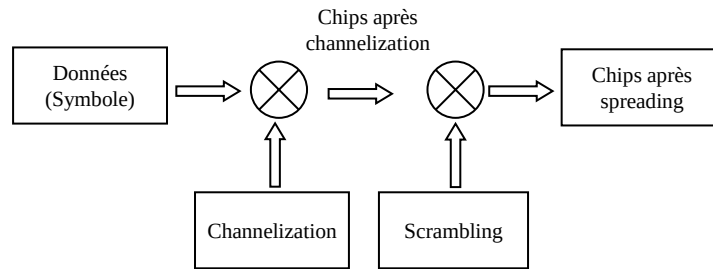


Figure 1.07 : *Channelization*

Les codes utilisés pour le *channelization* sont des codes orthogonaux de type OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) pour garder l'orthogonalité (la séparation distincte) entre les utilisateurs du canal physique. La figure 1.08 montre comment obtenir ces codes (Structure en arbre : +1 branche supérieure, -1 branche inférieure).

Les codes de *channelization* sont définis au format $Cch\ SF, k$, auxquels SF est le spreading factor du code et k est numéro de séquence du code [2] [7].

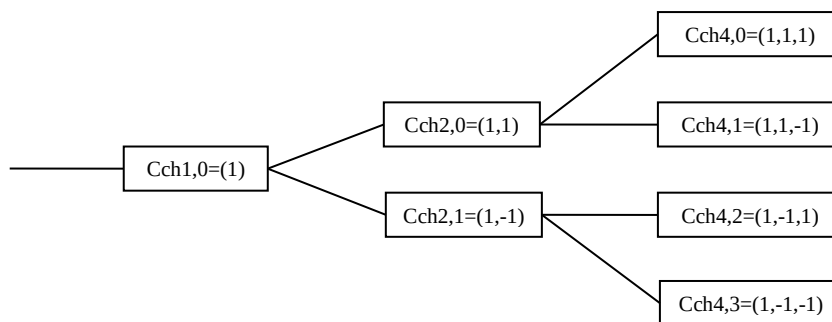


Figure 1.08 : *Exemple pour obtenir des codes à 4 spreading factor*

Les codes de *channelization* permettent de séparer plusieurs canaux sur un même support de transmission.

Pour la liaison descendante (figure 1.09), le code de *channelization* (code OVSF) est utilisé pour séparer différents canaux physique d'une cellule. Le code OVSF est utilisé pour différencier les services utilisés sur une cellule. Le service voix du WCDMA utilise par exemple un SF de 128, ce qui signifie qu'une porteuse WCDMA peut porter jusqu'à 128 services voix en même temps.

Pour la liaison montante, le code de *channelization* est utilisé pour séparer les canaux physiques d'un UE.

Pour la liaison descendante, le *scrambling* est utilisé pour séparer les différentes cellules : chaque cellule est configurée avec des codes de *scrambling* différents. Cela permet à un UE d'identifier la cellule pour la liaison descendante : toutes les cellules envoient des données en même temps, ce qui permet au UE d'identifier la cellule où il est rattaché.

Concernant la liaison montante (figure 1.10), il est utilisé pour séparer les différents UE : chaque utilisateur est configuré avec un code de *scrambling* unique.

Un *scrambling code* peut être composé de deux parties [7]:

- Le groupe de *scrambling code* (le *Scrambling Code Group* et il y a 64 au total), et
- Le *primary scrambling code* : Son numéro dans le groupe auquel il appartient (variant de 0 à 7). Un groupe est donc composé de 8 éléments.

Par exemple, le *scrambling code* 225 fait, par exemple, partie du 28-ème groupe et est l'élément numéro 1 de ce groupe (28 c'est la partie entière de la division $225/8$, et 1 est le reste de cette division).

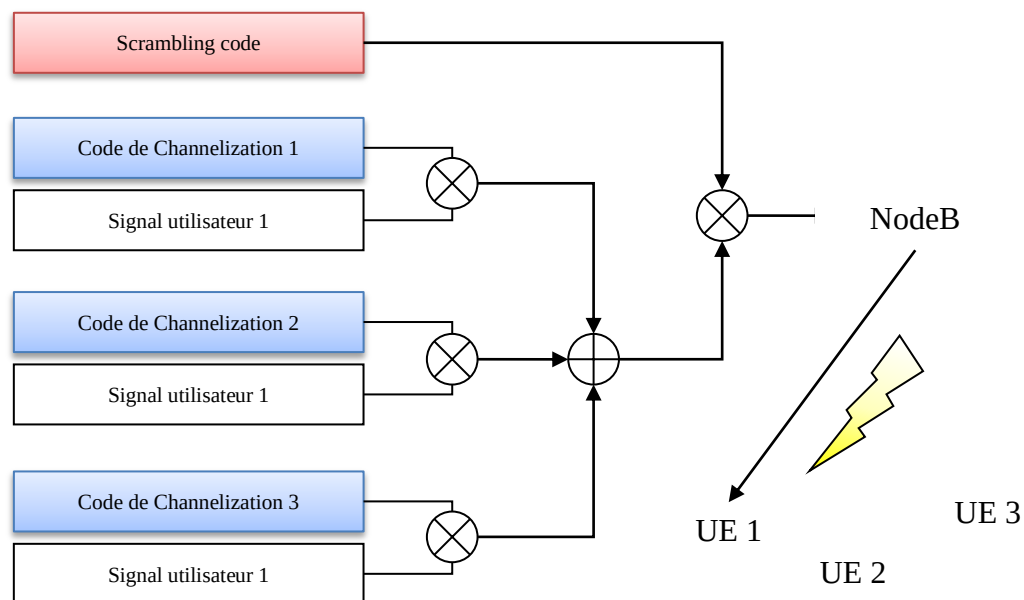


Figure 1.09 : *Transmission downlink au niveau d'une cellule*

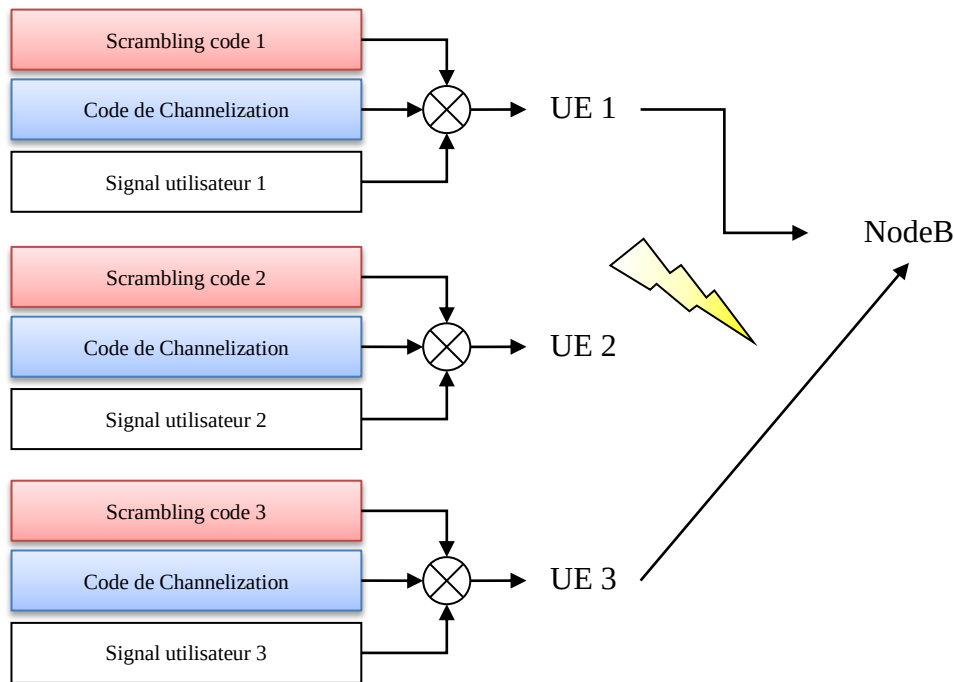


Figure 1.10 : *Transmission downlink au niveau d'une cellule*

A la sortie du *spreading*, on obtient des *chips*. Le calcul du débit chips par seconde (*Cps*) est obtenu par l'équation 1.05 où N_s représente le nombre de symbole envoyé par seconde, et SF le *spreading factor*.

Le WCDMA a un débit d'étalement de 3,84 Mcps (Mega-chips par seconde). [7]

$$Cps = N_s \times SF \quad (1.05)$$

1.4.2.5 **Modulation**

L'interface radio de l'UTRAN utilise la modulation QPSK (*Quadratic Phase Shift Keying*). Le HSDPA utilise en plus du QPSK le 16QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Ce sont des techniques de modulation numérique, utilisées pour transmettre le signal sur l'interface radio (dans l'air). Les données binaires ou numériques sont modulées sur un signal porteur (un signal sinusoïdal).

L'objectif de la modulation est donc de permettre le transport des données (signaux numériques) sur le support de transmission qui est le Faisceau Hertzien.

1.4.2.6 *Transmission*

Le support de transmission du WCDMA est le faisceau hertzien. Plusieurs phénomènes d'interférence et d'atténuation affectent ainsi la transmission. On désigne par « *path loss* » l'ensemble des pertes de niveau de puissance dues au trajet total du signal.

Les atténuations « *fading* » représente un autre type d'atténuation : Le signal envoyé arrive à la destination par plusieurs chemins de transmission (liaison directe, réflexion, réfraction, etc.) ; ces différents signaux multi-trajets s'additionnent et peuvent s'atténuer à cause de la différence de phase.

Pour réduire la conséquence des phénomènes de fading multi-trajet (et même l'exploiter), le WCDMA utilise à la réception des *RAKE Receiver* : C'est une technique qui utilise des corrélateurs de signaux traitant individuellement les signaux multi-trajets. Les sorties de ces corrélateurs sont ensuite assemblées (figure 1.11). Cette technique permet d'exploiter le phénomène multi-trajet pour améliorer la performance du signal. [7]

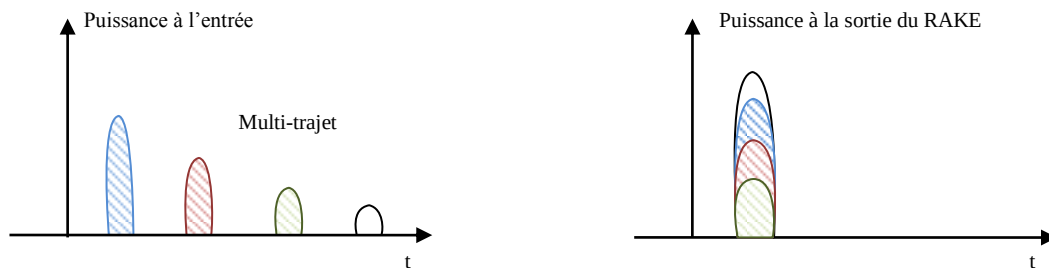


Figure 1.11 : *Le RAKE Receiver additionne les signaux venant des différents trajets*

1.4.2.7 *Architecture du réseau*

Le réseau UMTS est constitué de plusieurs éléments de réseau logique. Les normes du 3GPP définissent leurs fonctionnalités ainsi que ceux des interfaces qui les relient. L'architecture principale du réseau UMTS est appelé également *Public Land Mobile Network* (PLMN) représenté sur la figure 1.12.

Les trois éléments majeurs dans l'architecture UMTS sont : l'UE (*User Equipment* ou équipement utilisateur) qui contient le USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*) de l'utilisateur, l'UTRAN (*Universal Terrestrial Radio Access Network*) pour tout ce qui concerne l'accès radio, et le CN (*Core network* ou réseau cœur). L'UTRAN est basé sur le WCDMA (*Wideband CDMA*).

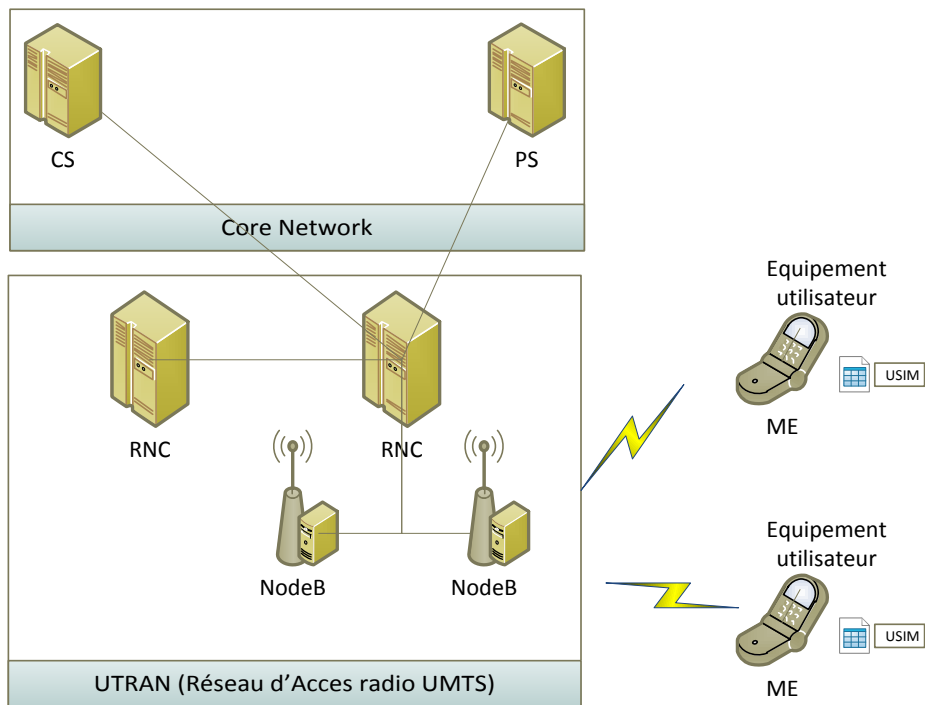


Figure 1.12 : Architecture du réseau UMTS (PLMN)

1.4.3 UE - User Equipment ou équipement utilisateur (terminal mobile, etc.)

Dans un réseau UMTS, le terminal mobile est appelé *User Equipment* (UE). C'est le seul équipement à caractère mobile dans le réseau. Son emplacement et son déplacement influencent considérablement la performance du réseau.

Dans un UE, on peut distinguer deux éléments:

- le *Mobile Equipment* (ME), qui gère les applications et les ressources nécessaires pour les échanges avec le réseau,
- l'*UMTS Subscriber Identity Module* (USIM), une application qui s'exécute sur la carte à puce. Elle contient le code PIN, la procédure d'identification, le ou les langages à utiliser, le répertoire des applications, les identifiants temporaires, les clés de chiffrement et d'authentification, les SMS, MMS, etc. Plusieurs USIM peuvent cohabiter sur la même carte à puce.

L'UE accède au réseau par l'intermédiaire de l'interface logique Uu.

Les équipements utilisateurs sont classés suivant leurs puissances max (tableau 1.02) [11].

<i>Power class</i>	<i>Maximum output power (dBm)</i>	<i>Tolerance (dB)</i>
1	33	+1/-3
2	27	+1/-3
3	24	+1/-3
4	21	+/-2

Tableau 1.02: Classe de puissance des UEs

1.4.4 UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network)

L'UTRAN est responsable de la gestion et de l'utilisation (manipulation) de l'accès radio pour l'UE. Il comprend un ou plusieurs *Radio Network Sub-System* (RNS) qui contiennent un ou plusieurs *Radio Network Controller* (RNC) auxquels un ou plusieurs *NodeBs* y sont connectés.

Un *NodeB*, qui fait office de station de base dans l'UMTS, effectue les opérations de la couche physique comme le codage canal, la modulation, etc. ainsi que des opérations basiques de RRM (*Radio Ressource Management*).

Le RNC est responsable du contrôle et de l'allocation des ressources aux *NodeBs* connectés (attribution des codes, etc.). Il contient ainsi la plupart des fonctionnalités de RRM, comme le call admission et le contrôle des handovers. Le RNC est lié aux *NodeBs* par l'interface logique IuB, et au *Core Network* par l'interface Iu. [7]

L'UTRAN permet d'effectuer des *soft-handovers* (SHO) où un utilisateur peut être connecté à plusieurs *NodeBs* en même temps. L'interface Iur qui lie deux RNCs est utilisée pour l'échange d'information dans ce cas.

Un RNS gère l'allocation et la libération des ressources radio spécifiques pour l'initiation des connexions entre l'UE et l'UTRAN. Un *NodeB* est connecté au RNC par l'interface logique Iub (le lien peut être virtuel ou un lien physique). Dans l'UTRAN, les RNCs d'un RNS peuvent être interconnectés ensemble par les interfaces Iur.

Un *NodeB* ou une station de base (base station) est un nœud d'accès à l'UTRAN. Il contient les équipements de transmission radio (comme l'antenne, les émetteurs) et manipule la transmission radio entre l'UE et le/les cellules (modulation, codage canal, etc.). Il est connecté au RNC par

l'interface Iub. En plus d'assurer la couverture, il prélève la qualité du signal pour la gestion du RRM et la décision du *handover*.

Le RNC contrôle l'utilisation et l'intégrité des ressources radios comme les porteuses, les *spreading codes*, les *scrambling codes*, la puissance, etc. Il est aussi responsable de la connexion radio d'un UE à l'UTRAN par l'intermédiaire du *NodeB* (il gère les *NodeBs*). Les principales fonctions du RNC sont les suivants:

- Contrôle des ressources radio (*Radio Resource Control*)
- Contrôle d'admission (*Admission Control*)
- Allocation des canaux (*Channel Allocation*)
- Contrôle des *handover*
- Contrôle et configuration de la puissance utilisée (*Open Loop Power Control*)
- Chiffrement des signaux
- Diffusion des signaux

1.4.5 CN (Core Network)

Contrairement à l'UE et l'UTRAN, le CN adopté pour l'UMTS (CN du *release 99*) est celui du GSM afin d'assurer l'interopérabilité entre le GSM et l'UMTS. Les principaux éléments du CN sont présentés sur la figure 1.13 pour le *release 99* [12] [2] [10].

Le HLR (*Home Location Register*) sert de base de données centrale à l'UMTS et contient ainsi toutes les informations pertinentes concernant les utilisateurs. Ces informations incluent le numéro de téléphone, les services associés, les priorités d'accès, des clés de sécurité etc. A part des informations statiques, le HLR enregistre aussi l'emplacement courant de l'utilisateur qui est mis à jour dynamiquement.

Le CN contient au moins un MSC (*Mobile Services Switching Center*). Le MSC est un centre de commutation numérique intelligent, qui est responsable de la manipulation des appels pour les appels de type commutation de circuit (*Circuit Switched* ou CS) : initiation des appels, routage, gestion de la mobilité, etc.

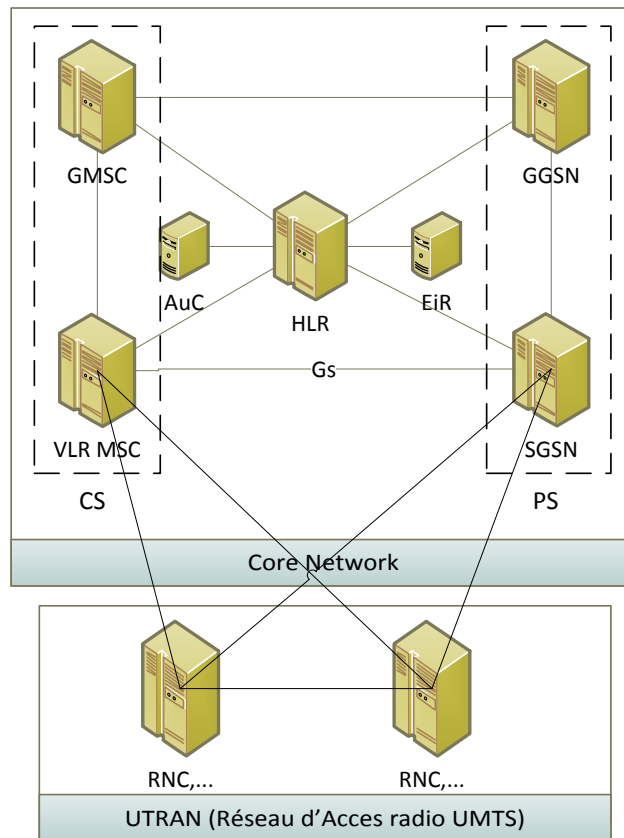


Figure 1.13 : *Core Network de l'UMTS (release 99)*

Le MSC est connecté au RNC par l'interface Iu (Iu-CS) et aux autres réseaux (autres opérateurs, réseaux téléphoniques fixes, etc.) par le GMSC. Souvent faisant partie du MSC, le VLR ou *Visitor Location Register* est une base de données qui contient des copies des profils, et des informations courantes concernant les utilisateurs servis par le MSC. Ces informations sont issues des informations stockées dans le HLR.

Le SGSN et le GGSN ont les mêmes rôles que le MSC et le GMSC pour les trafics de type commutation de paquets (*Packet Switched* ou *PS*).

La principale fonction du *Core Network* est de permettre le routage, la commutation (*switching*), le transit des trafics entre les utilisateurs, etc. Il contient aussi les bases de données et les fonctions nécessaires pour la gestion du réseau. L'architecture du CN de l'UMTS *release 99* est basée sur celle du réseau GSM avec GPRS.

Le cœur du réseau peut être catégorisé en deux domaines : domaine à commutation de paquets et à commutation de circuit :

- Éléments propres au domaine à commutation de circuit : MSC, VLR, Gateway MSC.
- Éléments propres au domaine à commutation de paquet : SGSN, GGSN.
- Éléments en commun : EIR, HLR, VLR, AUC.

1.4.6 Version du réseau WCDMA

La 3GPP est l'organisme responsable du développement de l'UMTS. Elle a pour rôle de gérer les travaux de recherches afin de développer et d'améliorer la 3G.

Concernant le WCDMA, il en existe plusieurs versions appelé release, sorties par la 3GPP (*release 99* (R99), R4, R5, etc.) [10] :

- R99 ou *release 99*: première formulation des spécifications du 3G (99 pour 1999 : année prévue pour l'achèvement de cette première version). Le cœur du réseau ne diffère pas du GSM (MSC, VLR, HLR,...), permettant ainsi aux opérateurs de migrer doucement vers la 3G. [13]
- R4 : Le MSC est divisé en MSC *Server* et MGW (*Media Gateway*). Un SGW est ajouté et le HLR peut être remplacé par le HSS. L'annexe 2 présente quelques détails sur ce release.
- R5 : Support de la communication VoIP bout à bout, et le cœur du réseau utilise de nouvelles entités avec de nouvelles fonctions. Support du HSDPA permettant des débits élevés.
- R6 : Support du HSUPA offrant des débits élevés pour la liaison montante. Support du *Multimedia Broadcast Multicast Service* (MBMS) ou service de diffusion multimédia.
- R7 : HSPA+ (MIMO et nouvelle technique de modulation) ; permettant d'atteindre des débits jusqu'à 28Mb/s pour DL et 11mb/s pour UL.

A partir du Release 8 : Description et amélioration du 3G LTE, utilisant la technologie de multiplexage OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) au lieu du CDMA. Pour la technologie LTE, le débit peut atteindre jusqu'à 50 Mb/s pour le *Downlink* et 100 Mb/s pour l'*uplink*.

1.5 Protocoles de l'UTRAN

1.5.1 Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)

L'objectif principal de l'UTRAN ou réseau d'accès radio de l'UMTS est d'offrir des supports de services UMTS (*UMTS bearer services*) entre le réseau cœur CN et le RNC, entre deux RNC ou entre le RNC et le *NodeB*. Cela signifie qu'il a pour rôle d'assurer que l'UE accède au CN (au réseau cœur) [3].

Un support de service ou « *bearer* » est caractérisé par les ressources qui lui sont associées, en particulier le débit, les QoS requis par le type de service (délai, le nombre de canal requis, etc.), le type de modulation dans le cas du HSPA, etc.

Les différents éléments du protocole de l'UTRAN sont représentés sur la figure 1.14. On distingue la couche physique PHY (couche 1), la couche liaison de données (couche 2), et la couche réseau (couche 3). Ces couches font parties de l'*access stratum* (section 1.5.3).

La couche 1 est localisée sur les *NodeBs*, et la couche 2 et la partie UTRAN de la couche 3 sont situées au niveau du RNC.

Dans l'UTRAN, l'*User Plane (U-Plane)* qui définit la partie qui traite les données de l'utilisateur, et le *Control Plane (C-Plane)* qui s'occupe du contrôle des informations sont séparés.

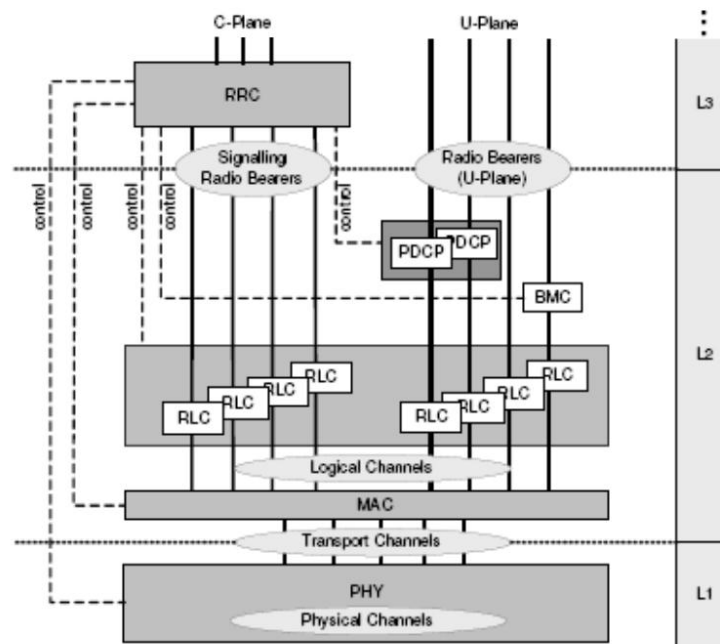


Figure 1.14 : Radio Interface Protocole de l'UTRAN

1.5.2 Protocoles de l'UTRAN

Les protocoles qui se trouvent derrière les interfaces reliant deux éléments (NodeB-RNC, RNC-RNC, RNC-CN) peuvent être divisés en deux catégories : L'*User Plane* et le *Control Plane* (plane pour horizontale).

Le *Control Plane* est utilisé pour contrôler le support d'accès radio (RAB : *Radio Access Bearer*) et la connexion entre l'UE et le réseau.

Les protocoles de type *User Plane* appliquent les services RAB (*Radio Access Bearer*) portant les données de l'utilisateur à travers l'*Access Stratum*.

1.5.3 Access stratum

Le mot « *Stratum* » définit la manière dont les protocoles d'une même fonctionnalité (même aspect de service) sont groupés [13].

L' *access stratum* (AS) contient toutes les fonctions d'accès spécifique comme la coordination des ressources radio entre l'UE et l'UTRAN, la gestion des RAB (support d'accès radio), la bande passante radio en fonction de la demande, le handover etc.

Il se décompose en 3 sous-couches (la couche physique, la couche liaison de données et la couche réseau) [13] [7] [3].

1.5.3.1 Couche 1 ou couche physique

La couche physique PHY (située au niveau du *NodeB*), comme son nom l'indique, comporte toutes les fonctions nécessaires pour transmettre les données sur le support de transmission (modulation, étalement, codage/décodage, adaptation de débits, contrôle de puissance, etc.) ainsi que des fonctions de mesures (mesures des *Blocks Error Rate*) [14].

La couche physique fournit des canaux de transport pour la transmission des données de la couche 2 et des informations de contrôle, et les fait correspondre aux canaux physiques correspondants comme ce qui est montré sur la figure 1.15

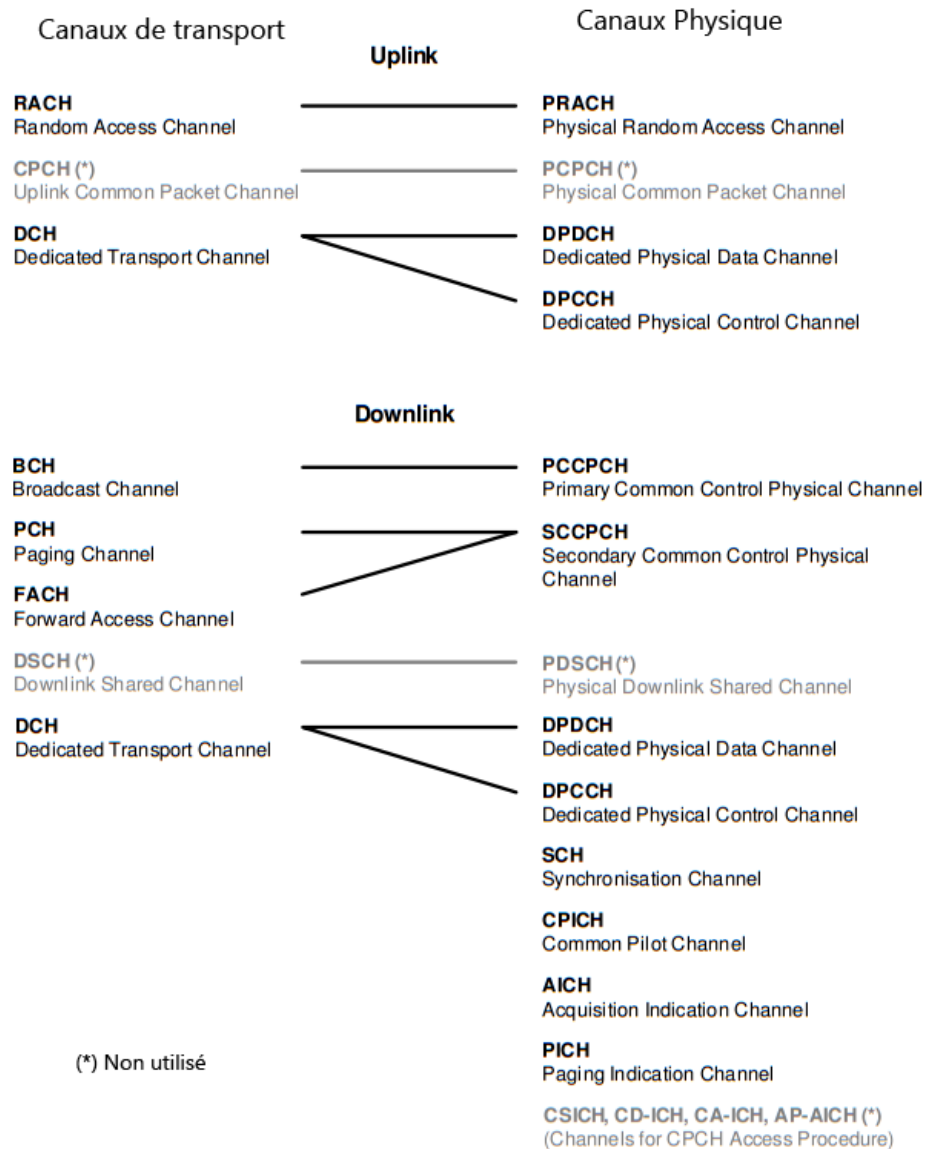


Figure 1.15 : Canaux de transport et canaux physique de l'UTRAN

1.5.3.2 Couche 2 ou couche liaison des données

Cette couche (située au niveau du RNC) est responsable des fonctions telles que le chiffrement, la retransmission, la segmentation. Les rôles des différents éléments de cette couche sont [7] [15] :

- **L2/MAC (couche MAC) :** transfert de données, réallocation des ressources radio et des paramètres MAC (reconfiguration des fonctions de la couche MAC comme le changement d'identité de l'UE), reportings des mesures (qualité, quantité de trafic).
- **L2/RLC (Radio Link Control) :** transfert des données depuis l'utilisateur ou du *control plane* sur l'interface radio. Deux différents modes de transfert sont utilisés : transparent

(transport des données sans contrôles) et non-transparent (ajout de contrôle d'erreur : avec des ACK et des NACK). Elle permet ainsi la notification des erreurs irrécupérables.

- L2/PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) : permet l'utilisation (l'implémentation) de certains protocoles sans modifier la structure du protocole UTRAN.
- L2/BMC (*Broadcast/Multicast Control Protocol*). Les principales fonctions du BMC sont :
 - Sauvegarde des messages venant des cellules,
 - Surveillance du volume du trafic et des requêtes de ressource radio,
 - Planification et envoi des messages *broadcast* (ou *multicast*), vers les utilisateurs (ou groupe d'utilisateur).
- Autres fonctions : chiffrement, segmentation/ré-assemblage, correction des erreurs (effectuée par retransmission), contrôle des flux, etc.

1.5.3.3 *Couche 3 ou couche réseau*

Cette couche est divisée en deux parties : l'*access stratum* et le *non access stratum*. La partie *access stratum* est faite de RRC (*Radio Resource Control*) et de « duplication avoidance entity ».

Les principales fonctions du RRC [7] [15] sont listées ci-dessous :

- Etablit, ré-établit, maintient et arrête une connexion RRC (*Radio Resource Control*) entre l'UE et l'UTRAN : cela peut inclure la re-sélection de cellule, des contrôles d'admissions.
- Etablit, reconfigure le support d'accès radio : Un certain nombre de support (*bearer*) peuvent être établies pour un UE à un moment donné. Ces porteuses sont configurées en fonction des QoS requis. Le RRC est aussi en charge d'assurer que les QoS requis sont respectés.
- Assignation, reconfiguration, et libération des ressources radio (les codes, les canaux). pour les connexions RRC. Par exemple : Le RRC communique à l'UE les nouvelles ressources allouées quand un *handover* est effectué.
- *Paging* (logs), notification : notification des informations du réseau vers l'UE. Le RRC informe les informations de *paging* du réseau à l'UE.
- Diffuse les informations venant du non-access stratum et de l'access stratum.
- Pour les mesures du canal : par exemple, le RRC indique au UE, quoi mesurer et quoi faire.

- Contrôle du chiffrement.

1.5.4 Non Access Stratum

Le *non-access stratum* (NAS) regroupe tous les protocoles et fonctions qui sont utilisés pour manipuler les services utilisateurs (activité entre le UE et le CN), comme le contrôle d'appel, l'identification de l'UE sur le réseau à travers l'IMSI, la signalisation sur le cœur du réseau, la sélection du réseau, et la gestion de la session.

Le RAB (ou *Radio Access Bearer*) est un service que l'AS fournit au NAS pour le transfert des données utilisateurs entre l'UE et le cœur du réseau. Un *bearer* (RAB) est décrit par une série de paramètres (débits, nombre de canal, liaison Uplink ou Downlink, etc.) qui définit la qualité du service ou l'aspect du trafic d'un service (CS, PS).

1.5.5 Les canaux UMTS/WCDMA

Afin de transporter les données et les informations de contrôles, plusieurs types de canaux sont utilisés dans le système UMTS.

Les données transportées par la transmission UMTS/WCDMA sont organisées en trames, en slots et en canaux (*channel*). De cette manière, toutes les données nécessaires ainsi que les données de contrôle et de statuts peuvent être portées et transmises de manière efficace.

L'UMTS utilise la technique CDMA (WCDMA) comme technologie d'accès multiple, mais additionné à cela, il utilise aussi des techniques de time division (répartition en temps) sous forme de slot et de trame pour la structure complète des canaux. Ainsi, la plupart des canaux est constituée de trame et de *time slots* (intervalle de temps). Un canal est divisé en des trames de 10ms, qui possèdent chacun 15 intervalle de temps d'une durée de 666 ms environs (10ms/15).

Les canaux sont organisés en trois catégories : les canaux logiques, les canaux de transport et les canaux physiques. Les canaux logiques définissent la manière dont les données seront transmises, les canaux de transport définissent la manière dont les canaux logiques seront portés, et les canaux physiques transportent les données et gère les caractéristiques physiques du signal (figure 1.15).

Les canaux sont organisés de façon à ce que les canaux logiques sont reliés à ce qu'ils transportent. Un ensemble de types de couche logique est défini pour les différentes sortes de services de transfert de données. La couche MAC (figure 1.14) offre les services de transfert des

données aux couches logiques. La couche physique permet le transport des données sur le support physique de transmission [2] [7] [15].

L'annexe 1 décrit quelques canaux présents dans le système WCDMA.

1.6 RRM (Radio Ressource Management) dans la 3G

1.6.1 Problèmes engendrés par le CDMA

La QoS d'un abonné peut être améliorée en augmentant la puissance de transmission de l'abonné ; cependant, une telle amélioration peut conduire à la détérioration de la qualité de réception des autres abonnés du fait que le CDMA est un système qui interfère à lui-même : ceux qui émettent à des puissances élevées (donc la puissance reçue par la BS venant de ces UEs sont élevées) vont masquer ceux qui émettent à des puissances plus faibles (paragraphe 1.4.2.4 et section b).

Autre problème rencontré : Le « *Near-far effect* » (s'applique sur la liaison montante) : si toutes les stations mobiles d'une cellule émettent à des puissances équivalentes, ceux qui se trouvent près du centre de la cellule (près de la station de base) vont masquer ceux qui se trouvent à des distances éloignées du fait que la puissance reçue par le *NodeB* de l'UE éloigné sera faible par rapport à celle de la MS près du BS.

1.6.2 Objectifs du RRM

L'objectif du RRM est de fournir une couverture optimale, une capacité maximum et garantir les QoS requis : Le WCDMA est un système qui interfère à lui-même, ainsi il est nécessaire de bien gérer la puissance utilisée, les ressources utilisées, assurer l'utilisation efficace des ressources physiques [2] [7].

Un algorithme de RRM est implémenté au niveau de la couche RRC. Il permet de limiter par exemple la puissance d'émission d'un UE particulier. Les procédures et étapes fondamentales d'un RRM sont les suivantes :

- *Measurement control* : quoi et quelle quantité mesurer ? comment faire pour rapporter les mesures.
- *Measurement* (UE, *nodeB*, RNC) : à quels niveaux les mesures seront faites ?
- *Measurement report* : Compte-rendu (rapport) des mesures

- *Judgement* : Prise de la décision à prendre (exemple : diminuer la puissance d'émission d'un UE).
- Exécution suite à la décision.

La couche RRC envoie les paramètres de contrôle à la couche 2 (RNC), à la couche 1 (NodeB) ou au UE, par des messages de contrôle de mesure (*Measurement control message*).

L'UE, le NodeB, le RNC vont effectuer les mesures nécessaires en fonction des paramètres qu'ils ont reçus et envoient le résultat de ces mesures à la couche RRC par des « *measurement reports* ». La couche RRC prendra ensuite les décisions nécessaires pour l'allocation et la distribution des ressources en fonction des « *measurement reports* » qu'elle a reçus et des ressources disponibles. Le RRC signale ensuite la couche 1 (NodeB), la couche 2 (RNC) et l'UE pour exécuter la décision prise.

1.7 Handover

1.7.1 Définition

Un *handover* consiste à maintenir la communication établie par un utilisateur lorsqu'il passe d'une cellule à une autre.

On distingue trois types de *handover* dans le système WCDMA :

- *Hard handover* : un *handover* inter RAT (*Radio Access Technology*), c'est à dire entre deux technologies différentes (exemple: entre GSM et WCDMA).
- *Soft handover* : un *handover* entre 2 cellules de différents nodeB.
- *Softer handover* : un *handover* entre 2 cellules d'un même site (gérés par un même NodeB).

1.8 Conclusion

La 3G, également appelé UMTS ou WCDMA, est une technologie de communication mobile.

Elle possède un réseau d'accès radio complètement différent du GSM, qui est basé sur la technologie WCDMA. Pour permettre le transport de plusieurs services d'utilisateur, elle utilise la technologie de multiplexage par code (CDMA). Cela permet de transporter tous les services de

toutes les cellules du réseau sur une même bande de fréquence (une large bande de fréquence d'environ 5 MHz). Elle rend quand même le système sensible aux interférences dues au système lui-même (interférences des autres UEs sur un UE, interférence des cellules voisines sur un UE).

Dans sa version de départ, son réseau cœur a été prévu pour être compatible avec le réseau cœur existant du GSM.

L'organisme 3GPP est responsable de sa maintenance. Plusieurs versions et améliorations, appelées *release* ont été élaborées depuis la première version, la *release 99*.

CHAPITRE 2

DIMENSIONNEMENT DU RESEAU RADIO DE LA 3G

2.1 Introduction à la planification du réseau d'accès radio

La planification radio (appelée également « *radio design* »), est un ensemble d'études et d'analyses faites afin d'étendre le réseau d'accès radio (RAN ou *Radio Access Network*). C'est une étape cruciale avant toutes décisions de construction de nouveaux sites.

L'interface radio de la 3G est basée sur la technologie WCDMA. De ce fait, le processus de planification du réseau d'accès radio de la 3G diffère de celui du GSM (qui est basé sur la technologie TDMA).

Dans les systèmes 2G, la planification initiale est centrée sur l'estimation du nombre de sites nécessaires pour couvrir une zone définie, et cela se fait, dans la plupart des cas, indépendamment de la distribution et du volume du trafic. Une fois cette couverture assurée, des améliorations de la capacité sont souvent effectuées en ajoutant plus d'équipements sur ces zones. [6]

Dans le WCDMA, la couverture dépend de la distribution du trafic des utilisateurs, des services et de l'intensité du trafic. Cela est dû, d'une part, à des contraintes de liaison (la limite de la puissance de la station de base qui sera partagée pour les différents UE dans le cas du *downlink*, et l'interférence engendré par un UE sur un autre dans le cas de l'*uplink*), et d'autre part, dû à la nécessité de fournir le rapport signal sur bruit E_b/N_o requis par chaque service.

Concernant la planification des cellules, le WCDMA ne tient pas compte de la planification de fréquence du fait que les cellules du WCDMA utilisent les mêmes bandes de fréquence. A la place de cela, on planifie les *scrambling-codes*, des codes utilisés pour différencier les cellules [16] [17].

La planification du réseau WCDMA peut être divisée en plusieurs étapes [17] [16] :

- Le dimensionnement du réseau
- La pré-planification du réseau et la planification des cellules du réseau
- La simulation
- Le « *site survey* » (descente sur site pour l'inspecter)
- La phase de déploiement et de paramétrage

Après la phase de déploiement viennent des différents tests, des surveillances et des paramétrages afin d'optimiser la couverture du réseau.

Ce chapitre a pour objectif de montrer les détails concernant la phase de dimensionnement. Le chapitre 3 présente l'importance de la phase de planification détaillée (planification des cellules et simulation).

2.2 Dimensionnement du réseau

2.2.1 Définition

Le dimensionnement du réseau est une analyse simplifiée du réseau radio. Il offre une première évaluation du nombre d'éléments du réseau (nombre de *NodeBs*, et de cellules) ainsi que la capacité associée à ces éléments. Le but de la phase de dimensionnement est d'estimer la densité et la configuration des sites de la zone qui intéresse (avoir une échelle du réseau) en se basant sur les paramètres suivantes :

- La couverture :
 - La région à couvrir
 - Les informations concernant les zones à couvrir
 - Les conditions de propagations
- La capacité
 - Les informations concernant la densité du trafic
 - Les bandes de spectres disponibles
 - Estimation du nombre d'abonnés (données marketing)
- La qualité de service
 - Probabilité d'erreur
 - Les types de services à offrir aux utilisateurs finaux

L'activité de dimensionnement inclut : le calcul du bilan de liaison, le choix du modèle de propagation, l'estimation des rayons des cellules, du nombre de cellules et des équipements nécessaires (figure 2.01).

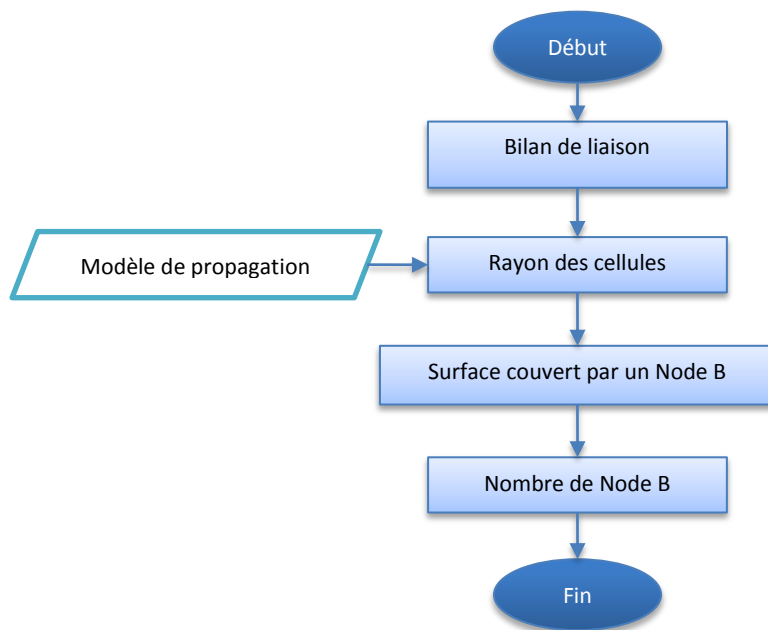


Figure 2.01 : *Dimensionnement de la couverture*

2.2.2 Bilan de liaison

2.2.2.1 Définition

Le calcul du bilan de liaison a pour objectif de déterminer quelle sera la perte maximale autorisée sur le lien de transmission (*Maximum Allowed Path Loss* ou MAPL).

Les étapes du calcul du bilan de liaison prennent en compte la puissance du signal émise, les différentes pertes et atténuations subies par le signal, les gains et la sensibilité du récepteur.

Parmi les éléments qui interviennent dans le calcul du bilan de liaison pour le WCDMA, le calcul inclut la marge d'interférence ou « *Interference Margin* » (section *m* de ce paragraphe), qui est le niveau de bruit engendré par de trop importantes charges de la cellule. Cela signifie qu'en augmentant la charge de la cellule (un débit élevé ou une augmentation du nombre des utilisateurs), la zone de couverture diminue. C'est pour cette raison que la couverture d'une cellule et sa capacité sont liées.

On peut prédéfinir manuellement les paramètres (les gains, les atténuations, etc.), et calculer manuellement le bilan de liaison entre deux points. L'utilisation d'un outil de simulation permet quand même d'ignorer cette étape, et facilite la détermination du niveau de signal sur chaque point d'une région donnée (chapitre 3) [16].

2.2.2.2 Calcul du Bilan de liaison

Exemple Bilan de liaison	Gain ou perte	Gain ou perte	Commentaires
Débit (kb/s)	<i>UPLINK</i> 64,00	<i>DOWNLINK</i> 64,00	Débits en kb/s (<i>Dkbps</i>)
Emission			
Puissance d'émission (dBm)	24,00	30,00	<i>a</i>
Cable Loss (dB)	0,00	3,00	<i>b</i>
Body Loss (dB)	0,00	0,00	<i>c</i>
Gain de l'antenne d'émission (dB)	0,00	18,00	<i>d</i>
<i>ERP (dBm)</i>	24,00	45,00	$e = a - b - c + d$
Réception			
Gain de l'antenne du NodeB (dB)	18,00	0,00	<i>f</i>
Cable Loss (dB)	3,00	0,00	<i>g</i>
Body Loss (dB)	0,00	0,00	<i>h</i>
Noise Figure (dB)	2,00	2,00	<i>i</i>
Eb/No requis (dB)	6,00	7,00	<i>j</i>
Process Gain (dB)	17,78	17,78	$k = -10\log(\frac{3840}{Dkbps})$
<i>Sensibilité du récepteur (dBm)</i>	-117,78	-116,78	$l = j + (-108 + i) - k$
Charge du lien	50%	30%	<i>m</i>
Noise Rise (dB)	3,01	1,55	$n = -10 \cdot \log(1 - m)$
Gain handover (dB)	2,00	2,00	<i>o</i>
<i>Puissance minimale nécessaire à la réception (dBm)</i>	-130,77	-113,23	$p = l - f + n + o$
Lien			
Marge de Slowfading (dB)	7,00	7,00	<i>q</i>
Penetration Loss (dB)	0,00	0,00	<i>r</i>
Path Loss tolérée (dB)	147,77	151,23	$s = e - p - q - r$

Tableau 2.01: Exemple de calcul du bilan de liaison

Les différents éléments faisant parties du calcul du bilan de liaison sont décrits ci-dessous.

b) Puissance d'émission (dBm)

Dans le cas de la liaison montante, c'est la puissance d'émission de l'UE [7].

La puissance d'émission maximum d'un UE est déterminée par sa classe de puissance, qui est spécifiée par les normes de la 3GPP. Le tableau 2.02 présente des exemples de classe de puissance définie par la norme TS 25.101. du 3GPP [10] [11].

Plus la puissance d'émission de l'UE est élevée, plus le signal émis est probable d'atteindre une distance plus importante en tenant compte des différents autres paramètres d'atténuation du bilan de liaison.

Classe de l'UE	Puissance Maximum (dBm)
1	33
2	27
3	24
4	21

Tableau 2.02: *Classe de puissance des UE*

La plupart des UE disponibles sur le marché (téléphone mobile, modem) sont de classes 3 et 4.

Pour la liaison descendante, c'est la puissance du canal physique dédié pour transporter le service de l'utilisateur. Cette valeur dépend du choix de l'opérateur mais doit être calibrée pour ne pas augmenter l'interférence, et du fait que la puissance d'émission du *NodeB* est quand même limitée (Exemple : 40Watts au max pour tous les UEs servis). On peut prendre par exemple une valeur à peu près identique à la puissance d'émission des UEs : 30dBm [16].

c) *Body Loss (dB)*

Le fait que l'UE se trouve très près de l'utilisateur (exemple près de sa tête) engendre une atténuation du signal émis (ou reçu dans le cas du *downlink*). Pour le service de type voix, on considère la valeur de cette perte, égale à $-3dB$. Pour les autres services, comme l'UE se trouve généralement à une certaine distance du corps de l'utilisateur, (il le tient par exemple dans sa main) on le considère à $0dB$ [16].

d) *Cable Loss UE (dB)*

C'est la perte due à la liaison entre l'équipement et l'antenne. Comme les UEs (téléphones, modem USB, etc.) actuels ne disposent plus d'antenne externe, en générale, on considère sa valeur comme nulle (égal à $0dB$) [18].

e) *Gain de l'antenne émettrice de l'UE (dBi)*

Comme les UEs (téléphones, tablette, modem USB, etc.) actuels ne disposent plus d'antenne externe, en générale, on considère que le gain de l'antenne émettrice de l'UE est nul (égal à 0dBi).

f) *Effective Radiated Power (dBm)*

L'« *Effective Radiated Power (ERP)* » est le résultat obtenu (la puissance du signal à la sortie de l'antenne) après le calcul de tous les gains et les pertes de l'émetteur.

g) *Penetration Loss (dB)*

Perte engendrée par le fait que le signal traverse des obstacles tels que les différents murs d'un immeuble. Elle dépend fortement de l'environnement comme le type de mur du bâtiment, l'angle d'incidence de l'onde radio, etc.

Le modèle de propagation de « Motley-Keenan » (équation 2.15) permet de calculer la valeur de cette perte.

h) *Gain de l'antenne du NodeB (dBi)*

En générale, le gain d'une antenne dépend de son diagramme de rayonnement (figure 2.02), et de la position de l'émetteur (ou du récepteur pour le *Downlink*) par rapport à l'antenne du NodeB.

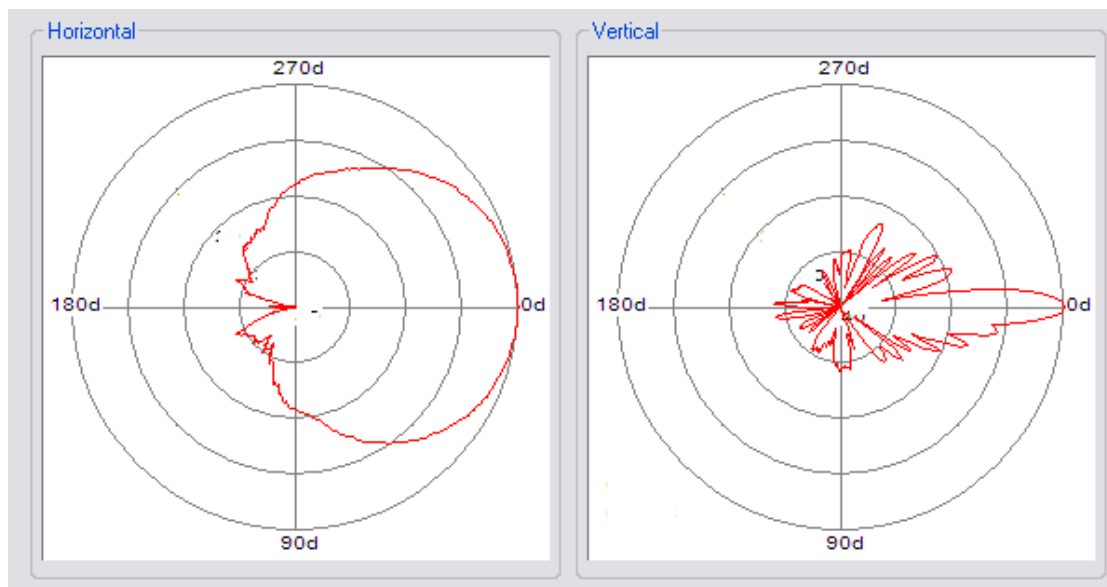


Figure 2.02 : *Exemple de diagramme de rayonnement d'une antenne*

La plupart des antennes de station de base possèdent un gain au niveau du lobe central d'environ 18dBi.

i) *Cable loss (dB)*

C'est la valeur de la perte à cause de la liaison entre le *NodeB* et l'antenne (figure 2.03). Son calcul considère les pertes engendrées par le câble (sa perte en fonction de sa longueur) et celles des connecteurs utilisés pour la liaison.

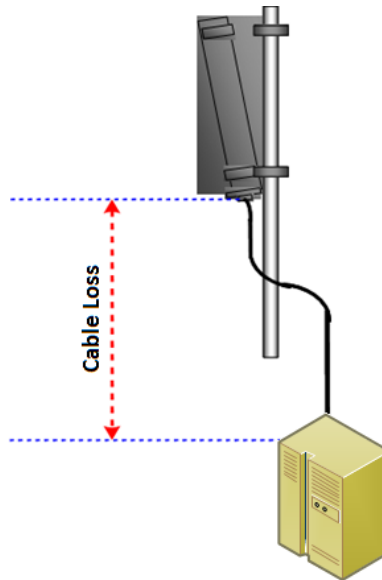


Figure 2.03 : *Cable Loss*

Remarque : Certains fournisseurs d'équipement utilisent une liaison fibre optique à la place d'un câble en cuivre classique pour réduire cette perte.

j) *Slow Fading Margin (dB)*

Quand l'utilisateur se déplace, la puissance du signal varie à cause des différents obstacles sur le lien.

Exemple, dans une zone urbaine, l'antenne de l'UE se trouve généralement en dessous de la hauteur des bâtiments. Par conséquent, certaines parties du signal transmis sont perdues par absorption, par réflexion, par dispersion ou par réfraction.

Ce type d'atténuation est appelé « slow fading » ou effet de masque (*shadowing*), ou encore *Log Normal Fading* [19].

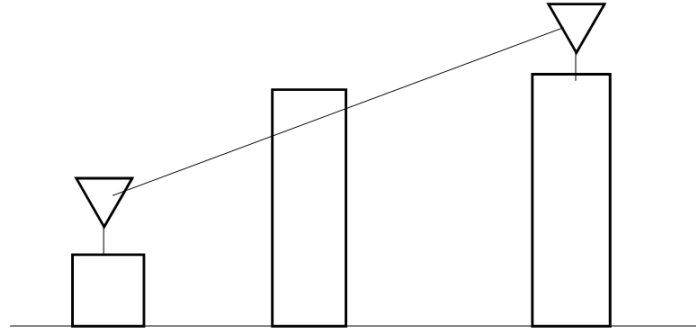


Figure 2.04 : « *Slow fading* » ou *Effet de masque*

Le résultat de diverses mesures et expériences montre que la variation de l'atténuation suit une distribution log-normal si on l'exprime en décibel (équation 2.01).

$$p_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\left(\frac{x}{2\sigma}\right)^2} \quad (2.01)$$

Sur l'équation 2.01 :

- x représente la variable aléatoire (le signal subissant le slow fading) à valeur moyenne nulle,
- et σ l'écart type (*Standard deviation*) de x . Dans une ville, la valeur de σ est estimée entre 4 et 12 dB. Comme la valeur x du signal varie entre $-\sigma$ et $+\sigma$, il est possible que cette valeur s'approche de $-\sigma$. Il faut donc tenir compte de σ lors du calcul du bilan de liaison.

Le tableau 2.03 représente le « *standard deviation* » ou écart type en fonction de la densité de la région.

Catégorie de terrain	<i>Standard deviation</i> (dB)
Suburbaine	4-8
Urbaine	8-10
Urbaine dense	10-12

Tableau 2.03: « *Standard deviation* » en fonction de la densité du région

Slow fading Margin (dB)

Le calcul du « *slow fading margin* » (SFM), présenté par l'équation 2.02, tient compte de la probabilité de couverture au bord de la cellule qu'on veut obtenir (p) et de σ . [7] [16]

$$SFM = Q(1 - p) \times \sigma \quad (2.02)$$

Q représente l'intégrale exprimée par l'équation 2.03.

$$Q(\varepsilon) = \int_{\varepsilon}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx \quad (2.03)$$

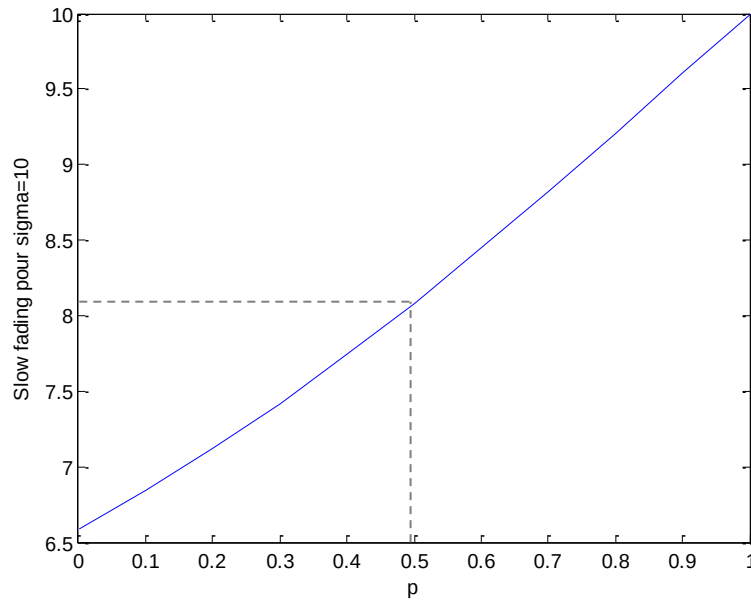


Figure 2.05 : *Slow fading Margin*

On peut prendre par exemple un SFM égale à 8 dB pour une probabilité de couverture au bord de la cellule environ égale à 50% (figure 2.05).

k) Handover Gain

Les cellules proches de l'équipement utilisateurs reçoivent chacun une partie du signal. Le « *Handover Gain* » est le gain par la somme des liens vers les différentes cellules [16].

l) Sensibilité du récepteur (dBm)

Représente la puissance minimale requise par le récepteur (le *NodeB* pour l'*Uplink* et l'UE pour le *Downlink*). Elle est définie par l'équation 2.04 suivante [18] :

$$S_{recep} = N_{th} + NF + E_b/N_o - PG \quad (2.04)$$

- N_{th} : représente la densité du bruit thermique généré par l'environnement et est égale à :

$$N_{th} = 10 \log(K \times T \times W) \quad (2.05)$$

- K : Constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23} J/K$
- T : Température en Kelvin (environ 290 K à la température ambiante)
- W : Largeur de la bande passante du signal utile. Pour le WCDMA, elle est égale à 3,84 MHz (3,84 Mchip/s)

Ainsi pour 3,84MHz, $N_{th} = -108dBm$

- NF : Noise Figure, représente l'atténuation engendrée par le récepteur lui-même (bruits produits par les circuits électroniques, les composants, etc.). Elle dépend de l'équipement et du fabricant : environ 2dB pour un NodeB et 7dB pour un UE.
- E_b/N_o : E_b/N_o requis pour maintenir la qualité du service. Voici quelques exemples de valeurs [7]:

	Uplink	Downlink
Données (64 Kb/s)	5dB	7dB
Voix (12,2 Kb/s)	2,5dB	5,4dB

Tableau 2.04: Exemple de E_b/N_o requis

- PG : Processing Gain, représenté par la formule suivante :

$$PG = 10 \log\left(\frac{Cps}{Bps}\right) \quad (2.06)$$

Il dépend ainsi du débit de la porteuse du service et du service : Exemple pour un service paquet de débit 384 Kb/s, $PG = 10$ (porteuse : 3,84MChips/s).

C'est un facteur de densité de puissance qui présente combien d'énergie (W/Hz) a-t'on gagné avec le *spreading* par rapport au fait que si on envoyait le signal directement en bande de base. En effet, selon la théorie de l'information, la valeur « *Energie* $\times$ *temps* $\times$ *fréquence* » requise pour transmettre un symbole (un bit ou un chip) est toujours constante [12].

m) *Interference margin*

Interférence engendré par la charge de la cellule.

L'*interference margin* ou marge d'interférence est égale au *Noise Rise* (NR), représenté par l'équation suivante :

$$NR (dB) = -10 \log(1 - \eta) \quad (2.07)$$

η représente le facteur de charge (*cell load*). C'est un paramètre pour représenter la charge d'occupation de la cellule.

Ce paramètre dépend du nombre d'utilisateur et des débits des services utilisés par ces utilisateurs (Équation 2.30 et 2.31) [20] [21].

Cela montre que la charge (la capacité) a un lien avec la couverture pour le système WCDMA.

Dans le cas de l'*Uplink*, il est représenté par l'équation 2.30 du paragraphe 2.3.

Pour le *Downlink*, le facteur de charge η , l'*Interference Margin* ou *Noise Rise* est représenté par l'équation 2.31.

2.2.3 *Modèle de propagation*

2.2.3.1 *Définition*

Les modèles de propagation sont des modèles mathématiques essayant d'estimer au mieux l'environnement de propagation radio réel. Ils aident surtout lors de la simulation, afin d'obtenir un résultat proche du réel possible.

De nombreux modèles ont été conçus afin de prédire la perte perçue entre l'émetteur et le récepteur appelé « *path loss* » ou affaiblissement de propagation dû au trajet. Un modèle ne peut pas être appliqué sur tout type de situation, et le choix des paramètres d'affinage (hauteur des antennes, fréquence, distance, etc.) du modèle est important afin qu'il corresponde au mieux à la situation réelle.

La pertinence d'un modèle de propagation ne dépend pas seulement de sa conformité mais aussi de son applicabilité. Deux modèles de propagation les plus connus sont le modèle d'Okumura-Hata et de Walfish-Ikegami. Le premier est utilisé pour les macros cellules (cellules de grande dimension), c'est à dire pour des zones rurales et suburbaines, tandis que l'autre, le modèle Walfish-Ikegami, pour les zones urbaines, où des cellules de plus petites tailles sont nécessaires (micro-cellule).

Les bases des mécanismes de propagation d'onde sont la perte en espace libre, la réflexion, la réfraction, et la diffusion (dispersion).

La perte en espace libre représente un cas idéal, où l'émetteur et le récepteur sont en vue directe (*line-of-sight* ou LOS) et aucun obstacle pouvant créer une réflexion, une réfraction ou une diffusion ne se trouve entre eux. Dans ce cas idéal, l'atténuation du signal onde radio est proportionnelle au carré de la distance par rapport à l'émetteur (équation 2.12).

Quand un signal est transmis en espace libre vers une antenne récepteur, la densité de puissance S (densité : une valeur par rapport à la surface) perçue par le récepteur à une distance d (km) de l'émetteur peut être écrite sous la forme suivante (équation 2.08) [8] [22] :

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \quad (2.08)$$

Où P_t représente la puissance du signal transmis, G_t le gain de l'antenne de transmission. La surface effective de l'antenne réceptrice (antenne omnidirectionnelle) qui affecte la puissance reçue, peut être exprimée comme suit (équation 2.09):

$$A = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \quad (2.09)$$

Où λ représente la longueur d'onde et G_r le gain de l'antenne réceptrice. La densité de puissance S peut être ainsi réécrite comme suit :

$$S = \frac{P_r}{A} \quad (2.10)$$

Combinant ces deux équations (équation 2.09 et équation 2.10), on obtient ainsi la puissance reçue :

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.11)$$

La perte en espace libre est un rapport entre la puissance transmise (avec les gains des antennes) et la puissance reçue. Voici l'équation dans un format plus simplifié (les gains des antennes ont été exclus) :

$$L = \frac{P_t G_t G_r}{P_r} \quad (2.12)$$

$$L = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2$$

En décibel, cette formule 2.12 de la perte en espace libre s'écrit (équation 2.13 pour f : fréquence en MHz, et d : distance en km):

$$\begin{aligned}
 L &= 10 \log \left(\frac{4\pi f [Hz] d [m]}{c} \right)^2 \\
 L &= 20 \cdot \log \left(\frac{4\pi f [MHz] d [km] \cdot 10^6 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8} \right) \\
 L &= 32,47 + 20 \cdot \log(f [MHz]) + 20 \log(d [km])
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

La propagation radio est rarement de type « vue directe » (LOS), où la situation est plus complexe si on ne cite que la présence des différents édifices (immeubles, maisons, etc.) et des arbres.

L'applicabilité de la perte en espace libre, comme modèle de propagation est ainsi limitée.

La puissance reçue est constituée de plusieurs composantes, qui ont traversé plusieurs chemins rencontrant plusieurs réflexions. Cette effet est appelé « *multipath* » (chemin multiple) et un composant représente un chemin de propagation. Les différents composants sont assemblés et sommés pour représenter un signal unique à la réception en considérant les amplitudes et les phases des vecteurs.

L'atténuation de l'onde radio dépend de la bande de fréquence, des types des terrains entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice. Quand on estime la perte de trajet *path loss* d'un signal radio, le chemin traversé peut être sectionné en plusieurs sections en fonction des terrains. En effet, comme la propagation varie en fonction du type de surface, cette remarque doit être prise en compte lors du choix du modèle de propagation. Cette différence peut être expliquée en effectuant des mesures sur différents types de terrains.

Un autre phénomène qui s'applique sur l'environnement radio mobile est la présence de différents types de fading. L'amplitude du signal, le délai et la phase des différents chemins de transmission varient avec le temps et l'emplacement (due à la mobilité). Le « *Slow fading* » ou « *shadowing* » (effet de masque) apparaît quand l'onde radio, est diffractée par d'importants obstacles tels que les immeubles et que l'utilisateur se déplace. Le « *slow fading* » est conforme à une distribution log normale, et est modélisé avec une distribution Gaussien (paragraphe 2.2.2.2, section j).

2.2.3.2 *Modèle de propagation pour l' « Indoor »*

Ce sont des modèles de propagation utilisés pour représenter la perte *path loss* dans un bâtiment.

a) *Modèle de Motley-Keenan*

Le modèle le plus simple pour représenter la perte de trajet *path loss* dans le cas d'une transmission *indoor* (à l'intérieur d'un bâtiment) est le modèle de Motley-Keenan.

Ce modèle est basé sur le fait que les murs d'un bâtiment atténue la puissance du signal. Il est représenté par l'équation 2.14 suivante [8] :

$$L = 20l \log \left(\frac{4\pi f [Hz] d [m]}{c} \right) + k_f \cdot 10 \log A_{floor} + k_w \cdot 10 \log L_{wall} \quad (2.14)$$

Où :

- k_f est le nombre d'étages à traverser,
- A_{floor} le facteur d'atténuation des étages (dépend du type de mur),
- k_w le nombre de mur à traverser,
- L_{wall} le facteur d'atténuation des murs,
- f : fréquence, d : distance, c : célérité de la lumière

Avantage :

- C'est un modèle simple, qui ne nécessite que peu de paramètres.

Inconvénients :

- Ce modèle n'inclus que l'atténuation engendré par les murs, mais ne considère pas les autres types d'atténuation comme les pertes engendrées par le *multipath*.
- Ce modèle considère que les murs sont identiques (pas de différenciation entre type de murs, fenêtre, etc.)

b) *Modèle "COST 231 Indoor"*

Ce modèle de propagation est basé sur le même principe que celui de Motley-Keenan. Il prend en compte la nature des différents murs :

$$L = 20l \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right) + \sum_{i=1}^M k_{wi} L_{wi} + k_f^{\left[\frac{k_f+2}{k_f+1} - 0.46 \right]} \cdot L_f \quad (2.15)$$

Où :

- k_{wi} : le nombre de mur de type i
- k_f : le nombre d'étage
- L_{wi} : la perte due par un mur de type i
- L_f : perte entre deux étages adjacents
- M : le nombre des différents types de mur
- i : type de mur

2.2.3.3 *Modèle de propagation pour l'« Outdoor »*

Ce sont des modèles de propagation utilisés pour représenter la perte *path loss* subie par le signal en dehors d'un bâtiment. Les modèles pour l'« outdoor » peuvent être classés en deux catégories : Les modèles pour les micro-cellules, et les modèles pour les macro-cellules.

- Modèle pour les Micro-cellules

On place des micro-cellules dans les régions fortement denses (urbaines).

En effet, dans les régions urbaines, où de nombreuses infrastructures et bâtiments sont présents, la perte *path loss* est très importante à cause des phénomènes d'absorption, de réflexion et de réfraction engendrés par ces bâtiments.

Dans le cas du WCDMA, placer plusieurs microcellules au lieu d'une seule macro-cellule permet aussi d'assurer une meilleure capacité [15].

a) *Modèle « COST 231 Walfisch-Ikegami »*

Le modèle *Walfish-Ikegami* [8] [19], est un modèle de propagation empirique pour les zones urbaines (zone à forte densité de bâtiments), spécialement applicable pour les micro-cellules. Les paramètres reliés au modèle *Walfish-Ikegami* sont illustrés sur la figure 2.05.

Ce modèle est valide pour la gamme de fréquence f [MHz] entre 800 et 2000 MHz ainsi que des conditions suivantes :

- Hauteur de l'antenne émettrice (h_t): entre 4 et 50 m.
- Hauteur de l'antenne réceptrice (h_r) : entre 1 et 3 m.

- Distance entre l'émetteur et le récepteur (d) : entre 0,02 et 5 km au maximum.

Le modèle est basé sur la supposition que le signal se propage, non seulement par rayon de vue directe entre l'émetteur et le récepteur, mais aussi grâce à des diffractions dues aux toitures et aux murs des bâtiments.

A la réception, le signal reçu est composé de plusieurs éléments : le rayon direct et ceux due aux diffractions. Par conséquent, ce modèle considère les bâtiments (aussi dans le plan vertical que dans le plan horizontal) entre l'émetteur et le récepteur.

Ainsi, ce modèle prend en compte les données concernant l'environnement d'utilisation comme la hauteur des immeubles h_{Rf} la distance entre deux bâtiments, l'angle orientation du mobile par rapport à l'antenne (φ_{ori}), la largeur des routes (w_s).

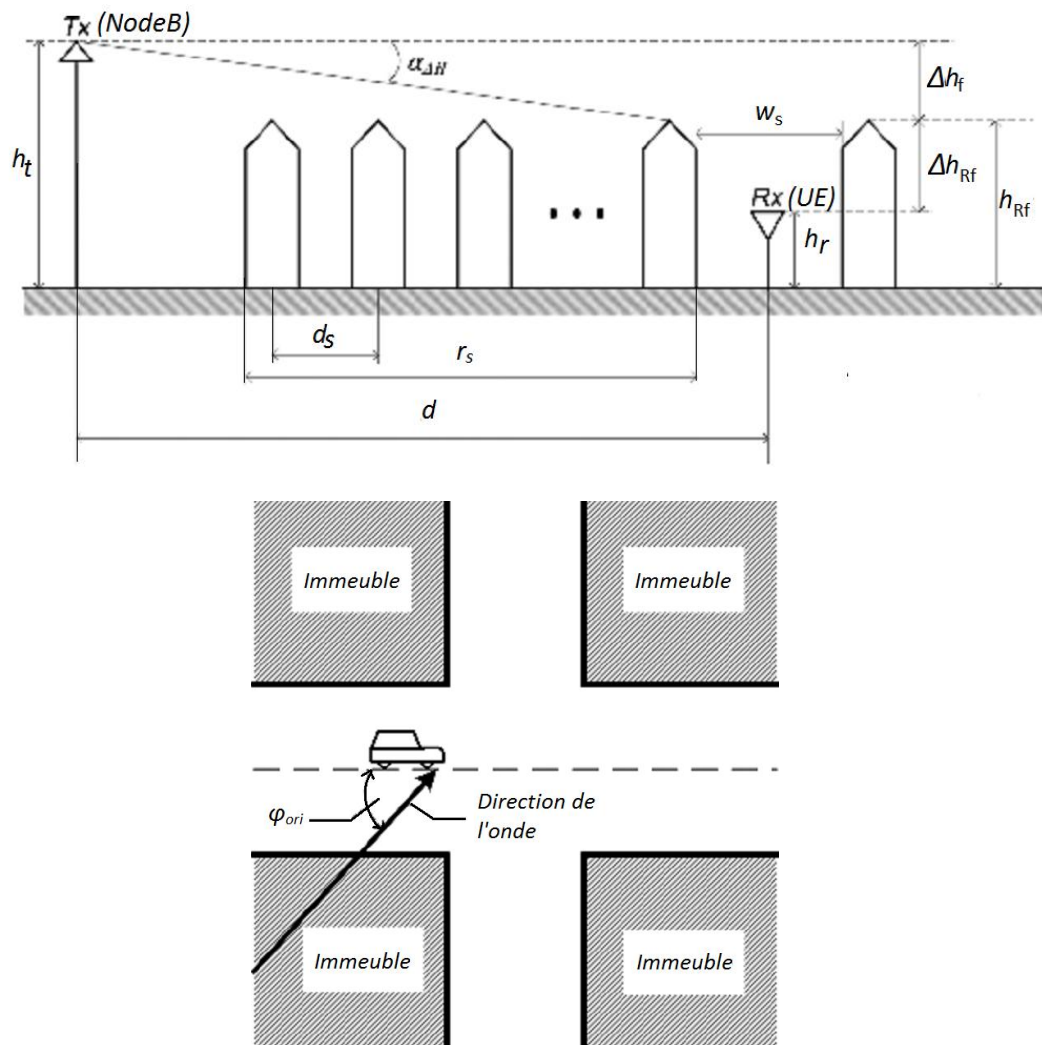


Figure 2.06 : Modèle « COST 231 Walfisch-Ikegami »

Le modèle de *Walfish-Ikegami* peut être séparé en deux cas, qui sont : la vue directe ou « *line of sight* » (LOS), représenté par l'équation 2.16 et le « *non line of sight* » (NLOS) lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas en vue directe (représenté par l'équation 2.17) [8].

$$L = 42,6 + 26 \log(d[km]) + 20 \log(f[MHz]) \quad (2.16)$$

$$L = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} \quad (2.17)$$

Où :

- L_{bf} symbolise l'atténuation en espace libre représenté par l'équation 2.13, L_{rts} représente la diffraction due par les toits des bâtiments (équation 2.18) :

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \log(w_s[m]) + 10 \log(f[MHz]) + 20 \log(\Delta h_{Rf}[m]) + L_{ori} \quad (2.18)$$

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354 \varphi_{ori}[deg] & \text{pour } 0^\circ \leq \varphi_{ori} < 35^\circ \\ 2,5 + 0,075(\varphi_{ori}[deg] - 35) & \text{pour } 35^\circ \leq \varphi_{ori} < 55^\circ \\ 4 - 0,114(\varphi_{ori}[deg] - 55) & \text{pour } 55^\circ \leq \varphi_{ori} < 90^\circ \end{cases} \quad (2.19)$$

$$\Delta h_{Rf}[m] = h_{Rf} - h_r \quad (2.20)$$

- L_{msd} : Décrit la perte en diffraction par les différents immeubles (écrans absorbant) où k_a représente la perte en fonction de la hauteur de l'antenne émettrice par rapport aux bâtiments, k_d et k_f représente la dépendance de la diffraction multi-écran par rapport à la distance et à la fréquence :

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log(d[km]) + k_f \log(f) - 9 \log(d_s[m]) \quad (2.21)$$

Avec :

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log(1 + \Delta h_t[m]) & \text{pour } h_t > h_{Rf} \\ 0 & \text{pour } h_t \leq h_{Rf} \end{cases} \quad (2.22)$$

$$\Delta h_t[m] = h_t - h_{Rf} \quad (2.23)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{pour } h_t > h_{Rf} \\ 54 - 0,8 \cdot \Delta h_t[m] & \text{pour } d \geq 0,5km \text{ et } h_t \leq h_{Rf} \\ 54 - 0,8 \cdot \Delta h_t[m] \cdot \frac{d[km]}{0,5} & \text{pour } d < 0,5km \text{ et } h_t \leq h_{Rf} \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{pour } h_t > h_{Rf} \\ 18 - 15 \left(\frac{\Delta h_t [m]}{h_{Rf}} \right) & \text{pour } h_t \leq h_{Rf} \end{cases} \quad (2.24)$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0,7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{pour des zones suburbaines} \\ 1,5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{pour des zones métropolitaines} \end{cases}$$

○ $d_s[m]$: distance entre deux bâtiments

b) *Modèle Manhattan (ou modèle de Berg)*

C'est un modèle adapté pour les situations où la propagation se fait plutôt dans le plan horizontal que dans le plan vertical [8].

C'est le cas quand la hauteur de l'antenne émettrice est inférieure à la hauteur moyenne des bâtiments. Dans ce cas, on suppose que pour atteindre le récepteur, le signal parcourt les routes entre les bâtiments dans le plan horizontal.

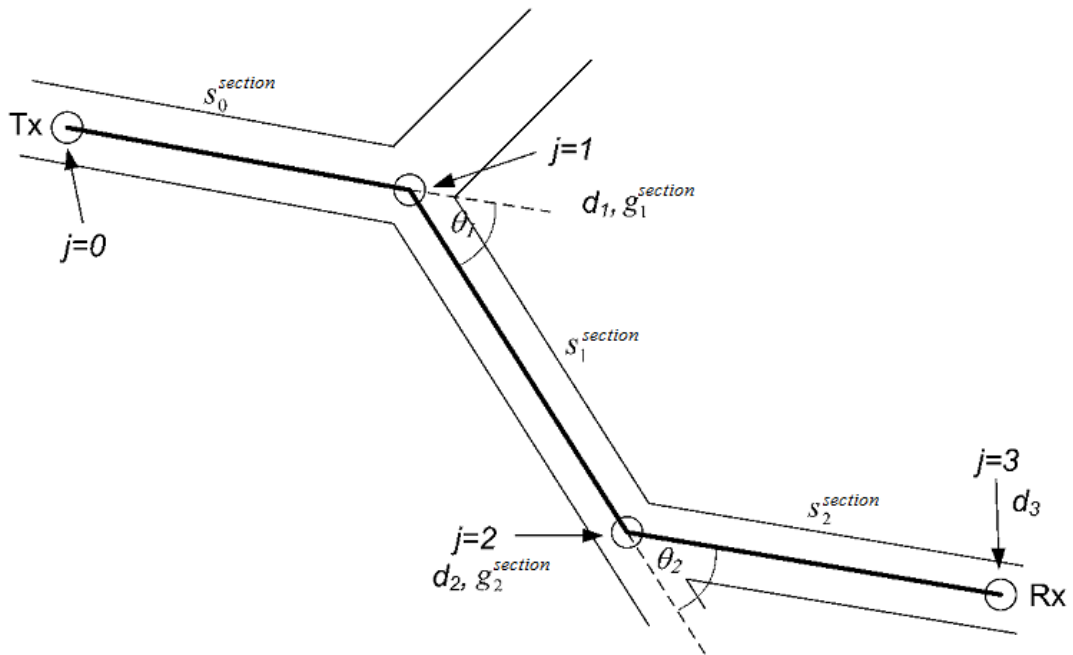


Figure 2.07 : *Illustration du modèle Manhattan ou modèle de Berg*

La perte de trajet « *path loss* » à la i -ème section peut être représentée par l'équation 2.25 suivante [8] :

$$L^{(i)} = 20 \log \left[\frac{4\pi d_i[m]}{\lambda} D_{br} \left(\sum_{j=1}^i s_{j-1}^{section}[m] \right) \right] \quad (2.25)$$

Où :

$$D_{br} = \begin{cases} x/d_{br} & \text{pour } x > d_{br} \\ 1 & \text{pour } x \leq d_{br} \end{cases} \quad (2.26)$$

- d_{br} : distance en mètre de l'émetteur par rapport au premier coude. La comparaison de x (somme des distances des sections) par rapport à d_{br} permet au modèle de considérer le cas si l'émetteur est en vue directe (LOS) avec le récepteur ou non (NLOS).
- i : le nombre de section (segment) de rue entre l'émetteur et le récepteur (au moins 2). Sur l'exemple de la figure 2.06, $i=3$.
- $s_j^{section}$: longueur (en mètre) du j -ème section.
- d_i : distance « illusoire » à la section i , obtenue en ajoutant récursivement à partir de la relation 2.27 en prenant comme valeurs initiales : ($k_0 = 1$ et $d_0 = 0$):

$$\begin{aligned} k_j &= k_{j-1} + d_{j-1} \cdot q_{j-1}^{angle} \\ d_j &= k_j \cdot s_{j-1}^{section} + d_{j-1} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Avec :

- θ_j^{street} : angle en degré ($^\circ$) entre la section j et $j-1$, et :

$$q_j^{angle}(\theta_j^{street}) = \left(\theta_j^{section} \cdot \frac{q_{90}^{angle}}{90} \right)^v \text{ où } q_{90}^{angle} = 0,5 \text{ et } v = 1,5 \quad (2.28)$$

- Modèle pour les macro-cellules :

Concernant les macro-cellules, l'onde radio subit beaucoup d'atténuation en espace libre et d'autres types d'atténuations dues à la surface terrestre ou aux différents obstacles (réflexion, diffraction, atténuation). Il est ainsi nécessaire de connaître les différentes informations concernant le terrain comme la hauteur moyenne, la taille des obstacles, la taille des végétations, etc. Le modèle « *Okumura HATA* », est un exemple de modèle de propagation pour les macro-cellules.

c) Okumura HATA

Le modèle de propagation *Okumura-Hata* [19], est un exemple de modèle de propagation pouvant être appliqué sur une région urbaine. Elle est représentée par l'équation 2.29 suivante :

$$L = A + B \cdot \log(f[\text{MHz}]) - 13,82 \cdot \log(h_{\text{NodeB}}[m]) - a(h_{\text{UE}}[m]) \quad (2.29) \\ + (44,9 - 6,55 \cdot \log(h_{\text{NodeB}}[m])) \cdot \log(d[\text{km}])$$

Avec :

- $a(h_{\text{UE}}) = (1,1 \cdot \log(f) - 0,7) \cdot h_{\text{UE}} - (1,56 \cdot \log(f) - 0,8)$
- h_{UE} : hauteur de l'équipement mobile (en mètre)
- h_{NodeB} : hauteur de l'antenne du NodeB (en mètre)
- A : constante dont la valeur est 46,3 pour une fréquence avoisinant 2000MHz
- B : constante dont la valeur est 33,9 pour une fréquence avoisinant 2000MHz
- d : Distance entre l'UE et le NodeB (en km)

2.2.3.4 Autres modèles de propagation :

A part ces modèles mathématiques, certains outils de simulation de couverture utilisent des modèles de propagation basés sur le « ray tracing » ou lancement de rayon.

Ces modèles de propagation se basent sur une simulation de la réflexion, de la réfraction et de la diffraction que peuvent subir les signaux émis en utilisant les données géographiques de l'environnement, qui sont en effet responsables de ces phénomènes d'altération [23].

2.3 Capacité – Charge du lien

En raison de la marge de puissance nécessaire pour pouvoir recevoir correctement un signal (figure 1.06 du paragraphe 1.4.2.4), la capacité du système WCDMA est limitée par l'existence des interférences. Une augmentation des interférences peut ainsi entraîner un blocage d'accès au réseau, et une réduction des interférences peut directement conduire à une augmentation de la capacité du réseau [24] [25].

On appelle « soft capacity » le fait que la capacité du réseau n'est pas limitée théoriquement par une valeur maximale (cas des systèmes TDMA ou FDMA par exemple), mais plutôt par les interférences sur le réseau [17].

Pour les systèmes « *soft-capacity* » tel que le WCDMA, calculer le trafic en Erlang comme pour le cas des systèmes TDMA/FDMA emmènerait à des résultats non-satisfaisant du fait qu'il n'y a pas de valeur fixe pour la capacité maximale (à moins qu'on limite le nombre de code utilisé). Une autre approche sera alors utilisée : c'est la détermination des facteurs de charge (*load factor*).

Dans le cas de la liaison montante, le *load factor* (facteur de charge d'une cellule) [17] [26] est égale à (équation 2.30) :

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_o)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \quad (2.30)$$

Où :

- N représente le nombre d'utilisateurs actives,
- W le chip rate (dans le cas de l'UMTS, $W=3,84\text{Mc/s}$),
- R_j le débit de l'utilisateur j,
- $(E_b/N_o)_j$ le rapport énergie bit sur bruit requis par l'utilisateur j et
- v_j le facteur d'activité de l'utilisateur (1 pour les services données, 0.7 pour la voix).

Cette équation provient de résultats de travaux de recherches concernant le CDMA, et qui sont appliqués au WCDMA. [16]

Dans le cas de la liaison descendante, le « *Noise Rise* » existe également. Additionné à cela, comme la puissance d'émission du *NodeB* est limitée, le partage de cette puissance entre les utilisateurs et les services des utilisateurs limite la capacité du réseau.

Le facteur de charge de la liaison descendante est exprimé par l'équation 2.31 [8] [20] [21] :

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_o)_j \cdot R_j \cdot v_j}} \cdot (1 - \alpha_j + i_j) \quad (2.31)$$

Où :

- α_j : représente le facteur d'orthogonalité des codes utilisés (pour le code OVSF : il est environ égale à 1).

- i_j : représente l'interférence due aux autres cellules du réseau et dont la portée des signaux arrive jusqu'à l'UE (équation 2.32) [20] :

$$i_j = \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{L_{m,i}}{L_{n,i}} \quad (2.32)$$

- $L_{m,i}$: *path loss* entre le mobile i et la station de base servant m .
- $L_{n,i}$: *path loss* entre le mobile i et les stations de base interférant n ($n = 1 \text{ à } N$)

Le « *Noise Rise* » ou « *Interference Margin* » (marge d'interférence) est un des éléments atténuant le signal (élément pris en compte lors du calcul du bilan de liaison, paragraphe 2.2.2.2). Il dépend du facteur de charge [7] [17] [18] [26] :

$$NR (dB) = -10 \log(1 - \eta) \quad (2.33)$$

Ainsi, comparé au système TDMA/FDMA du GSM ou juste une couverture radio suffise pour qu'un utilisateur ait accès au réseau, l'existence des interférences dans le calcul du bilan de liaison du système WCDMA qui limite sa capacité, limite aussi sa couverture.

Si le « *Noise Rise* » est élevé (ce qui signifie une importante utilisation des ressources radio de la cellule), alors la perte « *path loss* » tolérée diminue.

2.4 Rayon de couverture

A partir du résultat du calcul de bilan de liaison et d'un modèle de propagation, on peut estimer le rayon d'une cellule.

Prenons l'exemple suivant :

Supposons qu'on veut couvrir une région urbaine. Le modèle *Okumura hata* (paragraphe 2.2.3.3, section c) sera choisi comme modèle de propagation.

Pour une hauteur $1,5m$ du mobile et $30m$ de l'antenne du *NodeB*, à $2000MHz$, selon l'équation 2.29, le modèle *Okumura Hata* est à égale à l'équation 2.34 :

$$L = 137,7 - 35,2 \cdot \log(d[km]) \quad (2.34)$$

Si on considère la perte de trajet *path loss* maximale tolérée (*MAPL* ou *Maximum Allowed Path Loss*) 147dB pour un débit de 64K (du calcul de bilan de liaison tableau de la 2.01), alors le rayon de la cellule dans une zone urbaine sera :

$$R_{64K} = 10^{(MAPL-137,7)/35,2} = 1,93Km \quad (2.35)$$

Pour un débit de 12K avec *MAPL*=155dB (résultat obtenu après calcul du bilan de liaison), le rayon sera égale à :

$$R_{12K} = 3,1Km \quad (2.36)$$

La différence entre ces deux résultats (équations 2.35 et 2.36) montre que le rayon de couverture d'une cellule 3G dépend du type de service (de la bande passante nécessaire pour offrir ce service).

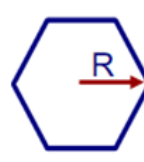
Une fois le rayon de couverture établi, on peut déterminer la valeur approximative (figure 2.08) de la surface couverte par une cellule (résultat obtenu à partir de la formule de la surface d'un hexagone 2.38) et par la suite, du nombre de cellule nécessaire [21] [18] :



Surface couverte par les antennes
(si on considère que le NodeB est composé de 3 secteurs)

$$= \frac{9}{8} * \sqrt{3} R^2$$

(2.37)



Surface couverte par le nodeB
(si on considère que le NodeB est un hexagone)

$$= \frac{3}{2} * \sqrt{3} R^2$$

(2.38)

Figure 2.08 : Surface couverte par une cellule

2.5 Conclusion

Le dimensionnement du réseau d'accès radio du WCDMA permet d'avoir une estimation du rayon de couverture des cellules pour chaque type de services.

Cette étape inclut le calcul du bilan de liaison pour chaque type de service et pour chaque liaison (*uplink* ou *downlink*), et la détermination (et le calcul) du modèle de propagation approprié pour l'environnement de la région à couvrir.

Le calcul du bilan de liaison permet de déterminer la perte de trajet *path loss* maximale tolérée afin que le signal puisse arriver au récepteur. Le résultat du calcul du bilan de liaison dépend du type de service offert.

Le modèle de propagation permet de déterminer la perte de trajet *path loss* entre l'émetteur et le récepteur.

Grâce à ces deux éléments, on peut estimer le rayon de couverture d'un type service. Les éléments intervenant dans le calcul du bilan de liaison du WCDMA montrent que pour ce système, la couverture dépend du type du service (du débit, données, voix, etc.) et de l'utilisation de ce service.

CHAPITRE 3

PLANIFICATION DU RESEAU D'ACCES 3G

ET SIMULATION SOUS LE LOGICIEL « ASSET »

3.1 Introduction

L'objectif de la planification détaillée de la couverture et de la capacité est de déterminer l'emplacement des sites et leurs configurations (hauteur des antennes, orientations des antennes, etc.), et d'analyser la performance du réseau d'accès radio établi.

Dans la phase de planification détaillée, afin de déterminer la propagation du signal, les données géographiques du terrain, le modèle de propagation, de même que la densité des utilisateurs et le type de trafic sur la région à couvrir sont nécessaires. Des informations concernant les sites déjà existant sur la zone sont aussi nécessaires pour pouvoir les considérer lors de cette étape.

De plus, comme ce qui est montré lors du calcul du bilan de liaison (paragraphe 2.2.2), la couverture du réseau d'accès radio du système WCDMA dépend de la capacité et de la charge du réseau, c'est-à-dire de la distribution du trafic. L'estimation de la capacité et la détermination de la couverture se fait ainsi simultanément.

Cette partie a pour objectif de présenter la planification de la couverture et de la capacité du WCDMA, en montrant l'importance de l'utilisation d'un outil de planification, et que la couverture radio dépend du type de service et de la densité des utilisateurs.

3.2 Pré-planification

Basé sur le dimensionnement radio, le but de la pré-planification ou pré-étude du réseau d'accès radio est de déterminer la position théorique des sites, les paramètres d'implémentation (le nombre de *NodeB*, la hauteur des antennes, etc.), et les paramètres des cellules (fréquence, scrambling code, puissance de transmission, etc.).

Pour les emplacements théoriques, les facteurs suivants sont à considérer pour les sites candidats :

- La couverture : la position actuelle du site permet-elle d'assurer une bonne couverture ? comment sera faite la transmission des données venant du site, qui seront transmises au RNC (repérer les sites existants) ?

- Facteur commercial : le coût de l'infrastructure (plus on a de sites à mettre en place, plus le coût sera élevé).
- L'emplacement de l'antenne, son hauteur, son installation, comment l'alimenter ?, etc.

Pour réaliser et faciliter l'étape de pré-étude, les données du dimensionnement du réseau, la distribution du trafic, et les informations géographiques de la zone à couvrir sont utilisées et exploitées dans un logiciel de planification. La couverture est estimée en fonction des paramètres entrés.

Toujours avec ce logiciel, une analyse est ensuite effectuée pour déterminer si la couverture du système respecte les conditions requises. Si nécessaire, la hauteur, l'orientation de l'antenne ou le nombre de *NodeB* nécessaires, etc. (ces informations sont appelés paramètres d'implémentations) seront ajustés pour optimiser la couverture. La capacité du système est ensuite analysée pour savoir si elle respecte les conditions requises.

On obtient donc au final, l'emplacement des sites et les paramètres qui doivent satisfaire la couverture requise.

La phase de planification des cellules ou *cell-planning* consiste à attribuer des *scrambling-codes* aux cellules, permettant ainsi de différencier chaque cellule des autres cellules du réseau. L'utilisation d'un outil de planification permet de faciliter l'attribution du *scrambling code*.

3.3 Outil de planification du réseau d'accès radio

3.3.1 Présentation du logiciel de simulation « ASSET »

L'utilisation d'un outil de planification est nécessaire lors de la phase de planification détaillée.

En effet le calcul du bilan de liaison ne permet d'avoir qu'une estimation du rayon de la cellule. Il ne considère pas les données géographiques du terrain et la charge réelle du réseau lorsqu'il sera mis en marche. Par conséquent, le calcul du bilan de liaison n'offre pas une représentation de la couverture réelle.

Un outil de planification prédétermine la couverture réseau en se basant sur plusieurs données et paramètres d'entrées.

Certains paramètres d'entrées sont similaires à ceux utilisés lors du calcul de bilan de liaison, comme le modèle de propagation, la puissance émise par les UEs, etc. En plus de ces paramètres,

afin de représenter au mieux le cas réel, un outil de planification nécessite des données géographiques comme la carte représentant le relief du terrain, les différents emplacements des végétations et des bâtiments (on appelle ces types de données des « clutter »), la répartition des utilisateurs, ainsi que des données similaires.

A partir de ces données, la perte « *path loss* » entre chaque point émetteur et chaque récepteur de la surface présentée sur l'outil de planification (chaque point de la surface) peut être calculée. A partir du « *path loss* », on peut obtenir d'autres données utiles comme le niveau de la puissance du signal reçu, le niveau d'interférence (E_c/N_o), etc.

Un outil de planification doit prendre en compte le fait que le WCDMA est un système auquel la charge du réseau affecte la couverture. Par exemple, l'outil de planification utilisé au cours des travaux de ce mémoire possède un module de simulation de distribution de trafic (Simulation de Monte Carlo).

Parmi les outils de planification disponible, on peut citer *Nokia NetAct Planner*, *Atoll*, etc.

L'outil de planification utilisé au cours de ces travaux se nomme « ASSET » (présenté sur la figure 3.01). C'est un logiciel de planification de réseau cellulaire (GSM, UMTS, LTE, etc.) développé et commercialisé par la société « AIRCOM ». Parmi les fonctionnalités qu'il propose, on peut citer la visualisation en deux dimensions du terrain, la modélisation de la propagation, la définition des services disponibles, la simulation de la performance du réseau, etc.

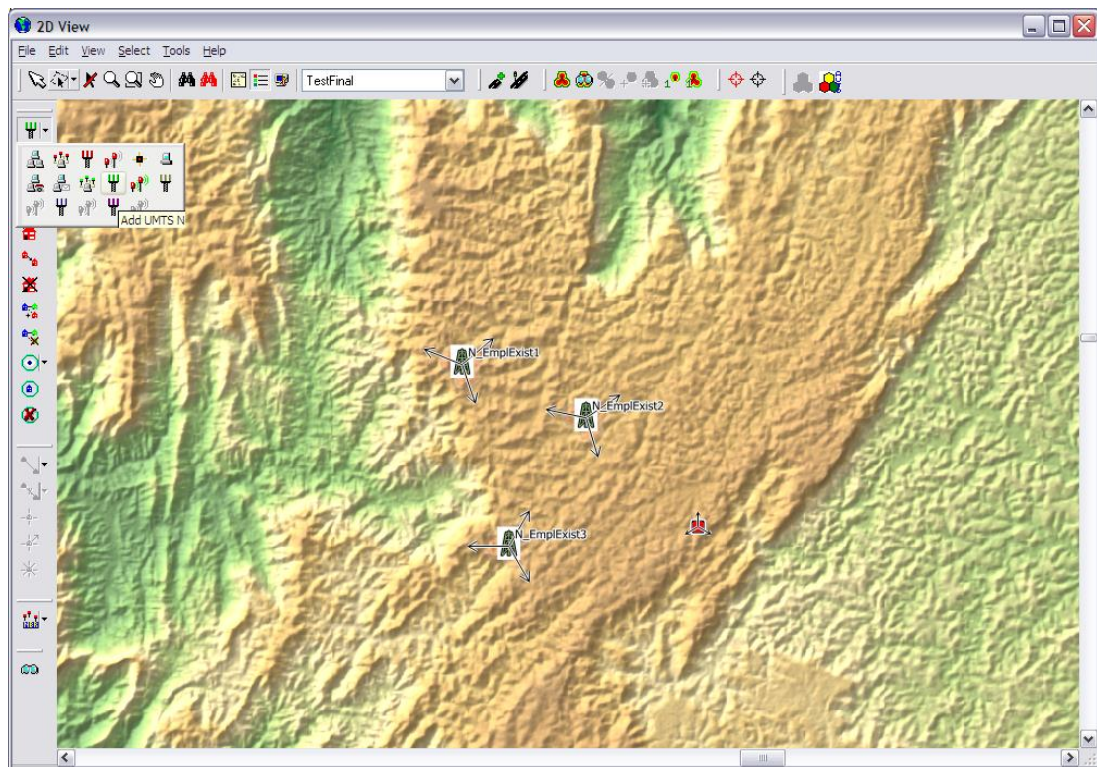


Figure 3.01 : *Représentation de l'outil de simulation utilisé*

Les données et paramètres essentiels requis par l'outil de planification (et par la plupart des outils de planification) sont : Les données géographiques, les modèles de propagation à utiliser, la (ou les) fréquence porteuse disponible, les différents types de services à offrir, les paramètres des cellules, et les types d'équipements utilisateurs [24].

3.3.2 Données Géographiques

L'outil de planification utilisé (figure 3.01) possède un élément de gestion de SIG (Système d'information géographique). Ce module lui permet d'afficher un emplacement donné sur une vue 2D en se référant à un système de projection. Cela permet alors de représenter, sur un plan horizontal, les données géographiques du terrain comme le relief, la densité des bâtiments, la couverture (donnée obtenue après la simulation), etc. selon la disponibilité de ces données.

On peut classer les cartes représentant les données géographiques en trois catégories : les rasters, les vecteurs et les points.

3.3.2.1 *Les rasters*

a) Définition

Les cartes rasters représentent, sous forme d'image, les informations concernant une surface sur un plan horizontale. La précision des parcelles de la surface à présenter dépend de la résolution de la carte. Chaque parcelle de surface représente une information.

Les cartes rasters permettent de représenter sur un plan horizontal les données qui ne peuvent pas être mises sous forme de vecteurs telles que le relief du terrain, la végétation, la couverture obtenue après la simulation, la répartition des utilisateurs, etc. Des détails concernant ces données sont présentés ci-dessous :

b) Le relief du terrain

Ce type de carte représente l'élévation du terrain de la zone de travail de l'outil de planification. Les données d'élévation du terrain permettent de déterminer à quelle altitude se trouve un point de la surface.

Trouver l'emplacement adéquat d'un site est une étape essentielle dans la phase de planification.

En effet, Il est important de mettre les sites sur un emplacement élevé, mais proche de la zone à couvrir, pour éviter que des obstacles aux alentours (colline, bâtiments, forêts, etc.) empêchent la propagation du signal. Ces obstacles sont en effet responsables de la réflexion, la diffusion et de la réfraction du signal.

La carte doit avoir une résolution assez élevée (au minimum 50 mètres par parcelle de surface) pour obtenir une meilleure prédiction de la couverture. On peut aller jusqu'à une résolution de 10 mètres pour plus de précision dans le cas des zones urbaines par exemple.

Un exemple d'affichage du relief du terrain est représenté sur la figure 3.02. Le module SIG de l'outil de planification permet de découvrir facilement l'altitude des points de la surface.

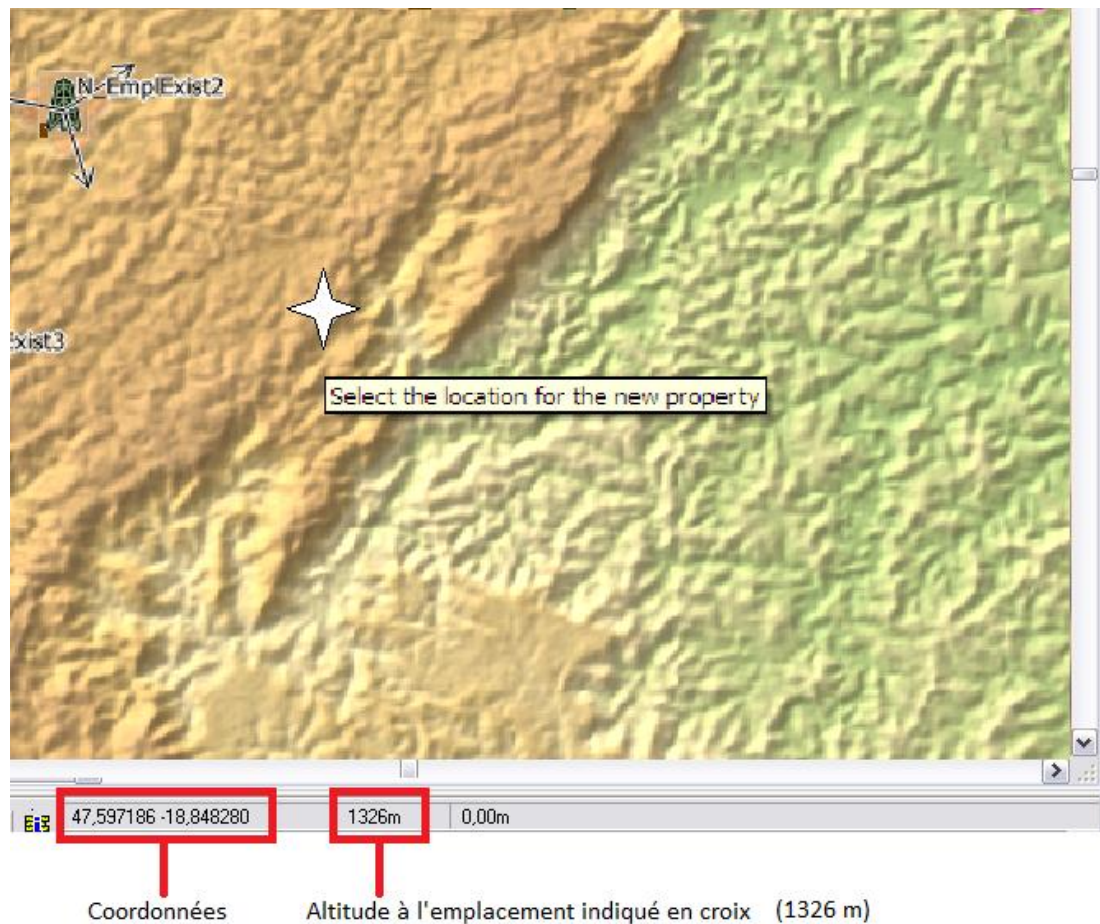


Figure 3.02 : *Exemple de relief de terrain*

c) *Les clutters*

Les « clutters » sont des cartes qui représentent la manière dont l'espace géographique est utilisé.

Ces cartes indiquent par exemple la répartition des bâtiments, celle de la végétation, etc. (représenté sur la figure 3.03).

Ces données sont nécessaires lors de la planification puisqu'elles affectent la propagation du signal, et peuvent aussi intervenir lors de l'estimation de la répartition des utilisateurs (par exemple, peu d'utilisateur se trouve généralement dans les zones forestières).

En outre, ces cartes permettent de déterminer si la région à couvrir est urbaine, suburbaine, etc. C'est une information nécessaire lors du choix de l'emplacement des sites et du modèle de propagation à appliquer lors de la simulation.

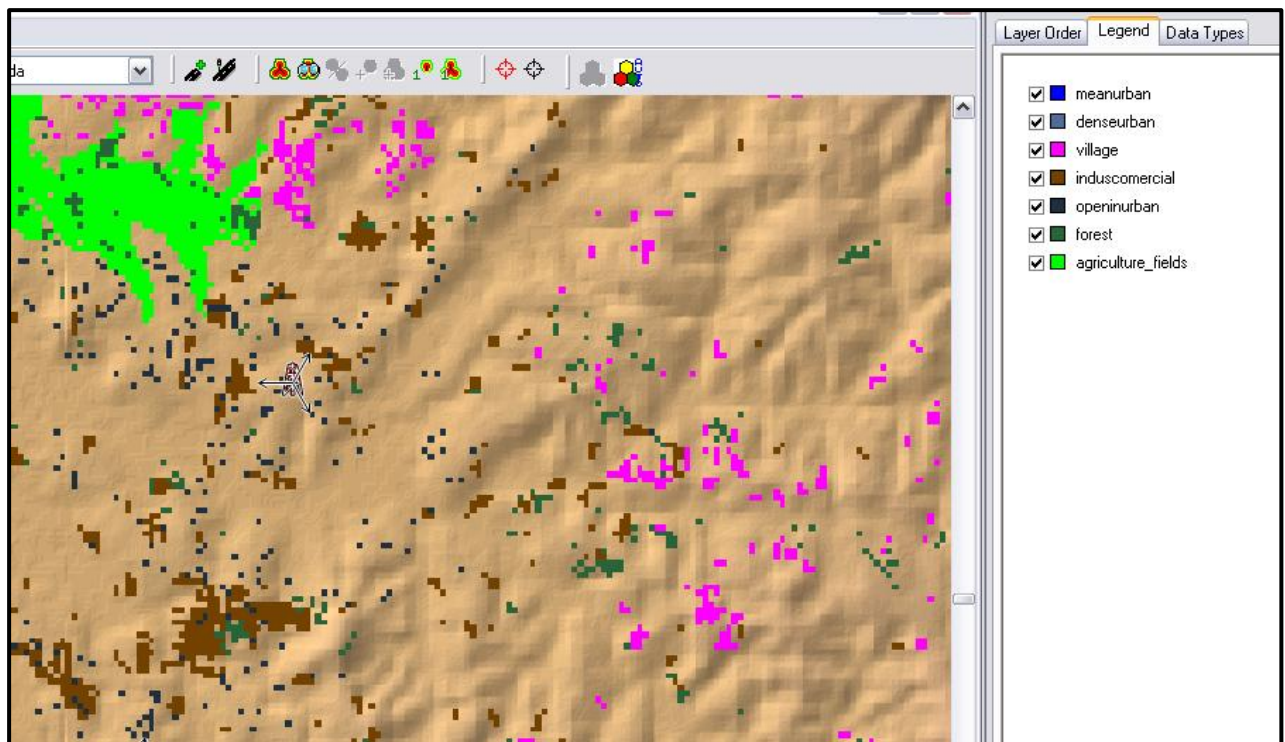


Figure 3.03 : *Exemple de carte d'information représentant l'utilisation du terrain*

d) Le trafic

C'est une carte représentant la répartition des utilisateurs (figure 3.04). Ces données seront ensuite utilisées lors de la simulation pour estimer le trafic sur le réseau.

L'outil de planification « ASSET », utilisé au cours de ces travaux permet de générer ce type de carte en répartissant les utilisateurs sur la zone couverte (exemple 50 utilisateurs par km²), tout en considérant les données clutters du terrain (Par exemple, dans une région forestière, il y a généralement moins d'utilisateur).

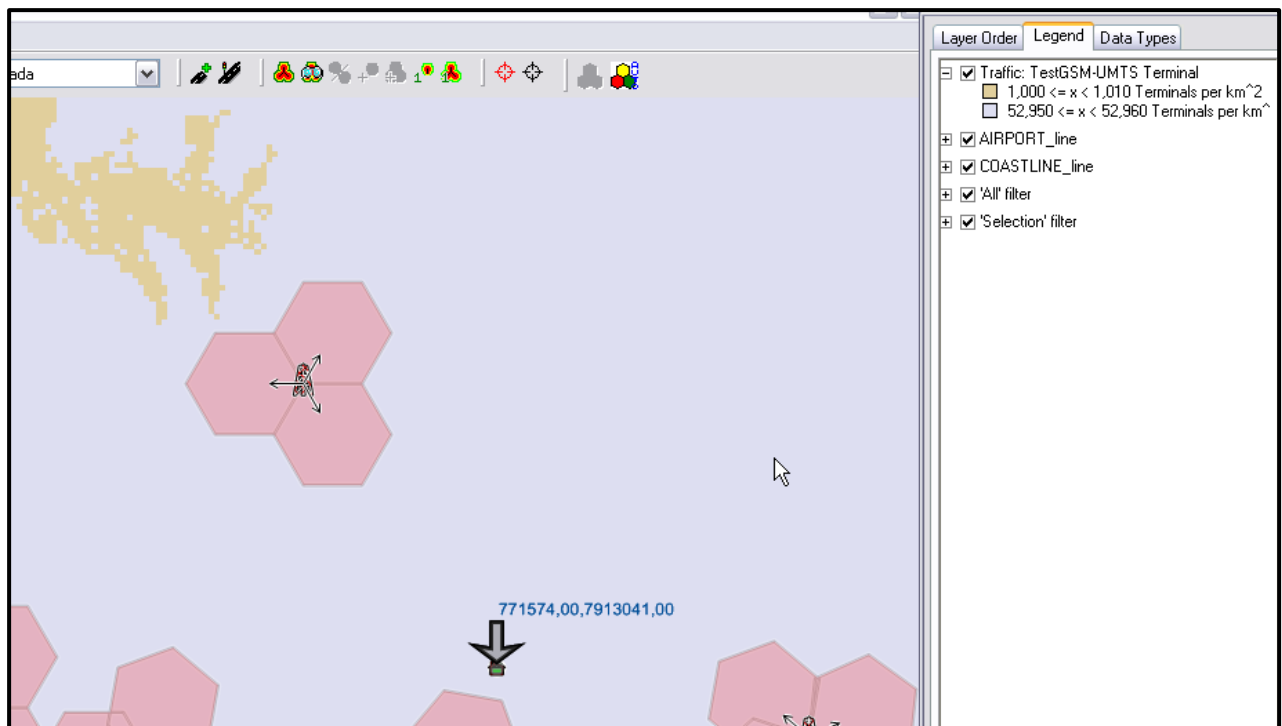


Figure 3.04 : Exemple de carte de trafic généré à partir de la carte de clutter de la figure 3.03

3.3.2.2 Les vecteurs

a) Définition

Les cartes de vecteurs sont utilisées pour représenter des éléments linéaires tels que les rivières, les routes et les limites administratives des régions. Ce sont des ensembles de points, liés entre eux. Ces éléments sont appelés, des données vectorielles.

Les vecteurs sont nécessaires pour vérifier la position des sites lors de la planification (si un site ne se trouve pas en plein centre d'un lac par exemple). Ils permettent aussi de vérifier si la couverture atteint bien la limite de la région à couvrir.

Un exemple de carte vecteur représentant la limite administrative des communes de Madagascar (partie Est) est présenté sur la figure 3.05.

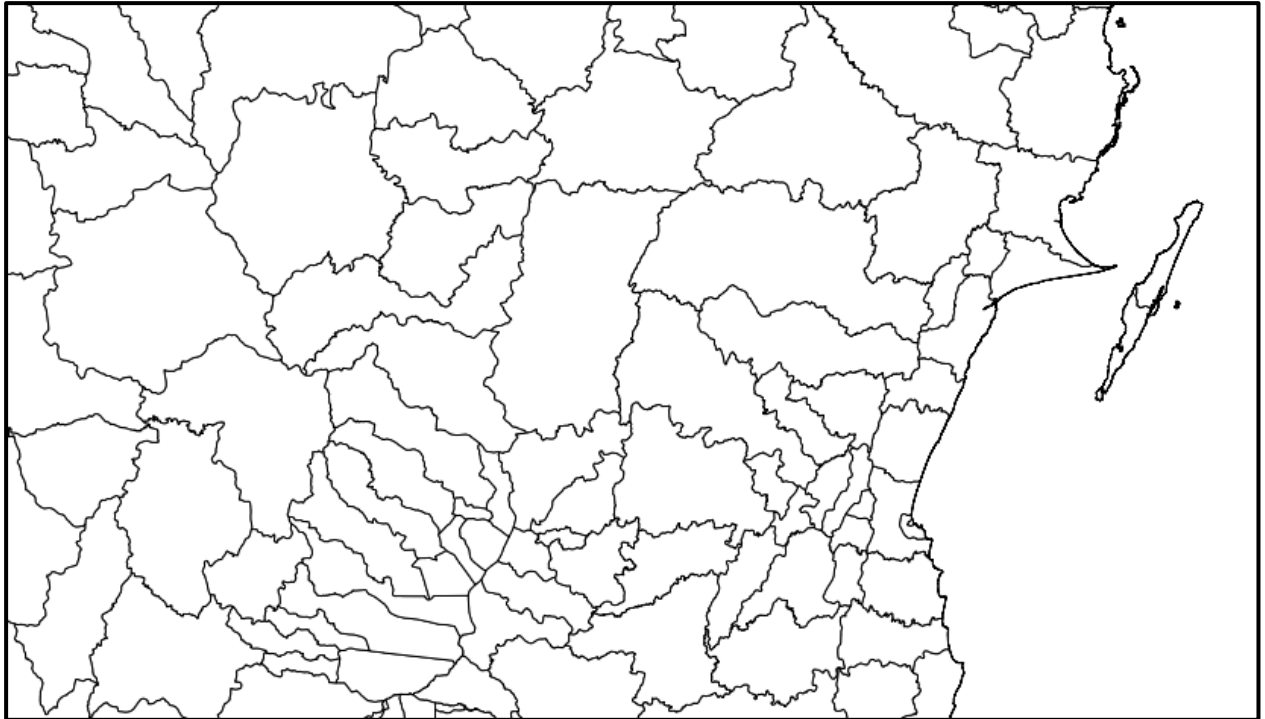


Figure 3.05 : *Exemple de carte vecteur (limite administrative des communes)*

3.3.2.3 Les points

Les points représentent l'emplacement des différents sites sur la carte horizontale (*NodeB*, *RNC*, etc.). La figure 3.01 représente un exemple où quelques sites sont déjà disponibles sur la région.

3.3.3 Modèles de propagation

a) Définition

Les modèles de propagation sont utilisés pour estimer la perte « *path loss* » subie par le signal au cours de la liaison.

Les principaux modèles de propagation utilisés, et les critères de choix sont décrits dans le paragraphe 2.2.3. Les outils de planification se basent sur ces modèles pour estimer la couverture réseau lors de la simulation.

b) Choix du modèle de propagation

Pour la simulation, l'outil de planification « *ASSET* » propose plusieurs modèles de propagations. Certains se basent sur les modèles mathématiques décrits dans le paragraphe 2.2.3.

La figure 3.06 représente un des modèles de propagation utilisé par l'outil de planification.

Propagation Model Parameters

General | **Path Loss** | Eff. Ant. Height | Diffraction | Clutter

Path Loss Calculation Parameters

LOS

k1: 162,50 k1 (near): 0,00
k2: 44,90 k2 (near): 0,00
Use 'near' values when d < 0,00 km

NLOS

k1: 162,50 k1 (near): 0,00
k2: 44,90 k2 (near): 0,00
Use 'near' values when d < 0,00 km

Common

k3: -2,93
k4: 0,00
k5: -13,82
k6: -6,55
k7: 0,80

Equation (using SI units)

Path Loss (dB) = $k_1 + k_2 \log(d) + k_3 H_{ms} + k_4 \log(H_{ms}) + k_5 \log(H_{eff}) + k_6 \log(H_{eff}) \log(d) + k_7 (\text{Diffraction Loss}) + \text{Clutter Loss}$

OK Annuler

Figure 3.06 : *Modèle de propagation basé sur des modèles mathématiques*

En plus des modèles de propagation basés sur les modèles mathématiques, l'outil de planification propose aussi des modèles de propagation intelligents. Ce sont des modèles qui peuvent s'adapter à tout type de cellule (micro-cellule, macro-cellule) et à tout type d'environnement (urbaine, suburbaine, forêt, etc.).

Un des modèles de propagation de ce type, proposé par l'outil de simulation, analyse les différents éléments présents sur le terrain (les différentes cartes) pour effectuer une simulation proche du réel de la diffraction, de la réfraction et de la réflexion subie par l'onde radio au cours de son trajet. Ce type de modèle ne nécessite que quelques paramètres comme la fréquence porteuse (figure 3.07).

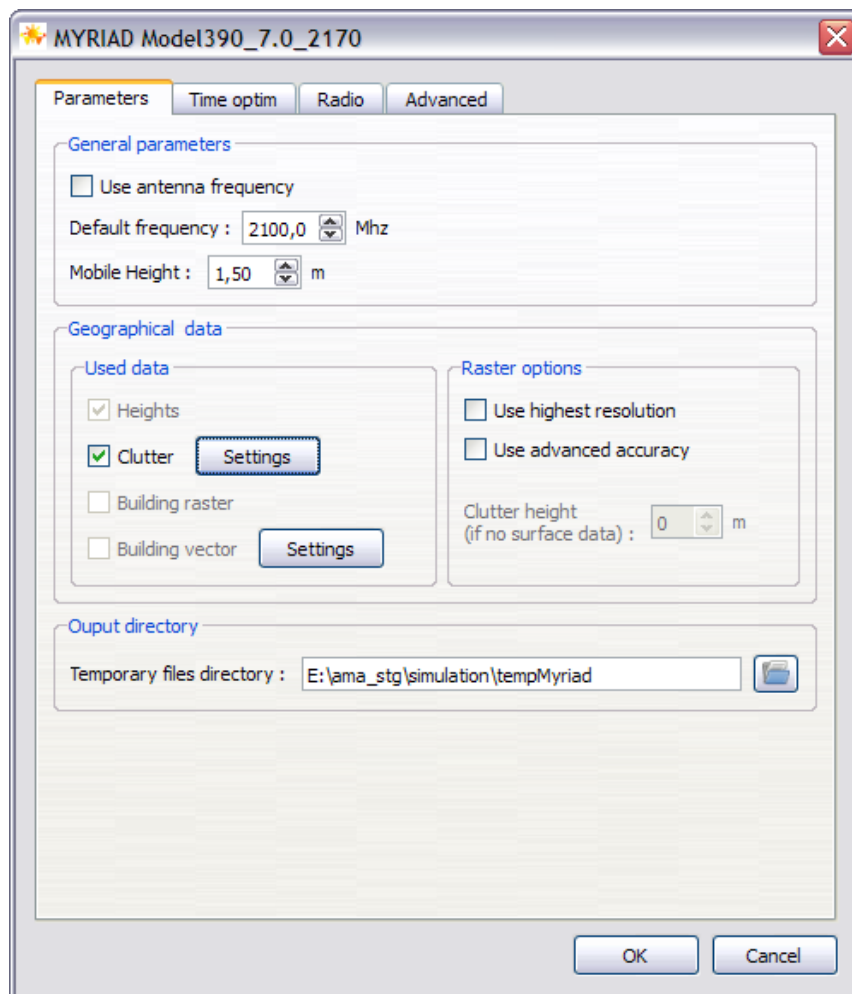


Figure 3.07 : *Modèle de propagation intelligent, proposé par l’outil de simulation*

Lors de la planification, il est important de bien choisir le modèle approprié à la région à couvrir. Ce choix est fait au cours du dimensionnement du réseau mais l’utilisation d’un outil pour visualiser les données géographiques de la zone à couvrir permet quand même d’affiner ce choix.

L’exemple illustré par les deux figure 3.08 et 3.09 suivant montre que la prédiction de la couverture est différente pour chaque modèle de propagation choisi.

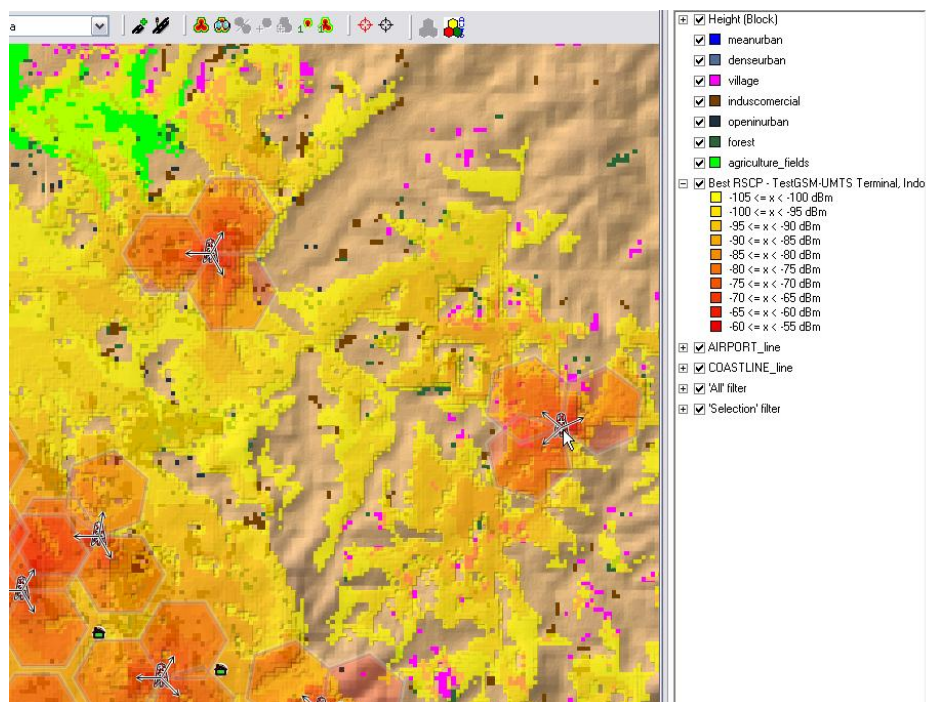


Figure 3.08 : *Prédiction de couverture avec le modèle de propagation de la figure 3.06*

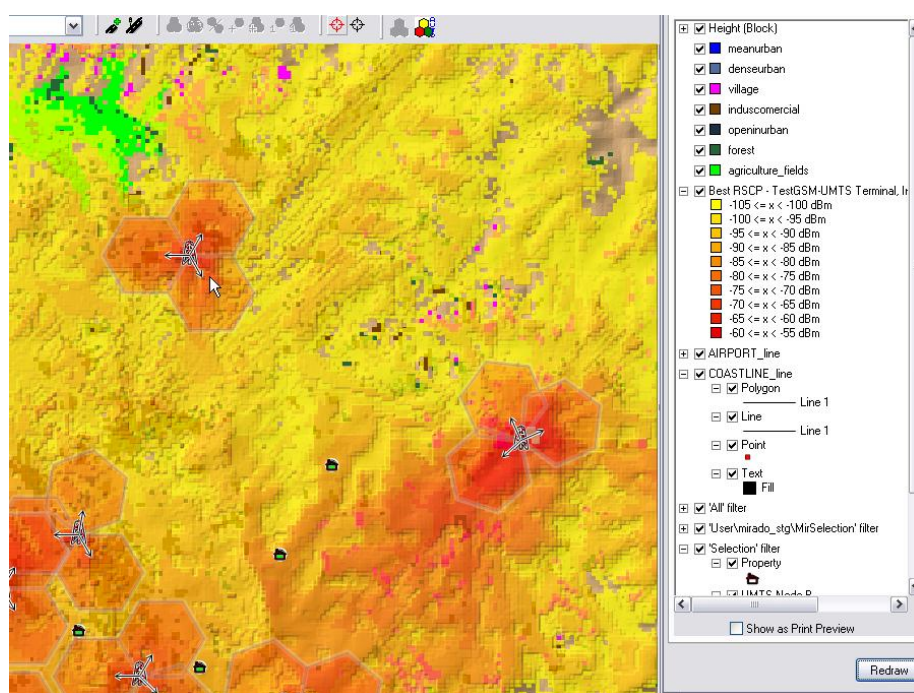


Figure 3.09 : *Prédiction de couverture avec le modèle de propagation de la figure 3.07*

La figure 3.08 représente la prédiction de couverture en utilisant le modèle de propagation de la figure 3.06 (modèle basé sur des modèles mathématiques), et la figure 3.09 représente la

prédiction de couverture du modèle intelligent de la figure 3.07. La simulation a été faite sur la même zone géographique.

Le modèle de propagation intelligent de la figure 3.07 a été choisi au cours de ces travaux du fait qu'il simule mieux l'environnement réel.

3.3.4 Fréquences porteuses

a) Définition

Ce sont les fréquences porteuses disponibles pour assurer le transport du signal radio.

Dans le système WCDMA, une seule paire de bande de fréquence suffit pour toutes les cellules (Chapitre 1). Avoir des paires de bandes de fréquences supplémentaires permet d'augmenter la capacité du réseau.

Le nombre et la valeur des fréquences disponibles pour un opérateur dépendent des licences d'utilisation de bandes de fréquences qu'il dispose.

Une bande de fréquence est désignée par son numéro UARFCN (Chapitre 1, paragraphe 1.4.1).

L'outil de planification utilisé au cours de ces travaux de mémoire permet le choix de la fréquence porteuse à utiliser (figure 3.10).

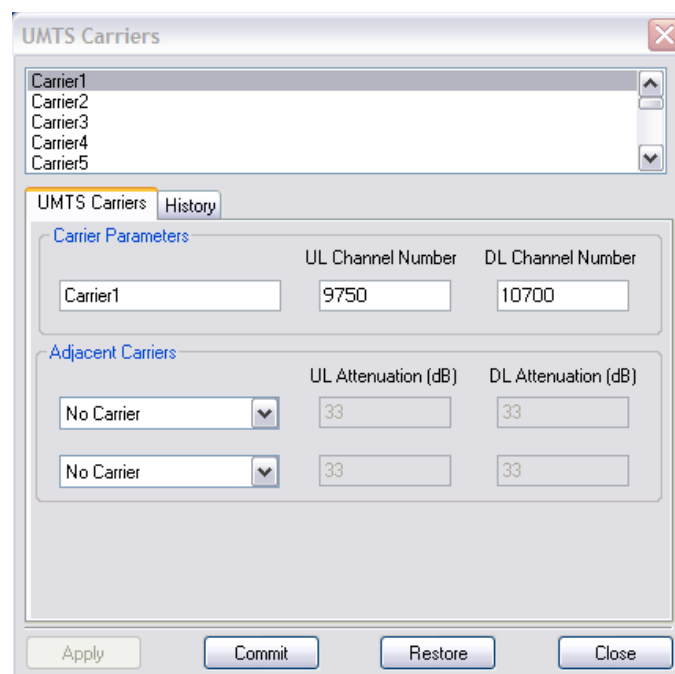


Figure 3.10 : Choix des fréquences porteuses à utiliser dans l'outil de simulation

3.3.5 Types de services

a) Définition

Ce sont les différents types de services offerts aux utilisateurs.

Un opérateur peut par exemple offrir un service de type voix 12Kb/s à commutation de circuit, et un service internet à commutation de paquet de 384Kb/s à ses utilisateurs.

Le service voix est toujours considéré comme primordial lors d'un nouveau déploiement. Ainsi, lors de la phase de planification, il faut bien assurer sa couverture.

L'outil de planification utilisé permet d'indiquer les services à offrir aux utilisateurs (voix, internet) et les supports de ces services (CS 12K, PS 384K, etc..).

3.3.6 Types d'équipements

Ce sont les données concernant les équipements utilisateurs telles que : la puissance d'émission des terminaux (définie par sa classe de puissance), le niveau de puissance de réception requis, la hauteur moyen des terminaux, la densité des équipements en fonction des données géographiques clutter, les services supportés, etc.

Comme lors du calcul du bilan de liaison, il est nécessaire de choisir une classe de puissance faible pour ne pas fausser les résultats de la simulation.

Terminal Parameters	
Max Mobile Power (dBm):	24
TX Dynamic Range (dB):	70
Required RSCP (dBm):	-105
Required Ec/Io (dB):	-15
Required Pilot SIR (dB):	-15
Power Step Size (dB):	0.5
Antenna Gain (dBi):	0
Body Loss (dB):	0
Noise Figure (dB):	6
Background Noise at 20°C (dBm/Hz):	-168
Required HS-SCCH Ec/Nt (dB):	-200

Figure 3.11 : Paramètres des équipements utilisateurs

3.3.7 Paramètres du nodeB et des antennes

Les principaux paramètres des NodesB requis par l'outil de planification sont :

- L'orientation des antennes,
- La hauteur des antennes,
- La fréquence porteuse
- Le modèle de propagation à utiliser pour la cellule lors de la simulation,
- Le scrambling code : Ce sont des codes permettant d'identifier chaque cellule du réseau. A la différence de la technologie FDMA utilisé dans le GSM où l'on utilise des fréquences, le WCDMA utilise des codes pour différencier les cellules.
- La puissance d'émission du *NodeB* pour un canal (puissance d'émission pour le *Pilot Channel*).
- Le niveau d'interférence maximal autorisé,
- La marge de slow fading (*Slow fading margin*)
- La puissance des différents canaux physiques dans le WCDMA tels que le SCH (*Synchronization Channel*), le CCPCH (*Common Control Physical Channel*), etc. Des valeurs prédéfinies de ces paramètres sont déjà fournies par l'outil de simulation mais on peut les modifier en fonction du type d'équipement utilisé par exemple ou de l'optimisation de la simulation à faire.

Des paramètres additionnels, comme la limite du nombre de canaux servant disponible, peuvent intervenir si on veut un résultat de simulation optimal et proche du cas réel.

La figure 3.12 montre les paramètres généraux des cellules, utilisés au cours de ces travaux.

Carrier	
Assigned Carrier:	Carrier1
UMTS Parameters	
Noise Rise Limit (dB):	6
Orthogonality Factor:	0.65
Pilot Power (dBm):	35.1
Max TX Power (dBm):	46
CCCH Powers relative to Pilot:	No
P-CCPCH Power (dBm):	31.95
S-CCPCH Power (dBm):	34.85
P-SCH Power (dBm):	33.3
S-SCH Power (dBm):	31.6
AICH Power (dBm):	Off
PICH Power (dBm):	Off
Soft Handover Window (dB):	3
Noise Figure (dB):	3.8
Active Set Size:	3
Fixed Max TX Power:	False
Fixed UMTS Channel Power:	False
DL Splitter Loss (dB):	0
Scrambling Code Schema:	All
HSPA Parameters	
HSDPA Power (dBm):	40
P-SCH Power (dBm): P-SCH Power for the Cell.	

Figure 3.12 : Paramètres des cellules

3.4 Simulation

3.4.1 Objectif de la simulation

La simulation a pour objectif de faciliter la phase de planification de couverture.

Cela permet de déterminer facilement, grâce à l'utilisation d'un outil de simulation (comme « ASSET » par exemple), l'emplacement des sites, la couverture réseau des sites existants et des nouveaux sites à établir, d'estimer la probabilité de couverture, et de déterminer les différents taux d'erreurs qui peuvent affecter la capacité du réseau sur la zone à couvrir pour un service donné.

Ainsi, elle permet de faciliter la prise de décision concernant la configuration courante (emplacement des nouveaux sites, paramètres des cellules, paramètres des services) et de la modifier au cas où elle n'est pas satisfaisante.

3.4.2 Les différentes étapes de la simulation

Généralement, les étapes suivantes sont effectuées lors d'une simulation pour une planification :

a) Détermination des emplacements des nouveaux sites :

Cette étape consiste à choisir les emplacements et les paramètres (hauteur, orientation, gain des antennes, etc.) du ou des nouveaux sites à mettre en place en fonction de l'emplacement de la zone à couvrir.

Concernant la hauteur des antennes, même si l'idéal est de mettre les antennes le plus haut possible pour couvrir une large zone (donc pour réduire le *path loss* comme ce qui est montré sur figure 3.13), il faut aussi considérer le fait que si la cellule couvre une trop large zone, cela augmente le nombre de voisin de la cellule et par conséquent, augmente les interférences engendrées et réduit la réutilisation des *scrambling codes*.

En outre, plus la hauteur de l'antenne est élevée, plus cela nécessitera un coût de construction important.

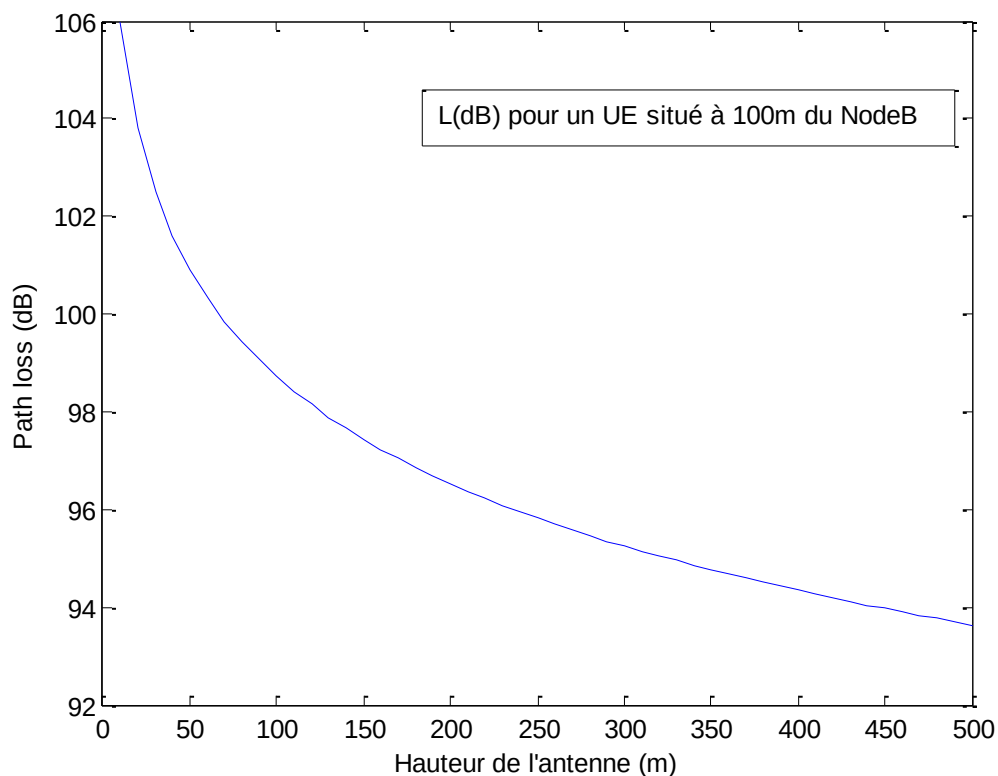


Figure 3.13 : Path loss Okumura Hata en fonction de la hauteur de l'antenne

b) L'évaluation de la couverture :

Elle permet de déterminer la surface couverte par le réseau d'accès radio en ne tenant en compte que le *path loss* et la puissance d'émission (*Pilot Channel*). Cette étape nécessite peu de ressource (temps de calcul de simulation) par rapport à l'étape suivante (section c), et permet ainsi de déterminer facilement l'emplacement et la hauteur optimale des antennes.

Si la couverture n'est pas satisfaisante lors de cette étape, on revient à l'étape précédente c'est-à-dire du choix de l'emplacement et du paramétrage des cellules.

c) La simulation de la couverture et de la performance du réseau :

Cette étape prend en compte la charge du réseau et les services utilisés pour déterminer la couverture en fonction du type de services et du trafic.

Elle permet d'évaluer la performance du réseau après une distribution de trafic, et de déterminer ainsi la surface de couverture du réseau d'accès radio lorsque ce réseau sera en fonctionnement. Au cas où la couverture ou la performance n'est pas satisfaisante, on revient à l'étape de paramétrage des sites.

3.4.3 Méthodes utilisées pour la simulation

Concernant l'analyse de la performance du réseau, on distingue deux classes de simulation : simulation statique et simulation dynamique.

La simulation statique se base sur les activités de l'utilisateur (exemple : il effectue un appel, il consulte des pages web (internet)).

La simulation dynamique se focalise de plus sur les détails des activités de l'utilisateur comme la durée des appels, le débit, etc.

Dans la plupart des cas, la simulation statique est la plus utilisée. Un exemple de simulation statique est la simulation de Monte Carlo. C'est ce type de simulation que propose l'outil « ASSET ».

3.4.4 La Simulation de Monte Carlo

3.4.4.1 Définition

La simulation de Monte Carlo est une méthode de simulation qui consiste à répéter plusieurs fois une expérience (distribution aléatoire des utilisateurs sur une surface donnée et test), et à récupérer ensuite la moyenne des valeurs obtenues. On appelle également une expérience un état instantané (« *snapshot* »).

3.4.4.2 Application de la simulation de Monte Carlo pour le réseau WCDMA

Concernant la simulation du réseau WCDMA, une expérience est considérée comme un état instantané du réseau (*snapshot*). Elle consiste à distribuer aléatoirement les utilisateurs (les UE) du réseau sur une surface géographique, et vérifier ensuite le bilan de liaison pour chaque utilisateur pour voir si ils peuvent correctement se connecter ou non au réseau et à utiliser les services offerts (exemple utilisation du service voix).

A la différence du calcul du bilan de liaison où l'on estime la charge du lien, la simulation permet de déterminer la charge du lien (UL Load et DL Load).

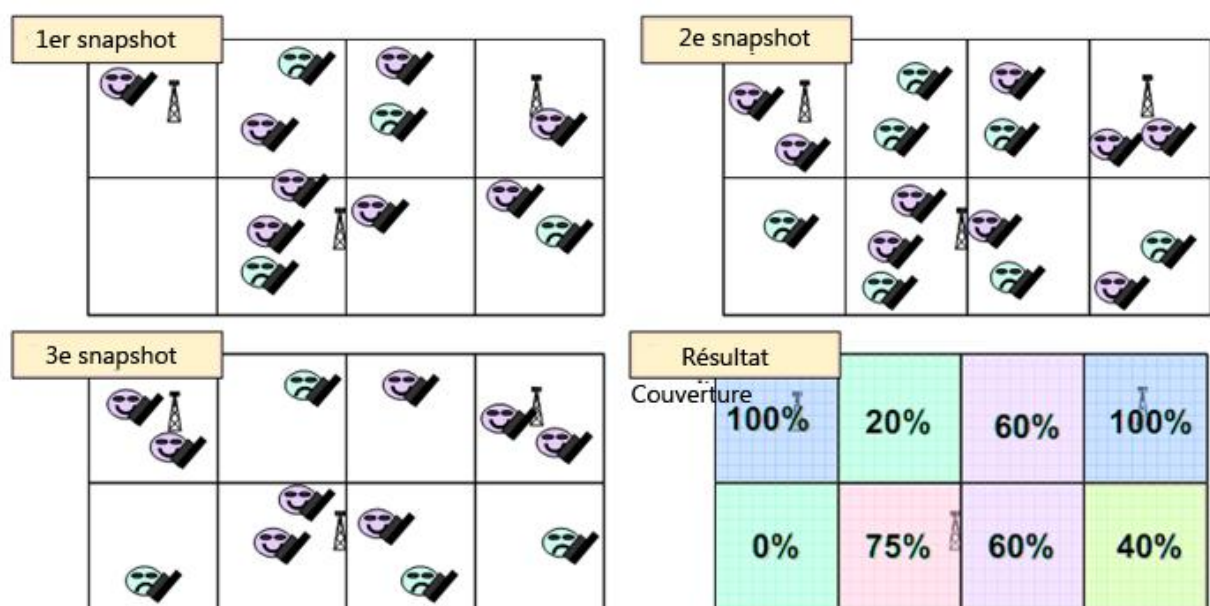


Figure 3.14 : Exemple de snapshot

a) Pendant la simulation

Un certain nombre d'expérience est effectué pour mesurer la performance du réseau à un instant donné (exemple : calcul du bilan de liaison de chaque UE).

Durant ces expériences, les UE sont distribuées aléatoirement sur une surface donnée (figure 3.04).

A chaque expérience ; des calculs sont effectués pour voir les différentes raisons d'échec de connexion.

Parmi les différentes raisons d'échecs considérées par le simulateur « ASSET » on peut citer : les interférences trop élevées, la non disponibilité de canal par exemple, ou parce que la puissance maximale de la liaison montante ou descendante est atteinte mais l'UE ne peut pas toujours se connecter, etc. Donc à chaque expérience, le simulateur modifie ces valeurs afin que les UE puissent être connectées au réseau.

Pour simuler l'environnement réel, le simulateur effectue une opération incrémentale suite au résultat de performance d'une expérience.

Cela signifie que d'une expérience à une autre, si par exemple la puissance d'émission d'un UE n'est pas suffisante pour atteindre une cellule (donc pour se connecter), alors à l'expérience suivante, cette puissance va être augmentée (simulation du « *power loop control* » ou contrôle de puissance dans le RRM du WCDMA). Cela est effectué jusqu'à atteindre la puissance maximale du mobile.

Plus le nombre d'expériences est importante, plus on s'approche d'un résultat réel.

A la fin de la simulation, les valeurs obtenues lors des expériences sont recueillis et analyser afin de déterminer la performance du réseau.

b) Résultats de la simulation

L'objectif de la simulation est d'obtenir un aperçu de ce que sera la performance du réseau une fois que les sites seront déployés.

Parmi les résultats de performance du réseau obtenus, on peut citer ces données essentielles :

- La couverture pour chaque type de service. (obtenue à partir du bilan de liaison et de la charge du lien).

- La puissance du « *pilot channel* » (nécessaire pour initier la connexion au réseau).
- La charge du lien (nécessaire pour le calcul du bilan de liaison du WCDMA).
- Les cellules servant les mobiles réparties lors de la simulation.
- La liste des cellules voisines de chaque cellule, qui sont des données utiles pour le paramétrage du « *Scrambling Code* » lors du réel déploiement.
- Le nombre de mobiles servis et le nombre d'échecs de connexion.
- Les raisons des échecs

3.5 Etude de cas

3.5.1 Objectifs

On va prendre le cas présenté dans la figure 3.15, où on veut ajouter un nouveau site dans la région entourée.

En plus des données géographiques, les conditions suivantes seront à satisfaire pour qu'un utilisateur à un point donné puisse accéder à un service.

Service	Voix 12K	Internet 384K
Puissance de réception requise	-105 dBm	-105 dBm

Tableau 3.01: Puissances de réception requises

Autre objectif : assurer en premier lieu la couverture en service voix, le service internet vient en seconde.

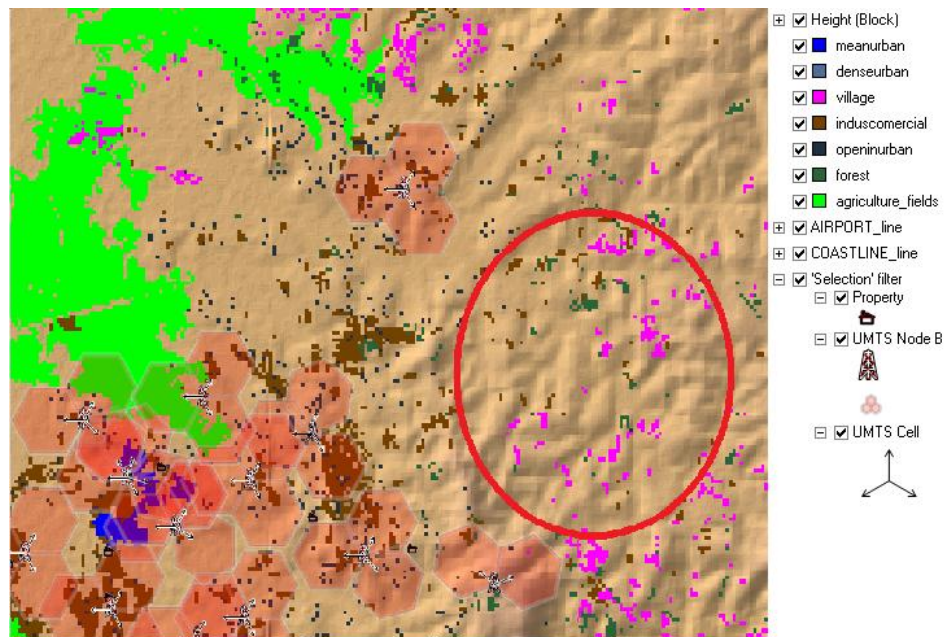


Figure 3.15 : *Zone à couvrir (entourée en rouge)*

3.5.2 *Choix de l'emplacement*

Après analyse du relief du terrain (par l'outil de planification), le nouvel emplacement ci-dessous (marqué par une croix de la figure 3.16) semble être un point intéressant.

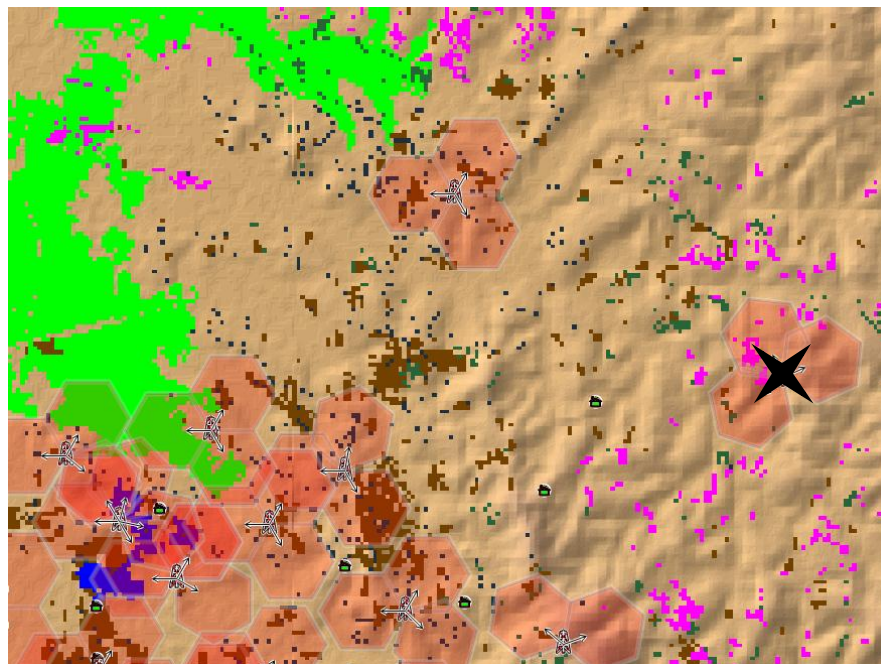


Figure 3.16 : *Choix de l'emplacement*

3.5.3 Estimation de la couverture en ne tenant compte que du modèle de propagation

Après avoir choisi le nouveau site et paramétré le *nodeB* (puissances, scrambling code, orientation des antennes, etc.), cette étape est utile pour déterminer la couverture radio des cellules si on considère qu'il n'y a aucun trafic sur le réseau. On obtient ainsi les intensités des signaux reçus sur tous les points de la vue actuelle de l'outil de planification. Ces données seront ensuite utilisées lors de la vraie phase de simulation de couverture de chaque service offert.

Le modèle de propagation utilisé est un modèle proposé par l'outil de simulation (modèle de la figure 3.07), pouvant s'adapter à différents types d'environnement (Urbaine, Macro-cell, etc.).

La figure 3.17 montre le résultat obtenu. Si on considère que la valeur minimale du signal tolérée est de -105 dBm (jaune), apparemment presque toute la surface est couverte par le réseau.

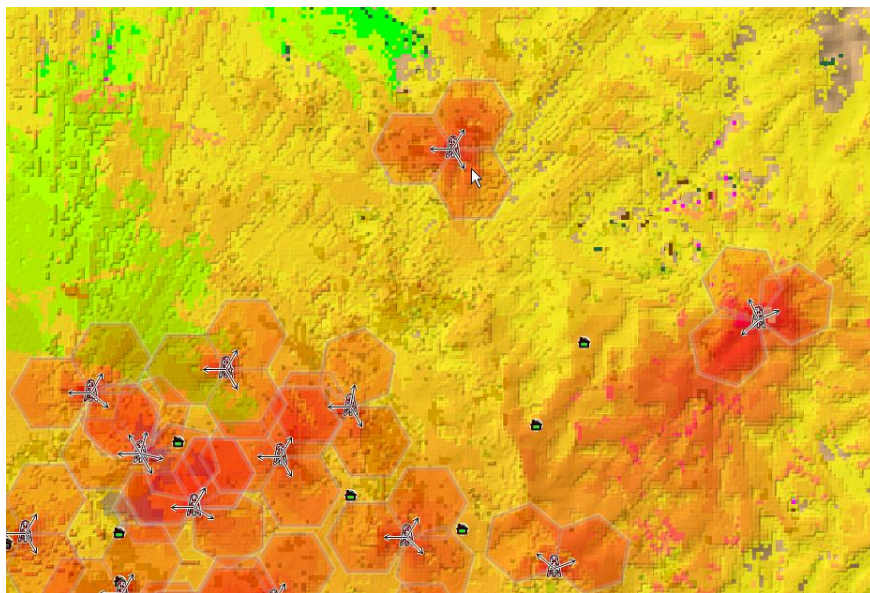


Figure 3.17 : *Propagation du signal*

3.5.4 Paramétrage de la simulation (Type de service, Estimation du trafic)

L'étape suivante consiste à définir la répartition des utilisateurs, le type de terminal utilisé par ces utilisateurs et les différents services disponibles.

Considérons que deux types de services sont proposés aux utilisateurs : La communication voix avec un débit de 12Kb/s , et l'Internet avec un débit de 384Kb/s . Les terminales seront de classe 3.

Concernant la répartition des utilisateurs, supposons qu'ils sont répartis uniformément sur les zones couvertes par le réseau (environ 20 terminales par km² sur la figure 3.18) :

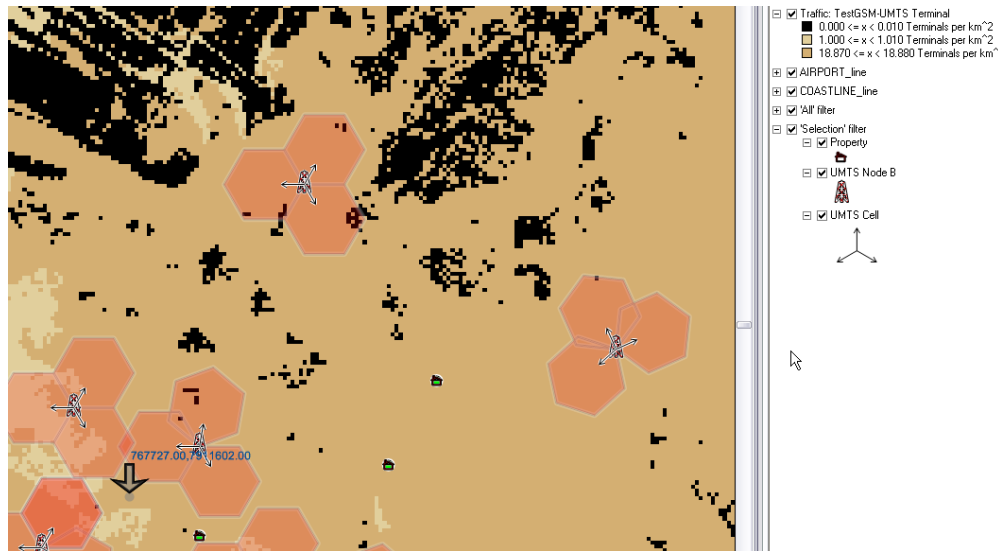


Figure 3.18 : Répartition des utilisateurs

3.5.5 Estimation de la couverture et de la capacité après ajout de trafic

L'étape suivante consiste à effectuer une simulation pour déterminer la couverture du réseau (en tenant compte de la répartition des utilisateurs et des différents services disponibles) et analyser la performance du réseau établi.

Pour cela, l'outil de simulation utilise le principe de simulation de Monte-Carlo.

Les résultats après simulations sont présentés ci-dessous :

3.5.5.1 CPICH E_c/I_o

Afin que l'utilisateur puisse identifier les cellules et initialiser sa connexion au réseau, il faut que le « *Pilot Channel* » CPICH venant de la station de base (*downlink*) arrive correctement. Pour cela, une certaine valeur du rapport signal Pilot Channel sur bruit E_c/I_o est requise.

Pour pouvoir être reçu correctement, E_c/I_o doit être supérieur à -14 dB [17].

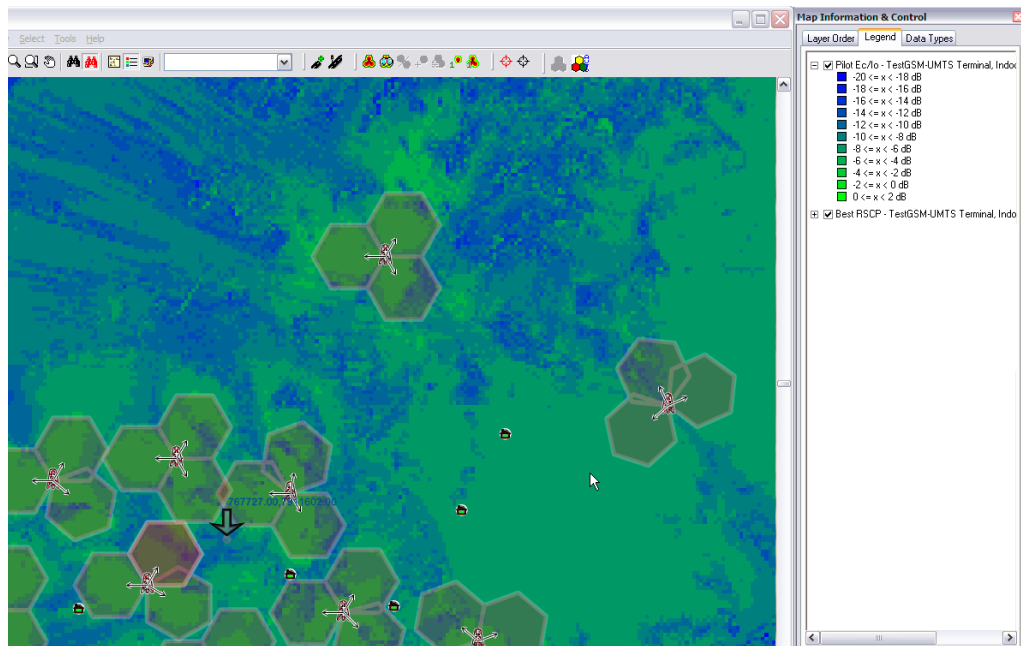


Figure 3.19 : *Pilot Ec/Io*

3.5.5.2 *Charge du lien*

La charge du lien, expliquée dans le paragraphe 2.3, intervient dans le calcul du bilan de liaison.

En outre, l'équation 2.30 montre que le *Noise Rise* dépend du nombre d'utilisateur et du débit de chaque utilisateur gérée.

La simulation a permis de déduire facilement sa valeur pour chaque point de la zone à couvrir (figure 3.20).

Un exemple de résultat de charge du lien pour la liaison montante (*Uplink Load*) est présenté ci-dessous (obtenu après simulation). Ces valeurs affectent le calcul du bilan de liaison, donc la couverture du réseau :

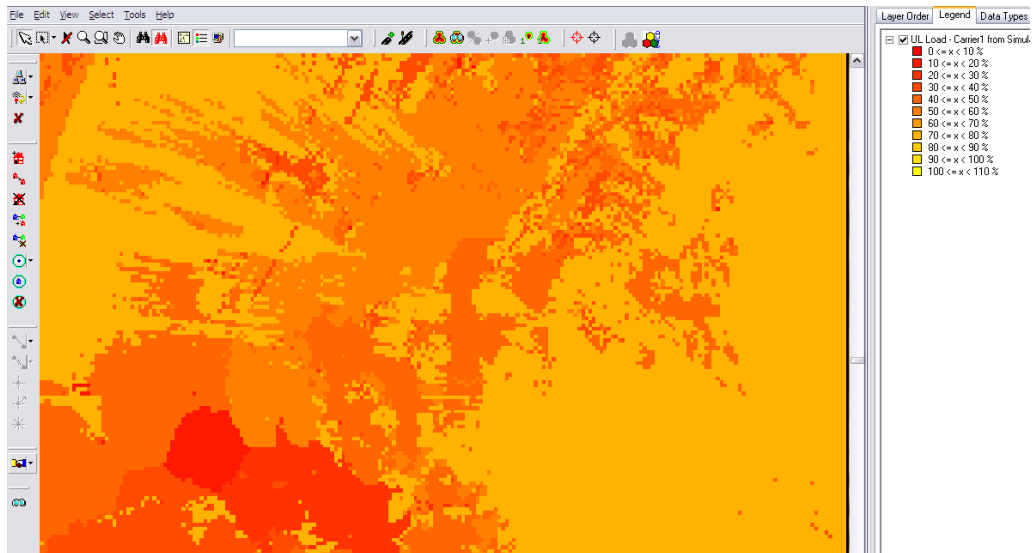


Figure 3.20 : *Charge du lien Uplink*

3.5.5.3 *Couverture Uplink du service voix 12K*

A partir des données de performance précédentes (charge du lien pour l'Uplink), et des données requis de départ (niveau de puissance requis par l'UE, débits) on obtient la couverture d'un service.

Concernant le service voix de 12 K si on considère le seuil de couverture : -105dBm, on a le résultat suivant (en rouge : couvert, en bleu : non):

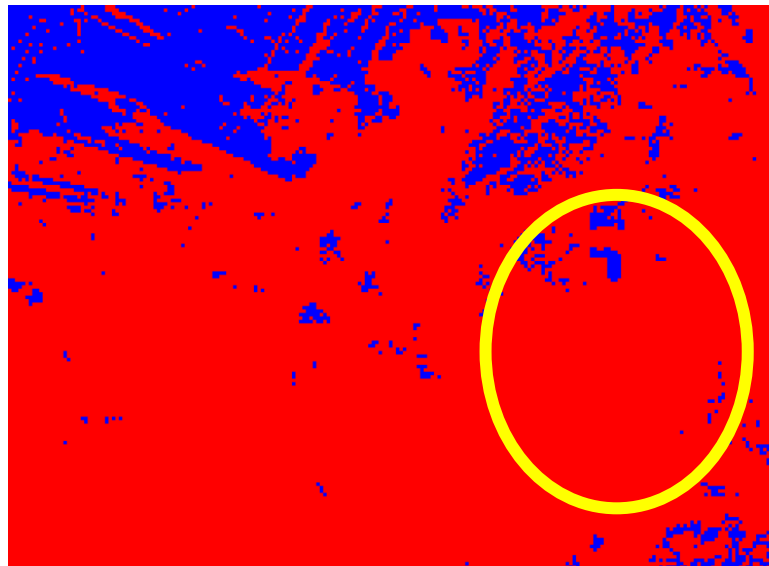


Figure 3.21 : *Couverture Uplink pour le service voix12K*

3.5.5.4 Connexion au réseau pour le service voix 12K et raisons des échecs

1	Cell Composite Report On Service VoiceService		
2			
3			
4	Mean Attempted	665,550	
5	Mean Served	439,950	66,10%
6	Mean Failed	225,600	33,90%
7	Mean In Soft or Softer Handover	73,900	16,80%
8	Mean In Softer Handover	15,800	3,59%
9	Mean Served HSDPA	0,000	0,00%
10	Mean Served HSUPA	0,000	0,00%
11			
12	Contributions to Failure		
13	No UL UMTSR99 Primary Channel	0,00%	
14	No DL UMTSR99 Primary Channel	0,00%	
15	UL UMTSR99 Channel Limit Reached	0,00%	
16	DL UMTSR99 Channel Limit Reached	0,00%	
17	Low Pilot	4,43%	
18	Low HS-SCCH	0,00%	
19	Downlink Eb/No (Range)	0,53%	
20	Downlink Eb/No (Capacity)	0,00%	
21	Uplink Eb/No	1,82%	
22	Noise Rise	98,20%	
23	No valid connection scenarios	0,00%	
24	No covering cells	0,00%	

Tableau 3.02: Capacité du réseau pour le service voix 12K et raison des échecs

Les données du tableau 3.02 ci-dessus, considèrent la surface totale de couverture sur la figure 3.09, et que les utilisateurs sont réparties selon la figure 3.18.

On remarque que la principale raison des échecs est le « Noise Rise », c'est-à-dire l'augmentation de l'interférence en fonction de l'augmentation du trafic. Ce résultat montre que la capacité du réseau est limitée par l'augmentation du niveau d'interférences dues aux autres services des utilisateurs du réseau.

3.5.5.5 Couverture uplink 384K

Si on considère la valeur -105dBm comme niveau de puissance requise pour recevoir correctement le service data 384K, on obtient le résultat sur la figure 3.22 comme zone de couverture (en rouge : couverte).

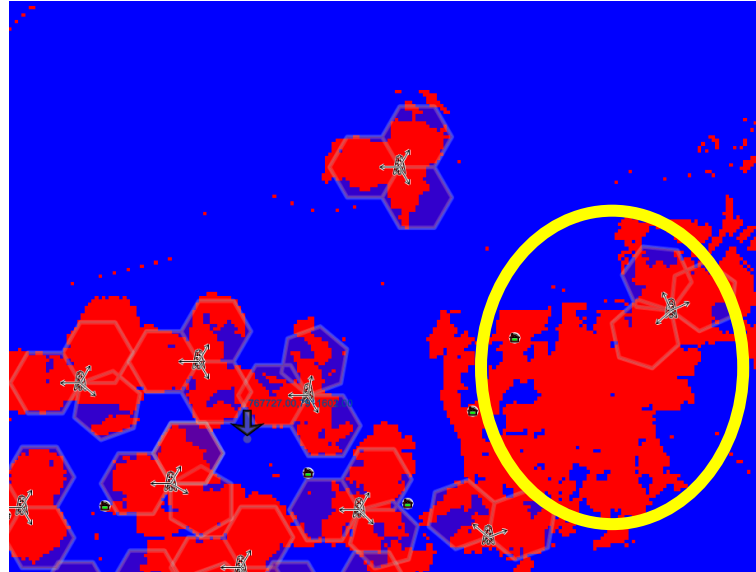


Figure 3.22 : *Couverture uplink 384K*

Comparée à la surface de couverture du service voix 12K de la figure 3.21, la zone de couverture du service donné 384K est moins élevée. C'est dû à l'augmentation de l'interférence à cause du débit élevé. Comme ce qui est montré dans le calcul du bilan de liaison (paragraphe 2.2.2.2), un débit élevé affecte la sensibilité du récepteur et la charge du lien.

3.5.5.6 *Cellules Voisines*

A partir des données de simulations, on peut obtenir la liste des cellules voisines.

Ces données sont utiles pour l'assignation des scrambling codes des cellules lors du réel déploiement.

Neighbour Analysis

Filter: All

Find: Find

☒ Display Proposed Cells Only Set All Priority

30 Select All

Identity	Carrier	Tech...
NodeB35A	Carrier1	UMTS
NodeB35B	Carrier1	UMTS
NodeB35C	Carrier1	UMTS
U_Ambat...	Carrier1	UMTS
U_Ambat...	Carrier1	UMTS
U_Ambat...	Carrier1	UMTS
U_Ambat...	Carrier1	UMTS
U_Ambat...	Carrier1	UMTS
U_Ambat...	Carrier1	UMTS
U_Ambat...	Carrier1	UMTS
U_Ambat...	Carrier1	UMTS

Display option: Proposed

Neighbour Totals: Total: 9 Outward: 8 Inward: 8

Identity	Carrier	Outward Margin(dB)	Inward Margin(dB)	Direction	Technology	Distance(km)	LAC	Outward F
NodeB35B	Carrier1	n/a	n/a	Mutual	UMTS-FDD	0.0	Unknown	No
NodeB35C	Carrier1	n/a	n/a	Mutual	UMTS-FDD	0.0	Unknown	No
U_Ambat...	Carrier1	n/a	n/a	Outward	UMTS-FDD	5.3	1400	No
U_Ambat...	Carrier1	n/a	n/a	Mutual	UMTS-FDD	5.3	1400	No
U_Sabna...	Carrier1	n/a	n/a	Mutual	UMTS-FDD	4.4	1400	No
U_Sabna...	Carrier1	n/a	n/a	Mutual	UMTS-FDD	4.4	1400	No
U_Sabna...	Carrier1	n/a	n/a	Inward	UMTS-FDD	4.4	1400	n/a
U_Soavi...	Carrier1	n/a	n/a	Mutual	UMTS-FDD	8.5	1400	No
U_TanaA...	Carrier1	n/a	n/a	Mutual	UMTS-FDD	6.8	1400	No

Figure 3.23 : *Liste des cellules voisines*

3.5.6 Conclusion

- La couverture pour le 12K est satisfaisante, de même pour le 384K si on considère la zone entourée en de la figure 3.16. Il serait quand même intéressant d'ajouter un autre site pour couvrir plus de surface.
- Les résultats de la simulation pour les services voix 12K (figure 3.21) et data 384K (figure 3.22) montrent que la couverture du réseau d'accès de la 3G dépend du type de service, c'est-à-dire de la capacité du réseau à fournir ce service. C'est la particularité de la planification de couverture du réseau d'accès 3G (basée sur la technologie WCDMA) par rapport à la planification de couverture du réseau GSM. Cela signifie que, placer un *nodeB* sur un site qui couvrirait déjà une zone en GSM peut ne pas être suffisant pour couvrir aussi la région en 3G. Ainsi, il est toujours nécessaire d'effectuer une phase de planification même pour ce genre de situation (ajout de la 3G sur un site 2G existant) afin de déterminer s'il est nécessaire de construire un nouveau site additionnel.

3.6 Après la planification

3.6.1 Le « site survey » ou descente sur site pour inspecter le site

Une fois la planification effectuée, l'étape suivante consiste à descendre réellement sur les emplacements planifiés des sites afin de déterminer si la mise en place des sites à ces endroits est vraiment possible.

En effet, il se peut qu'une fois arrivée sur terrain, l'emplacement d'un site candidat peut être par exemple situé sur un rocher, ou indisponible administrativement (emplacement indisponible, coût de location de l'emplacement trop élevé, etc.). Pour éviter cette situation, dès la phase de planification, il faut prévoir plusieurs sites candidats à un déploiement au lieu d'un seul.

3.6.2 La phase de déploiement et de paramétrage

Cette phase consiste à la construction des sites puis au paramétrage des nouveaux sites une fois qu'ils sont construits (réorientation des antennes, paramétrage des cellules, etc.).

3.6.3 Après le déploiement – l’optimisation

Généralement, des phases de test sont effectuées après le déploiement et l’activation des nouveaux sites. Ces tests ont pour objectif d’identifier les éventuelles opérations d’optimisation nécessaires afin d’améliorer la qualité du réseau (qualité de réception).

Le « Drive test » est un exemple de test effectué. Il a pour objectif de mesurer la qualité du signal et de repérer les zones où les échecs d’appel sont fréquents afin d’optimiser les paramètres après planification pour améliorer la qualité et la capacité.

A l’aide d’un outil conçu pour le drive-test (un logiciel sur ordinateur ou sur téléphone mobile), on mesure le niveau du signal venant de la station de base servant (connu à grâce à son ID), on effectue des tests d’appel et on enregistre le nombre et l’emplacement (le NodeB et la cellule correspondant) des échecs d’appels ou des appels rejetés (plus critiques que les appels échoués).

Un exemple de données reçues montrant le niveau de signal venant des cellules, à un point donné, est présenté sur le tableau 3.03 :

ID_Cellule	Nom_cellule	Niveau du signal reçu (dBm)
C_CellA1	Cellule A 1	-91
C_CellC2	Cellule C 3	-86
C_CellB1	Cellule B 1	-101
C_CellG3	Cellule G 3	-92
C_CellA2	Cellule A 2	-77

Tableau 3.03: Exemple de résultat drive test

Ces données seront exploitées lors d’une opération d’optimisation.

Parmi les travaux d’optimisation pour le WCDMA, on peut citer :

- La modification de l’angle d’élévation (*tilt*) ou d’orientation de l’antenne (une illustration de l’effet de cette modification sur la zone de propagation du signal est représentée par la figure 3.24).
- Ajout de répéteur UMTS afin de régénérer le signal émis (cas dans un immeuble par exemple).
- Utilisation d’un autre bande de fréquence si l’opérateur possède assez de licence pour cela. Il est possible aussi de réutiliser la fréquence allouée au GSM (UMTS 900). Cela permet de gagner en capacité sans avoir à installer une nouvelle station de base.

- Modification des paramètres dans l'algorithme RRM (changer par exemple la puissance max de l'UE autorisée).

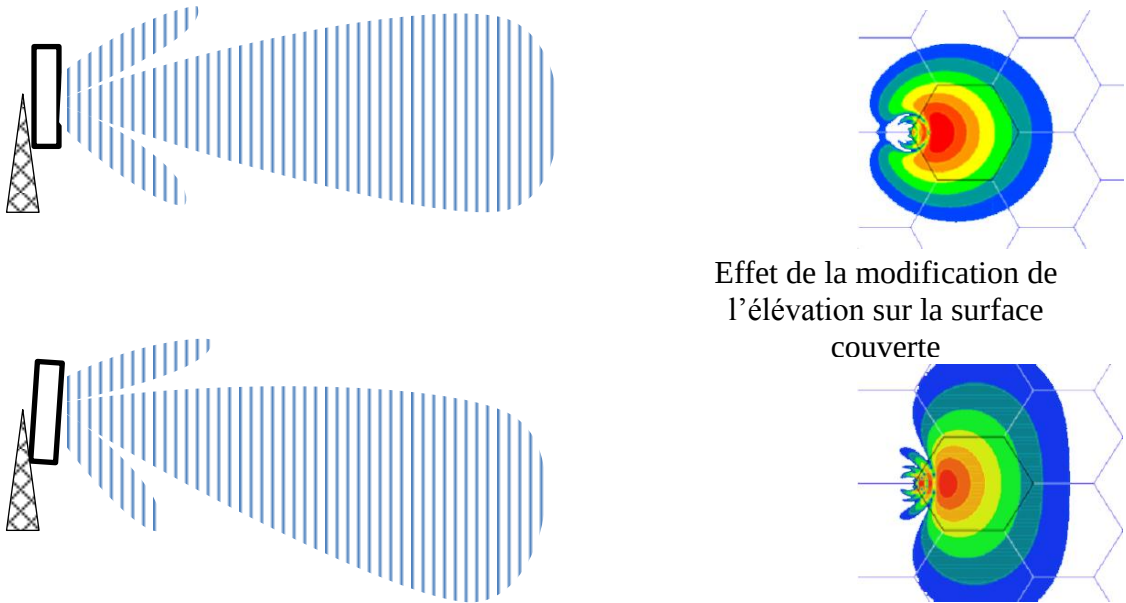


Figure 3.24 : *Modification de l'élévation de l'antenne (tilt)*

CONCLUSION GENERALE

Le support de transmission, permettant aux équipements utilisateurs (téléphone, tablette, modem, etc.) d'avoir accès au réseau d'un opérateur pour l'UMTS est l'interface radio (l'air). Ceci est possible grâce aux différentes techniques de modulation, de codage et de multiplexages, utilisés dans le WCDMA.

L'utilisation de l'interface radio comme support présente un avantage puisque qu'il permet d'assurer la mobilité de l'utilisateur sans encombrement.

Les signaux envoyés sur l'interface sans fil sont quand même facilement altérables à cause des différents obstacles sur le trajet et l'air, qui les atténuent. Plus un utilisateur avec un UE se trouve éloigné d'une station de base émettrice, plus sa probabilité d'être couverte par le réseau est faible.

En outre, le système WCDMA est sensible à l'interférence due à l'augmentation du trafic. Une charge élevée de la cellule (débit élevé, nombre d'utilisateur élevé) engendre en effet la diminution du rayon de couverture.

L'objectif principal de la planification de la couverture réseau est d'obtenir une solution rentable pour l'opérateur en termes de couverture, de capacité, et de coûts d'investissement pour les équipements. Plus on veut assurer la capacité, plus le nombre de cellule pour assurer la couverture sera important et de même pour le coût d'investissement. Trop peu de cellule engendre quand même une sous-estimation de la capacité, et peut altérer la qualité du réseau. Il faut ainsi trouver l'équilibre entre ces trois éléments lors de la planification.

La planification commence par une phase de dimensionnement qui permet d'avoir une approximation du rayon des cellules et du nombre d'équipement nécessaire pour le déploiement.

Le calcul de bilan de liaison, effectué lors du dimensionnement, permet d'avoir une approximation de la perte de trajet « path loss » maximale autorisée. Il permet par la suite, grâce au modèle de propagation approprié à l'environnement de la région à couvrir, de déterminer la surface couverte par une cellule.

Après la phase de dimensionnement, la détermination de l'emplacement des nouveaux sites est une étape importante. L'utilisation d'un outil de simulation permet de faciliter cette tâche.

En effet, grâce à l'utilisation des données géographiques de la zone à couvrir (par exemple relief du terrain, la densité des utilisateurs, etc.), il est plus facile de déterminer avec un outil de

planification la hauteur et l'altitude des emplacements, l'orientation des antennes, les paramètres des NodeB, et d'estimer aussitôt la zone de propagation du signal.

La simulation permet aussi d'avoir une visualisation de la couverture finale et du niveau de puissance reçue par chaque UE. C'est un élément important du fait que les couvertures pour chaque type de service offert par un réseau UMTS sont différentes à cause de l'effet de la charge du réseau (la capacité) sur la couverture (la couverture du CS12K est différente de celle du PS384K).

Après le déploiement des nouveaux sites, afin d'améliorer la qualité de son réseau, l'opérateur effectue des opérations d'optimisations. Ces optimisations engendreraient par exemple la modification des orientations des antennes, le changement de la puissance d'émission, etc. et peuvent conduire jusqu'à la décision d'installation de nouveaux sites, donc d'une nouvelle planification.

ANNEXE 1

CANAUX UMTS DANS L'UTRAN

Cette annexe présente les canaux logiques, canaux de transport et canaux physique de l'UTRAN.

Canaux logiques (logical channels)

BCCH (Broadcast Control Channel)

Le BCCH est un canal qui diffuse les informations nécessaires aux UEs concernant la cellule comme son identité, les canaux radios de ses cellules voisins, etc.

PCCH (Paging Control Channel)

C'est un canal de la liaison descendante associé au PICH et est utilisé pour transporter des messages de paging et des informations de notifications.

DCCH (Dedicated Control Channel)

Le DCCH est un canal bidirectionnel utilisé pour transmettre des informations de contrôle, dédiés entre l'UE et le réseau. Il est utilisé par exemple dans le cas d'un *handover* inter-fréquence, ou pour rapporter et contrôler les différentes mesures effectuées.

DTCH (Dedicated Traffic Channel)

Le DTCH est un canal bidirectionnel utilisé pour transporter les données d'un utilisateur.

CTCH (Common Traffic Channel)

Le CTCH est un canal de la liaison descendante, utilisé pour transférer des informations dédiées à un groupe d'UEs.

Canaux de transport (transport channels)

Les canaux de transports (*transport channels*) peuvent être catégorisés en deux : les *dedicated transport channels* (canaux de transport dédiés) qui transportent les informations d'un utilisateur et les *common transport channels* (canaux de transport communs) qui sont pour le transport des informations de plusieurs utilisateurs. Les paragraphes qui suivent, présentent les différents types de canaux de transport.

Le DCH ou Dedicated Channel, un canal duplex (*uplink* et *downlink*), est un canal dédié pour un utilisateur particulier (un UE) pour le transport des données de l'utilisateur.

Le BCH (Broadcast Channel) est un canal dans le sens *downlink*, utilisé pour diffuser de l'information vers tous les utilisateurs couverts par la cellule.

Le RACH (Random Access Channel) est un canal *uplink* (basé sur une contention) qui est utilisé pour transmettre des informations de contrôle venant du terminal vers le réseau (exemple pour essayer d'avoir accès au réseau).

Le FACH (Forward Access Channel) est un canal *downlink* à faible débit, utilisé en général pour transmettre les réponses au RACH.

Le PCH (Paging Channel) est un canal *downlink*, utilisé pour diffuser des informations de contrôle vers la cellule entière, comme les informations de paging (pour localiser et pour réveiller les terminaux auxquels le réseau veut initier une communication). Il est ainsi employé pour transporter les messages qui alertent l'utilisateur en cas d'appels entrants, d'arriver de message SMS, ou d'autres informations de maintenance comme la réenregistrement sur le réseau.

CPCH (Uplink Common Packet Channel) et *le DSCH (Downlink Shared Channel)* sont des canaux partagés, utilisés particulièrement pour transporter des données ou des informations de contrôles (additionnels au RACH). Ils sont devenus obsolètes avec le Release 5 et 6 (HSPA).

HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) est un canal supportant un débit important (en Mb/s) sur la voie descendante tout en étant partagé entre tous les utilisateurs, contrairement au DCH (*Dedicated Channel*) de l'UMTS. C'est un nouveau canal apparu dans le HSDPA

Canaux physiques (physical channels)

Le canal physique est le canal le plus important ; un canal physique est défini par une fréquence porteuse, des codes (*scrambling code* et *spreading code*) et une phase spécifique. Dans le système CDMA, les différents codes (*spreading code*, *scrambling code*) permettent de distinguer les canaux. La plupart des canaux est constituée de trames et de time-slots, et chaque trame radio est constituée de 15 times slots.

Les différents canaux physiques sont les suivants :

SCH (Synchronization Channel)

Le SCH (*Synchronization Channel*) est utilisé par le terminal pour se synchroniser avec la cellule, et ajouté à cela, transmet des informations pour faciliter l'identification du *scrambling code* utilisé par la cellule. La première chose qu'un terminal effectue, lorsqu'il vient d'être allumé, est de scanner le spectre UMTS afin de déterminer une cellule UMTS. Cela signifie qu'il doit trouver le *scrambling code* utilisé par la cellule pour pouvoir décoder les informations du système. Cela est possible grâce au SCH. Le SCH est constitué par deux sous-canaux : Le *Primary SCH* et le *Secondary SCH*. Ces deux sous canaux sont envoyés parallèlement (en multiplexage par code) pendant les premiers 256 chips de chaque intervalle de temps.

Le P-SCH transmet des *primary synchronization codes* et le S-SCH, des *secondary synchronization codes* (SSC).

Un même *primary synchronization code* est utilisé par les cellules du réseau. Il permet aux mobiles de détecter l'existence d'une cellule UMTS et de se synchroniser au time slot correspondant.

Le S-SCH avec le *secondary synchronization code* (SSC) permet d'indiquer (permet au mobile de déterminer) lequel des 64 groupes de *scrambling codes* est utilisé par la cellule (et permet au UE par la suite de déterminer, par le CPICH, lequel des 8 *scrambling codes* du groupe est utilisé par la cellule).

CPICH (Common Pilot Channel)

Le CPICH est un canal purement physique, diffusé sur la cellule entière. Aucun canal de transport n'est associé à lui. Il consiste à une séquence de bits connus qui sont transmis en parallèle avec le CCPCH. Il fournit une phase de référence pour les canaux communs (SCH, P-CCPCH, AICH, PICH), et est utilisé par le mobile pour déterminer lequel des 8 (*primary*) *scrambling codes* possibles est utilisé par la cellule (pour identifier les cellules). La puissance de ce canal, reçue par l'UE, est une référence lors du calcul du bilan de liaison pour déterminer si l'UE est couvert par la cellule ou non.

Le P-CCPCH (Primary Common Control physical Channel)

Le P-CCPCH est un canal downlink à débit fixe (30 kbps, SF 256), utilisé pour porter le canal de transport BCH.

PICH (Page Indicator Channel)

Le PICH (*Page Indicator Channel*) est un canal physique à débit fixe (30kbps) utilisé par le *NodeB* pour informer l'UE qu'une information de paging sera bientôt transmise par le canal de transport PCH.

S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel)

Le S-CCPCH est utilisé pour porter les couches de transports PCH et FACH.

PRACH (Physical Random Access Channel)

C'est un canal physique de l'*Uplink*. Le PRACH est utilisé par l'UE pour accéder au réseau et pour porter de faibles quantités de données. Il porte le canal de transport RACH. Le PRACH est canal du *open loop power control* (du RRM).

AICH (Acquisition Indicator Channel)

L'AICH est un canal *downlink* commun, utilisé pour l'accès aléatoire à l'*Uplink*. Il transporte des « *Acquisition Indicators (AI)* » (indicateur d'acquisition de ressource).

Uplink Dedicated Physical Channel (DPDCH-DPCCH)

On distingue deux types de canaux physiques dédiés pour un utilisateur pour l'*uplink*: L'*uplink Dedicated Physical Data Channel (U-DPDCH)* et le *Dedicated Physical Control Channel (U-DPCCH)*. Le DPDCH est utilisé pour transporter les données du canal de transport DCH. Le DPCCH sert pour le transport des bits de contrôle générés au niveau de la couche 1 (couche physique).

Downlink Dedicated Physical Channel (DPDCH-DPCCH)

L'U-DPCCH et l'U-DPDCH ont des paires dans le sens descendants de la liaison : le *Downlink-DPDCH* et le *Downlink-DPCCH*. Ils ont les mêmes rôles que leurs subsidiaires de la liaison montante. La différence entre l'*Uplink* et le *Downlink Dedicated Physical Channel*, c'est que le *downlink* utilise un multiplexage temporel (TDMA) pour le D-DPCCH et le D-DPDCH alors que l'*Uplink* utilise un CDMA.

Physical Common Packet Channel (PCPCH)

Ce canal est spécialement conçu pour transporter des paquets de données.

High-Speed Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH)

Le HS-PDSCH partage des informations de contrôles aux UEs couverts par un *nodeB*. C'est un canal physique *downlink* qui transporte des données et des bits venant de la couche de transport HS-DSCH. C'est un nouveau canal apparu dans le HSDPA.

High-Speed Shared Control Channel (HS-SCCH)

Transporte les signalisations de la couche physique vers l'UE comme le type de modulation, la taille des blocs de transport, l'indicateur de nouvelles données.

High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH)

Canal physique transportant la signalisation associée au HS-DSCH.

ANNEXE 2

EVOLUTION DE L'UMTS

La 3GPP a établi plusieurs phases d'évolution de la 3G au cours des années. Ces évolutions sont marquées par le terme « *Release* ».

Des améliorations et de nouvelles spécifications ont été apportées à l'UMTS suite aux résultats de nombreux travaux de recherche. Ces groupes de spécifications, établis par le 3GPP, sont appelé « *Release* ». Le premier release est le *release 99*, qui présentait les premières spécifications de l'UMTS. D'autres releases ont été ensuite sortis, marquant ainsi l'évolution de la téléphonie mobile au cours des années (*Release 4*, *Release 5*, *R6*, etc.). [10]

Release 4

Parmi les améliorations et les spécifications inclus dans le Release 4 [10] [27], on peut citer :

- La modification de l'architecture du réseau cœur, où le MSC a été divisé en deux parties : le *MSC server* et le *Media Gateway* (MGW). Le *MSC Server* s'occupe du contrôle des appels et de la gestion de la mobilité, et le MGW gère l'utilisation des ressources de transmission (figure b.01).
- Une spécification pour un répéteur de l'UMTS afin de retransmettre le signal pour une meilleure réception FDD (cas dans l'intérieur d'un immeuble par exemple).

Release 5

Le release 5 apportait de nombreuses améliorations au système UMTS. Parmi ces améliorations, on peut citer [28]:

- L'apparition du *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA), qui apportait des modifications sur l'architecture du réseau, et sur l'UTRA (de nouveaux canaux, de nouveaux systèmes de modulation). Le HSDPA permet de passer à des débits de 10Mb/s pour les données.
- Les services IP Multimédia (applications avec des contenus temps réel avec IP, par exemple : audio, vidéo+audio, etc.) avec l'introduction de l'*IP Multimedia core network Subsystem* (IMS) dans le réseau cœur.

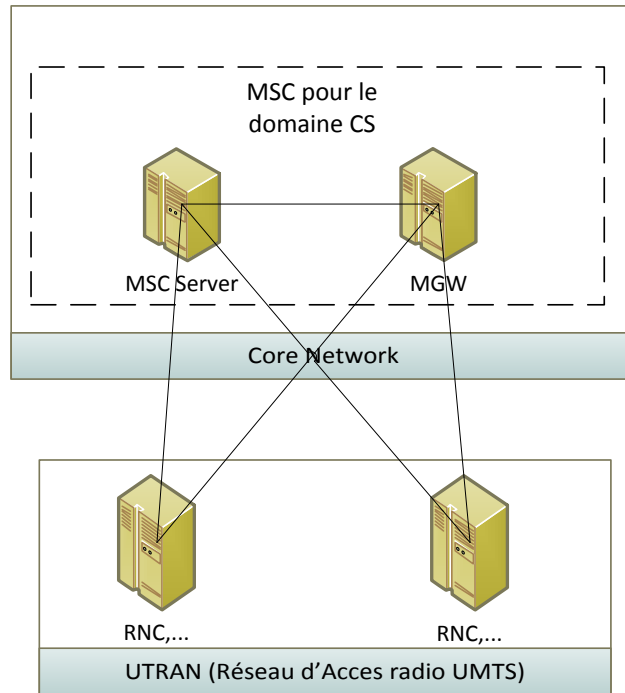


Figure b.01 : *Changement du MSC dans le Release 4* [27]

Autres releases

Les travaux effectués par la 3GPP ne s'arrêtaient pas d'évoluer au cours des années. Le release 6 apportait par exemple le HSUPA, permettant d'avoir des débits élevés (en Mb/s) pour l'UMTS.

A part l'UMTS, ces releases portaient aussi des améliorations du GSM, et les dernières versions (à partir du *Release 8*) présentent la LTE (3,9G et 4G).

Les rapports et les documents de spécification concernant ces releases sont consultables sur le site officiel du 3GPP (www.3gpp.org) [10].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. Parkvall, J. Sköld, E. Dahlman, « *3G Evolution (HSPA And LTE)* », 2007.
- [2] P. Mather, S. Coope, J. Bannister, « *Convergence Technologies for 3G Networks : IP, UMTS, EGPRS and ATM.* », 2004.
- [3] H. Holma, Antti Toskala, « *WCDMA for UMTS HSDPA Evolution and LTE.* », 2007.
- [4] H. Friedhelm, « *GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication.* », 2002.
- [5] A. R. Mishra, « *Cellular Technologies for Emerging Markets 2G, 3G, and Beyond.* », 2010.
- [6] Huawei Technologies, « *Basic Principles Of WCDMA System.* », 2004.
- [7] Huawei Technologies, « *WCDMA RAN Planning,* », 2010.
- [8] Nawrocki, « *Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and Automated Optimisation.* », 2006.
- [9] UMTSWord, « *UMTSWord* », « <http://www.umtsworld.com> », 2003
- [10] 3GPP, « *Site web 3GPP* », « <http://www.3gpp.org> », 2012
- [11] 3GPP, « *TS25.101, User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)* », 2000.
- [12] 3GPP, « *Overview of 3GPP Release 1999 V0.1.1* », 2010
- [13] A. R. Mishra, « *Advanced Cellular Network Planning And Optimisation 2g/2.5g/3g... Evolution To 4g.* », 2007.
- [14] A. Kurochkin, S. Kettani, E. Dinan, « *UMTS Radio Interface System Planning and Optimization* », 2007.
- [15] T. Ulrich, « *Efficient Methods for WCDMA Radio Network Planning and Optimization.* », 2007.

- [16] C. R. Brunner, A. Garavaglia, K. P. Murray, K. R. Baker C. Chevallier, « *WCDMA Deployment Handbook* », 2006.
- [17] M. Manninen, J. Lempiäinen, « *UMTS Radio network planning, optimization and Qos management for pratical engineering tasks.* », 2004.
- [18] Huawei Technologies, « *WCDMA RAN Planning and Optimization* », 2008.
- [19] M. Manninen, J. Lempiäinen, « *Radio Interface System Planning for GSM GPRS and UMTS* », 2002.
- [20] IEEE, « *Estimation of capacity and required transmission power of WCDMA downlink based on a downlink pole eq - Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st* », 2000.
- [21] Huawei Technologies, « *WCDMA RNP Link Budget,* », 2011.
- [22] K. Yajun, « *<http://www.ece.uvic.ca/~peterd/35001/ass1a/node1.html>.* », 2000.
- [23] AIRCOM, « *ASSET User Reference Guide.* », 2010.
- [24] T. Lee, T. Griparis, « *The Capacity of a WCDMA Network: A Case Study* », 2005.
- [25] M. Stasiak, « *Modeling and Dimensioning of Mobile Networks.* », 2011.
- [26] A. Toskala, H. Holma, « *WCDMA for UMTS 3rd Edition.* », 2004.
- [27] 3GPP, « *Overview of 3GPP Release 4 V1.1.2* », 2010.
- [28] 3GPP, « *Overview of 3GPP Release 5 V0.1.1* », 2010.

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom : ANDRIANARISON

Prénoms : Miradontsoa Asafa

Adresse de l'auteur : LOT ID 78 Amparibe Mahamasina
Antananarivo 101- Madagascar

Tél : +261 33 29 323 05

E-mail : *miradontsoa@gmail.com*



Titre du mémoire :

*« DIMENSIONNEMENT ET PLANIFICATION DU RESEAU D'ACCES RADIO DU WCDMA
SOUS "ASSET " »*

Nombre de pages : 102

Nombre de tableaux : 6

Nombre de figures : 48

Mots clé :

Planification, Dimensionnement, Réseaux cellulaires, Couverture, Capacité, UTRAN, UMTS, 3G, HSPA, WCDMA, ASSET, Bilan de liaison, Modèle de propagation, Outil de planification

Directeur de mémoire :

Nom : RANDRIAMITANTSOA

Prénoms : Paul Auguste

Grade : Professeur Titulaire

Tél : +261 34 10 342 58

E-mail : *rpauguste@gmail.com*

RESUME

L'UMTS, est une des technologies de communication mobile utilisant l'interface radio (l'air) pour permettre à ces utilisateurs d'avoir accès au réseau. C'est pourtant un support sensible aux altérations dues à son environnement. A part ces altérations, le WCDMA, technologie adoptée pour l'UMTS est un système qui n'utilise qu'une seule paire de fréquence pour transmettre les différents canaux multiplexés en code. Par conséquent, elle est sensible aux interférences engendrées par les équipements utilisateurs voisins et leurs utilisations des services. La capacité du réseau affecte ainsi la couverture radio.

La planification du réseau d'accès est un ensemble d'étude faite afin de déterminer l'emplacement et les paramètres des équipements à mettre en place pour couvrir une région. Le processus de planification et les critères affectant le réseau varient de région en région en fonction des informations géographiques de la région à couvrir, et du facteur dominant qui peut être la capacité (cas d'une zone urbaine) ou la couverture (zone rurale).

ABSTRACT

UMTS is a mobile communication technology using the air interface to allow its users to get access to the network. However, air interface is sensitive to alterations caused by its environment. In addition to that, WCDMA, technology adopted for the UMTS, is a system that uses a single frequency duplex to transmit different channels from different users of cells, by using code division multiple accesses. Therefore, it is susceptible to interference caused by neighboring equipment users and their use of services. So, network capacity affects network coverage.

Radio network planning, also called radio design, is a set of study which aims to determine the location and parameters of equipment to be used to cover a region. The planning process and criteria affecting the network design vary from region to region depending on geographic information of the area to cover, and dominant factor, which could be the capacity (in the case of an urban area) or coverage (rural area).