

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D' INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D' ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Electronique**

Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**

Thème

Optimisation de la capacité d'un réseau UMTS

Proposé par :

M : LAZRI

Réalisé par:

Belkaid fatma
Akkouche hayet

2014/2015

Remerciements

Tout d'abord je remercie « le bon Dieu » le tout puissant de m'avoir donné le courage, la patience et la volonté afin de réaliser ce modeste travail et qui m'a éclairer les chemins par la lumière de son immense savoir.

J'exprime ma profonde gratitude à mon promoteur M^r LAZRI pour m'avoir honoré en acceptant de diriger ce travail et pour son aide, ces orientations, ces conseils, de m'avoir assisté tout de mon travail.

Et Je tien à exprimer mes remerciement aux personnes qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de mon travail.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

A mes très chers parents ;

A mes sœurs : Dehbia, Tassadit , et Ghania ;

A mes Frères : Aziz, Arezki, Rabah;

et Rachid ;

A mon époux : Tarik;

A tous mes amis (es).

Fatma

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

A mes très chers parents ;

A mes sœurs : Fatma, Ghania, Zahia ;

Farida, Naima, et Nassima;

A mes Frères : Hossin, Hassan;

et Redouane;

A mon époux : Nouredine ;

A tous mes amis (es).

Hayet

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
CHAPITRE 1 : introduction au réseau UMTS et technique d'accès CDMA	
1.1 Préambule.	3
1.2. Les générations de réseaux mobiles.	3
1.2.1. Rappel sur les générations de téléphonie mobiles.	3
1.2.2. Le réseau actuel : GSM.	3
1.3. Présentation de l'UMTS	4
1.3.1. L'UMTS et ses objectifs.....	4
1.3.1.1. Définition.....	4
1.3.1.2. Objectifs	4
1.3.1.3. Classe de services.....	4
1.3.1.4. Couverture globale de L'UMTS.....	5
1.3.1.5. Organisation fréquentielle.....	6
1.3.1.6. Organisation temporelle.....	6
1.3.2. Les principaux avantages de l'UMTS.....	6
1.3.2.1. Le débit.....	6
1.3.2.2. Découpage en strates.....	7
1.3.2.3. Les multiples services innovants	7
1.4. L'architecture du réseau UMTS	8
1.4.1. L'architecture générale de l'UMTS.....	8
1.1.2.1 L'équipement utilisateur (UE)	8
1.4.2. Le réseau d'accès radio UMTS terrestre: UTRAN.....	9
1.4.3. Le réseau cœur	10
1.5. L'interface radio UMTS	11
1.5.1. Les couches de l'interface radio.....	11

1.5.1.1. La couche physique	12
1.5.1.2. La couche liaison de données	12
1.5.2. Les canaux de l'interface radio.....	13
1.5.2.1. Canaux logiques.....	14
1.5.2.2. Canaux de transport	14
1.5.2.3. Canaux physiques.....	14
1.5.3. L'interaction entre les couches de l'interface radio	14
1.6 L'interface réseau de l'UTRAN : Iu	15
1.6.1. L'interface Iu CS (Iu Circuit Switched)	16
1.6.2. L'interface Iu PS (Iu Packet Switched)	16
1.7. La technique d'accès WCDMA.....	17
1.7.1. Accès multiple à répartition par code CDMA	17
1.7.1.1. Modulation par sauts de fréquences	18
1.7.1.2. Modulation par séquence directe.....	18
1.7.2. La technique Wideband CDMA	21
1.8 Le soft Handover	21
1.9. Discussion	22

Chapitre II : Modélisation de la capacité d'une cellule UMTS.

2.1 Préambule	23
2.2 Modélisation de la capacité d'une cellule UMTS sur la liaison montante.....	23
2.2.1 Modèle d'évaluation de la capacité.....	23
2.2.1.1 Hypothèse	23
2.2.1.2 Définition des paramètres	24
2.2.1.3 Mise en équation du modèle.....	24
2.2.2 Facteurs limitant la capacité sur la liaison montante	26
2.2.2.1 une puissance insuffisante sur le lien montant	26
2.2.2.2 la limitation de la charge de la cellule sur le lien montant	27
2.3 Modélisation de la capacité d'une cellule UMTS sur la liaison descendante.....	27
2.3.1 Modèle d'évaluation de la capacité.....	27

2.3.1.1 Hypothèse	27
2.3.1.2 Définition des paramètres	28
2.3.1.3 Mise en équation du modèle.....	29
2.3.2 Les facteurs limitant la capacité sur le lien descendant	30
2.3.2.1 la limitation de la puissance de la cellule sur le lien descendante.....	31
2.3.2.2 la limitation des codes OVSF (Ortogonal Variable Spreading Factors)	31
2.4 Discussion.....	31

Chapitre III simulation de la capacité d'un site UMTS

3.1 Préambule	32
3.2 Modèle d'un réseau.....	32
3.2.1 Hypothèses	32
3.2.2 Le modèle de propagation adopté	32
3.3 Analyse de la capacité sur la liaison montante.....	33
3.3.1 Simulation	33
3.3.1.1 Description de la simulation.....	33
3.3.1.2 Principe de la simulation	35
3.3.1.3 Paramètre de la simulation	36
3.3.2 Résultats et interprétations.....	37
3.4 Analyse de la capacité sur la liaison descendante.....	40
3.4.1 Simulation	40
3.4.1.1 Description de la simulation.....	40
3.4.1.2 Principe de la simulation	41
3.4.1.3 Paramètre de la simulation	42
3.4.2 Résultats et interprétations.....	43
3.5 Discussion.....	45

CHAPITRE IV : Modélisation et Optimisation de la capacité globale d'un réseau UMTS.

4.1. Préambule	46
----------------------	----

4.2.1 Modélisation du réseau	46
4.2.1 Hypothèses et paramètres de la modélisation	46
4.2.2 Positionnement des sites.....	46
4.2.3 Sélection des meilleures cellules.....	47
4.3 Évaluation de la capacité en liaison montante.....	47
4.3.1 Description de la simulation	47
4.4 Évaluation de la capacité en liaison descendante.....	48
4.4.1 Description de la simulation	48
4.5 Modélisation de déférente distribution d'abonnés	48
4.5.1 Modélisation d'une distribution uniforme des abonnés.....	48
4.5.1.1 Principe de la modélisation	48
4.5.1.2 Résultat de la simulation.....	49
4.5.2 Modélisation d'une distribution variable des abonnés	50
4.5.2.1 Principe de la modélisation	50
4.5.2.2 Résultat de la simulation.....	50
4.6 Optimisation globale de la capacité du réseau	52
4.6.1 Description du problème	52
4.6.2 L'algorithme génétique	52
4.6.2.1 Principe de l'AG	53
4.6.2.2 Opérateurs génétiques	54
4.6.2.3 Structure générale d'un algorithme génétique	54
4.6.3 Application de l'algorithme génétique.....	55
4.6.4. Résultats et interprétations	57
4.7 Discussion	59
Conclusion générale	60
Références bibliographiques.	

Liste des figures

Fig 1.1 : Couverture globale de l'UMTS suivant une structure hiérarchique de cellules	5
Fig 1.2 : Utilisation de la bande de fréquences pour l'UMTS	6
Fig 1.3 : Structure de la trame de l'UMTS	6
Fig 1.4 : Architecture du réseau UMTS.....	8
Fig 1.5. Architecture détaillée de l'UTRAN	9
Fig 1.6. Le rôle du RNC	10
Fig 1.7. Architecture détaillée du Core Network.....	11
Fig 1.8. Les couches de l'interface radio de l'UTRAN	12
Fig 1.9. Architecture en couche des appels circuits	16
Fig 1.10. Architecture en couche des appels paquets	16
Fig1.11. Affectation d'un canal dans le CDMA.....	17
Fig 1.12. Modulateur	19
Fig 1.13. Démodulateur	19
Fig 1.14. Etalement et désétalement en DS-CDMA	20
Fig 1.15. Principe du soft Handover	22
Fig 2.1 : Evaluation de l'interférence sur le lien montant	25
Fig 2.2 : Evaluation de l'interférence sur le lien descendant	30
Fig 3.1 : Evaluation de l'affaiblissement de parcours.....	32
Fig 3.2 : Les étapes de la simulation sur le lien montant.....	34
Fig 3.3 : Algorithme de la simulation d'évaluation de la capacité sur le lien montant	35
Fig 3.4 : Variation de la charge en fonction du rayon de la cellule pour le service vocal	38
Fig 3.5 : Variation de la charge en fonction du rayon de la cellule pour le service de données, 64 Kbits/s	38
Fig 3.6 : Variation de la charge en fonction du rayon de la cellule pour le service mixte.....	39
Fig 3.7 : Les étapes de la simulation sur le lien descendant	40
Fig 3.8 : Algorithme de la simulation d'évaluation de la capacité sur le lien descendant	41
Fig 3.9 : Variation de la charge en fonction du rayon de la cellule pour le service de données, 64Kbits/s	44
Fig 4.1. Positionnement des sites.....	46
Fig 4.2. Nombres des usagers actifs par cellule en UL pour un trafic uniforme.....	49
Fig 4.3. Nombres des usagers actifs par cellule en DL pour un trafic uniforme.....	50
Fig 4.4. Nombres des usagers actifs par cellule en UL avant optimisation	51

Fig 4.5. Nombres des usagers actifs par cellule en DL avant optimisation	51
Fig 4.6. Structure générique d'un algorithme génétique	55
Fig 4.7. Nombres des usagers actifs par cellule en UL après optimisation	58
Fig 4.8. Nombres des usagers actifs par cellule en DL après optimisation	58
Fig 4.9. Nombre des usages actif par cellule	59

Liste des tableaux

Tab 3.1 : Valeurs typiques de $\frac{E_b}{N_0}$ pour le lien montant	36
Tab 3.2 : Valeurs typiques du facteur F pour le lien montant.....	36
Tab 3.3 : Valeurs recommandées de σ	37
Tab 3.4 : Les paramètres utilisés dans la simulation sur le lien montant	37
Tab 3.5 : Valeurs typiques de $\frac{E_b}{N_0}$ pour le lien descendant.....	42
Tab 3.6 : Valeurs typiques du facteur F pour le lien descendant	42
Tab 3.7 : Valeurs recommandées de σ	42
Tab 3.8 : Valeurs recommandées de ω	43
Tab 3.9 : Les différents paramètres utilisés dans la simulation sur le lien descendant	43

Glossaire:

3G: 3 rd Generation

ATM: AAL5 Asynchronous Transfer Mode ATM Adaptation Layer 5

BSC: Base Station Controller

BTS: Base Transceiver Station

BMC: Broadcast/Multicast Control

BPSK: Binary Phase Shift Keying

CDMA: Code Division Multiple Access

CN: Core Network

CRNC: Controlling RNC

CS: Circuit Switch

DL: DownLink

EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution

FDD: Frequency Division Duplex

GGSN: Gateway GPRS Support Node

GMSC: Gateway MSC

GSM: Global System for Mobile Communications

GTP-U: GPRS Tunneling Protocol-User Plan

GPRS: General Packet Radio Service

HSCSD: High Speed Circuit Switched Data

Iu PS: Iu Packet Switched

Iu CS: Iu Circuit Switched

IP: Internet Protocol

MAC : Medium Access Control

ME: Module Equipment

MSC: Mobile services Switching Centre

OSI : Open Systems Interconnections

OVSF: Orthogonal Variable Spreading Factor

PDCCP: Paquet Data Convergence Protocol

PDU : Packet Data Unit

PS: Packet Switch

PLMN: Public Land Mobile Network

QoS: Quality of Service

RAB : Radio Access Bearer

RANAP: Radio Access Network Network Application Part

RAN: Radio Access Network

RLC: Radio Link Control

RNC: Radio Network Controller

RRC: Radio Resource Control

SMS: Short Message Service

TDD : Time Division Duplex

UIT : Union Internationale des Télécommunications

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

USIM: UMTS Subscriber Identity Module

UTRAN: UMTS Terrestrial RAN

UE: User Equipment

UTRA: Universal Terrestrial Radio Access

UL: Uplink

VoIP: Voice on IP

WCDMA: Wide Band Code Division Multiple Access

1.1 Préambule

Fortement inspiré du GSM, le système UMTS propose une nouvelle architecture qui tient compte de la multitude de services avec leurs différentes contraintes.

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter l'architecture d'un réseau UMTS, à savoir le réseau coeur et le réseau d'accès. Ensuite nous allons détailler l'interface radio UMTS et la technique d'accès multiple WCDMA, utilisée dans les réseaux de troisième génération.

1.2 Les générations de réseaux mobiles

1.2.1. Rappel sur les générations de téléphonie mobiles

Quatre catégories de génération de téléphonie mobile existent :

- 1) 1ère génération : Téléphones mobiles analogiques (mono bande) des années 1980 longtemps installés aux véhicules automobiles du fait du poids élevé des terminaux.
- 2) 2ème génération : Téléphones mobiles numériques (bi bande) des années 1990 qui ont été conçus essentiellement pour la téléphonie, mais avec une capacité de 9,6 Kbits/s maximum pour la donnée.
- 3) 2,5ème génération : Téléphones mobiles numériques (multi bande) des années 2000 prévus non seulement pour la téléphonie, mais avec une capacité de transfert de données de 171 Kbits/s maximum mais de 32 Kbits/s en pratique (norme GPRS).
- 4) 3ème génération : Téléphones mobiles numériques (multi bande) des années 2002 à 2012 prévus non seulement pour la téléphonie classique avec SMS et MMS, mais avec une capacité de transfert de données de 144 Kbits/s minimum, et avec un débit moyen de 384 Kbits/s jusqu'au débit maximum de 2 Mbits/s.

1.2.2. Le réseau actuel : GSM

Le GSM permet l'envoi de courts messages et offre un service de téléphonie. Celui-ci a évolué pour intégrer de nouveaux services de données et ainsi d'offrir de meilleurs débits à la fois en mode circuit (HSCSD : High Speed Circuit Switched Data) et en mode paquet (GPRS : General Packet Radio Service). Ces nouvelles techniques permettaient théoriquement d'offrir un débit allant jusqu'à 171 Kbits/s. La dernière évolution mise en place s'intitule EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution). Celle-ci permet d'offrir jusqu'à 384 Kbits/s maximum.

1.3. Présentation de l'UMTS

1.3.1. L'UMTS et ses objectifs

1.3.1.1. Définition

L'expression UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) désigne la norme cellulaire numérique de troisième génération retenue en Europe. Les mobiles de la troisième génération sont des terminaux, aux débits de loin supérieurs à ceux de nos portables actuels, avoisinant au maximum de leurs possibilités à peu près 2Mbps. Ils ne se limitent pas au transfert de la voix mais ils peuvent également offrir une large gamme de services multimédia (visiophonie, transfert de fichiers, navigation sur le Web, ...). Enfin, ils ont pour ambition de proposer au consommateur un service accessible depuis n'importe quel pays, abstraction faite de toute norme et particularisme régional.

1.3.1.2. Objectifs

Pour répondre aux besoins des utilisateurs, les objectifs suivants ont été fixés pour l'UMTS lors des travaux d'étude et de normalisation en Europe et sur le plan mondial [1] :

- Garantir des services à haut débit dans tout type d'environnement,
- Transmettre des données symétriques avec même débit montant et descendant,
- Fournir des services à commutation de circuits (idéal pour la voix) et à commutation de paquets (idéal pour la transmission de données),
- Capacité et efficacité spectrale doivent être supérieures à celles des systèmes cellulaires actuels de deuxième génération,
- Possibilité d'offrir des services multimédias lors d'une même connexion avec des qualités de services différentes (débit, taux d'erreurs, ...) pour les différents types de médias (voix, audio, données),
- Compatibilité avec les réseaux d'accès radio de deuxième génération,
- Couverture universelle associant des satellites aux réseaux terrestres.

1.3.1.3. Classe de services

Nous définissons quatre classes de services en UMTS : Conversational, Streaming, Interactive et Background.

Ces différentes classes sont différenciées par leurs sensibilités aux retards de transmission, la plus sensible est la classe conversationnelle, la moins sensible est la classe background.

La classe conversationnelle correspond à une classe de service temps réel : voix en mode circuit, voix en mode paquet (VoIP), services de vidéo-conférence bidirectionnels.

Concernant cette classe de service, le temps de transmission et les relations temporelles entre les blocs de données doivent être bien maîtrisés.

La classe streaming consiste en l'écoute ou la visualisation de flux audio ou vidéo unidirectionnels entre un serveur et un usager. Le retard dans ce cas est moins important mais le temps entre les blocs de données est important.

La classe interactive correspond à l'accès à des serveurs de données, navigation web...Il s'agit d'un échange de données entre un serveur et un usager en fonction des requêtes de ce dernier. Les données sont fiables (faibles taux d'erreur binaire).

La classe background regroupe les services suivants : E-mail, messages courts (SMS), transfert de fichier. Les exigences de cette classe sont faible taux d'erreur binaire et un temps de transmission moins important que celui de la classe interactive.

1.3.1.4. Couverture globale de L'UMTS

La couverture globale de la planète s'organise en une structure cellulaire hiérarchisée qui assurera l'itinérance mondiale. Au sommet de la hiérarchie se trouvent les satellites qui assurent une couverture sur l'ensemble de la planète. Le réseau terrestre radio, s'occupe de la couverture terrestre suivant une répartition en macro, micro et pico cellules. Les macro cellules couvrent les zones suburbaines et rurales, les microcellules les zones urbaines (ou il existe une forte densité d'utilisateurs) et les pico cellules les zones bien définies telles les immeubles, les environnements intérieurs (indoor).

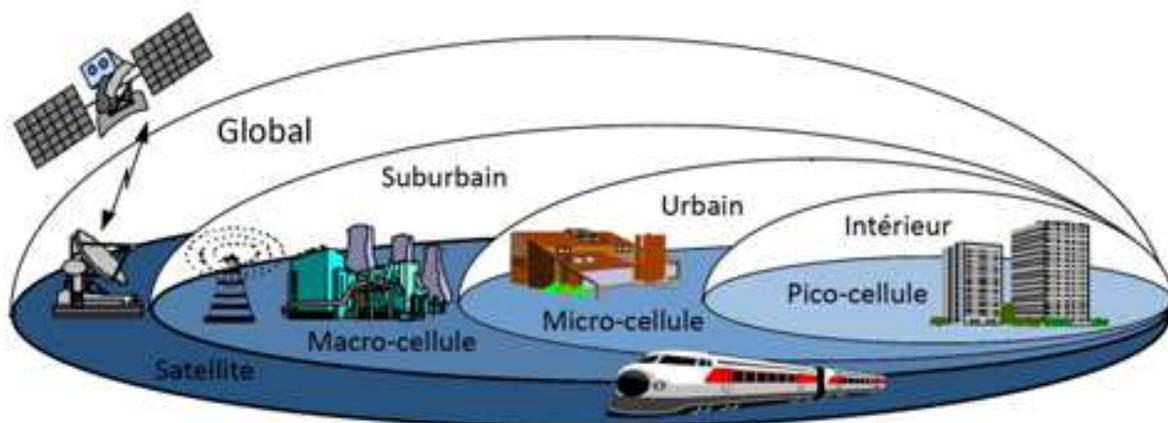


Fig 1.1 : Couverture globale de l'UMTS suivant une structure hiérarchique de cellules

1.3.1.5. Organisation fréquentielle

Les bandes de fréquences allouées pour le système UMTS sont 1.885-2.025 MHz et 2.110-2.200 MHz. Les applications terrestres occupent les bandes 1.885-1.980 MHz et 2.110-2.170 MHz. La largeur de la bande de fréquence occupée par chaque porteuse est de 5 MHz [2].

L'UMTS propose la répartition expliquée par la figure (1.2) :

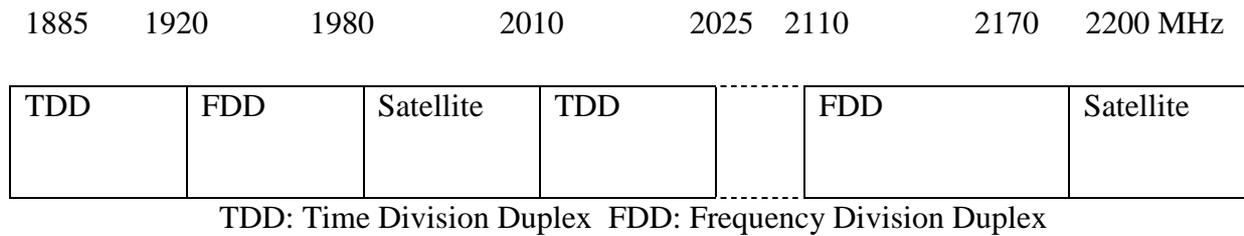


Fig 1.2 : Utilisation de la bande de fréquences pour l'UMTS

1.3.1.6. Organisation temporelle

L'organisation temporelle de l'UMTS est basée sur une super trame de 720 ms, comportant elle-même 72 trames de 10 ms. Chaque trame de 10 ms est divisée en 15 slots de 667 Qs [2].

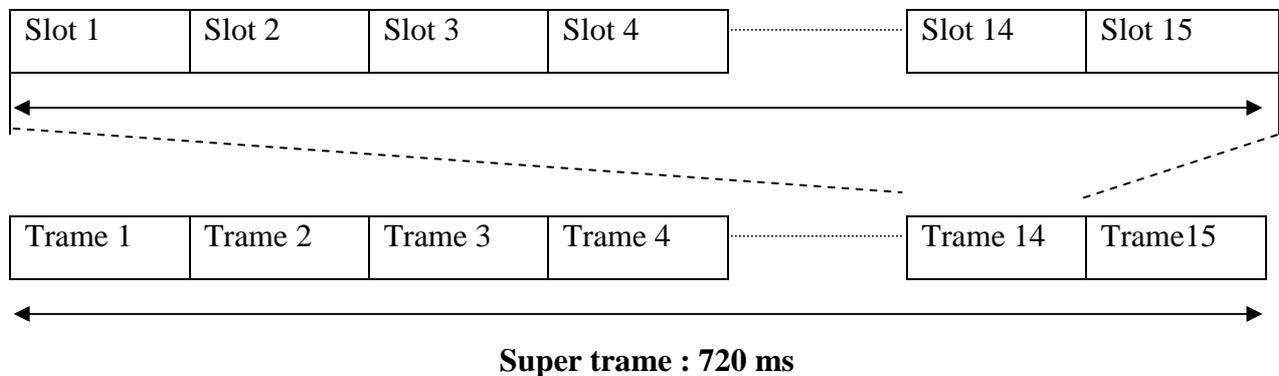


Fig 1.3 : Structure de la trame de l'UMTS

1.3.2. Les principaux avantages de l'UMTS

1.3.2.1. Le débit

L'UMTS permet de faire transiter davantage de données simultanément et offre un débit bien supérieur à celui du GSM et du GPRS. En théorie, il peut atteindre 2 Mbits/s à partir d'un lieu fixe et 384 Kbits/s en mouvement. Bien qu'on soit encore loin de la promesse initiale, le maximum en Europe a été fixé à 384 Kbits/s : soit 64 à 128 Kbits/s en émission et

128 à 384 Kbits/s en réception, même en mouvement (train, voiture) [3].

1.3.2.2. Découpage en strates

La modélisation du réseau UMTS peut se faire par un découpage en strates. Ce découpage est conforme à celui du modèle OSI, permettant de séparer les niveaux de services indépendants [3].

1.3.2.3. Les multiples services innovants

Parmi les multiples services apportés par l'UMTS se trouvent :

- Le visiophone de poche : ce service est sans doute l'un des plus spectaculaires des réseaux de la troisième génération. Les terminaux mobiles vont être dotés d'un mini écran de télévision permettant de voir l'interlocuteur avec lequel on dialogue. Dans la même lignée, des services de visioconférence seront proposés, c'est à dire la possibilité d'entretenir des conversations avec plusieurs interlocuteurs à la fois et de les visionner en même temps sur l'écran du téléphone,
- Messagerie et fax rapide ; cette fonction existe déjà sur certains téléphones portables de seconde génération mais la vitesse d'émission et de réception des informations sera considérablement augmentée pour les téléphones 3G c'est-à-dire de troisième génération.
- L'accès à l'Intranet : ce service représente la possibilité pour un utilisateur, à un point donné quelconque du globe de rester en liaison avec le réseau informatique de la société pour laquelle il travaille,
- L'accès à internet ; ce service est celui qui sera le plus développé dans les réseaux 3G. Son développement sera à la fois pour le grand public et pour le monde professionnel et pour les réseaux 3 G eux-mêmes. Ce service n'est pas vraiment un nouveau service sur le marché des téléphones puisque certains téléphones de seconde génération offrent déjà ce service mais la différence essentielle sera dans la rapidité et le débit nettement augmenté des transmissions de données (2Mbps),
- La possibilité d'achats sur Internet par les téléphones mobiles risque d'ouvrir de nombreuses opportunités par le biais de nouveaux services,
- La possibilité de télécharger des images depuis Internet et de les visionner sur l'écran du téléphone mobile,
- Vidéo Clips et music mobile : la possibilité de voir différents types de média par catégories et sous catégories (ex : Jazz, Pop, classique), possibilité d'avoir d'autres détails sur le média (ex ; date des concerts, biographie de l'artiste...)....

- L'aide à la localisation, l'information et le guidage routier : cartes routières pouvant être générées à partir de la position de l'utilisateur, possibilité de repérer des points d'intérêt comme restaurant, stations service...

1.4. L'architecture du réseau UMTS

1.4.1. L'architecture générale de l'UMTS

Le réseau UMTS se divise en deux domaines : le domaine équipement utilisateur **UE** (User Equipment) et le domaine infrastructure [4]. Le domaine infrastructure se partage en deux parties : le réseau d'accès (Access Network) et le réseau coeur **CN** (Core Network). La figure suivante présente l'architecture d'un réseau UMTS [5].

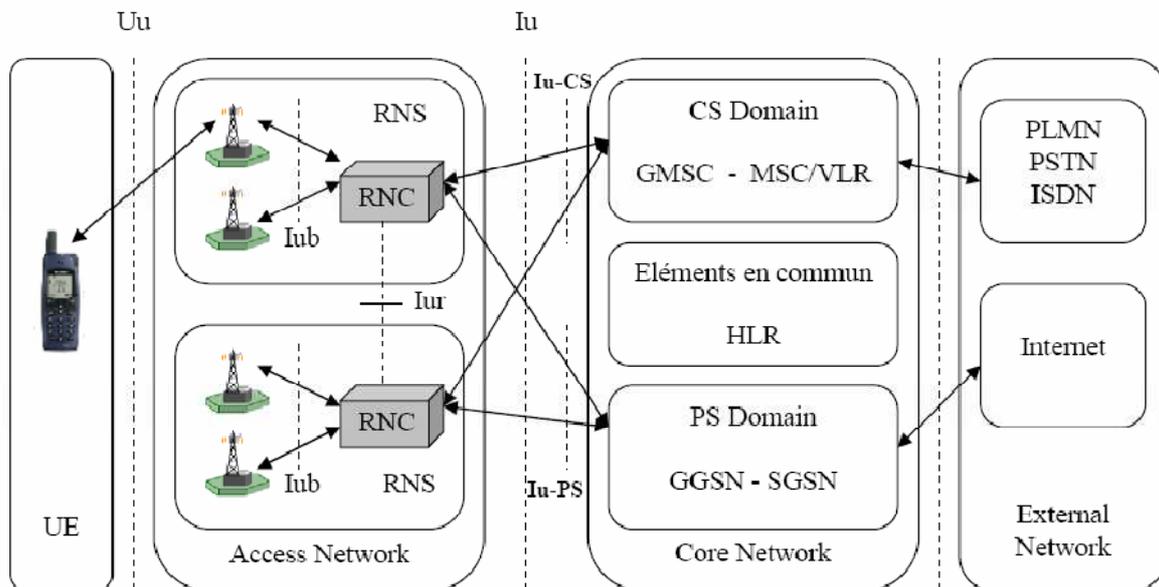


Fig 1.4 : Architecture du réseau UMTS

Les éléments illustrés au niveau de cette figure seront détaillés dans ce qui suit.

1.1.2.1 L'équipement utilisateur (UE)

L'UE contient deux parties [5] :

- L'équipement Mobile ME (**M**obile **E**quipment) : C'est le terminal radio utilisé pour les communications à travers l'interface Uu.
- L'USIM (**U**MTS **S**ubscriber **I**dentit**y** **M**odule) : Il fournit l'identité de l'abonné, établit les algorithmes d'authentification, enregistre les clés d'authentification et de cryptage...

1.4.2. Le réseau d'accès radio UMTS terrestre: UTRAN

L'UTRAN est constitué de deux éléments :

Le NodeB (Station de Base) : a pour rôle de convertir le flot de données entre les interfaces Iub et Uu (l'interface air). Il participe également à la gestion de la ressource radio.

Le NodeB est équivalent à la BTS des réseaux GSM. Son rôle principale est de d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules de l'UTRAN : il convertit le flot de données entre les interfaces Iub et Uu (interface air).

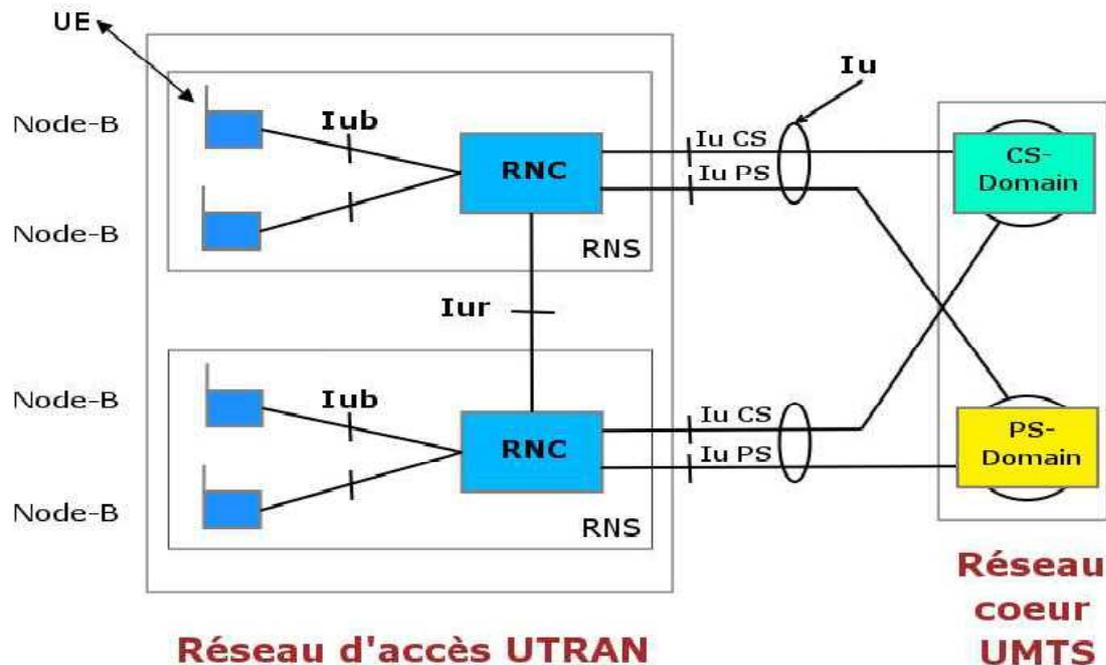


Fig 1.5. Architecture détaillée de l'UTRAN

Le RNC (Radio Network Controller) : contrôle les ressources radio dont il dispose. Le RNC de l'UTRAN a une fonction équivalente au BSC des réseaux GSM, il fait le routage des communications entre le NodeB et le réseau coeur d'une part et la supervision du NodeB d'autre part.

C'est un point d'accès pour relier le CN (Core Network) et le Ue. Le RNC qui contrôle un NodeB possédant une liaison avec un mobile est indiqué comme le Controlling RNC (CRNC). Le CRNC est responsable de la charge et de la gestion de la congestion de ses propres cellules, et il exécute également le contrôle de l'admission et l'allocation de codes pour les nouveaux liens radio établis dans ces cellules.

Les RNC impliqués dans une liaison mobile-UTRAN peuvent avoir deux rôles logiques.

On distingue le serving RNC et le drift RNC. Le serving RNC est le RNC qui termine le lien

Iu pour le transport des données utilisateur et de la signalisation RANAP correspondante avec le core network. Le signalisation RNC termine également la signalisation RRC qui est le protocole de signalisation entre le mobile et l'UTRAN. Le SRNC peut aussi être le CRNC de plusieurs

NodeB utilisés par la connexion du mobile avec le réseau. Le drift RNC est n'importe quel autre RNC autre que le SRNC qui contrôle les cellules utilisées par le mobile.

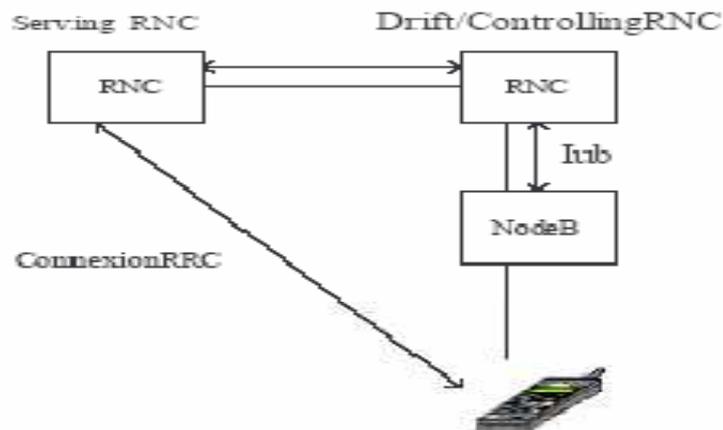


Fig 1.6. Le rôle du RNC

Lorsqu'un mobile est en communication, une connexion RRC est établie entre le mobile et un RNC de l'UTRAN.

1.4.3. Le réseau coeur

Le schéma ci-dessous présente l'architecture générale d'un réseau UMTS utilisant le réseau d'accès UTRAN. Comme nous l'avons dit précédemment, le réseau UMTS est partagé en deux partis : le Core Network et l'UTRAN.

- Le Core Network (réseau coeur) UMTS est constitué de deux domaines : le domaine de la Commutation de Circuits et celui de la Commutation de Paquets.
- Le GMSC est relié aux réseaux externes utilisant la commutation de circuits (PLMN,...). Toutes les connexions CS entrantes ou sortantes passent par le GMSC.
- Le GGSN est un routeur qui est en relation avec les réseaux utilisant la commutation de paquet (PS) comme Internet.

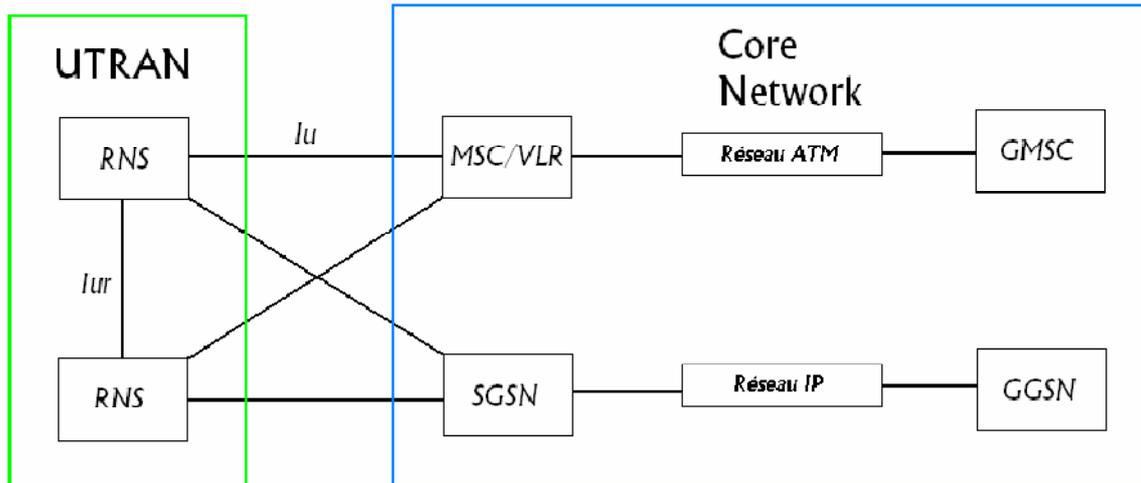


Fig 1.7. Architecture détaillée du Core Network

UMTS est assez semblable au réseau GSM actuellement répandu : l'ensemble des constituants et des interfaces du réseau coeur GSM a été repris dans l'architecture du réseau coeur UMTS.

1.5. L'interface radio UMTS

1.5.1. Les couches de l'interface radio

L'interface radio est divisée en trois couches comme on peut voir dans la **Figure 1. 8**:

- Couche physique.
- Couche liaison de données, elle est subdivisée essentiellement en 4 sous-couches : MAC (Medium Access Control), RLC (Radio Link Control), BMC (Broadcas /Multicast Control) et PDCP (Packet Data Convergence Protocol).
- Couche radio.

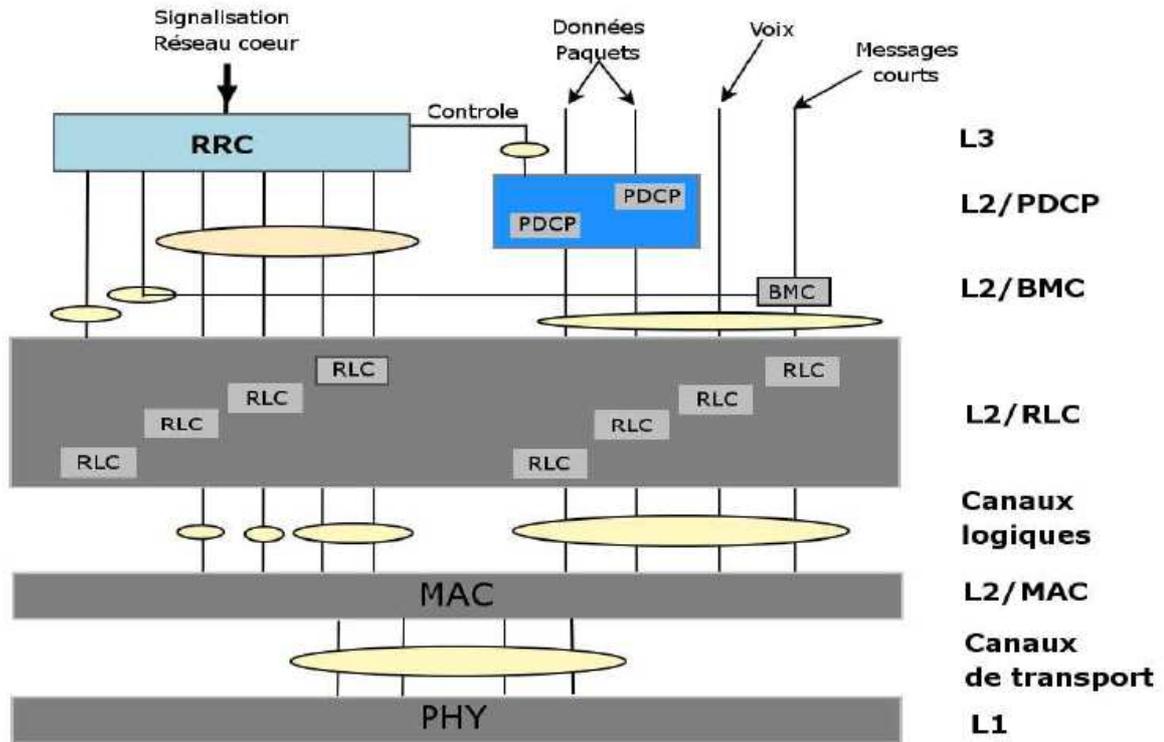


Fig 1.8. Les couches de l'interface radio de l'UTRAN

1.5.1.1. La couche physique

Elle réalise les fonctions de :

- codage canal,
- modulation,
- adaptation de débit,
- contrôle de puissance.

1.5.1.2. La couche liaison de données

a. Fonctions de la couche MAC (Medium Access Control)

Les fonctions de la couche MAC comprennent :

- Le Mapping des canaux logiques sur les canaux de transport appropriés,
- La sélection du format de transport approprié pour chaque canal de transport en fonction du débit instantané,
- Gestion de la priorité entre les différents flots de données d'un même mobile,
- Multiplexage des PDU des couches hautes dans des blocks de transport distribués sur des canaux de transport communs sur la couche physique,

- Démultiplexage des PDU des couches hautes provenant des blocs des canaux de transport communs,
- Chiffrement.

b. Fonctions de la couche RLC (Radio Link Control) :

Les fonctions de la couche RLC sont les suivantes :

- Segmentation et réassemblage,
- Transfert des données utilisateur,
- Correction des erreurs,
- Distribution des PDU dans l'ordre, aux couches hautes,
- Contrôle de flux,
- Vérification du numéro de séquence,
- Détection et correction des erreurs de protocole,
- Fonction de suspension et de reprise pour le transfert de données.

c. La couche PDCP (Paquet Data Convergence Protocol) :

Elle est utilisée dans le domaine à commutation de paquet, elle :

- Permet la compression et décompression d'en-tête IP,
- Contient l'adresse IP source et destination,
- Assure l'indépendance de l'UTRAN vis à vis des protocoles de transport réseau.

d. La couche BMC (Broadcast/Multicast Control):

Elle assure la diffusion de messages SMS.

e. La couche radio RRC (Radio resource control) :

Contrôle le fonctionnement global de l'interface d'accès (Uu) UMTS :

- Gestion de la signalisation entre l'UTRAN et les mobiles,
- Configuration des ressources pour les couches protocolaires 1 et 2,
- Transfert des messages de signalisation en provenance du réseau coeur.

1.5.2. Les canaux de l'interface radio

En UMTS, les données générées par les couches hautes sont transportées sur l'interface air par l'intermédiaire de canaux de transport qui sont mappés sur différents canaux physiques de la couche physique [6]

Il existe 3 classes de canaux :

1.5.2.1. Canaux logiques

Les services de transfert de données de la couche MAC sont fournis sur des canaux logiques. Un ensemble de types de canaux logiques est défini pour les différents types de transferts de données offerts par la couche MAC. Chaque type de canal logique est défini par le type d'information transférée. Les canaux logiques sont généralement classifiés en deux groupes : les canaux de contrôle qui sont utilisés pour transférer les informations du plan contrôle et les canaux de trafic qui sont utilisés pour transférer les informations du plan usager. La notion de canal logique permet de découpler le canal de transmission de l'utilisation qui en est faite. Ainsi on peut imaginer qu'un type de canal de transmission peut convenir à deux utilisations différentes, c'est-à-dire supporter deux types de canaux logiques différents, ou encore qu'il est possible de multiplexer deux canaux logiques sur un même canal de transmission.

1.5.2.2. Canaux de transport

La notion de canal de transport correspond aux mécanismes destinés à fiabiliser les échanges de données de l'interface radio, codage canal, etc.

Il existe deux types de canaux de transport : les canaux dédiés (réservés à un seul utilisateur) et les canaux communs (informant un groupe d'usagers), et donc les canaux de transport de l'UTRAN représentent le format et plus généralement la manière dont les informations sont transmises sur l'interface radio. Ainsi, il est représentatif de la qualité de service fournie par le réseau sur la partie radio RAB.

1.5.2.3. Canaux physiques

Les canaux physiques sont les canaux effectivement utilisés par la couche physique.

1.5.3. L'interaction entre les couches de l'interface radio

La couche physique offre des services à la couche MAC via les canaux de transport. Ces canaux définissent comment et avec quelles caractéristiques les données sont transportées.

La couche MAC offre des services à la couche RLC par l'intermédiaire des canaux logiques. Ces derniers sont caractérisés par les types de données transportées. La couche RLC offre des services aux couches supérieures par l'intermédiaire de points d'accès de services (SAP, service access points) qui décrivent comment la couche RLC gère les paquets de données.

Pour le plan de contrôle, les services RLC sont utilisés par la couche RRC pour transporter de la signalisation. Pour le plan usagé, les services RLC sont utilisés soit par les couches de

protocole PDCP ou BMC qui offrent des services spécifiques, soit par d'autres couches de protocole du plan usager de niveau plus élevé.

Le protocole PDCP (Packet Data Convergence Protocol) existe seulement pour le domaine des services à commutation de paquet (PS, packet switched). Sa principale fonction est la compression d'entête. La couche RRC offre des services aux couches hautes (les Non Access Stratum) via les points d'accès de service. Les interfaces de contrôle entre la couche RRC et les couches de protocole plus basses sont utilisées par la couche RRC pour configurer les caractéristiques des entités de protocole de plus bas niveau, ce qui inclut les paramètres pour les canaux physiques, de transport et logiques.

1.6 L'interface réseau de l'UTRAN : Iu

L'interface Iu relie le réseau d'accès radio (URAN) au réseau coeur (CN). L'interface Iu est une interface ouverte qui sépare donc l'UTRAN, domaine spécifique à la radio, et le CN, domaine chargé des communications, du routage et du contrôle des services. L'interface Iu peut être de deux types: Iu Cs (Iu Circuit Switched) pour le domaine circuit et Iu Ps (Iu Packet Switched) pour le domaine paquet.

La technique de transmission est l'ATM AAL5 (Asynchronous Transfer Mode ATM Adaptation Layer 5), elle est employée dans la plupart des interfaces réseau de l'UTRAN.

C'est une technique de transmission mixte qui combine à la fois les avantages de la transmission en mode circuit permettant d'offrir un débit et un délai de transmission garantis et ceux de la transmission en mode paquet comme la possibilité de multiplexer différents usagers ayant des profils de trafics différents.

1.6.1. L'interface Iu CS (Iu Circuit Switched)

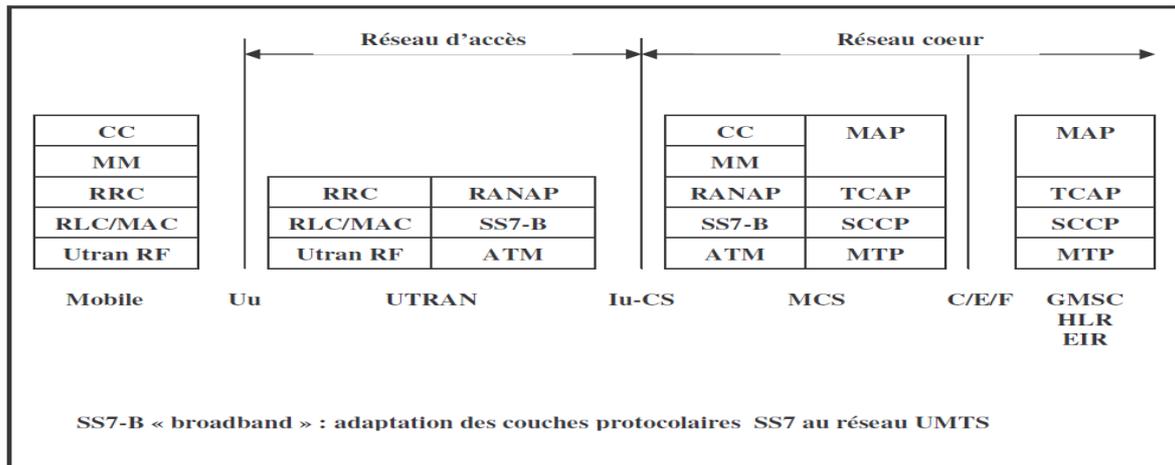


Fig 1.9. Architecture en couche des appels circuits

Le protocole RANAP (Radio Access Network Network Application Part) est utilisé pour les échanges de signalisation entre le réseau coeur (MSC, SGSN, etc.) et le RNC.

1.6.2. L'interface Iu PS (Iu Packet Switched)

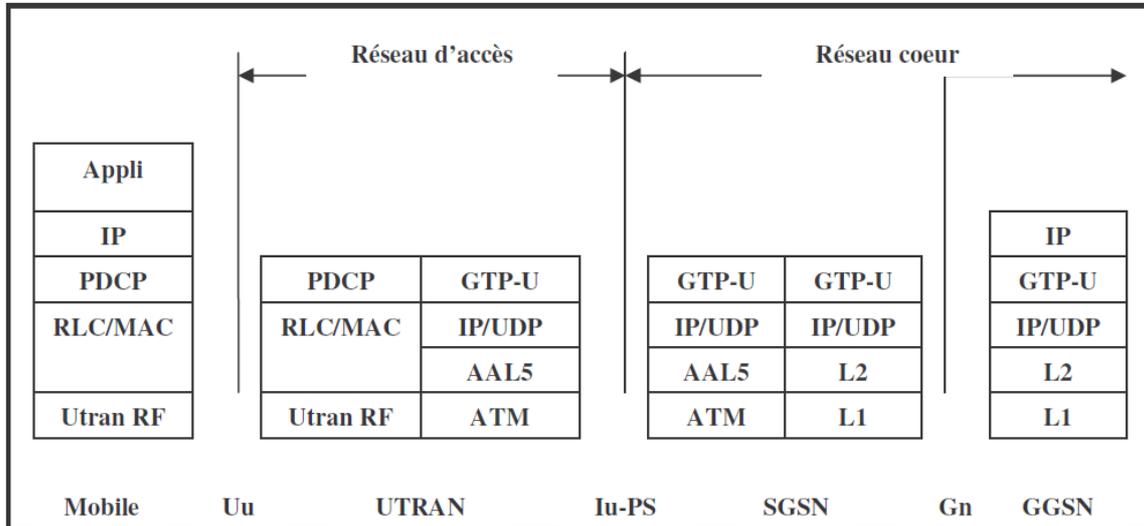


Fig 1.10. Architecture en couche des appels paquets

Au niveau de l'interface Iu PS, plusieurs flux de paquets sont multiplexés sur un ou plusieurs connections ATM AAL5. La couche réalisant le multiplexage est la couche GTP-U (GPRS Tunneling Protocol-User Plan) qui fournit également les identités des différents flux de paquets. Chaque flux utilise un mode de transport UDP sans connexion et l'adressage IP.

1.7. La technique d'accès WCDMA

Les réseaux de 3ème génération se base essentiellement sur la technique d'accès CDMA [7]. C'est un mode d'accès numérique pour le partage de la bande de fréquence. Elle est basée sur la technique d'étalement de spectre qui utilise des codes pour différencier les utilisateurs dans la même bande. Cette technique permet une capacité maximale de point de vue nombre d'utilisateurs en considérant le nombre immense de codes qu'on peut utiliser. Elle permet aussi une protection contre le brouillage, vu que la bande du signal va être très large. Cependant elle nécessite un contrôle de puissance très pointu.

1.7.1. Accès multiple à répartition par code CDMA

En CDMA, chaque utilisateur émet un spectre étalé obtenu au moyen d'un code pseudo aléatoire personnel. Ainsi tous les utilisateurs utilisent simultanément la même bande de fréquence.

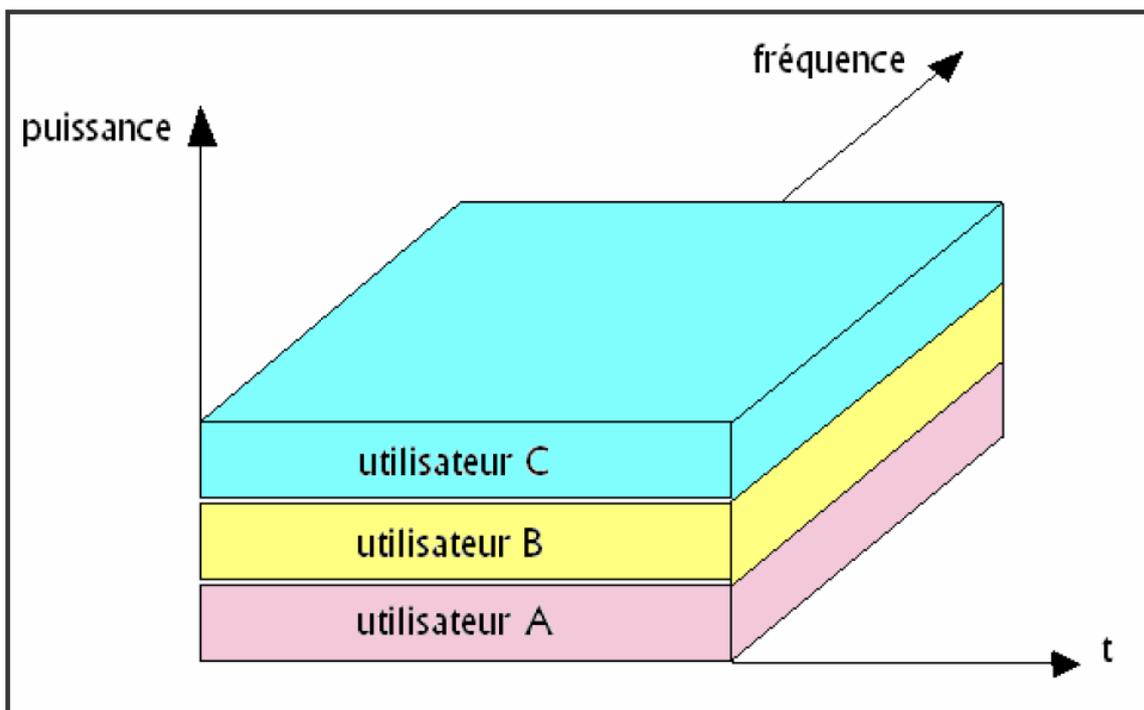


Fig1.11. Affectation d'un canal dans le CDMA

Avantage :

Immunité par rapport aux brouilleurs,
Diversité de fréquence,

Cryptage,
Souplesse de modification sur les débits transmis.

Inconvénients:

Nécessité d'une égalisation intensive,
Nécessité d'un contrôle de la puissance d'émission.
Les techniques d'accès multiple par répartition de code utilisent des modulations à étalement de spectre pour lesquelles chaque utilisateur possède un code d'étalement privé. Les modulations à étalement de spectre peuvent être réalisées par une technique de saut de fréquences ou par une technique de séquence directe.

1.7.1.1. Modulation par sauts de fréquences

En modulation par sauts de fréquences, l'information est modulée en utilisant une modulation bande étroite classique. Ensuite la porteuse est décalée à un emplacement de la bande disponible en utilisant une séquence de fréquence pseudo-aléatoire.

Sur une longue durée, le signal obtenu est large bande. La discrétion est obtenue en gardant secrète la séquence pseudo-aléatoire. Un brouilleur bande étroite n'est gênant que durant l'intervalle de temps où la porteuse se trouve spectralement proche (c'est à dire pour une fraction du temps seulement). Dans le cas d'un canal sélectif en fréquence, les erreurs ne se produisent que sur des blocs de faible durée. Un codage permet alors de corriger l'ensemble de l'information.

1.7.1.2. Modulation par séquence directe

En modulation par séquence directe, la porteuse est successivement modulée par l'information de débit D et par un code pseudo-aléatoire de débit beaucoup plus important R , comme le montre la **figure 1.12**. Le signal résultant occupe alors une bande très importante.

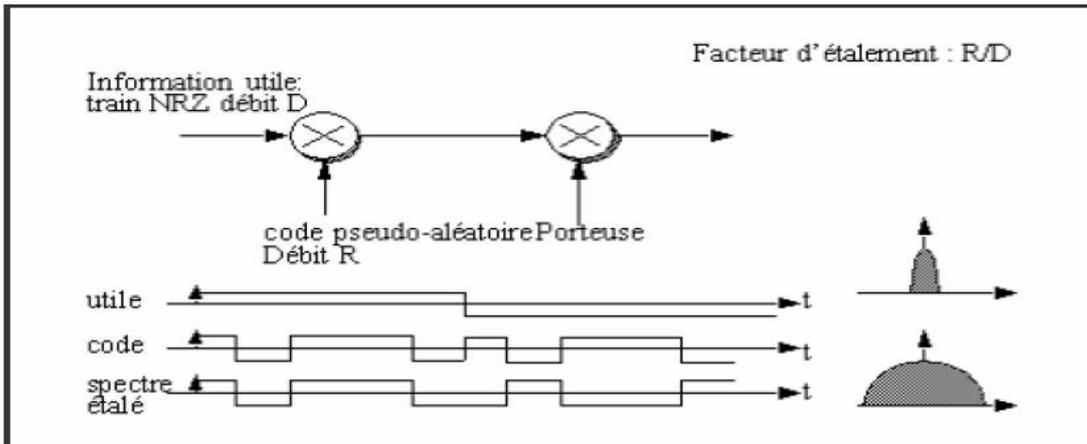


Fig 1.12. Modulateur

Dans le récepteur le signal reçu est démodulé par la même séquence synchronisée (voir figure 1.13). Cette opération prend le nom de désétalement puisque la bande du signal obtenu correspond à celle de l'information.

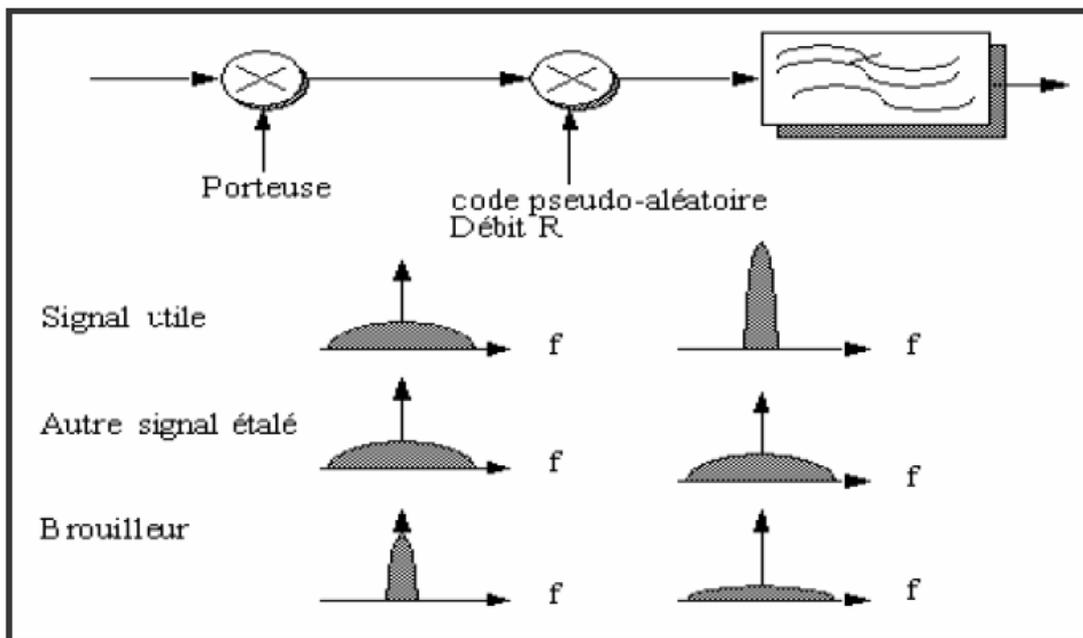


Fig 1.13. Démodulateur

Ce type de modulation présente les avantages suivants:

- la densité spectrale du signal transmis est faible car le signal est large bande (ce qui permet la discrétion),
- Ici aussi, la discrétion est obtenue en gardant le code d'étalement secret,

- Un brouilleur bande étroite est étalé par le récepteur, ce qui minimise sa puissance après filtrage bande étroite,
- La tolérance vis à vis des multi trajets est obtenue en choisissant des codes présentant des autocorrélations étroites. Les trajets de délais supérieurs à un chip sont facilement éliminés. (La Figure 1.14) décrit le fonctionnement de base de l'étalement et du désétalement d'un système DS-SS-SS-SS. On a pris pour exemple, un signal initial BPSK (Binary Phase Shift Keying) de fréquence D . Ce signal est donc composé d'une séquence de bits pouvant prendre les deux valeurs suivantes «+1» et «-1». La méthode d'étalement consiste, dans cet exemple, à multiplier chaque bit du signal initial par une séquence de huit bits, chacun de ces huit bits étant appelés chips, le résultat de ce produit est un nouveau signal de fréquence $8xD$. Dans ce cas on a utilisé un facteur d'étalement de 8. On remarque que le signal final à l'apparence d'un signal aléatoire tout comme le code d'étalement utilisé.

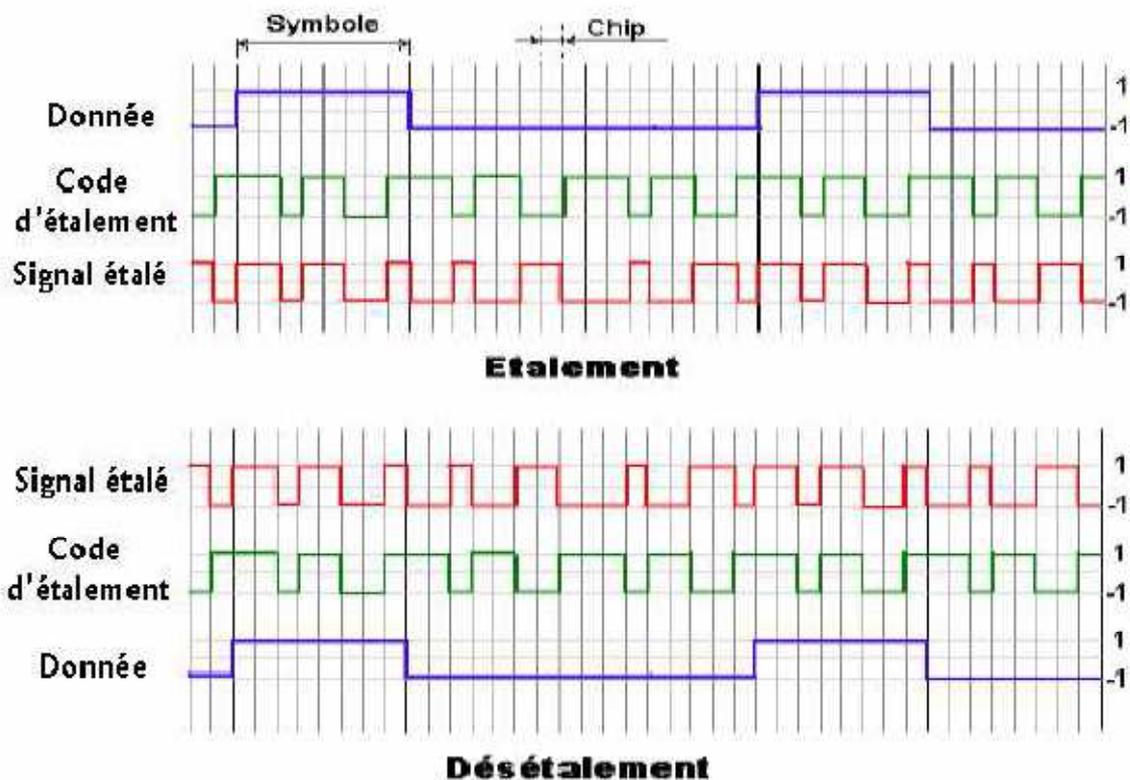


Fig 1.14. Etalement et désétalement en DS-SS-SS-SS

En ce qui concerne la procédure inverse, le désétalement, on multiplie, bit par bit, le signal étalé par la même séquence de codes qu'on ait utilisée précédemment pour l'étalement.

ce gain se traduit par un gain de capacité dans tout le réseau.

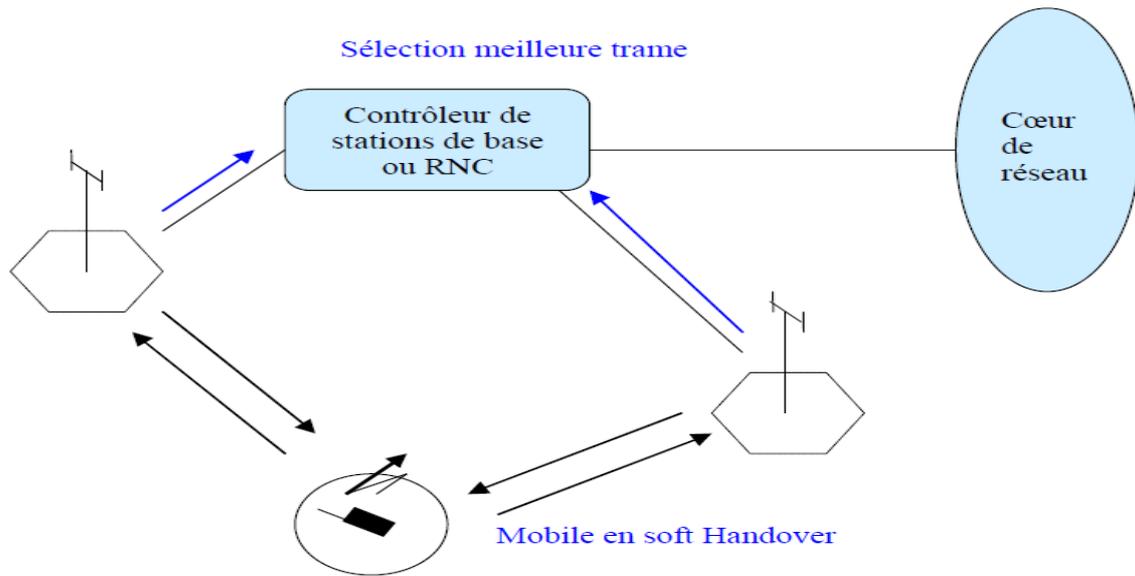


Fig 1.15. Principe du soft Handover

On peut cependant effectuer une combinaison optimale dans la station de base et dans le mobile quand plusieurs secteurs (en général deux) qui se recouvrent captent et transmettent vers un mobile donné. Ce principe est appelé « softer Handover ».

1.9. Discussion :

Dans ce chapitre nous avons défini les principaux aspects du réseau UMTS ainsi que de ses interfaces et notamment l'interface radio. L'un des importants résultats à dégager à partir de ce chapitre est que l'interface radio ainsi que la technique d'accès UMTS sont totalement différentes de celles du GSM. A cet effet il faut avoir des nouvelles modélisations et techniques permettant le dimensionnement et surtout l'optimisation de cette interface et de la capacité globale d'un réseau UMTS.

2.1 Préambule

Nous avons introduit dans le premier chapitre l'architecture du réseau UMTS ainsi que son interface radio. Cette interface peut supporter une variété de services telles que la voix, les données avec différents débits de transmission, différentes exigences de trafic et différentes qualités de service cibles. Ainsi, une configuration soignée des cellules et leurs paramètres est nécessaire parce qu'ils influencent fortement la capacité du réseau à satisfaire ses usagers. Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la modélisation de la capacité d'une cellule WCDMA sur la liaison montante ainsi que sur celle descendante pour mettre en relief les différents facteurs d'influence pour chaque lien.

2.2 Modélisation de la capacité d'un site UMTS sur la liaison montante

La capacité sera considérée comme étant le nombre de stations mobiles actives que peut supporter une cellule UMTS.

Dans la littérature, la puissance disponible sur le lien montant et la charge que peut supporter le réseau sont les facteurs majeurs limitant la capacité. Pour le premier cas, quand le mobile ne possède pas la puissance de transmission nécessaire pour atteindre le rapport signal sur interférence $\frac{E_b}{N_0}$ demandé pour accéder au réseau. Dans le second cas, la capacité maximum définie en avance est atteinte et donc tout nouveau mobile voulant accéder au réseau est rejeté du système. Mais, expliquons tout d'abord le $\frac{E_b}{N_0}$.

2.2.1 Modèle d'évaluation de la capacité

Nous proposons ici un modèle mathématique qui servira à estimer la capacité d'une cellule dans un réseau UMTS pour le sens montant. Il s'agit d'établir l'expression mathématique de la puissance reçue à la station de base en provenance de chaque mobile actif d'une cellule UMTS.

2.2.1.1 Hypothèses

Nous présentons ici les différentes hypothèses pour élaborer l'équation de capacité dans le sens montant.

- Les interférences intracellulaires et intercellulaires sont prises en compte dans le calcul. Cependant, les interférences intercellulaires sont considérées comme étant un pourcentage de l'interférence intracellulaire reçue à la station de base.

- Le contrôle de puissance est supposé être parfait.
- Les puissances liées au signal pilote et au signal de contrôle sur le lien montant ne sont pas prises en compte.
- Dans ce chapitre, nous considérons que les cellules ne sont pas sectorisées, c'est-à-dire que l'antenne au niveau de la station de base est omnidirectionnelle. On suppose également qu'il n'y a qu'une antenne par station de base.
- Nous supposons que la station mobile est limitée par sa puissance d'émission c'est-à-dire que cette puissance ne doit être ni supérieure à une certaine valeur maximale ni inférieure à une minimale que nous en donnerons les valeurs numériques par la suite.
- On suppose que tous les utilisateurs sont dans un milieu urbain et que leurs positions sont fixes.
- L'atténuation des signaux se base sur un modèle simple de propagation.

2.2.1.2 Définition des paramètres

V_i^{UL} : Facteur d'activité associé à la station mobile i demandant un certain service,

P_i^{UL} : Puissance reçue à la station de base de la part de la station mobile i ,

P_T^{UL} : Puissance totale reçue à la station de base de la part de toutes les stations mobiles actives dans la cellule,

F : Fraction de l'interférence intracellulaire représentant les interférences intercellulaires,

N_0 : Densité spectrale de puissance du bruit thermique,

W : Débit chip,

R_{info} : Débit binaire spécifique pour chaque type de service,

$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{UL}$: Rapport de l'énergie par bit du signal reçu à la station de base de la part de la station mobile i sur la densité spectrale de puissance du bruit reçu (bruit thermique + interférences),

γ_i^{UL} : Valeur cible de $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{UL}$ que le signal reçu à la station de base de la part de la station i doit vérifier pour que le décodage de ce signal soit possible.

2.2.1.3 Mise en équations du modèle

Dans le sens montant, le signal émis par la station mobile i va pouvoir être récupéré à la station de base si le rapport $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{UL}$ du signal reçu à la station de base de la part de cette station est suffisamment grand [9] [10].

Nous supposons que chaque station mobile i active est capable d'émettre assez de puissance pour atteindre la valeur cible γ_s^{UL} à la station de base.

Le rapport signal sur bruit noté SIR_i^{UL} : est relié au rapport énergie par bit du signal sur densité spectrale du bruit de la façon suivante:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{UL} = SIR_i^{UL} \cdot \frac{W}{R_{info}^{UL}} \quad (2.1)$$

Avec :

$$SIR_i^{UL} = \frac{\text{Puissance du signal de la station } i \text{ reçu à la station de base}}{\text{Puissance de tous les autres signaux reçus à la station de base}}$$

$\frac{W}{R_{info}^{UL}}$: Facteur d'étalement.

Maintenant que nous avons défini le rapport $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{UL}$, la puissance reçue de la part de la station mobile i doit vérifier l'expression suivante:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{UL} = \frac{\frac{P_i^{UL}}{R_{info}^{UL}}}{\frac{1}{W} \cdot ((1+F) \cdot (P_T^{UL} - V_i^{UL} \cdot P_i^{UL})) + N_0} \quad (2.2)$$

Avec :

$P_T^{UL} - V_i^{UL} \cdot P_i^{UL}$: Les interférences intracellulaires subies par la station mobile i ,

$F \cdot (P_T^{UL} - V_i^{UL} \cdot P_i^{UL})$: Les interférences intercellulaires subies par la station mobile i .

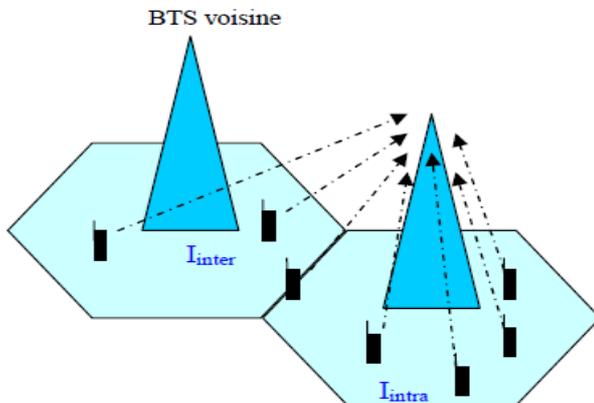


Fig 2.1 : Evaluation de l'interférence sur le lien montant [11]

En d'autres termes, la puissance reçue de la part de la station mobile i , qui n'est que la puissance émise subissant un affaiblissement de parcours, a pour expression:

$$P_i^{UL} = \gamma_i^{UL} \cdot \frac{(1+F) \cdot \frac{P_T^{UL}}{W} + N_0}{\frac{1}{R_{info}^{UL}} + \frac{\gamma_i^{UL} \cdot (1+F) \cdot V_i^{UL}}{W}} \quad (2.3)$$

De plus nous savons que:

$$P_T^{UL} = \sum_{i \in S} V_i^{UL} \cdot P_i^{UL} \quad (2.4)$$

Nous remarquons bien que pour le calcul de la puissance totale, on prend en considération les périodes d'inactivité d'où la présence du facteur d'activité dans l'expression ci-dessus qui est spécifique au service demandé. Le noise rise est le rapport de la puissance totale reçue à la station de base, bruit thermique y compris, sur la puissance du bruit thermique. Donc l'expression du noise rise est la suivante:

$$noise\ rise = \frac{P_T^{UL} + N_0 \cdot W}{N_0 \cdot W} = \frac{1}{1 - LF_{UL}} \quad (2.5)$$

Avec :

LF_{UL} : Facteur de charge ou Load Factor.

Si LF_{UL} s'approche de 1, le système atteint sa capacité maximale appelée aussi pole capacity et devient instable. La puissance totale reçue à la station de base devient en effet très supérieure à la puissance du bruit thermique, et le décodage à la station de base n'est plus possible. Il faut donc définir une limite que la charge de la cellule ne doit pas dépasser :

$$LF_{UL} < LF_{UL,max} \quad (2.6)$$

2.2.2 Facteurs limitant la capacité sur la liaison montante

2.2.2.1 Une puissance insuffisante sur le lien montant

Au niveau de la station de base, on vérifie si les conditions présentées par le mobile voulant accéder au réseau UMTS peuvent garantir le seuil du rapport $\frac{E_b}{N_0}$ fixé antérieurement

La puissance de transmission nécessaire à un mobile pour pouvoir être servi a pour expression la suivante [12] [13] :

$$P_{TX,i} = L_p \cdot P_i^{UL} \quad (2.7)$$

Avec :

L_p : L'affaiblissement de parcours entre la station mobile et sa station de base serveuse,

P_i^{UL} : La puissance dont l'expression est donnée par l'équation (2.3)

2.2.2.2 La limitation de la charge de la cellule sur le lien montant

Chaque utilisateur entrant dans le réseau vérifie le rapport $\frac{E_b}{N_0}$ demandé et a le même degré d'activité et donc il fait augmenter la charge du réseau avec la même proportion. Si on suppose que la charge de la cellule est à 100%, l'interférence au niveau du récepteur est à son maximum. Mais en pratique cette situation n'est jamais atteinte parce que la station mobile est limitée par une puissance maximale qu'elle ne doit pas dépasser lors de sa demande de service. Ainsi lorsque la charge de la cellule atteint une valeur seuil, tout mobile demandant une connexion à la station de base serveuse ne peut être accepté même si sa puissance de transmission vérifie bien les conditions d'accès.

2.3 Modélisation de la capacité d'une cellule UMTS sur la liaison descendante

Nous proposons aussi un modèle mathématique d'estimation de la capacité d'une cellule UMTS pour le sens descendant. Il s'agit d'établir l'expression mathématique de la puissance totale envoyée par la station de base de la cellule vers les mobiles de cette cellule.

2.3.1 Modèle d'évaluation de la capacité

2.3.1.1 Hypothèses

Les hypothèses que nous avons prises en considération pour modéliser la capacité dans le sens descendant se résument ainsi :

- Les interférences intracellulaires et intercellulaires sont prises en compte. Cependant, les interférences intercellulaires sont considérées comme étant un pourcentage de l'interférence intracellulaire reçue à la station mobile.

- L'intensité du trafic et la distribution des usagers sont supposées être identiques dans chaque cellule.
- L'atténuation des signaux se base sur un modèle simple de propagation.
- Le contrôle de puissance est supposé parfait.
- Les puissances liées aux signaux de contrôle et de synchronisation sont prises en compte.
- Les cellules ne sont pas sectorisées. On suppose également qu'il n'y qu'une antenne par station de base.
- Nous supposons que tous les utilisateurs sont dans un milieu urbain et que leurs positions sont fixes.

2.3.1.2 Définition des paramètres

S : Ensemble des stations mobiles actives dans la cellule considérée,

P_i^{DL} : Puissance envoyée par la station de base pour la station $i \in S$,

V_i^{DL} : Facteur d'activité associé à la station mobile i ,

P_T^{DL} : Puissance totale envoyée par la station de base, signaux de contrôle y compris,

N_0 : Densité spectrale de puissance du bruit thermique,

W : Débit chip,

$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{DL}$: Rapport de l'énergie par bit du signal reçu par le mobile i sur la densité spectrale de puissance du bruit reçu à ce mobile (bruit thermique+interférence),

γ_i^{DL} : Valeur cible de $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{DL}$ que doit avoir le signal reçu par le mobile i pour que le décodage du signal soit possible,

R_{info} : Débit binaire spécifique pour chaque type de service,

$L_{i,0}$: Coefficient d'atténuation du signal entre le mobile i et la station de base qui le prend en charge,

P_{BS} : Puissance maximale disponible à la station de base,

P_{cont} : Puissance des signaux de contrôle et synchronisation considérée comme étant une fraction F_{cont} de la puissance P_{BS} ,

$L_{i,0}$: Coefficient d'atténuation du signal entre le mobile i et la station de base j ,

B : Ensemble des stations de base voisines de la station de base de la cellule considérée que nous allons considérer dans le calcul de l'interférence intercellulaire,

ω : Facteur d'orthogonalité. Les codes orthogonaux sont utilisés dans le sens descendant afin de différencier les usagers, cependant à la réception au niveau des mobiles ces codes ne sont plus parfaitement orthogonaux à cause de la propagation sur des chemins multiples.

2.3.1.3 Mise en équations du modèle

Dans le sens descendant, le signal émis par la station de base à la station mobile i va pouvoir être récupéré par ce mobile si le rapport $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{DL}$ de ce signal reçu est suffisamment grand. Ainsi la station de base doit émettre suffisamment de puissance P_i^{DL} pour la station mobile i afin que la puissance reçue au mobile soit assez grande pour assurer un rapport $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{DL}$ égal à γ_i^{DL} [9] [10].

De la même façon que dans le sens montant, on a la relation suivante:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{DL} = SIR_i^{DL} \cdot \frac{W}{R_{info}^{DL}} \quad (2.8)$$

Avec :

$$SIR_i^{DL} = \frac{\text{puissance du signal reçu par le mobile } i}{\text{puissance de tous les autres signaux reçus par le mobile } i},$$

$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{DL}$ Étant défini, on peut en donner l'expression mathématique suivante :

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{DL} = \frac{\frac{1}{R_{info}^{DL}} \cdot \frac{P_i^{DL}}{L_{i,0}}}{\frac{1}{W} \cdot \left(\omega \left(\frac{P_T^{DL} - V_i^{DL} \cdot P_i^{DL}}{L_{i,0}} \right) + \sum_{j \in B} \frac{P_T^{DL}}{L_{i,j}} \right) + N_0} \quad (2.9)$$

Avec :

$\omega \left(\frac{P_T^{DL} - V_i^{DL} \cdot P_i^{DL}}{L_{i,0}} \right)$: Les interférences intracellulaires subies par la station mobile s ,

$\sum_{j \in B} \frac{P_T^{DL}}{L_{i,j}}$: Les interférences intercellulaires.

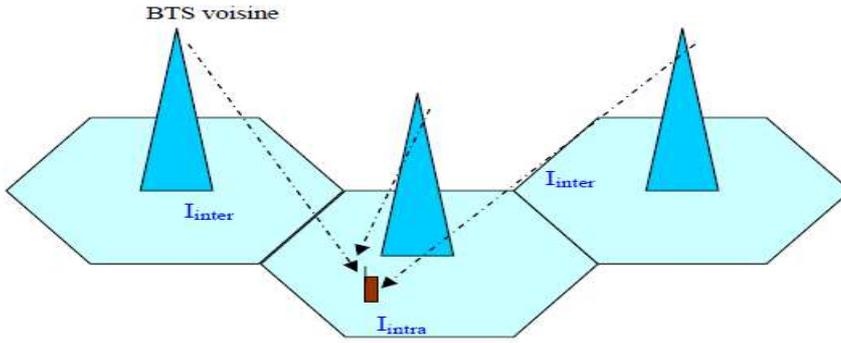


Fig 2.2 : Evaluation de l'interférence sur le lien descendant [11]

On peut donc maintenant extraire de l'équation donnée l'expression de P_i^{DL} sachant que l'on veut un rapport énergie par bit du signal sur densité spectrale du bruit égale à γ_i^{DL} pour la station mobile i :

$$P_i^{DL} = \gamma_i^{DL} \cdot \frac{1}{W} \cdot \frac{(1+\lambda) \cdot \omega \cdot P_T^{DL} + N_0 \cdot L_{i,0}}{\frac{1}{R_{info}} + \gamma_i^{DL} \cdot \frac{1}{W} \cdot (1+\lambda) \cdot \omega \cdot V_i^{DL}} \quad (2.10)$$

De plus la puissance envoyée par la station de base est :

$$P_T^{DL} = \sum_{i \in S} V_i^{DL} \cdot P_i^{DL} P_{cont} \quad (2.11)$$

Dans le sens descendant, la puissance émise par la station de base P_T^{DL} est limitée par la puissance d'émission maximale de l'antenne P_{BS} .

La contrainte la plus forte dans le sens descendant est donc:

$$P_T^{DL} < P_{BS} \quad (2.12)$$

Nous connaissons la distribution stochastique des usagers dans la cellule: nous supposons que les usagers sont répartis uniformément dans une région circulaire de rayon R autour de la station de base de la cellule.

2.3.2 Les facteurs limitant la capacité sur le lien descendant

Dans le système UMTS, plusieurs scénarios de limitation de la capacité sur la liaison descendante peuvent se produire : lors de la puissance de transmission de la station de base atteint son maximum, quand l'utilisation des codes OVSF atteint sa limite...

De tels scénarios se produisent dans les environnements urbains et sub-urbains où le réseau est planifié pour supporter une charge importante sur la liaison montante. Le trafic associé à ce type de scénarios est généralement asymétrique, avec un important trafic sur la liaison descendante [12] [13].

2.3.2.1 La limitation de la puissance de la cellule sur le lien descendant

Quand la station de base atteint sa puissance maximale de transmission, elle ne peut passer à aucun nouvel entrant même si la charge de la cellule n'a pas atteint son maximum.

Dans ce cas, aucun nouveau mobile ne sera accepté si on ne change pas la configuration de la station de base.

La puissance de transmission affectée à une cellule WCDMA doit être partagée entre les différentes stations mobiles actives même celles connectées par soft Handover à la station de base serveuse et donc une des solutions possibles pour accroître le nombre de mobiles servis est de réduire les liens soft Handover puisque ils ne se produisent qu'avec des abonnés à la bordure de la cellule et donc demandent un maximum de puissance de la station de base.

De plus, comme le montre l'expression, une partie de la puissance de transmission de la station de base est allouée aux canaux de contrôle communs. Ainsi, en réduisant cette partie, on aura plus de puissance disponible pour supporter plus de trafic.

2.3.2.2 La limitation des codes OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factors)

Dans un système WCDMA, le signal d'un mobile est, au début, étalé par le code de canalisation, appelé le code OVSF et ensuite embrouillé par le code d'embrouillage. Sur la liaison descendante, les codes d'embrouillage sont utilisés pour séparer entre les cellules. La séparation entre les différentes liaisons dans une même cellule est effectuée par les codes de canalisation. Ces derniers présentent un facteur limitant de la capacité dans le cas d'une cellule à fort trafic.

Une seule solution est possible pour éviter ce problème : c'est la réduction des liens soft Handover, et donc, le nombre de codes OVSF disponibles pour servir de nouveaux mobiles augmente. En effet, un mobile en soft Handover demande aux différentes stations de base auxquelles il est simultanément connecté des canaux indépendants et donc il abuse des codes OVSF disponibles dans chaque cellule.

2.4 Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons proposé une modélisation mathématique de la capacité d'une cellule UMTS. Cette modélisation diffère entre le sens de la liaison UL ou DL. Les équations développées seront exploitées, dans le chapitre suivant, par des simulations et des analyses de la capacité d'une cellule UMTS.

3.1 Préambule

Ce chapitre consiste à simuler et analyser la capacité d'une cellule UMTS. Cette analyse sera effectuée sur le lien UL et DL et pour différents types de service.

3.2 Modèle d'un réseau

Nous allons prendre en compte les différentes hypothèses supposées dans le chapitre précédent.

3.2.1 Hypothèses

Parmi les hypothèses citées dans le chapitre précédent, celles prises en considération dans nos simulations sont les suivantes :

- La distribution des mobiles, à l'intérieur de la cellule, est supposée aléatoire. Elle est aussi supposée uniforme sur toute la surface de la cellule.
- On suppose que tous les mobiles sont dans un milieu urbain et que leurs emplacements à l'intérieur de la cellule sont fixes.
- L'atténuation des signaux se base sur un modèle simple de propagation.

3.2.2 Le modèle de propagation adopté

Pour le calcul de l'affaiblissement de parcours que subit le signal entre le point d'émission et celui d'arrivée, nous avons utilisé le modèle d'Okumara-Hata comme modèle de calcul. Sa formulation mathématique est la suivante [14]

$$L_{path} = A - 13.82 * \log_{10}(H_b) + (44.9 - 6.55 * \log_{10}(H_b)) * \log_{10}(d) - a(H_m) \quad (3.1)$$

Avec :

A=155.1 pour les milieux urbains, A=135.8 pour les milieux ruraux,

H_b La hauteur de l'antenne de la station de base (en mètres),

H_m La hauteur de l'antenne du terminal (en mètres), d la distance séparant le récepteur du transmetteur,

$$a(H_m) = 3.2 * (\log_{10}(11.75 * H_m))^2 - 4.97$$

On a donc :

$$a(1.5) = 0$$

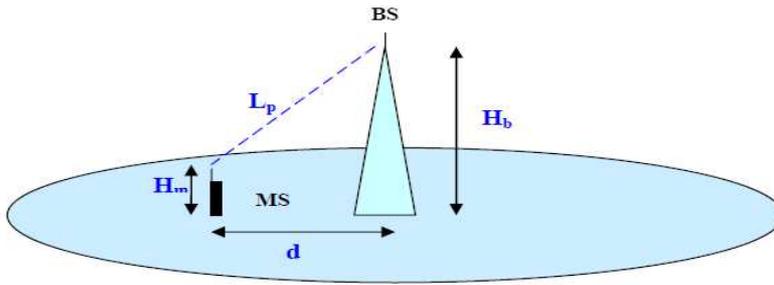


Fig 3.1 : Evaluation de l'affaiblissement de parcours [9]

3.3 Analyse de la capacité sur la liaison montante

3.3.1 Simulation

3.3.1.1 Description de la simulation

Cette simulation permet de déterminer l'interdépendance entre le rayon de la cellule et sa capacité en termes de mobiles actifs. Cette interdépendance est montrée pour différents types de service (service vocal, service données et service mixte). Pris en considération l'interférence intercellulaire pour se rapprocher au plus du cas réel.

Le système WCDMA est caractérisé par un processus de contrôle de puissance que nous avons aussi pris en considération dans la simulation. Un contrôle de puissance qui consiste à garantir la QoS exprimée par une valeur cible de $\frac{E_b}{N_0}$ et en s'appuyant sur les différentes équations déjà définies dans le chapitre précédent pour le lien montant.

L'organigramme qui suit explique plus en détails les étapes suivies dans cette simulation :

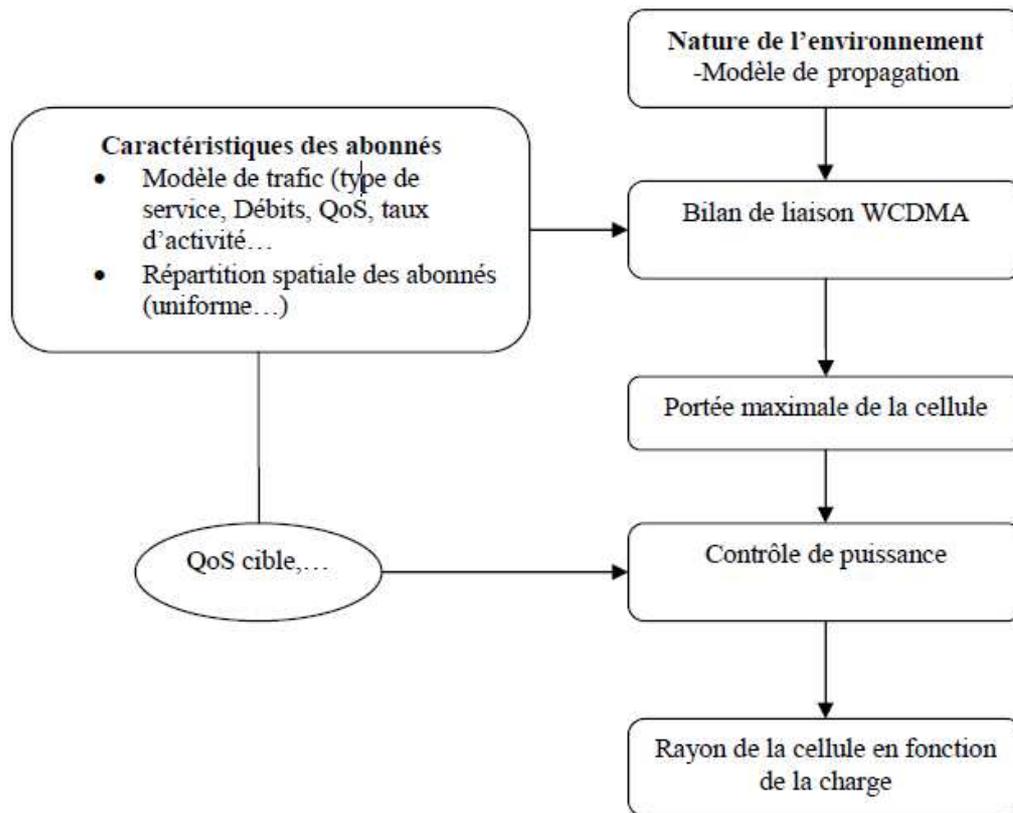


Fig 3.2 : Les étapes de la simulation sur le lien montant

Cette simulation nous fournit, pour chaque nombre de mobiles actifs, le rayon de la cellule lui correspondant. Ce rayon n'est qu'une valeur moyennée. En effet, on utilise une technique statistique basée sur l'exécution de plusieurs fois le même travail et ne prend à la fin que la moyenne, cette méthode est appelée technique de simulation Monte Carlo.

3.3.1.2 Principe de la simulation

Le principe de la simulation est le suivant :

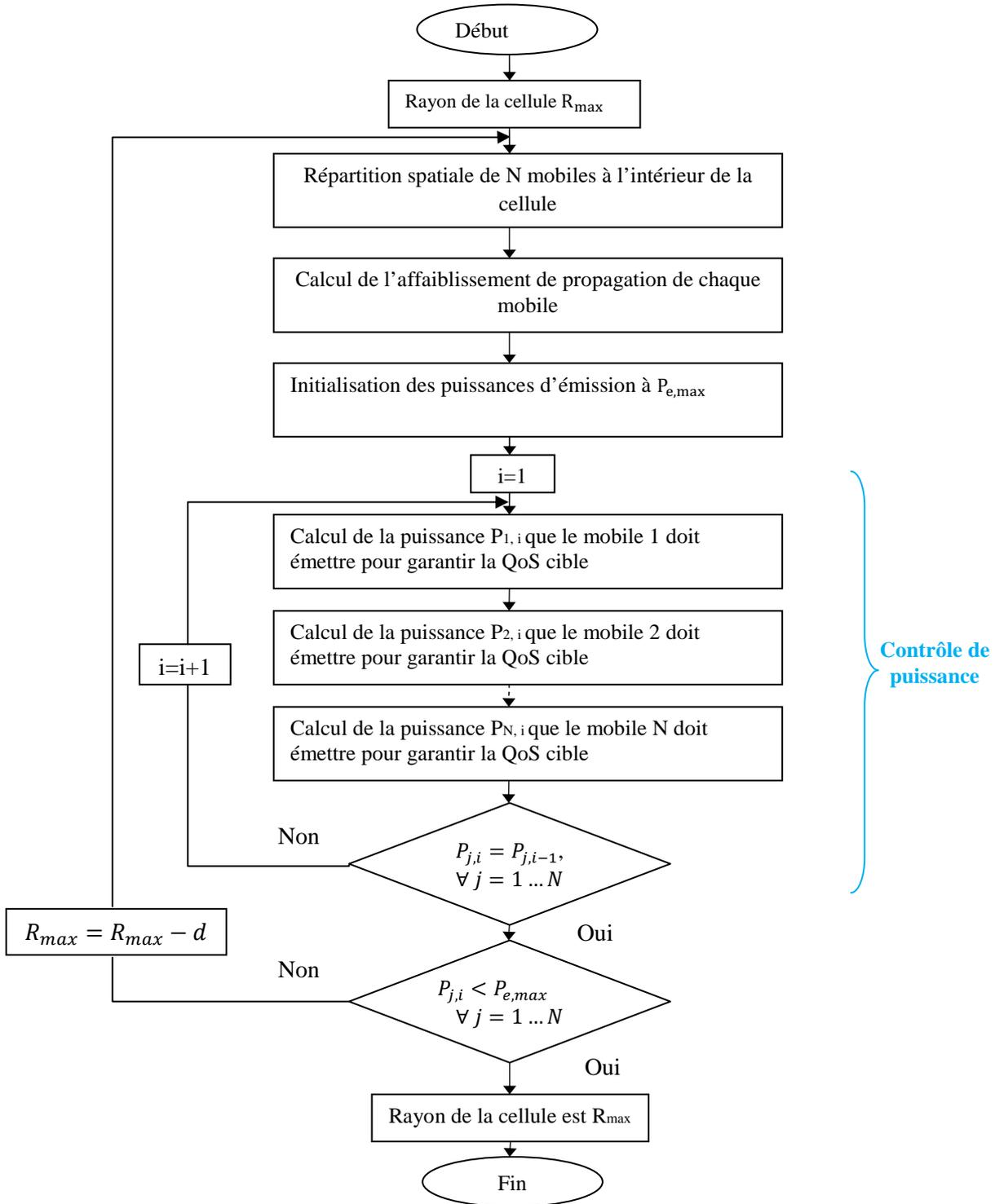


Fig 3.3 : Algorithme de la simulation d'évaluation de la capacité sur le lien montant

3.3.1.3 Paramètres de la simulation

3.3.1.3.1 Les valeurs de $\frac{E_b}{N_0}$

Dans la littérature, nous remarquons bien que les valeurs typiques de $\frac{E_b}{N_0}$ diffèrent selon le type de service. Le tableau (3.1) résume ces valeurs pour la liaison montante:

Type de service	Urbain, 3 Km/h
Voix (12.2 Kbit/s)	4.9
Données (64 Kbit/s)	3.2
Données (144 Kbits/s)	1.5

«

Tab 3.1 : Valeurs typiques de $\frac{E_b}{N_0}$ pour le lien montant [9]

3.3.1.3.2 Le facteur d'interférence

Le facteur d'interférence F est le rapport entre l'interférence provenant des autres cellules et l'interférence générée dans la même cellule. Ce facteur dépend des caractéristiques des cellules telles que le nombre de secteurs, les caractéristiques de la propagation des ondes, l'évanouissement, le diagramme de rayonnement des antennes...

Le tableau (3.2) résume les différentes valeurs recommandées de F dans différents milieux tout en tenant compte de la configuration des sites.

Configuration du Site	Urbain, 3km/h
Omni	0.5
Tri sectoriel	0.79
Six secteurs	0.99

Tab 3.2 : Valeurs typiques du facteur F pour le lien montant [9]

3.3.1.3.3 Le facteur d'activité

Le facteur σ dépend uniquement du type de service demandé.

Facteur d'activité σ	
Service Voix	0.67
Service Données	1

Tab 3.3 : Valeurs recommandées de σ [9]

Les autres paramètres utilisés dans la simulation se résument dans le tableau suivant :

Paramètres	Valeurs
Sectorisation	Omnidirectionnelle
Types de service	Voix, 12.2 Kbits/s Données, 64 Kbits/s Données, 144 Kbits/s
Puissance maximale du mobile	21 dBm
Puissance minimale du mobile	-44 dBm
Puissance du bruit thermique	$N_0 = K.T.W$ $K = 1.38 * 10^{-23} J/K$ T=298 °K W = $3.84 * 10^6$ chips/s

Tab 3.4 : Les paramètres utilisés dans la simulation sur le lien montant [9]

3.3.2 Résultats et interprétations

Les résultats obtenus de cette simulation sont les suivants:

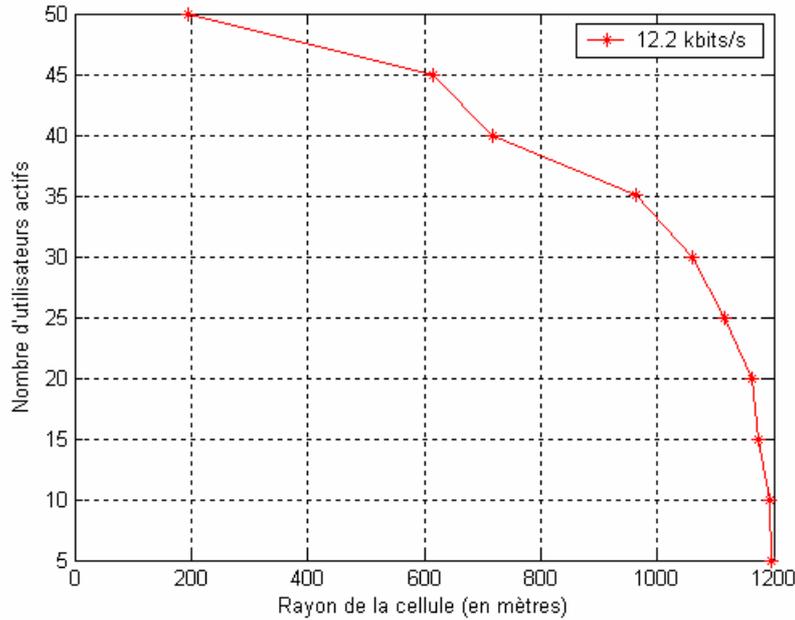


Fig 3.4 : Variation de la charge en fonction du rayon de la cellule pour le service vocal

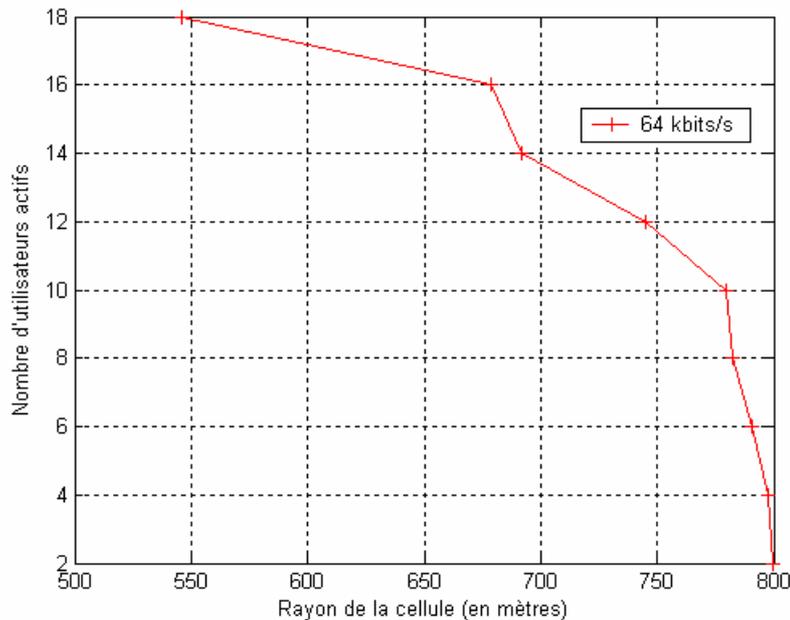


Fig 3.5 : Variation de la charge en fonction du rayon de la cellule pour le service de données, 64 Kbits/s

On remarque bien que plus le nombre de mobiles actifs augmente à l'intérieur de la cellule plus le rayon décroît. Ce phénomène est appelé le phénomène de respiration des cellules.

Le phénomène de respiration des cellules est commun pour tout type de service.

Nous remarquons aussi que la taille de la cellule diminue autant que le service nécessite de débit.

La particularité de l'UMTS est de pouvoir offrir une gamme de services mixte. Nous supposons ainsi les deux scénarios suivants :

- 1^{er} scénario : 50% des utilisateurs actifs sont des utilisateurs du service vocal 12.2 Kbits/s, 30% des utilisateurs du service données 64 Kbits/s et 20% des utilisateurs du service données 144 Kbits/s ;
- 2^{ème} scénario: 80% des utilisateurs actifs sont des utilisateurs du service vocal 12.2 Kbits/s, 10% des utilisateurs du service données 64 Kbits/s et 10% des utilisateurs du service données 144 Kbits/s ;

Le phénomène de respiration se manifeste aussi dans le cas du service mixte comme montré dans la figure (3.6)

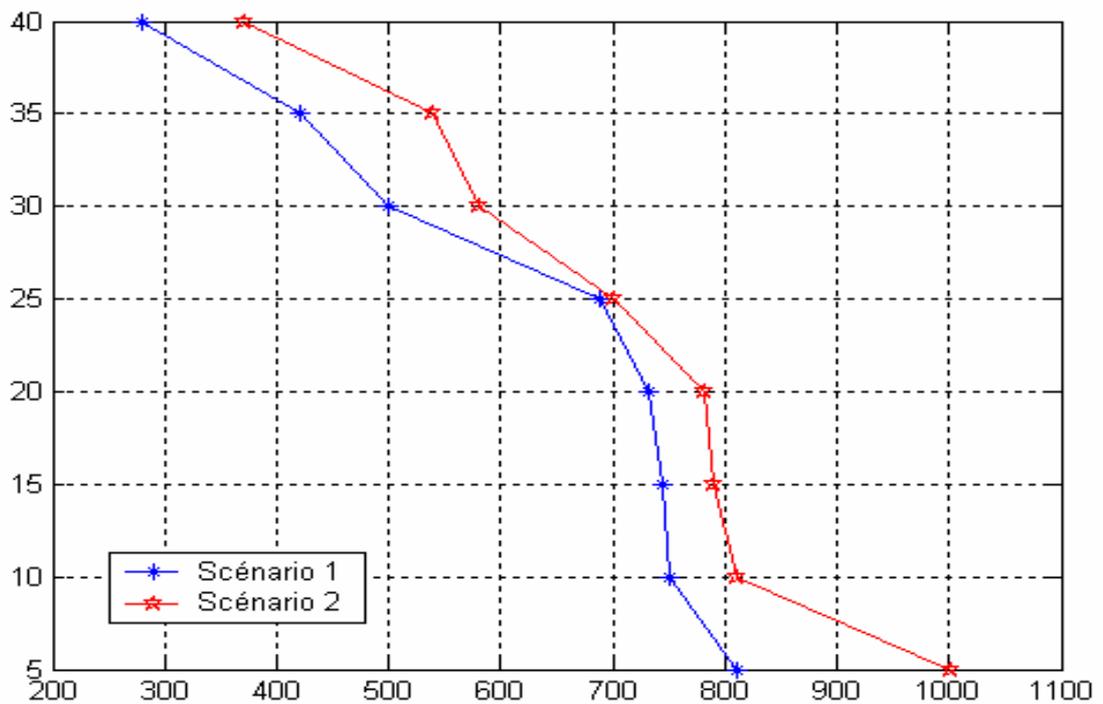


Fig 3.6 : Variation de la charge en fonction du rayon de la cellule pour le service mixte

3.4 Analyse de la capacité sur la liaison descendante

3.4.1 Simulation

3.4.1.1 Description de la simulation

Comme dans le cas du lien montant, nous allons montrer l'interdépendance entre le rayon de la cellule et la charge que celle-ci peut supporter.

Nous avons aussi pris en considération l'interférence intercellulaire pour se rapprocher au plus du cas réel. Elle représente une fraction de l'interférence intracellulaire.

Le contrôle de puissance est aussi pris en considération pour le lien descendant.

Nous avons aussi utilisé la technique de simulation Monte Carlo.

L'organigramme qui suit explique plus en détails les étapes suivies dans cette simulation :

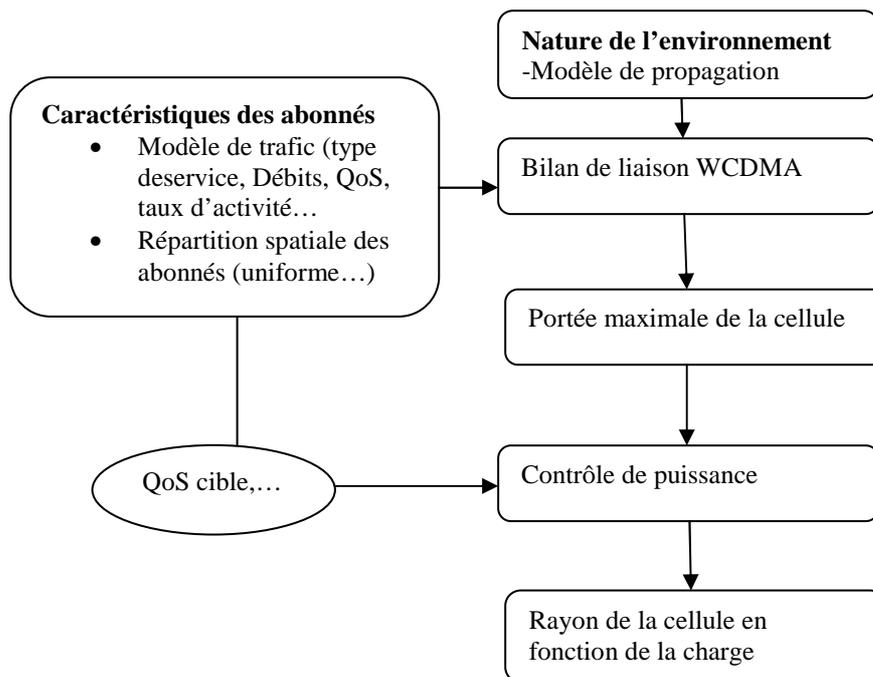


Fig 3.7 : Les étapes de la simulation sur le lien descendant

3.4.1.2 Principe de la simulation

Le principe de la simulation est expliqué par la figure (3.8):

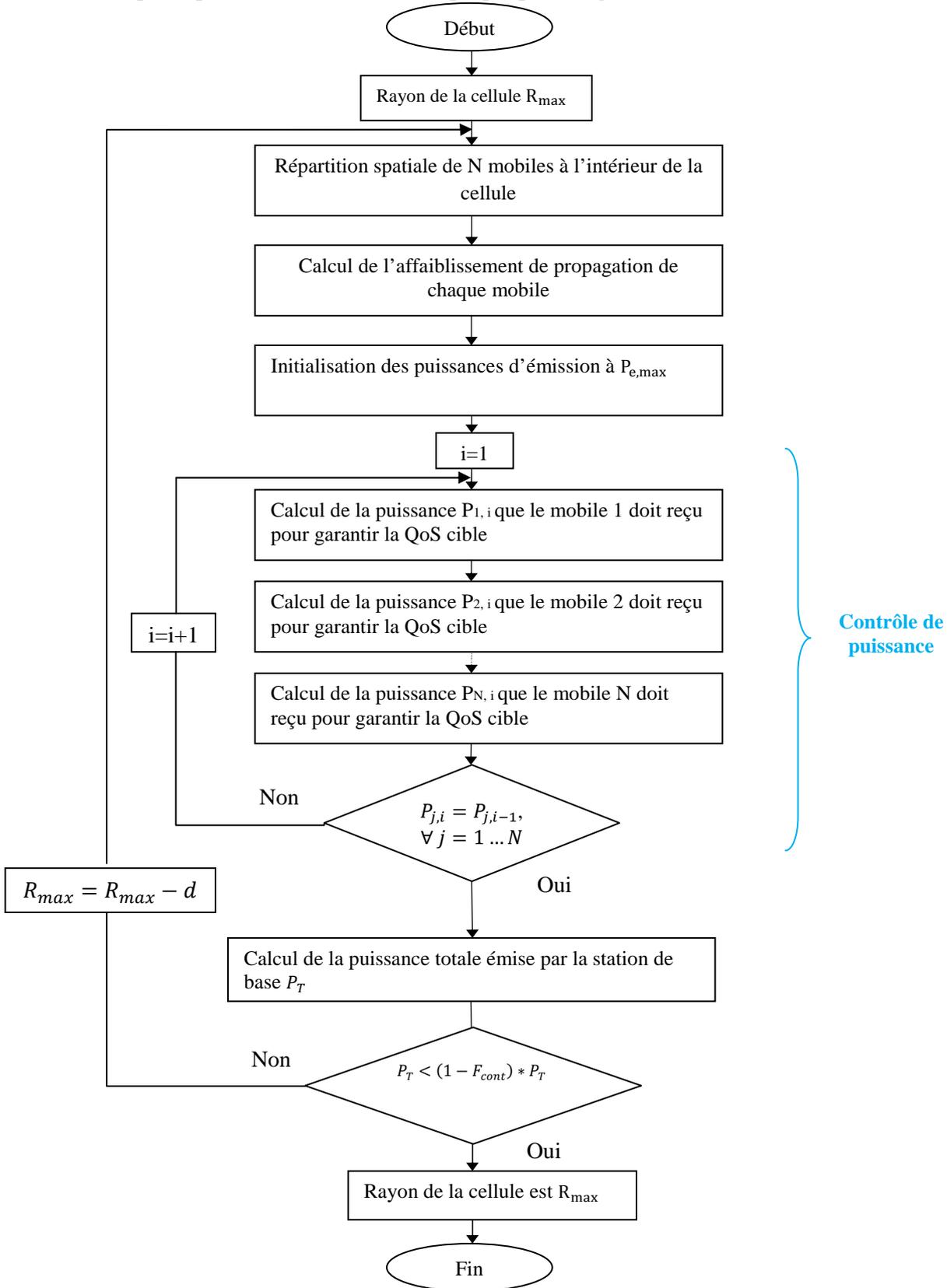


Fig 3.8 : Algorithme de la simulation d'évaluation de la capacité sur le lien descendant

3.4.1.3 Paramètres de la simulation

3.4.1.3.1 Les valeurs de $\frac{E_b}{N_0}$

Nous remarquons bien que les valeurs typiques de $\frac{E_b}{N_0}$, sur le lien descendant, sont différentes de celles sur la liaison montante.

Le tableau (3.5) résume ces valeurs pour la liaison descendante:

Type de service	Urbain, 3 Km/h
Voix (12.2 Kbit/s)	7.2
Données (64 Kbit/s)	6.4
Données (144 Kbits/s)	2.5

Tab 3.5 : Valeurs typiques de $\frac{E_b}{N_0}$ pour le lien descendant [9]

3.4.1.3.2 Le facteur d'interférence

Les valeurs du facteur d'interférence F sur le lien descendant diffèrent de celles sur le lien montant. Ce facteur dépend plus de la répartition des mobiles à l'intérieur de la cellule.

Le tableau qui suit résume les différentes valeurs recommandées de F.

Configuration du Site	Urbain, 3km/h
Omni	0.48
Tri sectoriel	0.72
Six secteurs	0.84

Tab 3.6 : Valeurs typiques du facteur F pour le lien descendant [9]

3.4.1.3.3 Le facteur d'activité

Les valeurs du facteur d'activité σ restent inchangées.

Facteur d'activité σ	
Service Voix	0.67
Service Données	1

Tab 3.7 : Valeurs recommandées de σ [9]

3.4.1.3.4 Le facteur d'orthogonalité

Le facteur ω est spécifique du lien descendant. Il reflète le degré d'orthogonalité entre les signaux émis par la station de base vers les différents usagers. Si ce facteur est non nul, qui est le cas le plus répandu, une partie de cette puissance émise sera considérée de l'interférence

Des valeurs recommandées de ω sont illustrées dans le tableau suivant :

Facteur d'orthogonalité ω	
Milieu urbain	0.64

Tab 3.8 : Valeurs recommandées de ω [9]

Les autres paramètres utilisés dans notre simulation pour le lien descendant sont résumés dans le tableau suivant :

Paramètres	Valeurs
Sectorisation	Omnidirectionnelle
Types de service	Voix, 12.2 Kbits/s Données, 64 Kbits/s
Puissance maximale P_{BS}	20 Watt
Fraction F_{CONT}	0.2
Puissance du bruit thermique	$N_0 = K.T.W$ $K = 1.38 * 10^{-23} J/K$ T=298 °K $W = 3.84 * 10^6$ chips/s

Tab 3.9 : Les différents paramètres utilisés dans la simulation sur le lien descendant

3.4.2 Résultats et interprétations

Les résultats obtenus de cette simulation sont présentés à la suite:

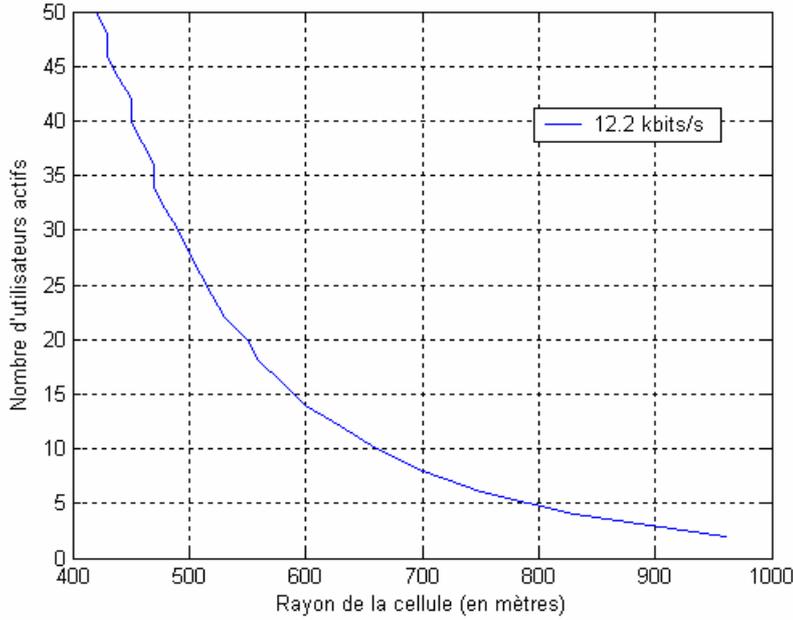


Fig 3.9 : Variation de la charge en fonction du rayon de la cellule pour le service de données, 64Kbits/s

Le phénomène de respiration des cellules est vérifié aussi pour le lien descendant.

Nous remarquons, de plus, que la taille de la cellule diminue autant que le service nécessite de débit. Cette taille est inférieure à celle trouvée lors de l'étude du lien montant si nous considérons à chaque fois le même type de service. Ceci met en évidence l'interdépendance de la couverture et la capacité d'une cellule UMTS. Cette interdépendance se manifeste plus sur la liaison descendante vue que la puissance totale émise par la station de base comme le montre l'équation:

$$P_T^{DL} = \frac{\sum_{i \in S} v_i^{DL} \cdot \gamma_i^{DL} \cdot \frac{1}{W} \cdot \frac{N_0 \cdot L_{i,0}}{R_{info} + \gamma_i^{DL} \cdot \frac{1}{W} \cdot (1+\lambda) \cdot \omega \cdot v_i^{DL}} + P_{cont}}{1 - \sum_{i \in S} v_i^{DL} \cdot \gamma_i^{DL} \cdot \frac{1}{W} \cdot \frac{(1+\lambda) \cdot \omega}{R_{info} + \gamma_i^{DL} \cdot \frac{1}{W} \cdot (1+\lambda) \cdot \omega \cdot v_i^{DL}}} \quad (3.2)$$

Avec :

R_{info} : Débit binaire spécifique pour chaque type de service,

v_i^{DL} : Facteur d'activité associé à la station mobile i ,

P_T^{DL} : Puissance totale envoyée par la station de base, signaux de contrôle y compris,

N_0 : Densité spectrale de puissance du bruit thermique,

W : Débit chip,

γ_i^{DL} : Valeur cible de $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{DL}$ que doit avoir le signal reçu par le mobile i pour que le décodage du signal soit possible,

$L_{i,0}$: Coefficient d'atténuation du signal entre le mobile i et la station de base qui le prend en charge,

P_{cont} : Puissance des signaux de contrôle et synchronisation considérée comme étant une fraction F_{CONT} de la puissance P_{BS} ,

ω : Facteur d'orthogonalité.

3.5 Discussion

Dans ce chapitre, nous avons concrétisé les différentes équations développées dans le chapitre 2. Et à travers les simulations effectuées dans ce chapitre, nous avons montré la forte corrélation entre la capacité du lien montant d'une cellule UMTS et le niveau des interférences qu'elle subit. Quant au lien descendant, sa capacité est fortement liée à la répartition de la puissance totale disponible dans la cellule.

Par conséquent, dans le chapitre suivant nous allons proposer une méthode de gestion des interférences permettant d'optimiser d'avantage la capacité d'un réseau UMTS.

4.1. Préambule :

Dans ce dernier chapitre nous allons simuler un ensemble de cellules tri-sectorielles après avoir calculé le rayon convenablement pour une cellule isolée, afin d'évaluer par la suite la capacité globale de l'ensemble en premier lieu pour une distribution des abonnés uniforme. En second lieu nous allons évaluer cette capacité pour une distribution variable comprenant des hotspots tout en gardant la même charge globale du réseau. Enfin nous allons essayer de maximiser cette capacité tout en respectant un taux maximal de couverture en utilisant les algorithmes génétiques.

4.2. Modélisation du réseau :

4.2.1. Hypothèses et paramètres de la modélisation :

Pour la modélisation du réseau, nous allons respecter les mêmes hypothèses et paramètres adoptés dans le chapitre précédent. Nous allons considérer une charge de 90 usagers par cellule et un rayon de cellule de 800m. La valeur initiale des tilts est de 6° pour tous les secteurs.

4.2.2. Positionnement des sites :

Nous avons adopté un modèle de 19 sites positionnés selon un modèle hexagonal comme le montre la figure 4.1. Le nombre total des usagers est alors de $19 \times 90 = 1710$. Le rayon d'une cellule étant 800m, nous avons pris en compte un taux de chevauchement de 15% afin de garantir la continuité du réseau et de respecter la marge du soft Handover, sachant que le taux de chevauchement doit être compris entre 10 et 20%. Les cellules de ce modèle seront numérotées de 1 à 19, la cellule #1 étant la première cellule dans le repère (O, X, Y) et la cellule #19 la dernière.

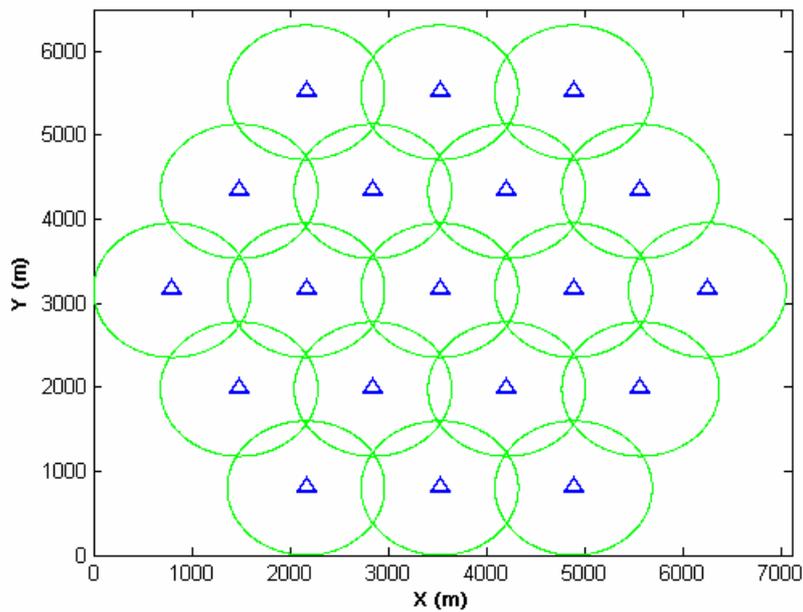


Fig 4.1. Positionnement des sites

4.2.3. Sélection des meilleures cellules :

La sélection des meilleures cellules prend en compte le gain des antennes. Le principe de cette étape est de calculer pour chaque mobile le gain d'antenne G_t de tous les secteurs du réseau.

$$G_t = \frac{P_i^{UL} * L_{path}}{P_e} \text{ Pour le lien montant.}$$

$$G_t = \frac{P_i^{DL} * L_{path}}{P_e} \text{ Pour le lien descendant.}$$

Pour chaque mobile, nous classons ensuite dans une matrice les trois meilleures cellules en fonction du gain du maximal au minimal.

Si la différence entre les gains de deux cellules successives est inférieure à la marge de Handover le mobile peut être considéré en Soft Handover. Dans notre algorithme, ces cellules seront numérotées de cell#1 à cell#3.

4.3. Évaluation de la capacité en liaison montante

4.3.1. Description de la simulation :

Dans le cas d'un ensemble de cellule, l'évaluation de la capacité devient plus complexe vu que nous devons considérer la sélection de plusieurs cellules qui peuvent être les

cellules serveuses du mobile en question. Ensuite, nous allons effectuer un contrôle de puissance sur chaque mobile en calculant la somme des interférences intracellulaires et aussi intercellulaires provenant des autres stations. Nous vérifions pour chaque mobile que la puissance d'émission n'a pas dépassé la valeur de $P_{e_{max}}$. Si c'est le cas, nous sélectionnons la cellule suivante dans la liste des meilleures cellules si elle existe, sinon nous affectons une puissance nulle au mobile : il sera déconnecté du réseau. Après cette étape, nous calculons le noise rise pour chaque cellule. Cette itération se répète jusqu'à trouver que la valeur du noise rise calculée pour chaque cellule est inférieure à la valeur maximale (3dB). Enfin nous obtenons la capacité maximale du réseau en lien montant.

4.4. Évaluation de la capacité en liaison descendante

4.4.1. Description de la simulation :

Comme pour la liaison montante, nous devons considérer pour chaque mobile l'ensemble des trois meilleures cellules afin d'obtenir le maximum de capacité possible. La capacité en lien descendant est limitée par la puissance maximale de la station de base P_T . La simulation consiste donc à calculer à chaque itération la somme des puissances émises pour chaque mobile et vérifier la condition $P_T^{DL} < L_{FDL} \cdot P_{BS}$. Si cette condition n'est pas vérifiée, nous sélectionnons les mobiles demandant le plus de puissance et nous leur affectons la cellule suivante dans la liste des meilleures cellules si elle existe sinon nous affectons une puissance nulle au mobile. Nous répétons ensuite cette itération jusqu'à ce que la condition soit vérifiée pour toutes les cellules. Enfin nous obtenons la capacité maximale du réseau en lien descendant.

4.5. Modélisations de différentes distributions d'abonnés

4.5.1. Modélisation d'une distribution uniforme des abonnés :

4.5.1.1. Principe de la modélisation

Nous allons commencer la modélisation par le cas d'une distribution uniforme des abonnés au sein de l'ensemble des cellules. Dans la simulation, les coordonnées du mobile sont générées aléatoirement mais dans les limites de couvertures du réseau comme indiqué dans la figure 4.1.

La charge maximale que nous avons calculée dans le chapitre précédent pour une cellule de 800m est de 90 usagers actifs. Nous allons donc considérer pour ce réseau une charge de $19 \times 90 = 1710$ usagers actifs répartis sur les 19 sites.

4.5.1.2. Résultat de la simulation :

- liaison montante : le nombre des usagers connectés est de 1710, ce qui vaut un taux de rejet de 0%.
- liaison descendante : le nombre des usagers connectés est de 1642, ce qui vaut un taux de rejet de 4%.

Les résultats de la simulation sont représentés par les figures suivantes :

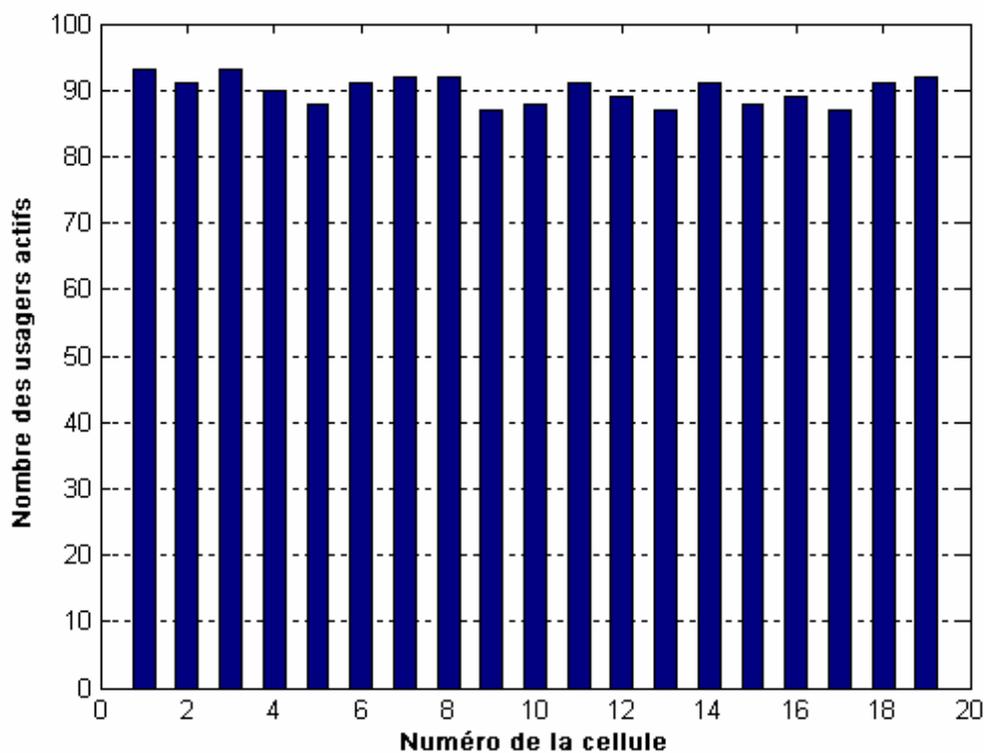


Fig 4.2. Nombres des usagers actifs par cellule en UL pour un trafic uniforme

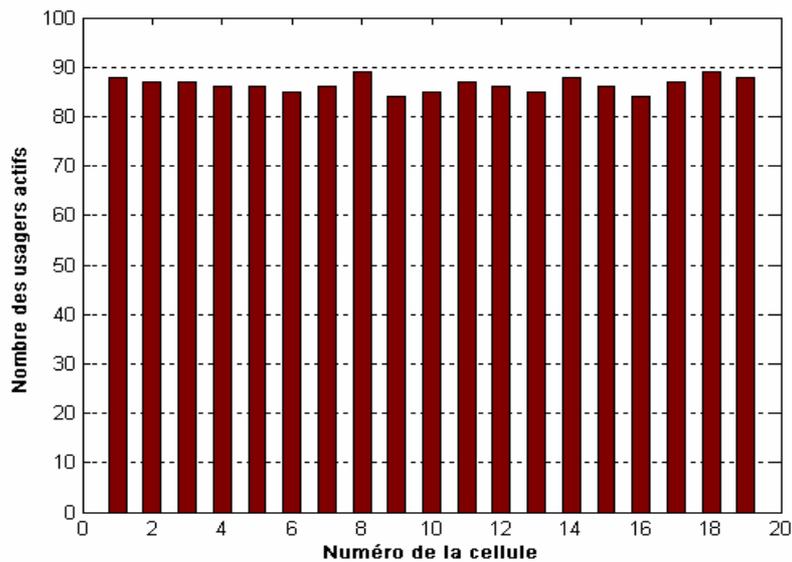


Fig 4.3. Nombres des usagers actifs par cellule en DL pour un trafic uniforme

Nous pouvons remarquer ici que la capacité de l'ensemble des cellules en lien montant est maximale (100% des usagers) mais pour le lien descendant seuls 96% des usagers sont connectés. Ceci peut être expliqué par le fait que nous avons considéré, pour fixer le rayon, la capacité minimale entre les deux liens qui est celle du lien descendant.

4.5.2. Modélisation d'une distribution variable des abonnés :

4.5.2.1. Principe de la modélisation

Dans le cas d'une distribution variable, nous allons supposer que le trafic est plus dense au milieu du réseau (autour de la cellule cell#10 de coordonnées X10 et Y10). Cependant nous allons garder la même charge globale du réseau que nous avons fixé à 1710 usagers. Pour cet effet, nous devons augmenter le nombre de mobiles répartis dans cette zone d'une marge Δ de 30% par rapport au reste du réseau. Enfin nous calculons le nombre des mobiles connectés pour chaque cellule et pour l'ensemble du réseau.

4.5.2.2. Résultats de la simulation :

- liaison montante : le nombre des usagers connectés est de 1505, ce qui vaut un taux de rejet de 12%.
- liaison descendante : le nombre des usagers connectés est de 1112, ce qui vaut un taux de rejet de 35%.

Les résultats de la simulation sont représentés par la figure suivante :

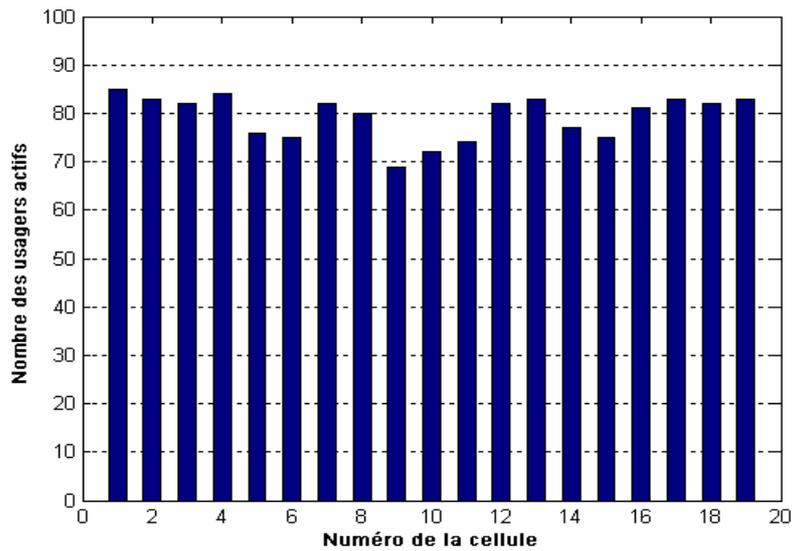


Fig 4.4. Nombres des usagers actifs par cellule en UL avant optimisation

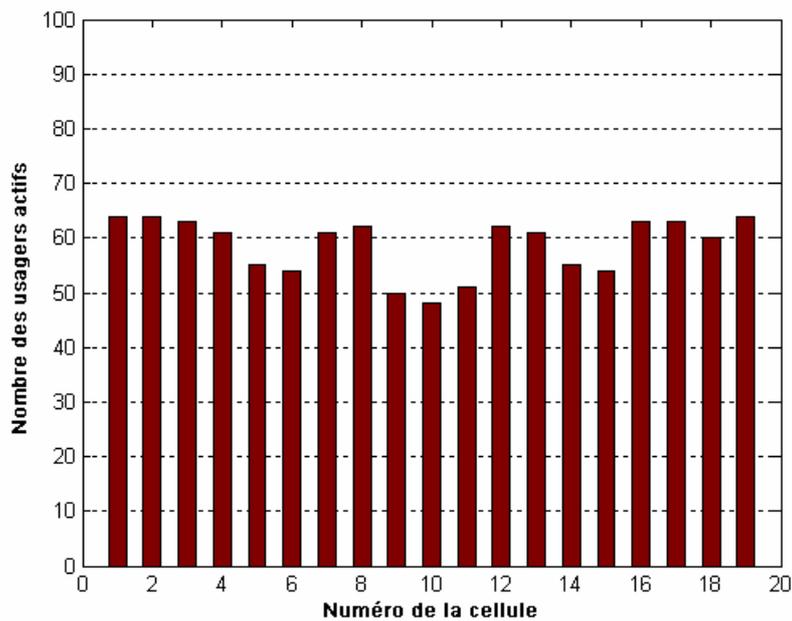


Fig 4.5. Nombres des usagers actifs par cellule en DL avant optimisation

Nous remarquons ici l'importante croissance du taux de rejet dans l'ensemble du réseau. Ceci est du à l'augmentation de la somme des interférences intra et inter-cellulaires à cause de la concentration des mobiles dans une zone limitée. L'augmentation des interférences a affecté non seulement la capacité du lien montant mais aussi celle du lien descendant puisque

chaque mobile va demander plus de puissance de la part de la station de base pour recevoir un niveau de $\frac{E_b}{N_0}$ au dessus du seuil.

4.6. Optimisation globale de la capacité du réseau :

4.6.1. Description du problème :

Nous avons déjà vu dans les chapitres précédents que la valeur de $\frac{E_b}{N_0}$ dépend de la puissance reçue P_r et du gain d'antenne G_t , celui-ci dépend à son tour du tilt des antennes comme le montre les équations suivantes :

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i^{UL} = \frac{\frac{P_i^{UL}}{R_{info}^{UL}}}{\frac{1}{W}((1+F).(P_T^{UL}-V_i^{UL}.P_i^{UL}))+N_0}$$

$$P_i^{UL} = P_e * G_t * \frac{1}{L_{path}}$$

$$G_t = G_{max} * G_H(\varphi) * G_V(\theta)$$

Avec :

$G_H(\varphi)$ $G_V(\theta)$ Sont respectivement le gain horizontal et le gain vertical de la cellule serveuse pour un mobile M.

Nous avons aussi établi les équations reliant ces gains au tilt de l'antenne. Ce qui prouve que les valeurs des tilts des antennes influent directement sur les puissances d'émissions des mobiles et sur la valeur des interférences, et par conséquent sur la capacité du réseau.

Pour optimiser la capacité UMTS en terme de nombre d'utilisateurs actifs, nous devons donc jouer sur les tilts des antennes afin de minimiser les interférences et donc minimiser le taux de rejet, tout en gardant un taux de couverture maximum. C'est un problème.

Nous avons opté pour l'utilisation d'un Algorithme Génétique pour sa résolution.

4.6.2. L'algorithme génétique [13]:

Les algorithmes génétiques sont inspirés des théories de l'évolution et des mécanismes de la sélection naturelle. Ils utilisent à la fois les principes de la survie des structures les mieux adaptées et les échanges d'information pseudo aléatoires.

Les caractéristiques de la population «ensemble des individus », évoluent sous l'effet du milieu et de la reproduction. En effet, seuls les individus les mieux adaptés ont la chance de survivre.

4.6.2.1. Principe de l'AG

La fin d'un Algorithme génétique est de minimiser une fonction coût f qui dépend de l'entrée X .

Soit $f(X)$ la fonction coût à minimiser, avec : $X \in S$,

S : ensemble fini dénombrable des solutions réalisables.

Soit X^* la solution optimale.

Les algorithmes génétiques ne considèrent pas une seule configuration à la fois, mais toute une population de configurations X_1, X_2, \dots, X_p de S appelées individus.

La taille de la population P dans la plus part des algorithmes génétiques est considérée fixe. Cette hypothèse est prise d'une part afin de limiter le temps de calcul lors de l'évaluation de la force de la population et d'autre part afin de limiter l'espace mémoire occupé par la population. En effet, naturellement la taille d'une population est variable.

Une solution X_i doit être représentée sous la forme d'une chaîne de caractères appartenant à un certain alphabet afin d'être manipulée par les opérateurs génériques.

Les AG permettent, à chaque génération, de créer un nouvel ensemble de créatures artificielles (population), en utilisant des parties des meilleurs éléments de la génération précédente. Bien qu'utilisant le hasard, les AG ne sont pas purement aléatoires. Ils exploitent efficacement l'information obtenue précédemment pour spéculer sur la position de nouveaux points à explorer, avec l'espoir d'améliorer la performance de la nouvelle population.

Généralement pour résoudre un problème donné, un AG doit avoir quatre principales composantes :

- Une représentation génétique du problème (codage),
- Une fonction d'évaluation des individus en terme de leur force appelée fonction d'adaptation caractérisant l'environnement du problème,
- Une méthode de sélection des individus pour la reproduction,
- Les opérateurs génétiques qui transforment la composition génétique des individus durant la reproduction.

4.6.2.2. Opérateurs génétiques

Les algorithmes génétiques sont basés sur trois types d'opérateurs génétiques :

1. La sélection et appariement des individus,
2. Le croisement (crossover),
3. La mutation.

Ces opérateurs permettent à la population d'évoluer à travers la création de nouveaux individus construits à partir des individus parents.

L'optimisation des paramètres de ces trois opérateurs est indispensable pour l'amélioration des performances des algorithmes génétiques.

a) La sélection et appariement des individus

Suite à une phase de reproduction et afin de conserver la taille de la population fixe, certains individus seront retenus et le reste seront écartés de la population. Plusieurs critères de sélection ont été proposés dans la littérature.

Ensuite, le deuxième niveau de sélection consiste à choisir les individus qui vont reproduire des descendants. Cette phase est appelée appariement.

b) Le croisement

Ce mécanisme consiste à combiner chaque deux individus appariés pour former des descendants. Les segments d'information échangés entre les deux individus sont choisis aléatoirement selon une probabilité P_c appelée probabilité de crossover.

c) La mutation

Elle permet d'apporter une certaine diversité dans la population et d'empêcher d'avoir une population uniforme incapable d'évoluer.

La mutation agit aléatoirement sur le codage d'un individu en remplaçant un ou plusieurs symboles du codage par autant d'autres symboles de l'alphabet.

Afin de ne pas trop perturber la composition de la population, la mutation doit avoir une faible probabilité P_m .

4.6.2.3. Structure générale d'un algorithme génétique

La structure générale d'un algorithme génétique énoncée par [Yao93] est la suivante :

1. Debut
2. Génération de la population initiale P, d'une façon aléatoire
3. Répéter
 - a. Sélectionner les parents à partir de la population P

- b. Appliquer les opérateurs génétiques aux parents et générer la nouvelle population
- 4. Jusqu'à (critere_arret=vrai)
- 5. Fin

Cet algorithme peut être encore représenté par la figure suivante :

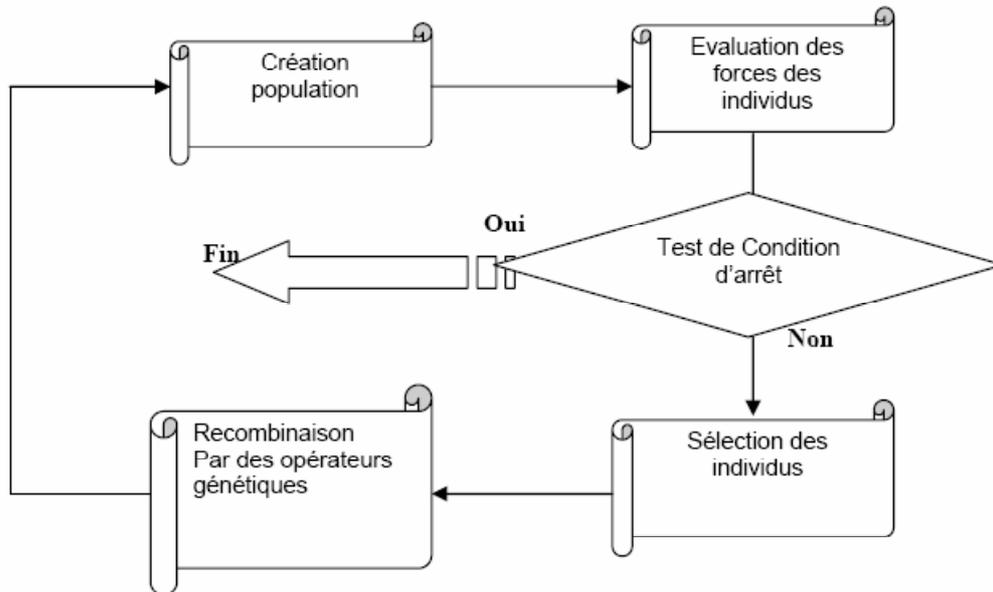


Fig 4.6. Structure générique d'un algorithme génétique

4.6.3. Application de l'algorithme génétique :

Le principe de l'algorithme élaboré est de maximiser la capacité du réseau en jouant sur la matrice des tilts des antennes. Donc la fonction coût à minimiser peut être assimilée par le nombre des mobiles rejetés par le réseau.

La matrice de tilt MT est de la forme suivante :

$$MT = |T_{i,j}|_{i=1..19,j=1..3}$$

Avec $T = \{2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ\}$

Pour la matrice initiale MTini: $T_{i,j} = 6^\circ ; \forall i, j$.

4.6.3.1. Les étapes de l'algorithme :

1. Génération d'une population initiale de solutions possibles,
2. Sélection : basée sur la valeur de la fonction coût de chaque individu,
3. Recombinaison : application des opérateurs génétiques définis précédemment,

4. Evaluation : calcul de la fonction coût pour les nouveaux individus et vérification de la contrainte à vérifier, si elle est vérifiée arrêt de l'algorithme,
5. Reconstruction : établissement de la nouvelle population en prenant les individus qui respectent le plus la contrainte du coût.

4.6.3.2. Génération de la population initiale :

Nous avons choisi de prendre une population de 10 individus. Les individus ici étant les matrices de tilt. La première matrice est la matrice initiale MT_{ini} , le reste des matrices est généré aléatoirement avec des valeurs de tilts entre 2° et 10° .

4.6.3.3. Sélection :

Cette étape consiste à sélectionner deux individus parmi la population disponible afin d'appliquer les opérateurs génétiques par la suite. Le premier individu est celui qui a la meilleure fonction coût, le second est sélectionné aléatoirement parmi le reste à condition qu'il soit différent du premier.

4.6.3.4. Recombinaison :

- **Croisement :**

L'opération de croisement est effectuée avec une probabilité de 0.5. Pour croiser les deux matrices sélectionnées $MT1$ et $MT2$, nous allons construire une matrice MC contenant des valeurs de '0' et '1' avec la même probabilité d'apparition. Le croisement est effectué comme suit :

Si $MC(i, j) = 1$

$MT1(i, j) \leftarrow MT2(i, j)$

$MT2(i, j) \leftarrow MT1(i, j)$

- **Mutation :**

L'opération de mutation effectue des changements dans les deux matrices obtenues après croisement tout en respectant l'ensemble des valeurs des tilts possibles

($T = \{2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ\}$). De même que pour le croisement nous générons une matrice Mm contenant des valeurs de '0' et de '1' avec des probabilités respectives de 0,09 et 0,01. La mutation est effectuée comme suit :

Si $Mm(i, j) = 1$

$MT1(i, j) \leftarrow MT1(i, j) + 2^\circ$

$$MT2(i, j) \leftarrow MT2(i, j) + 2^\circ$$

Sinon

$$MT1(i, j) \leftarrow MT1(i, j) - 2^\circ$$

$$MT2(i, j) \leftarrow MT2(i, j) - 2^\circ$$

4.6.3.5. Évaluation :

L'étape d'évaluation consiste à calculer la fonction coût des deux nouveaux individus obtenus après recombinaison. Si la fonction a atteint sa valeur minimale, la contrainte est vérifiée et l'algorithme s'arrête, sinon on passe à la reconstruction de la nouvelle population.

4.6.3.6. Reconstruction :

Après avoir effectué le croisement et la mutation, la reconstruction consiste à évaluer les deux individus obtenus en calculant la capacité correspondante à chaque matrice de tilt et ensuite de sélectionner parmi l'ensemble de la population plus ces deux individus, les 10 meilleures solutions. Ensuite on revient à la troisième étape et on recommence l'itération. L'algorithme s'arrête si on trouve une fonction coût minimale ou si la valeur de la fonction coût ne change pas pendant un nombre N d'itérations.

4.6.4. Résultats et interprétations :

Après l'exécution de l'algorithme génétique pour cette répartition des abonnés nous trouvons des valeurs de capacités beaucoup plus importantes que dans le cas avec des tilts fixes. En fait le taux d'abonnés couverts est :

- Liaison montante : le nombre des usagers connectés est de 1710, ce qui vaut un taux de rejet de 0%.
- Liaison descendante : le nombre des usagers connectés est de 1591, ce qui vaut un taux de rejet de 7%.

La capacité des cellules après optimisation est représentée dans la figure suivante :

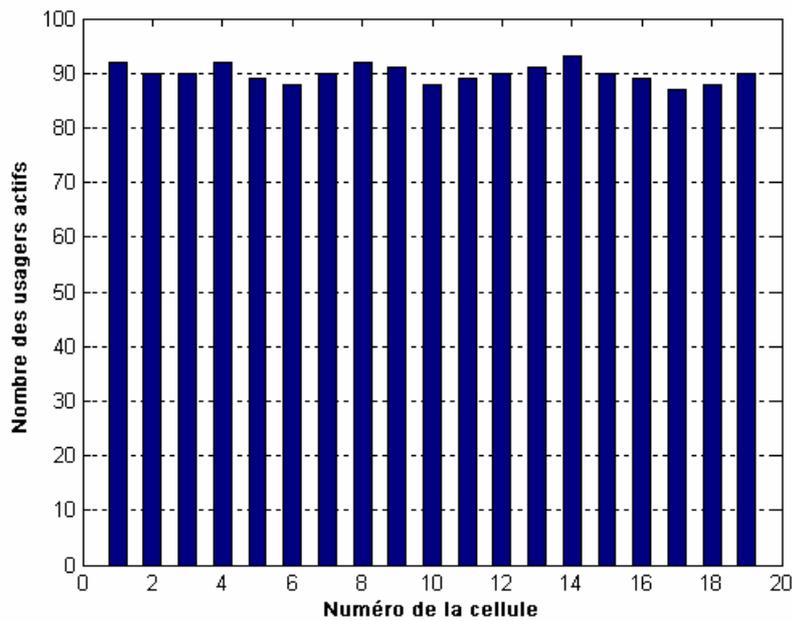


Fig 4.7. Nombres des usagers actifs par cellule en UL après optimisation

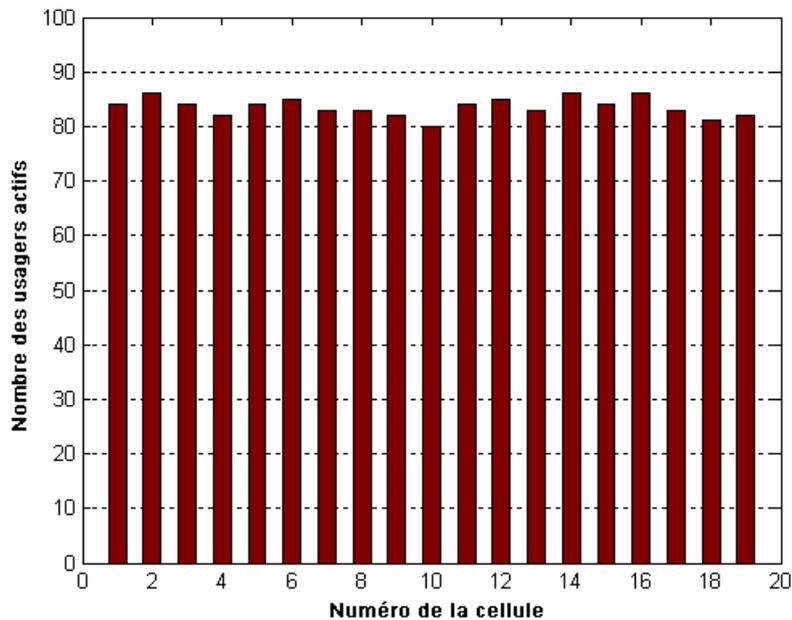


Fig 4.8. Nombres des usagers actifs par cellule en DL après optimisation

Après l'optimisation réalisée avec l'algorithme génétique, pour une même distribution des abonnés, la capacité du réseau a augmenté de 28% en considérant le lien descendant puisque c'est le lien le plus limitant en terme de capacité. La figure 4.11 nous montre avec plus de détails la différence entre la capacité de chaque cellule avant et après optimisation.

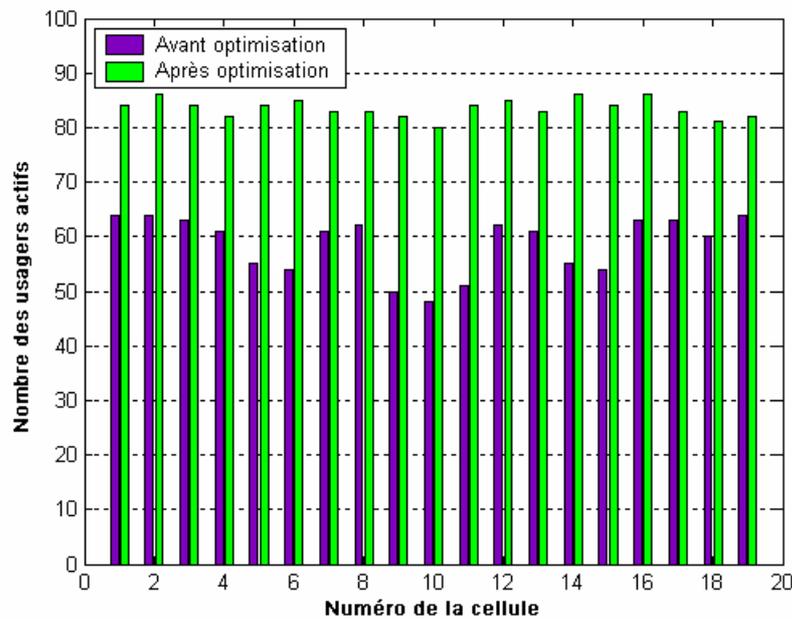


Fig 4.9. Nombre des usages actif par cellule

4.7. Discussion

Nous avons démontré dans ce chapitre l'importance de l'optimisation des tilts des antennes pour maximiser la capacité d'un réseau UMTS. Nous avons comparé au début les capacités pour un trafic uniforme et un trafic variable pour des tilts fixes. Nous avons ensuite utilisé la technique des algorithmes génétiques qui est très efficace dans le domaine des réseaux de télécommunications et assez simple à réaliser. Les résultats obtenus montrent que l'optimisation des tilts des antennes a largement amélioré la capacité du réseau global dans le cas d'un trafic non régulier.

Conclusion générale

L'objectif de notre projet est l'étude et l'optimisation de la capacité d'un réseau UMTS.

Pour cela, nous avons commencé par présenter le réseau UMTS, ses spécificités et son interface radio ainsi que la méthode d'accès WCDMA.

Dans la deuxième partie, nous avons effectué une modélisation mathématique de la capacité des deux liens montant et descendant d'une cellule UMTS. Cette modélisation a été, par la suite, exploitée pour simuler la capacité d'une cellule UMTS pour différents types de service.

Dans la troisième partie, nous avons établi la simulation d'une cellule UMTS. Les résultats de cette simulation ont permis de mettre en évidence l'interdépendance entre la taille de la cellule et sa charge en termes d'utilisateurs actifs.

Enfin, la quatrième et dernière partie de projet est consacrée à la modélisation d'un réseau UMTS à plusieurs cellules. Dans un premier lieu, nous avons considéré dans la simulation un trafic uniforme, ensuite un trafic non régulier pour mettre l'accent sur l'effet de cette variation de trafic sur la capacité du réseau UMTS. La dernière tâche était de mettre au point un algorithme d'optimisation des tilts des antennes afin de maximiser la capacité du réseau.

Nous avons utilisé pour ce fait un algorithme génétique.

Cependant, la simulation concernait un modèle uniforme de cellules, ce qui peut constituer une limite pour l'algorithme développé. Ce travail reste donc ouvert à l'extension en considérant un modèle réel d'un réseau existant.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Sami Tabbane, “Ingénierie des réseaux cellulaires,” éditions Hermès, Paris : Hermès Science Publications, 2002.
- [2] www.cnam.fr/elau.
- [3] M.R. Karim and M. Sarraf, “W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks,” McGraw-Hill, 0-07-140956-4.
- [4] Mohamed Radhi ZOUARI, “ Dimensionnement et planification d’un réseau d’accès UMTS ”, Projet de Fin d’Etude, SUP COM, 2004/2005.
- [5] Mohamed BZEOUICH, “ Etude des mécanismes de Handover Inter Systèmes (GSM/UMTS), Projet de Fin d’Etude, SUP COM, 2003/2004.
- [6] Esmael Dinan , Aleksey Kurochkin , Sam Kettani , “UMTS Radio Interface, System Planning and Optimization”.
- [7] www.pagessurlestechnologies.com.
- [8] Thierry Lucidarme, « Principes de Radiocommunication de troisième génération, GSM, GPRS, UMTS... », Vuibert, Paris, 2002.
- [9] Document de formation, Ericsson, “WCDMA Radio Design”, LZT 123 7628.
- [10] Esposito Sandrine, « Contrôle d’admission avec mesures pour une meilleure gestion des ressources dans les réseaux de troisième génération », Mémoire, Ecole polytechnique de Montréal, Avril 2003.
- [11] Xavier Lagrange, « Performances des réseaux cellulaires », Algotel 2000.
- [12] Trung Van Nguyen, “Capacity improvement Using Adaptive Sectorisation in WCDMA Cellular Systems with non-uniform and Packet Mode Traffic”, Mémoire, School of Electrical Engineering Faculty of Science, Engineering and Technology Victoria University, Melbourne, Australia, Mars 2005.
- [13] Wolfgang Karner, “Optimum default base station Parameter Settings for UMTS Network”, Mémoire, Institute for communications technology and high-frequency engineering, Deutschland, Septembre 2003.

Résumé

L'UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) est la révélation des systèmes cellulaires de troisième génération. L'objectif de ce nouveau réseau est d'effectuer des transferts de fichiers avec des débits atteignant 2 Mbits/s. Pour garantir ceci, les organismes de normalisation ont commencé par développer une interface air pour les systèmes de troisième génération et leur choix, pour l'UMTS, était le WCDMA

(*Wide Band Code Division Multiple Access*).

L'objectif principal du projet est la réalisation de simulations d'un réseau UMTS et un algorithme d'optimisation de la capacité de l'ensemble du réseau. Ce rapport est organisé comme suit : Le premier chapitre comprend une description générale du réseau UMTS, de ses interfaces et de la technique d'accès CDMA. Le second chapitre comprend l'étude et l'évaluation de la capacité d'une cellule CDMA. Le troisième chapitre décrit les simulations réalisées pour une cellule UMTS tri-sectorielle. Le dernier chapitre comprend la simulation d'un réseau UMTS d'abord avec un trafic uniforme, ensuite avec un trafic non régulier et enfin il décrit la méthode d'optimisation de la capacité au moyen de l'algorithme génétique.

Mots clés :

UMTS, WCDMA, interface radio, capacité, trafic, optimisation, tilt, algorithme génétique.