

Université du Québec
Institut National de la Recherche Scientifique
Énergie, Matériaux et Télécommunications

Gestion d'interférence dans un réseau LTE hétérogène par contrôle d'admission cognitif

Par

Oussama Rhouma

Mémoire présenté pour l'obtention du grade
Maître ès sciences (M.Sc.) en télécommunications

Jury d'évaluation

Directeur de recherche

M. Sofène Affes, INRS-ÉMT

Examineur interne

M. Nahi Kandil, INRS-ÉMT

Examineur externe

M. François Gagnon, ÉTS

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes respects les plus sincères à mon directeur de recherche Prof. Sofiène Affes pour l'aide qu'il a bien voulu m'accorder tout au long des différentes étapes de mes travaux de recherche, moyennant ses critiques constructives, ses suggestions pertinentes, je m'incline par-devant ses qualités humaines et morales dont j'étais toujours impressionné, sa volonté permanente d'aider et ses idées innovantes qui m'ont permis d'élaborer mes travaux de recherches. Son attitude rigoureuse m'a doté d'une meilleure clairvoyance quant à mon avenir professionnel.

J'exprime également ma gratitude la plus profonde pour le post-doctorant Vahid Asghari, qui n'a pas épargné d'efforts pour m'aider à réaliser ce travail et qui a été toujours disponible pour écouter, discuter et m'orienter à prendre les bonnes décisions.

Mes remerciements vont également aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour évaluer mon travail de maîtrise.

Je remercie mes parents et ma sœur pour leur soutien tout au long de mes études, j'espère qu'ils seront toujours fiers de moi.

Résumé

Dans ce mémoire, nous considérons un réseau LTE hétérogène (HetNet) macro-femto à accès fermé avec un déploiement co-canal (idem, partage du spectre) et étudions ses performances en termes de débit en présence d'un nouvel algorithme de contrôle d'admission qui impose une nouvelle contrainte sur l'interférence reçue au niveau de la station de base femto (FBS).

En particulier, nous étudions le nouvel algorithme de contrôle d'admission dans un réseau HetNet quand un nouvel utilisateur apparaît dans la zone de transmission de cellules femtos. Dans ce contexte, nous développons un nouvel algorithme d'admission pour les réseaux macro-femto basé sur la limitation de la quantité d'interférence générée reçue par les utilisateurs macros voisins qui maximise le débit du sous-réseau femto et équilibre également la charge entre les sous-réseaux macro et femto. Un nouvel utilisateur est admis au sous-réseau femto tout en assurant qu'aucune interférence est générée sur les utilisateurs macros adjacents au-delà d'un seuil maximal de puissance permis.

Pour évaluer l'algorithme d'admission proposé, nous développons un simulateur LTE au niveau système pour mesurer les gains en débit qu'ils procure à l'ensemble du réseau LTE HetNet à déploiement co-conal. Nous comparons enfin par simulations le nouvel algorithme d'admission proposé avec la technique conventionnelle d'admission sur la base de la puissance du signal reçu. Les résultats obtenus suggèrent que les gains en débit total, pouvant atteindre jusqu'à 13 %, augmentent en présence i) d'un nombre croissant d'utilisateurs, ii) d'un nombre décroissant de cellules femto par cel-

lule macro, et iii) de distributions d'usagers moins uniformes et plus condensées autour des cellules femtos. Ils révèlent également l'existence d'un seuil optimal du niveau d'interférence admissible que peuvent générer les FBSs sur les usagers macros voisins. Nos simulations ont pu le situer dans la configuration considérée à un niveau optimal proche de -60 dBm.

Mots-clés

HetNet LTE, Cellule femto, HeNB, Cellule macro, MeNB, Interférence DL, Contrôle d'admission, Simulation.

Table des matières

1	Introduction	16
1.1	Motivations	16
1.2	Contexte et contributions du mémoire	18
1.3	Structure du mémoire	19
2	LTE et HetNet LTE	21
2.1	Introduction	21
2.2	Vue d'ensemble de LTE	22
2.2.1	Le réseau core	23
2.2.2	Le réseau d'accès	24
2.2.3	L'interface radio	25
2.2.4	Les stations de base radio dans LTE	26
2.2.5	Gestion de la mobilité	28
2.2.6	LTE-Advanced	29
2.3	HetNet LTE	32
2.3.1	Les cellules femtos LTE (HeNBs)	33
2.3.1.1	Réseau d'accès pour les HeNBs	35
2.3.1.2	Modes d'accès des HeNBs	35

2.3.2	Défis techniques dans le déploiement des cellules femtos	35
2.3.2.1	La précision du spectre	36
2.3.2.2	La qualité de service	36
2.3.2.3	Gestion des interférences	36
2.3.2.4	L'auto-organisation	37
2.4	Conclusion	37
3	Gestion des interférences et contrôle d'admission dans HetNet : enjeux et ap- proches	38
3.1	Introduction	38
3.2	Gestion des interférences dans HetNet	39
3.2.1	La technique « femto-aware spectrum arrangement »	42
3.2.2	Regroupement des cellules femtos	42
3.2.3	Ordonnancement collaboratif de fréquence	45
3.2.4	Approche de contrôle de puissance	46
3.2.5	Réutilisation de fréquence fractionnée (FFR) et parpartitionnement des res- sources	47
3.2.6	Approche cognitive	50
3.2.7	Comparaison qualitative entre les différentes approches de gestion des inter- férences	53
3.3	Contrôle d'admission dans les réseaux HetNets de type OFDMA	54
3.4	Conclusion	56
4	Approche proposée de gestion des interférences dans HetNet par contrôle d'ad- mission cognitif	57
4.1	Introduction	57

4.2	Modèle de système	58
4.3	Contrôle d'admission	60
4.3.1	Admission basée sur ARSS	62
4.3.1.1	Avec une puissance de transmission fixe au niveau de la FBS	62
4.3.1.2	Avec une puissance adaptative au niveau de la FBS	62
4.3.2	Admission cognitive basée sur AIC	64
4.3.2.1	Avec une puissance de transmission fixe au niveau de la FBS	65
4.3.2.2	Avec une puissance adaptative au niveau de la FBS	66
4.4	Conclusion	68
5	Évaluation des performances des algorithmes de contrôle d'admission proposés	69
5.1	Introduction	69
5.2	Le simulateur HetNet LTE au niveau système	70
5.2.1	Description du simulateur	70
5.2.2	Structure du simulateur	71
5.2.3	Modèle des mesures du lien	73
5.2.4	Modèle de performances du lien	75
5.3	Paramètres de simulation	78
5.4	Performances globales du réseau	80
5.5	Conclusions	85
6	Conclusion générale	86

Table des figures

2.1	Architecture générale du système EPS.	22
2.2	Un schéma générique pour la mobilité intra-LTE.	29
3.1	Scénarios d'interférence dans les réseaux HetNets de type OFDMA.	40
3.2	Technique « femto-aware spectrum arrangement ».	43
3.3	Contrôle de puissance opportuniste basé sur la détection.	48
3.4	Gestion des interférences en utilisant FFR.	50
3.5	Gestion des interférences en utilisant l'approche cognitive.	52
4.1	Le système HetNet (macro-femto).	61
4.2	Organigramme des algorithmes de contrôle d'admission.	64
4.3	Illustration de l'algorithme AIC.	65
5.1	Schéma fonctionnel du simulateur HetNet LTE SL.	72
5.2	Le pathloss macroscopique d'une section d'une cellule macro.	74
5.3	Courbes de BLER pour AWGN.	76
5.4	Mappage SINR-CQI.	78
5.5	Gain en débit total pour différents scénarios d'admission (10 FBSs par cellule macro, $P_F = 16 \text{ dBm}$ et $P_{avg} = 17 \text{ dBm}$)	81

5.6	Le débit total du réseau en fonction du nombre de FBSs et pour différents scénarios d'admission (50 utilisateurs par cellule macro)	82
5.7	Gain en débit total en fonction du nombre des FBSs et nombre des utilisateurs par cellule macro ($P_F = 16dBm$, $I_{th} = -60$ dBm et $P_{avg} = 17dBm$)	83
5.8	Gain de débit total en termes de nombre des FBSs et nombre des utilisateurs par cellule macro ($I_{th} = -60$ dBm)	84

Liste des tableaux

2.1	Principales spécifications de la norme LTE-Advanced	30
3.1	Comparaison qualitative entre les différentes approches de gestion des interférences .	55
5.1	Paramètres de simulation	79
5.2	Paramètres utilisés pour différents algorithmes de contrôle d'admission	79

Nomenclature

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AF	Application Function
AI	Available Interval
AIC	Average Interference Constraint
ARSS	Average Received Signal Strength
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BLER	Block Error Rate
BS	Base Station
CA	Carrier Aggregation
CC	Component Carrier
CIR	Critical Interference Region
CQI	Channel Quality Indicator
CLPS	Closed-Loop Power Setting
CP	Cyclic Prefix
DLSCH	DownLink Shared CHannel
DSL	Digital Subscriber Line

EESM	Exponential Effective SINR Mapping
EPC	Evolved Packet Core
FAP	Femto Access Point
FBS	Femto Base Station
FFR	Fractional Frequency Reuse
FMC	Fixed Mobile Convergence
FSC	Femto System Controller
FUE	Femto User Equipment
HeNB	Home e-Node B
HetNet	Heterogeneous Network
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
ICI	Inter-Carrier Interference
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination
IMS	IP Multimedia Subsystem
IP	Internet Protocol
KPI	Key Performance Indicator
LDC	Low Duty Cycle
LDO	Low Duty Operation
LL	Link Level
LLS	Link Level Simulation
LTE	Long Term Evolution

MBS	Macro Base Station
MCS	Modulation and Coding Scheme
MeNB	Macrocell e-Node B
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MUE	Macro User Equipment
NAS	Non Access Stratum
NTP	Network Time Protocol
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OLPS	Open-Loop Power Setting
OLSM	Open Loop Spatial Multiplexing
OTA	Over-The-Air
PCRF	Policy Control Charging Rules Function
PGW	PDN Gateway
PIC	Parallel Interference Cancellation
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RB	Resource Bloc
ROI	Region Of Interest
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indication
SCFDMA	Frequency Division Multiple Access Carrier

SGSN	Serving GPRS Support Node
SIC	Successive Interference Cancellation
SL	System Level
SLS	System Level Simulation
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
TB	Transport Bloc
TTI	Transmission Time Interval
UAI	Unavailable Interval
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UWB	Ultra Wide Band
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Chapitre 1

Introduction

1.1 Motivations

D'énormes efforts ont été déployés au cours des dernières années à façonner la quatrième génération (4G) de réseaux sans fil pour améliorer l'expérience utilisateur grâce à une forte connectivité cellulaire et grande qualité du service. Une caractéristique importante des réseaux 4G est l'intégration de différents réseaux hétérogènes sous le nom de HetNets et y assurer une connectivité transparente du point de vue de l'utilisateur [1, 2]. En fait, un HetNet est un réseau qui pourrait combiner différentes technologies d'accès radio [Radio Access Technologies (RATs)] et/ou des cellules multi-niveaux avec différents dimensionnements de couverture (femto, pico, micro) introduites dans les cellules macros conventionnelles [3]. Dans cette perspective l'un des développements les plus intéressants de HetNet s'est manifesté par le déploiement de points d'accès cellulaires de faible puissance, appelés cellules femtos, afin d'améliorer l'efficacité spectrale cellulaire [1]. La technologie femto a le potentiel d'améliorer la couverture et la capacité, en particulier dans les environnements intérieurs (indoor) [2, 4]. Le principal avantage de déploiement de la technologie femto consiste à améliorer le débit des utilisateurs à l'intérieur des édifices en raison de plus courtes plages de trans-

mission [2]. Une cellule femto est simplement une petite station de base cellulaire qui est installée dans une maison ou dans une petite entreprise. La station de base femto est normalement connectée au réseau du fournisseur de service, par exemple, une station de base macro, par l'intermédiaire d'une liaison à large bande, tel qu'une ligne d'abonné numérique. Cependant, un défi majeur dans le déploiement de ces stations de base femtos est l'interférence qui résulte du partage du même spectre entre les réseaux femtos et macros [5]. Cette interférence doit être éliminée ou réduite pour ne pas dégrader le débit global du réseau. Une solution relativement simple consiste à diviser la bande de fréquence entre les deux systèmes. Toutefois, étant donné la rareté du spectre de fréquence, cette solution ne serait pas la plus efficace [6]. Une solution plus performante consiste à adopter une approche d'opération co-canal. Encore faut-il faire face à l'interférence vers/de la station de base macro (MBS) qui pourrait sérieusement dégrader les performances globales du réseau [7]. En outre, les fournisseurs de services donnent une importance majeure à gérer efficacement les ressources disponibles entre les cellules macros et femtos dans un réseau hétérogène afin d'équilibrer efficacement la charge en se basant sur la nature dynamique du trafic généré par les utilisateurs [6]. En général, les cellules femtos sont classées en deux catégories : libre accès ou accès fermé, selon qu'ils permettent ou non aux nouveaux utilisateurs au sein de la zone de couverture du sous-réseau femto d'avoir accès au sous-réseau femto, en plus des utilisateurs femtos (FUEs) [2, 4]. En d'autres termes, les cellules femtos à accès libre sont configurées de telle sorte qu'ils puissent fournir des services à tous les FUEs (idem, groupe ouvert d'abonnés), tandis que les cellules femtos à accès fermé restreint l'accès à un nombre limité de FUEs (idem, groupe fermé d'abonnés).

En considérant les classifications d'accès ouvert ou fermé et l'utilisation soit d'un canal dédié soit le déploiement d'un co-canal à l'égard du réseau macro, différentes configurations de réseaux femtos peuvent être considérées [4]. En particulier, dans un sous-réseau femto à accès fermé avec un déploiement co-canal (idem, scénario de partage du spectre), les cellules femtos sont configurées comme des groupes d'abonnés à accès fermé et sont déployées sur le même canal que le réseau

macro. Par conséquent, elles peuvent conduire à des interférences co-canal assez nuisibles entre les réseaux macros et femtos, aussi connu comme le problème de «zone morte» [2]. En effet, dans une telle configuration, un utilisateur macro (MUE) à proximité transmettant avec une puissance maximale peut causer une interférence significative aux cellules femtos adjacentes, donnant lieu au problème de la zone morte [8, 9]. Cependant, du point de vue fournisseur de réseau, le déploiement co-canal des stations femtos est d'un grand intérêt [2, 10]. En conséquence, pour permettre un soutien efficace au déploiement co-canal des réseaux hétérogènes macro- femto, un système de gestion des interférences sophistiqué devrait être utilisé pour s'adapter aux différentes charges de trafic et aux différents nombres de femtos dans différentes conditions géographiques. Récemment, différentes approches ont été proposées dans la littérature pour la gestion de l'interférence entre les cellules macros et femtos. Par exemple, une étude comparative a été présentée dans [11], où il est montré que les réseaux hétérogènes avec déploiement co-canal réalisent une amélioration importante de débit à cause des faibles puissances d'émission des cellules femtos. Le partage hybride de spectre a été présenté dans [12], dans lequel le système co-canal est sélectionné lorsque l'interférence générée est faible ; sinon, le système de canal dédié est choisi pour augmenter l'utilisation globale du spectre.

1.2 Contexte et contributions du mémoire

Dans ce travail, nous nous concentrons sur l'étude des algorithmes de contrôle d'admission dans les réseaux de partage de spectre macro-femto lorsqu'un nouvel utilisateur apparaît dans la zone de transmission d'un femtocell. En particulier, nous proposons un algorithme de prévention d'interférence (interference avoidance) par contrôle d'admission avancé pour des réseaux HetNet (macro-femto) co-canal LTE tout en maximisant le débit du réseau. Dans ce contexte, nous étudions la performance de l'algorithme d'admission proposé conjointement avec des techniques de transmission de puissance fixe au adaptative au niveau de la FBS. En effet, en utilisant l'algorithme proposé dans un réseau HetNet co-canal LTE, le nouvel utilisateur est admis au sous-réseau

femto tout en assurant la moindre interférence causée au réseau macro. À cet égard, nous évaluons l'efficacité de l'algorithme d'admission proposé et son impact sur les performances du réseau et des utilisateurs par simulations numériques. Nous avons pu en effet développer un simulateur au niveau système d'un réseau LTE pour mesure de la façon la plus réaliste l'effet de notre algorithme d'admission cognitif qui impose une contrainte sur l'interférence moyenne AIC (Average Interference Constraint) sur la performance globale en termes de débit. La technique conventionnelle d'admission basée sur la puissance moyenne du signal reçu ARSS (Average Received Signal Strength) est également mise en œuvre dans le simulateur pour des fins de comparaison.

La stratégie proposée se distingue par la simplicité et la flexibilité de son concept en exigeant un effort minimal de la FBS. Elle diffère aussi des autres stratégies par le fait qu'elle offre meilleure équité en termes d'allocation du canal entre les systèmes macro et femto.

1.3 Structure du mémoire

Afin de communiquer efficacement le travail accompli ainsi que les contributions de ce mémoire, nous avons structuré ce document comme suit :

- Le chapitre 2 étudie en détails le système HetNet LTE, son architecture, ses composants ainsi que le concept général d'une cellule femto.
- Le chapitre 3 présente une revue de la littérature sur l'état de l'art des différentes approches de gestion des interférences et de contrôle d'admission dans HetNet. Une comparaison qualitative entre les différentes approches de gestion des interférences est fournie dans ce chapitre.
- Le chapitre 4 décrit la stratégie de contrôle d'admission basée sur ARSS, pour ensuite proposer la stratégie cognitive basée sur AIC dans les deux cas de puissance de transmission fixe et adaptative au niveau de la FBS.
- Le chapitre 5 présente d'abord une brève description de l'environnement de simulations. Ensuite, nous analysons et comparons les résultats de simulations au niveau système des deux

techniques de contrôle d'admission proposée cognitive basée sur AIC et conventionnelle basée sur ARSS.

- Le chapitre 6 conclut ce mémoire avec un résumé des travaux effectués et des résultats obtenus. Nous identifions également les travaux futurs possibles.

Chapitre 2

LTE et HetNet LTE

2.1 Introduction

Au cours des dernières années, la demande de services sans fil (ex. les données, la voix, le multimédia, e-santé, les jeux en ligne, etc) incorporés avec le réseau cellulaire a augmenté significativement. Des statistiques récentes fournies dans [13] citent que, en 2014, il y avait environ 7 milliards d'abonnés mobiles dans le monde entier. Les rapport des prévisions du trafic global des données mobiles présenté par Cisco, prédit plus que 15 exabyte (10^{18} octets) de données mobiles par mois pour l'année 2018 [14]. Il a été indiqué dans [15] que le trafic global des données mobiles a été triplé chaque année depuis 2008, ce qui doit augmenter jusqu'à 26 fois entre 2010 et 2015. Pour faire face à cette croissance exponentielle de la demande pour divers services cellulaires et des débits plus élevés, un certain nombre de technologies et de normes ont été développées ces dernières années. Les normes telles que Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), High Speed Packet Access (HSPA), Ultra Wide Band (UWB) et Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) ont été développées pour fournir des débits de données élevés et améliorer la qualité de service (QoS) des utilisateurs mobiles.

Les systèmes de communication sans fil de cette génération visent l'amélioration de la couverture surtout dans les zones indoor et aux bords des cellules, l'augmentation de la capacité du réseau, l'utilisation efficace des ressources (par exemple, fréquence et puissance) et une offre de services de données à haut débit aux utilisateurs aux meilleurs coûts. Dans ce cadre, le groupe 3rd Generation Partnership Project (3GPP) vient avec la norme LTE pour les réseaux mobiles qui offrent une haute efficacité spectrale, une faible latence, une faible complexité, des débits élevés et une amélioration de qualité de service.

Dans la section suivante, une vue d'ensemble aussi bien que les exigences cibles et l'évolution des technologies des réseaux cellulaires dans le contexte de la technologie LTE, sont présentées.

2.2 Vue d'ensemble de LTE

Tandis que le mot « LTE » englobe l'évolution du réseau d'accès du système UMTS vers un réseau d'accès évolué appelé E-EUTRAN, il est accompagné d'une évolution des composants non radio sous le nom de « l'évolution de l'architecture du système (SAE) », qui inclut le réseau Evolved Packet Core (EPC). Ensemble, LTE et SAE forment le système Evolved Packet System (EPS). La figure suivante représente l'architecture générale du système EPS.

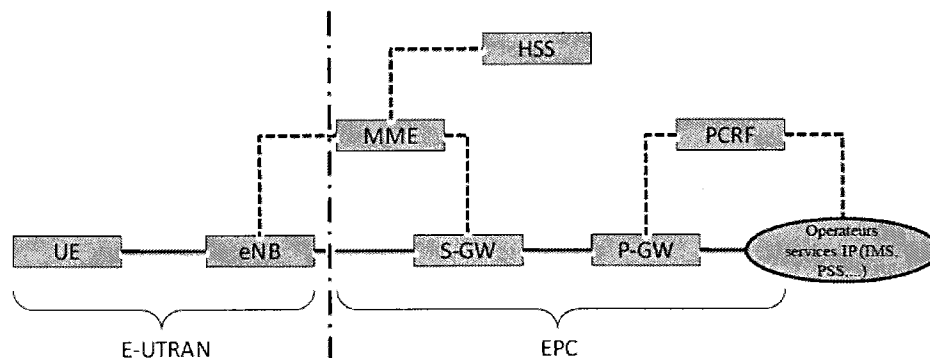


FIGURE 2.1 – Architecture générale du système EPS.

2.2.1 Le réseau core

L'Evolved Packet Core (EPC) est le réseau core IP défini par le groupe 3GPP dans la version 8 pour être exploité par LTE et d'autres technologies d'accès. L'objectif de l'EPC est de fournir une architecture tout-IP simplifiée du réseau core afin de fournir un accès efficace à divers services tels que ceux fournis dans IP Multimedia Subsystem (IMS). Le EPC se compose principalement des entités suivantes : l'entité de gestion de mobilité (MME), la passerelle de service (S-GW), la passerelle PDN (PGW), l'entité serveur de l'abonné résidentiel (HSS) et la fonction de politique de contrôle et de chargement des règles (PCRF). On présente dans ce qui suit une description brève des entités de l'EPC.

1. L'entité MME : L'entité MME est un composant du système EPC. C'est une entité clé pour le contrôle des noeuds dans le réseau d'accès de LTE. MME se charge entre autres de [16] :
 - La signalisation avec le système Non Access Stratum (NAS).
 - La signalisation entre les noeuds du réseau core pour assurer la mobilité entre les réseaux d'accès 3GPP.
 - Le contrôle de la procédure de pagination et de localisation du UE en mode Idle.
 - La sélection de S-GW.
 - La sélection de MME durant un handover avec changement de MME.
 - La sélection du noeud Serving GPRS Support Node (SGSN) durant le handover vers un réseau d'accès 2G ou 3G 3GPP.
 - L'authentification et le contrôle d'accès du UE.
2. L'entité S-GW : L'entité S-GW est une entité chargée d'acheminer les paquets de données de l'utilisateur. Elle sert aussi comme un point d'ancrage de mobilité lors du handover entre eNBs et lors du handover entre LTE et d'autres technologies 3GPP. Lorsque l'UE est en mode veille, le S-GW détermine le chemin du lien descendant et détecte la pagination lorsqu'un flux de données à télécharger arrive au UE. Il se charge aussi de marquer les paquets de la couche

transport sur le lien UL et le lien DL [17].

3. La passerelle P-GW : La P-GW assure la connectivité de l'utilisateur UE à des réseaux de paquets de données externes, remplissant la fonction d'entrée et de sortie pour les données du UE [18]. Ce dernier peut être connecté à plusieurs P-GW assurant l'accès à différents réseaux de paquets.
4. L'entité HSS : La HSS est l'évolution de l'entité HLR des anciens réseaux. Cette entité contient alors les informations de souscription pour tous les réseaux (GSM, GPRS, UMTS, LTE et IMS). La HSS est donc une grande base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE et IMS appartenant à un même opérateur.
5. L'entité PCRF : L'entité PCRF est déployée afin de détecter les flux de service et d'y appliquer les politiques de tarification. Cependant, un élément additionnel est requis pour les services et les applications nécessitant une politique de tarification dynamique. Cet élément additionnel est appelé fonction d'applications (AF).

2.2.2 Le réseau d'accès

Le réseau d'accès E-UTRAN est composé principalement de stations de base appelées eNB (eNB). Une station de base eNB est responsable de la réception et la transmission radio avec l'UE. De plus, l'eNB prend en charge des fonctions de mesures radio et préparation de rapport de mesures utiles pour la gestion de mobilité ainsi que pour l'ordonnancement. Cet élément du réseau est responsable aussi de la sélection d'un MME pour chaque UE lors de la procédure d'attachement, si la configuration fournie à cet usager ne précise pas de MME. Plusieurs fonctions primordiales pour le fonctionnement du réseau sont prises en charge par l'élément radio eNB.

Chaque eNB est connecté au réseau core EPC à travers une interface appelée S1. Ce lien se compose de deux interfaces : la première interface S1-Usager (S1-U) permet de connecter l'eNB et le S-GW. En effet, l'eNB achemine les données du plan usager vers le S-GW. Au niveau du plan de

signalisation, la deuxième interface S1-MME assure la connectivité entre l'eNB et le MME [19, 20]. D'autre part, une nouvelle interface, appelée interface X2, a été introduite entre les eNBs adjacents. Cette interface permet de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode handover. En effet, lors d'un processus de handover, de nouvelles ressources radio sont allouées au nouvel eNB pour l'UE en déplacement. Cependant, le réseau continue à transférer les paquets entrants vers l'ancien eNB jusqu'à ce que le nouveau eNB informe le réseau de lui relayer les paquets de l'utilisateur. L'ancien eNB relaie les paquets de données vers le nouvel eNB à travers l'interface X2 [20]. Afin de satisfaire l'évolution de la demande des services de communication sans fil, le système LTE a subi des améliorations majeures et un nouveau système dit 4G a été développé par le groupe 3GPP.

2.2.3 L'interface radio

LTE intègre Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) dans la communication en DL. Cependant, dans le sens UL, LTE utilise un unique Frequency Division Multiple Access Carrier (SCFDMA) qui est rentable et efficace en termes de puissance (idem, économise la vie de batterie du terminal mobile). LTE supporte les modes de duplexage TDD et FDD. La durée d'une trame LTE est de 10 ms. Dans le cas de FDD, la trame entière est utilisée pour la transmission de liaison montante/descendante. Dans le cas de TDD, la trame est divisée pour la liaison montante et la communication de liaison descendante. Chaque trame est constituée de 10 sous-trames et la durée de chaque sous-trame est de 1 ms. Chaque sous-trame est divisée en deux intervalles de temps. Chaque intervalle de temps a une durée de 0,5 ms. Il existe deux types de préfixe cyclique (CP) utilisés dans la technologie LTE, un court CP de $4,7 \mu\text{s}$ pour une courte couverture de cellule et long CP de $16,7 \mu\text{s}$ pour une large couverture de cellule. L'intervalle de temps sera composé de six et sept symboles OFDM pour CP court et long, respectivement. Le bloc de ressources (RB) dans LTE se réfère à un intervalle de temps engendré par 12 sous-porteuses, où la largeur de bande de chaque

sous-porteuse est de 15 kHz. LTE supporte différents types de modulation tels que, QPSK, 16-QAM et 64-QAM. Le débit de données de crête en mode UL ou DL dépend de la modulation utilisée entre MBS et UE. Par exemple, le débit de données de crête du LTE dans la liaison descendante est d'environ 150 Mbps (en supposant une bande passante de canal de 20 MHz, un court CP, un système à entrées et un système à sorties multiples ou MIMO 2×2 et une modulations 64-QAM).

Ceci peut être obtenu comme suit :

- Le nombre d'éléments de ressource par sous-trame est calculé dans un premier temps. Étant donné que la bande passante du canal est de 20 MHz et le court CP est utilisé, le nombre d'éléments de ressources par sous-trame : $12 \text{ (sous-porteuses)} \times 7 \text{ (symboles OFDM)} \times 100 \text{ (blocs de ressources)} \times 2 \text{ (intervalles de temps)} = 16800$.
- Chaque élément de ressource est réalisé par un symbole de modulation. Étant donné que, 64-QAM est utilisé, un symbole de modulation se compose de six bits. Le nombre total de bits dans une sous-trame est : $16800 \text{ (symboles de modulation)} \times 6 \text{ (bits/symbole)} = 100\,800 \text{ bits}$.
- La durée de chaque sous-trame est de 1 ms. Le débit de données : $100\,800 \text{ (bits)} / 1 \text{ (ms)} = 100,8 \text{ Mbps}$. Avec 2×2 MIMO, le débit de données maximal : $100,8 \text{ (Mbps)} \times 2 = 201,6 \text{ Mbps}$.
- Considérant 25% d'overhead, le débit de données maximal est d'environ 150 Mbps ($= 201,6 \text{ Mbps} \times 0,75$).

2.2.4 Les stations de base radio dans LTE

Bien que 3GPP-LTE utilise une architecture à plat, les stations de base radio ou les cellules dans LTE peuvent être classées en fonction de leurs puissances d'émission, les hauteurs d'antenne, le type de mécanisme d'accès fourni aux UEs, l'interface radio et la connexion à d'autres cellules ou le réseau core. À cet égard, les stations de base radio dans LTE peuvent être classifiées comme

suit :

- Les MBSs correspondent à une vaste zone de couverture (par exemple, un rayon de cellule de 500m-1km) avec une puissance d'émission élevée (~ 46 dBm ou 40 watts) et fournissent des services à tous les UEs dans sa zone de couverture [15].
- Les stations de base picos sont généralement déployés pour éliminer les trous de couverture dans un réseau cellulaire homogène et pour améliorer la capacité du réseau. La zone de couverture d'une cellule pico varie généralement entre 40 m et 75 m [21]. Les stations de base picos sont constituées d'antennes omnidirectionnelles de faible puissance de transmission (en comparaison avec la MBS) avec un gain d'antenne d'environ 5 dBi offrant une couverture intérieure significative pour les UEs dans les lieux publics tels que les aéroports et les centres commerciaux [21].
- Semblable aux stations picos, les nœuds de relais sont également utilisés pour améliorer la couverture dans de nouvelles zones (par exemple, des événements, des expositions, etc.). Cependant, les nœuds de relais acheminent leur trafic de données par liaison sans fil au MBS. Il existe deux types de nœuds de relais : relais entrants et relais sortants. Dans le cas de nœuds de relais en entrée, le même spectre de fréquences est utilisé pour la liaison de relais (nœud de relais avec UE) et la liaison de raccordement (nœud de relais avec MBS). D'autre part, les nœuds de relais sortants utilisent différents spectres de fréquences pour la liaison de relais et la liaison de raccordement.
- Les stations de base femtos ou "Home e-NodeBs" (dénommées HeNBs ou FBSs) sont des stations de base à courte portée (10 à 30 m), de faible puissance (10 à 100 mW) et rentable en termes de coût déployés par les abonnés mobiles. Les FBSs, également connues en tant que points d'accès femtos (FAP), fonctionnent dans le spectre sous licence détenue par l'opérateur mobile et permettent la convergence mobile fixe de service (FMC) en se connectant au réseau cellulaire via des liaisons de communications à large bande (par exemple, ligne d'abonné

numérique ou DSL) ou la méthode over-the-air [2].

2.2.5 Gestion de la mobilité

Dans LTE les fonctionnalités de gestion de la mobilité sont divisées en trois catégories : i) mobilité intra-LTE, ii) mobilité inter-3GPP, et iii) mobilité des technologies d'accès inter-radio (RAT). La mobilité intra-LTE correspond à la mobilité de l'UE au sein du système LTE, tandis que la mobilité à d'autres systèmes 3GPP (par exemple, UMTS) est désigné comme mobilité Inter-3GPP. La mobilité des UEs entre un système LTE et d'autres non-3GPP (par exemple, le Système mondial de communications mobiles ou GSM) est appelé mobilité inter-RAT. La mobilité intra-LTE est gérée via l'interface S1 ou X2. La mobilité à travers X2 se produit quand un équipement utilisateur se déplace d'une MBS à l'autre à l'intérieur du même réseau d'accès radio (RAN) connecté à la même MME. D'autre part, lorsque les deux MBSs ne sont pas connectés via l'interface X2, alors la mobilité des UEs entre les MBSs se déroule sur l'interface S1. En outre, lorsque l'UE se déplace d'une MBS à une autre appartenant à différents RAN attachés à différents MME, la mobilité est assurée via l'interface S1. La figure 2.2 illustre une mobilité intra-LTE générique via l'interface X2. Dans ce scénario de transfert, le mécanisme de base comprend les étapes suivantes :

- (i) L'équipement utilisateur UE mesure la puissance du signal de liaison descendante.
- (ii) L'équipement utilisateur traite les résultats de mesure.
- (iii) L'UE envoie le rapport de mesure au MenB de desserte (c.-à-dire MenB 1).
- (iv) Le MenB de desserte prend la décision de transfert intercellulaire via l'interface X2.

La mobilité à travers l'interface X2 se compose de trois phases [22] : i) phase de préparation de transfert intercellulaire ii) la phase d'exécution de transfert, iii) et la phase de fin de transfert.

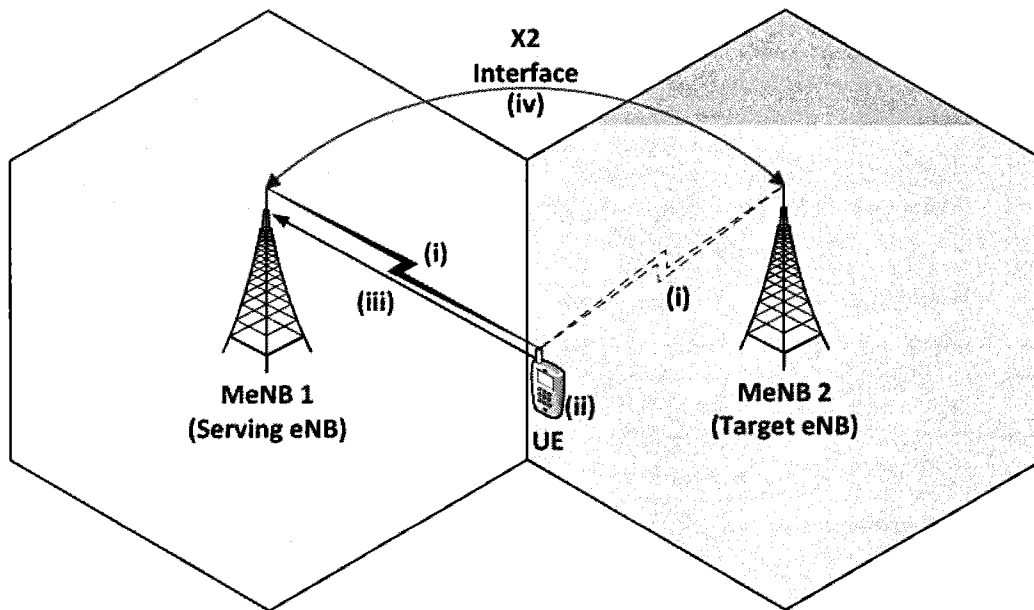


FIGURE 2.2 – Un schéma générique pour la mobilité intra-LTE.

2.2.6 LTE-Advanced

3GPP a travaillé sur différents aspects pour améliorer les performances de la technologie LTE dans le cadre de LTE-Advanced [22, 24]. Les exigences cibles de LTE-Advanced sont résumées dans la table 2.1. Certaines des technologies qui sont prises en compte dans LTE-Advanced comprennent [22] :

- Un système à entrées et sorties multiples (MIMO) d'ordre supérieur (jusqu'à 8×8 MIMO) avec la technique de formation de voie collaborative (beamforming). Les antennes multiples au niveau de la cellule macro peuvent transmettre le même signal avec pondération de façon appropriée pour chaque élément d'antenne d'une manière telle que le faisceau transmis est axé dans la direction du récepteur pour améliorer le rapport signal-sur-bruit plus-interférence (SINR) reçu à la station mobile ou l'équipement usager (UE) [22]. La technique de beamfor-

Indicateur de performances	Recommandation ITU LTE-Advanced
Débit crête (Mb/s)	Uplink : 500 Mbps Downlink : 1 Gbps (Supposant une faible mobilité et une bande passante de canal de 100 MHz)
Efficacité spectrale crête	Uplink : 15 b/s/Hz (up to 4×4 MIMO) Downlink : 30 b/s/Hz (up to 8×8 MIMO)
Efficacité spectrale moyenne DL	2.4 b/s/Hz (up to 2×2 MIMO) 2.6 b/s/Hz (up to 4×2 MIMO) 3.7 b/s/Hz (up to 4×4 MIMO)
Efficacité spectrale moyenne DL au bord de la cellule	0.07 b/s/Hz (up to 2×2 MIMO) 0.09 b/s/Hz (up to 4×2 MIMO) 0.12 b/s/Hz (up to 4×4 MIMO)
Mobilité	jusqu'à 500 km/h
Latence du plan usager (ms)	≤ 10

Tableau 2.1 – Principales spécifications de la norme LTE-Advanced

ming fournit une amélioration de la couverture de la cellule macro et la capacité du réseau, et réduit la consommation d'énergie au niveau de la station de base macro.

- Mise en œuvre d'un réseau de différentes couches, c'est à dire, on trouve les stations de base macros superposées avec des petites cellules, par exemple, les cellules femtos ou picos afin d'améliorer la couverture du réseau et augmenter sa capacité.
- Des techniques de coordination d'interférences entre cellules (inter-cell interference coordination ICIC) et annulation d'interférences plus efficace. L'ICIC implique des technologies telles que le partage du spectre, le contrôle de puissance, etc. Quant aux techniques d'annulation d'interférences entre cellules, elles impliquent le décodage ou la démodulation de l'information désirée, qui sont encore utilisés avec les estimations de canal pour éliminer (ou réduire) l'interférence du signal reçu [25]. L'annulation successive d'interférences (Successive interference cancellation SIC) et l'annulation d'interférence parallèle (Parallel interference cancellation PIC) sont les deux techniques d'annulation d'interférence qui sont largement utilisées dans

les réseaux de communication sans fil.

- Amélioration de l'efficacité spectrale et le débit du réseau en utilisant le mécanisme d'agrégation des porteuses (Carrier Aggregation CA). Le spectre disponible dans le LTE est divisé en des composants de porteuses (component carriers CC) avec une bande passante de 1.4, 3, 5, 10, 15 et 20 MHz. La technique CA consiste en l'agrégation des CCs au niveau des stations de base macros pour permettre des taux plus élevés de données pour les UEs. La norme LTE-Advanced actuelle permet jusqu'à 5 CCs de 20 Mhz à être agrégés résultant en un canal agrégé de bande passante maximale égale à 100 MHz.
- Le réseau MIMO pour améliorer la performance globale du système. Ce réseau correspond à la diversité des cellules macros et la coordination efficace entre les stations de base macros. Dans le mode de transmission en DL, des stations de base macros multiples transmettent à un UE. Dans le mode UL, le signal émis par l'UE est reçu par une ou plusieurs stations de base macro. Le réseau MIMO permet aux stations de base macros qui coopèrent à utiliser le spectre de façon efficace de telle sorte que l'interférence des cellules macros adjacentes sera minimisée.
- La compatibilité ascendante pour assurer la réutilisation de l'architecture LTE avec d'autres systèmes 3GPP et non-3GPP. En outre, les dispositifs LTE devraient être en mesure de se conformer aux normes de système LTE-Advanced.

Les exigences cibles pour les réseaux LTE-Advanced signifient que l'amélioration de la couverture de la cellule et la capacité du réseau sont deux des défis majeurs pour l'évolution des réseaux cellulaires de communication sans fil de quatrième génération (4G). Dans ce contexte, la classification hiérarchique des cellules avec des stations de base macros coexistants avec des petites cellules de faible puissance et à courte portée (idem, correspondant à des cellules picos ou femtos) dans une zone de service, est considérée comme une solution efficace pour améliorer l'efficacité spectrale par unité de surface du réseau. En outre, un tel déploiement hiérarchique de cellules, qui est considéré

comme un HetNet ou un réseau multi-niveaux, apporte une amélioration significative dans la couverture des utilisateurs à l'intérieur et aux bords de la cellule et assure une meilleure QoS pour les utilisateurs. Dans la section suivante, un aperçu sur HetNet et les questions techniques liées à sa mise en place sont présentés.

2.3 HetNet LTE

L'approche de déploiement de réseaux cellulaires traditionnels correspond à une seule architecture cellulaire macro-centrée où les stations de base macro correspondent à un modèle prévu. Un tel réseau cellulaire basé sur les cellules macros est désigné comme réseau homogène. Dans un réseau homogène, toutes les stations de base ont les mêmes puissances d'émission, les diagrammes d'antenne, les hauteurs d'antenne, le bruit du récepteur, la connexion backhaul au réseau de base, et une connectivité sans restriction à tous les UEs [26]. Toutefois, cette approche de déploiement dégrade la couverture et la capacité des utilisateurs aux bords des cellules.

L'une des approches pour résoudre ce problème est de rendre les émetteurs et les récepteurs proches les uns des autres. Cependant, cette approche peut ne pas être économiquement viable, car elle implique le déploiement de plusieurs stations de base macros (MeNBs) au sein du réseau et en même temps l'acquisition de nouveaux sites pour les stations de base macros sur de hauts bâtiments devient plus difficile dans les zones urbaines denses. Un mécanisme de déploiement plus flexible et évolutif est nécessaire pour les opérateurs mobiles pour améliorer les services cellulaires de façon rentable.

Au cours des dernières années, le modèle de déploiement à base de HetNet est considéré par les opérateurs de téléphonie mobile. Le déploiement de HetNet offre une amélioration de l'efficacité spectrale d'une manière évolutive et économique [21]. HetNet correspond à un réseau cellulaire à plusieurs niveaux où le réseau homogène existant est recouvert d'infrastructure supplémentaire sous la forme de petites stations de base, de faible puissance, faible complexité et à courte portée. En

d'autres termes, un HetNet à deux niveaux comprend les MeNBs dans le premier niveau, recouvertes de petites cellules (par exemple, HeNBs) dans le deuxième niveau. En raison de la petite couverture des petites cellules, la bande de fréquence autorisée peut être efficacement réutilisée plusieurs fois dans les éléments de second niveau d'un HetNet, ce qui améliore ainsi l'efficacité spectrale par unité de surface et par conséquent la capacité du réseau.

Parmi toutes les petites cellules, les cellules femtos ou HeNBs, sont d'un grand intérêt et d'importance à la communauté des chercheurs et les opérateurs mobiles. Une étude de "ABI Research" montre que, dans le futur, plus de 50% des appels vocaux et plus de 70% du trafic de données mobiles devrait provenir des UEs indoor [27]. Un autre sondage montre que 30% des entreprises et 45% des utilisateurs à la maison éprouvent une pauvre couverture indoor [28]. Dans ce contexte, un bref aperçu des cellules femtos, leurs avantages, et les défis techniques impliqués dans le déploiement de HetNet sont présentés ci-dessous.

2.3.1 Les cellules femtos LTE (HeNBs)

Les cellules femtos (ou stations de base à domicile) sont conçues pour fournir une couverture radio aux utilisateurs mobiles dans un environnement intérieur. Le concept de HeNB a été développé par les laboratoires Bell d'Alcatel-Lucent en 1999 [29]. Une station de base à domicile GSM d'Alcatel a été développée en 2000. Le produit de station de base à domicile 3G a été développé par Motorola en 2002. L'expression "femto" pour la station de base à domicile a été premièrement introduite en 2006 [29]. Une organisation à but non lucratif appelée "Femto Forum" a été formée par les fournisseurs, les opérateurs et les communautés de recherche en Juillet 2007 pour promouvoir la normalisation des cellules femtos et leur déploiement dans le monde entier [30]. Les cellules femtos ont été introduites dans 3GPP Release 8 comme HeNB en 2008 [33]. Avec l'évolution des technologies de réseaux cellulaires, plusieurs spécifications et normes femtos ont été incluses depuis les rapports techniques de 3GPP. Les principales motivations derrière le déploiement des HeNBs

sont présentées comme suit :

- Contrairement au Wi-Fi, les FBSs fonctionnent avec le spectre licencié offert par l'opérateur mobile, améliorent la qualité de service d'approvisionnement pour les UEs, et augmentent le trafic de données mobiles à l'intérieur.
- Les FBSs accroissent l'utilisation du spectre. Puisque les HeNBs sont des stations de base à courte portée, la même bande de fréquence autorisée peut être efficacement réutilisée plusieurs fois dans la zone de service de la MenB.
- Les FBSs réduisent la charge de MenB qui entraîne davantage de ressources (fréquence , puissance) pour les MUEs. En même temps, la durée de vie prévue de la batterie des téléphones mobiles est prolongée étant donné le fait que les UEs n'ont plus besoin de communiquer avec des MeNBs éloignés.
- Les FBSs sont déployées par les utilisateurs mobiles en mode plug-and-play et intègrent le mécanisme d'auto-organisation. Ce déploiement permet aux opérateurs de réseaux mobiles d'économiser le coût d'installation de stations de base macros supplémentaires. En plus, la FBS est considérée comme une station de base à la maison de faible coût et qui est capable de fournir une couverture fixe avec un débit élevé aux UEs.

En raison des avantages mentionnés ci-dessus, une étude a montré que, 114 millions des utilisateurs mobiles accèderont aux réseaux mobiles à travers les FBSs [30]. Cela signifie que dans les années à venir les FBSs pourraient être une partie intégrante des systèmes de communication sans fil de la prochaine génération. Au cours des dernières années, différents types de FBSs ont été conçus et développés sur la base de diverses technologies d'interface radio, de services, de normes et de stratégies de contrôle d'accès. En raison de la flexibilité dans l'attribution des fréquences, il a été préconisé que la FBS LTE utilise OFDMA comme technologie d'interface radio.

2.3.1.1 Réseau d'accès pour les HeNBs

Un HeNB se connecte au EPC à travers les interfaces S1-U et S1-MME. Pour soutenir un grand nombre de HeNBs, une passerelle HeNB est utilisée entre les HeNBs et EPC. La passerelle HeNB apparaît comme un HeNB à la MME. L'interface S1 est utilisée entre les HeNBs et la passerelle HeNB ainsi qu'entre la passerelle HeNB et EPC. Les fonctionnalités de base du HeNB sont les mêmes que celles du eNB. En outre, un HeNB effectue le contrôle d'accès ou le contrôle d'admission pour les UEs sur la base des modes d'accès intégrés avec le HeNB. Plus de détails sur l'architecture de HeNBs peuvent être trouvés dans [31].

2.3.1.2 Modes d'accès des HeNBs

En général, les cellules femtos sont conçues pour fonctionner dans l'un des trois modes d'accès suivants : le mode d'accès fermé, le mode d'accès ouvert, et le mode d'accès hybride [32]. En mode d'accès fermé, un ensemble d'utilisateurs appartenant à un groupe d'abonnés fermé (CGS) sont seuls autorisés à accéder à une cellule femto. Ce type de stratégie de contrôle d'accès de la cellule femto est généralement applicable aux scénarios de déploiement résidentiels. Cependant, dans les lieux publics tels que les aéroports et les centres commerciaux, le mode d'accès libre peut également être utilisé lorsqu'un UE peut accéder à la cellule femto et bénéficier de ses services. Ce mode d'accès est généralement utilisé pour améliorer la couverture intérieure et minimiser les trous de couverture dans la cellule macro. En mode d'accès hybride, un UE peut accéder à la cellule femto mais la préférence sera donnée à ces UEs qui souscrivent à la cellule femto. Les scénarios de déploiement du mode d'accès hybride du sous-réseau femto peut être utilisée dans les entreprises .

2.3.2 Défis techniques dans le déploiement des cellules femtos

Le déploiement de cellules femtos dans un environnement résidentiel ou professionnel doit faire face à plusieurs défis techniques, juridiques et économiques. Certains de ces problèmes d'intégration

sont discutés dans ce paragraphe.

2.3.2.1 La précision du spectre

Afin de respecter les exigences de la Commission Fédérale de Communication (FCC), la cellule femto doit générer un signal à haut degré de précision. Ceci nécessite des techniques avancées. Une solution proposée est d'utiliser un signal précis pour calibrer constamment l'oscillateur. D'autres solutions de synchronisation telles que IEEE1588 [34] et le protocole Network Time Protocol (NTP) [35] peuvent être déployées pour remédier à ce problème.

2.3.2.2 La qualité de service

La cellule femto est basée sur la connexion IP qui permet de transférer les données provenant de l'UE à travers le point d'accès vers le réseau de l'opérateur. Cette connexion peut être une liaison ADSL, une liaison par câble, etc. . . Cependant, ce point d'accès partage la bande passante avec d'autres services desservis par la même connexion, tels que la consultation de pages webs, des jeux vidéos, TV sur IP, téléchargement de films, . . . Par conséquent, ce trafic peut affecter la qualité de service de la communication à travers la cellule femto, notamment pour le service de téléphonie qui est très exigeant en termes de délai. De plus, cette qualité de service dépend aussi du réseau de l'opérateur lui-même.

2.3.2.3 Gestion des interférences

Les cellules femtos utilisent la même bande de fréquence que celle des cellules macros. Ceci peut être la source d'interférence dégradant la qualité du lien radio. Pour surpasser ce problème, des techniques appropriées sont intégrées dans la station de base de la cellule femto. On cite comme exemples de ces techniques la détection des cellules macros, le contrôle de puissance et les séquences de codes de brouillage. De nouveaux travaux de recherche sont en cours afin de résoudre le problème

d'interférence. Des solutions sont proposées afin d'annuler cette interférence, alors que d'autres travaux tentent de bien la gérer et minimiser son impact sur la performance du réseau.

2.3.2.4 L'auto-organisation

Les cellules femtos fonctionnent en mode “plug-and-play”. Par conséquent, il est important qu'elles puissent s'organiser et se configurer de manière autonome et accéder à l'interface radio de façon intelligente de sorte qu'ils provoquent le moindre niveau d'interférences sur le réseau macro existant [36].

2.4 Conclusion

Le réseau HetNet LTE considéré est composé de deux couches de cellules : une couche de cellules macros, et une couche de cellules femtos. Les deux couches coexistent à travers une architecture évoluée et partagent les ressources afin d'offrir de meilleurs services aux usagers. Dans le chapitre suivant, on étudie les stratégies de gestion des interférences et de contrôle d'admission dans HetNet.

Chapitre 3

Gestion des interférences et contrôle d'admission dans HetNet : enjeux et approches

3.1 Introduction

L'une des techniques les plus efficaces pour améliorer la couverture et accroître le débit dans les réseaux cellulaires sans fil est de réduire la taille de la cellule (par exemple : fractionnement de cellule) et la portée de transmission. Par conséquent, le concept de déploiement des cellules femtos dans les cellules macros a récemment attiré l'intérêt croissant de l'industrie. Divers défis techniques vers un déploiement de masse de cellules femtos ont été abordés dans la littérature récente. La gestion des interférences entre les cellules femtos voisines et entre les cellules femtos et la cellule macro, et le contrôle d'admission sont considérés comme des défis majeurs dans les réseaux HetNet parceque les cellules femtos partagent le même spectre de fréquence avec les cellules macros. En outre, les techniques de gestion des ressources radio et de contrôle d'admission classiques basées sur

la hiérarchie de l'infrastructure du système cellulaire n'est pas adéquate pour les réseaux femtos vu que la position des FBSs est aléatoire, en fonction de l'exigence de service des utilisateurs. Dans ce chapitre, nous enquêtons sur les différents états de l'art des approches de gestion d'interférence, d'allocation des ressources et de contrôle d'admission dans les réseaux HetNets OFDMA. À la fin, une comparaison qualitative entre les différentes approches de gestion d'interférence est fournie.

3.2 Gestion des interférences dans HetNet

Les différents scénarios d'interférence sont présentés dans la figure 3.1. En général, deux types d'interférences se produisent dans un réseau HetNet :

- *Interférence co-tier :*

Ce type d'interférence se produit entre les éléments du réseau qui appartiennent au même niveau dans le réseau. Dans le cas de HetNet, ce type d'interférence se situe entre les cellules femtos voisines. Par exemple, un FUE (agresseur) provoque des interférences co-tier dans le sens montant aux FBSs voisines (des victimes). D'autre part, une station de base femto agit comme une source d'interférence co-tier dans le sens descendant aux FUEs voisins. Cependant, dans les systèmes OFDMA, l'interférence co-tier dans le sens montant ou descendant n'apparaît que lorsque l'agresseur (ou la source d'interférence) et la victime utilisent les mêmes sous-canaux. Par conséquent, une allocation efficace des sous-canaux est nécessaire dans les réseaux HetNets de type OFDMA pour atténuer les interférences co-tier.

- *Interférence cross-tier :*

Ce type d'interférence se produit entre les éléments de réseau qui appartiennent à des niveaux différents du réseau, c'est-à-dire interférence entre le système femto et le système macro. Par exemple, les FUEs et les MUEs agissent comme une source d'interférence cross-tier dans le sens montant à la station de base macro de desserte et les cellules femto à proximité, respectivement. D'autre part, la station de base macro de desserte et les FBSs provoquent des interférences cross-tier dans le sens

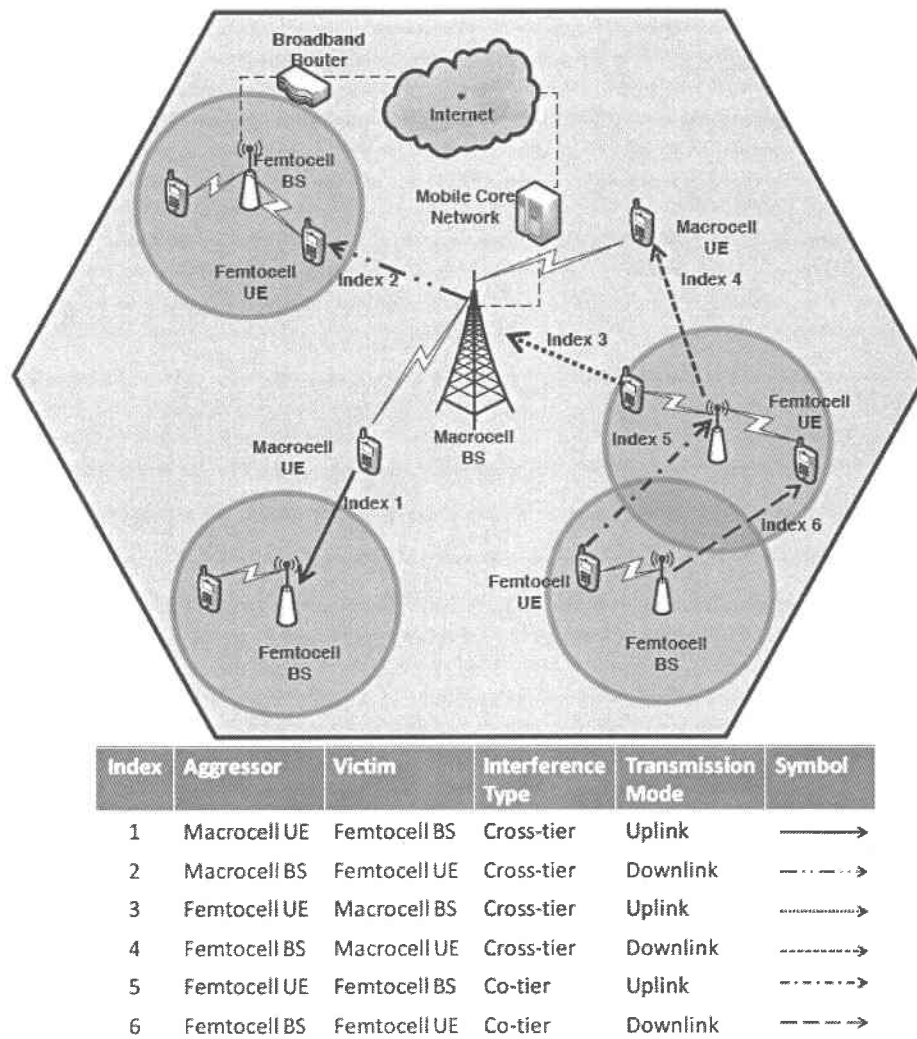


FIGURE 3.1 – Scénarios d'interférence dans les réseaux HetNets de type OFDMA.

montant ou descendant aux FUEs et MUEs à proximité, respectivement. Encore une fois, dans les réseaux HetNet de type OFDMA, l'interférence cross-tier dans le sens montant ou descendant ne se produit que lorsque les mêmes sous-canaux sont utilisés par l'agresseur et la victime.

Les cellules femtos sont déployées dans le réseau macro existant et partagent le même spectre de fréquence avec les cellules macros. En raison de l'insuffisance du spectre, les cellules femtos et macros

doivent réutiliser et/ou partager la bande de fréquences attribuée partiellement ou totalement ce qui conduit à une interférence cross-tier ou co-canal. En même temps, afin d'assurer une meilleure qualité de service aux MUEs, les cellules femtos peuvent avoir besoin d'occuper une petite partie de la bande passante disponible ce qui conduit à des interférences co-tier.

Par conséquent, le débit du réseau peut diminuer en raison de ces interférences co-tier et cross-tier. En outre, une interférence assez élevée peut conduire à des zones mortes, des zones où la qualité de service se dégrade significativement. Les zones mortes sont créées en raison de niveau asymétrique de la puissance de transmission au sein du réseau et/ou la distance entre le MUE et la MBS. Par exemple, un MUE situé à un bord de la cellule et transmettant à une puissance élevée créera une zone morte à proximité de la FBS dans le sens montant due à une interférence co-canal. D'autre part, dans le sens descendant, en raison de l'affaiblissement de propagation et l'effet d'ombrage, un MUE au bord de la cellule peut subir des interférences co-canal assez nuisibles provenant des FBSs à proximité.

Ainsi, il est essentiel d'adopter un système de gestion des interférences efficace et robuste qui permet d'atténuer les interférences co-tier et de réduire les interférences cross-tier de façon considérable afin d'améliorer le débit de l'ensemble du réseau. Différentes techniques telles que la coopération entre les stations de base macros et les stations de base femtos, la formation de groupes de HeNBs et l'échange d'informations (telles que l'affaiblissement de parcours, la localisation géographique, etc) entre les HeNBs voisines, l'accès au spectre intelligemment, etc. peut être envisagés afin de réduire l'interférence co-tier et cross-tier. Dans ce qui suit, un aperçu sur les différentes approches de gestion des interférences à deux niveaux dans les réseaux HetNet de type OFDMA, est présenté. Ces approches considèrent les transmissions de liaison montante et/ou descendante ainsi que des interférences co-tier et/ou cross-tier.

3.2.1 La technique « femto-aware spectrum arrangement »

Dans [37], Yi Wu et al proposent la technique « femto-aware spectrum arrangement » pour éviter l'interférence cross-tier dans le sens montant entre la station de base macro et les FBSs. Dans ce schéma, le spectre de fréquences attribué à chaque zone de couverture de la cellule macro est divisée en deux parties : la partie du spectre dédiée à la cellule macro et la partie du spectre partagée entre la cellule macro et les cellules femtos. On suppose que le spectre partagé alloué aux HeNBs est configuré par l'opérateur mobile. Ainsi, la station de base macro a une connaissance suffisante du spectre de fréquence partagé. Sur la base de cette connaissance, la MBS développe une zone d'interférence qui comprend les MUEs qui constituent une menace pour les HeNBs voisins. Ces MUEs sont ainsi affectés à une partie du spectre dédié à la cellule macro ce qui réduit l'interférence cross-tier dans le sens montant et résout le problème de liaison montante de la zone morte. La figure 3.2 illustre le schéma « femto-aware spectrum arrangement », où UE4, UE5, et UE6 représentent une menace potentielle d'interférence cross-tier sur leurs HeNBs potentiels à proximité. Par conséquent, la MBS de desserte met ces MUEs dans le groupe d'interférants aux FBSs et leur affecte une partie du spectre dédiée, afin de limiter les interférences co-tier. D'autre part, étant donné que d'autres MUEs (Macrocell UE1, Macrocell UE2, Macrocell UE3) ne sont près d'aucune FBS, ils partagent le reste du spectre avec les FUEs (femtocell UE1, femtocell UE2, femtocell UE3).

Toutefois, ce schéma ne tient pas compte des interférences inter-HeNB et peut être inefficace si le nombre de MUEs à proximité de la FBS augmente.

3.2.2 Regroupement des cellules femtos

Dans [38], une nouvelle structure est présentée pour réduire les interférences sur la liaison descendante (cross-tier et co-tier) et améliorer l'efficacité spectrale d'un sous-réseau femto à accès fermé. Dans ce cadre, un contrôleur de système femto (FSC) par cellule macro collecte toutes les informations nécessaires de la configuration des FBSs (informations de position des FBS et FUEs)

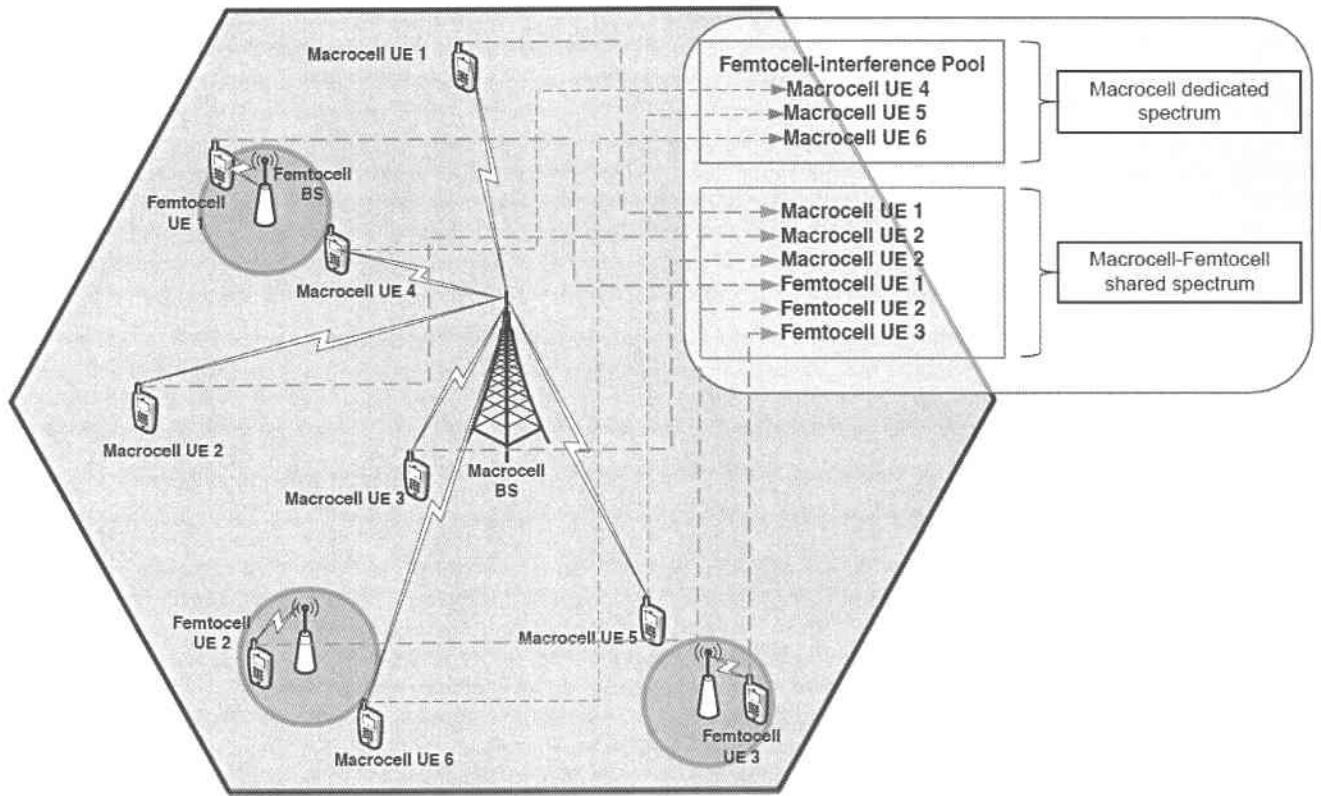


FIGURE 3.2 – Technique « femto-aware spectrum arrangement ».

et effectue les calculs nécessaires. Afin de réduire l'interférence, cette technique utilise une combinaison entre une allocation dynamique de la bande de fréquence entre les FBSs et les MBSs, et le regroupement des FBSs en fonction de leur emplacements géographiques. En outre, une partie de la bande de fréquence est dédiée aux utilisateurs femtos et le reste est réutilisé par les FBSs et les MBSs. L'avantage d'allouer une partie de la bande de fréquence strictement aux FUEs est de résoudre le problème de la zone morte des FUEs dans le sens descendant et de répondre aux exigences de la qualité de service pour ces utilisateurs. Cependant, la partie de la bande de fréquence partagée est déterminée par le nombre total de groupements des FBSs obtenu au moyen d'un algorithme de classification. L'algorithme de classification attribue les FBSs à différents groupes de réutilisation

de fréquences et les FUEs des autres FBSs au même groupe et en utilisant les mêmes sous-canaux alloués de la bande de fréquence commune. La distance seuil de groupement d'interférence est calculée sur la base de la localisation géographique des FBSs. Si la distance euclidienne entre deux FBSs est inférieure à la distance seuil, celles-ci sont affectées à différents groupes pour éviter les interférences co-tier et cross-tier. Les résultats de simulations montrent qu'une haute efficacité spectrale est réalisée comme la probabilité de réutilisation du spectre inter-niveaux devient supérieure à 97,6%. Cela signifie que le problème de la zone morte des MUEs dans le sens descendant autour des FBSs est résolu (ex. la probabilité qu'un MUE se trouvant dans la zone morte est inférieure à 2,4 %). Pour la technique proposée, les résultats de simulations montrent également une amélioration significative de la capacité de l'utilisateur femto.

Dans [39], une technique d'atténuation d'interférences à énergie efficace est présentée pour des FBSs à accès fermé regroupées dans des zones de voisinage en fonction de leurs emplacements géographiques. Avec cette technique, l'interférence entre femtos ou de type cross-tier est minimisée en réduisant les intervalles disponibles inutiles (Available Intervals (AI)) dans le mode LDO (Low Duty Operation) pour les FBSs. Selon la norme IEEE 802.16m, une FBS peut entrer dans le mode LDO si aucun UE existe dans sa zone de couverture, ou si tous les UEs se trouvant dans la couverture sont en mode veille/repos. Dans le mode LDO, une FBS commute alternativement entre les modes : intervalle disponible (AI) et intervalle indisponible (Unavailable Interval UAI). Au cours de l'UAI , une FBS devient inactive sur l'interface radio. Au cours de l'AI, la FBS peut devenir active sur l'interface radio en transmettant des préambules au nouveau UE à des fins de synchronisation. La longueur de l'AI et l'UAI correspondent au modèle du LDC (Low Duty Cycle), ce qui facilite le mode LDO de la FBS. Cependant, la FBS en mode LDO a toujours des AIs, même si il n'y a pas des UEs qui auront accès à la FBS dans le futur proche. Cet AI inutile peut causer des interférences co-tier aux autres FBSs. Avec cette technique, les AI inutiles sont diminués, ce qui se traduit par la réduction d'interférence co-tier entre les FBSs voisines. L'idée principale derrière

est la réduction de l'interférence co-tier et le regroupement des FBSs voisines sur la base de leur position géographique.

Dans chaque groupe, une FBS est désignée comme le leader et les FBSs adjacentes sont désignées comme membres. Selon la norme IEEE 802.16m, une FBS nouvellement installée analyse les environs pour la recherche des FBSs voisines dans leurs états d'initialisation. Etant donné que le réseau a une connaissance globale de la topologie du réseau, le rapport d'analyse peut comprendre la configuration des groupes dans le réseau (ex. le leader et les membres du groupe sur la base de l'ID de la FBS).

Si une FBS nouvellement installée reçoit le signal de préambule du leader au dessus d'un seuil défini, il devient un membre du groupe, sinon, il va former un nouveau groupe et se définir comme le leader du groupe. Le leader, nécessite avoir AI dans son modèle LDC afin que l'arrivée d'un nouveau UE au sein du groupe peut découvrir l'existence du groupe en détectant le leader, même si les membres du groupe restent en UAI . Dès que le leader détecte l'arrivée de l'UE, il envoie un message à la FBS cible pour activer son IA dans le modèle LDC. Ainsi l'UE sera capable de détecter la FBS cible et de s'y connecter. Dans ce modèle, l'AI inutile dans le mode LDO de la FBS est réduit permettant une économie d' énergie de la FBS et une minimisation de l'interférence co-tier. Grâce à la technique proposée, le gain de réduction d'interférence co-tier en termes de temps de transmission et économies d'énergie est de 90% en comparaison avec le modèle de LDO classique dans le Norme IEEE802.16m.

3.2.3 Ordonnancement collaborative de fréquence

L'interférence co-canal et cross-tier dans les deux sens UL et DL peut être atténuée si la FBS évite d'utiliser les blocs de ressources utilisés par les MUEs se trouvant dans sa proximité à l'aide d'une détection efficace du spectre. Cependant, les résultats de détection de spectre pour une FBS peut être altérée en raison de mauvaise détection, fausse alerte, et problème de synchronisation.

Pour faire face à ce problème, un système pour FBS de type OFDMA est fournis dans [40] où les informations d'ordonnancement des MUEs (UL et DL) sont obtenues de la MBS à partir du back-haul ou de l'interface radio. Cette information est utilisée pour améliorer les résultats de détection de spectre de la FBS et pour utiliser les blocs de ressources associés aux MUEs lointains dans la transmission UL et DL. Les principales caractéristiques du système proposé sont les suivantes :

- La FBS reçoit les informations de l'ordonnancement des MUEs dans les sens montant et descendant de la MBS.
- La FBS effectue la détection du spectre pour trouver les fréquences occupées du spectre. Les fréquences occupées du spectre du sens montant peuvent être déterminées par le biais de la détection d'énergie.
- La FBS compare les résultats de détection de spectre et l'information d'ordonnancement obtenue pour décider sur les possibilités d'utilisation du spectre.

Etant donné que la FBS accède au spectre de manière opportuniste, les auteurs analysent l'impact des interférences inter-canal (ICI) des MUEs à la cellule femto qui est important en UL. L'ICI est essentiellement due à l'arrivée asynchrone des signaux des MUEs à la cellule femto. Grâce à la simulation (en utilisant le modèle Okumura-Hata de la propagation radio), il est démontré que la variation de la puissance ICI dépend de la fréquence centrale, la hauteur de la FBS, et la taille du CP. Une fréquence centrale inférieure et une augmentation de la hauteur de la FBS peuvent augmenter la puissance d'ICI reçue à la FBS. En outre, si le temps d'arrivée des MUEs à la FBS dépasse la durée de CP, l'orthogonalité entre les sous-porteuses est perturbée en menant à l'ICI. En outre, les différents systèmes d'affectation de sous-porteuses entraînent différents ICI.

3.2.4 Approche de contrôle de puissance

Les méthodes de contrôle de puissance pour réduire les interférences cross-tier se concentrent généralement sur la réduction de la puissance de transmission de FBSs. Ces techniques sont avanta-

geuses en ce que les MBSs et les FBSs peuvent utiliser toute la bande passante avec la coordination d'interférence. Une puissance dynamique ou réglage de puissance adaptative, qui est préférable à un réglage de puissance fixe, peut être effectuée soit dans une boucle de réglage de puissance ouverte (open loop power setting OLPS) ou un réglage de puissance en boucle fermée (closed-loop power setting CLPS). Dans le mode OLPS, la FBS ajuste sa puissance de transmission sur la base de ses résultats de mesure ou des paramètres prédéterminés du système (par exemple, dans une approche pro-active). Dans le mode CLPS, la FBS ajuste sa puissance d'émission sur la base de la coordination avec la MBS (de façon réactive). En outre, un mode hybride peut être utilisé lorsque la FBS commute entre les deux modes en fonction des scénarios de l'opération [41]. Un autre concept est le contrôle de puissance pour FBSs à base de cluster dans lequel le réglage de puissance initial pour les FBSs se fait de façon opportuniste sur la base de nombre de FBSs actifs dans un cluster (figure 3.3) [40]. Pour cela, la détection centralisée (figure 3.3(a)) peut être utilisée par laquelle une MBS peut estimer le nombre de FBSs actives par cluster et de diffuser des informations de quotas d'interférences aux FBSs pour leur réglage de la puissance initiale. Sinon , la détection distribuée (Figure 3.3(b)) peut être utilisée où chaque cellule détecte si les autres sont actifs dans le même cluster et ajuste son réglage de la puissance initiale en conséquence.

3.2.5 Réutilisation de fréquence fractionnée (FFR) et parpartitionnement des ressources

Le mécanisme de base de cette méthode divise le spectre de fréquences en plusieurs sous-bandes. Ensuite, chaque sous-bande est attribuée différemment à chaque cellule macro ou sous-zone de la cellule macro. Puisque la ressource pour MBS et FBS n'est pas chevauchée, l'interférence entre MBS et FBS peut être atténuée. Dans [42], les auteurs proposent un mécanisme de partage des fréquences qui utilise la réutilisation des fréquences couplée avec le pilote de détection pour réduire les interférences cross-tier/co-channel entre la cellule macro et les cellules femtos. Dans cette tech-

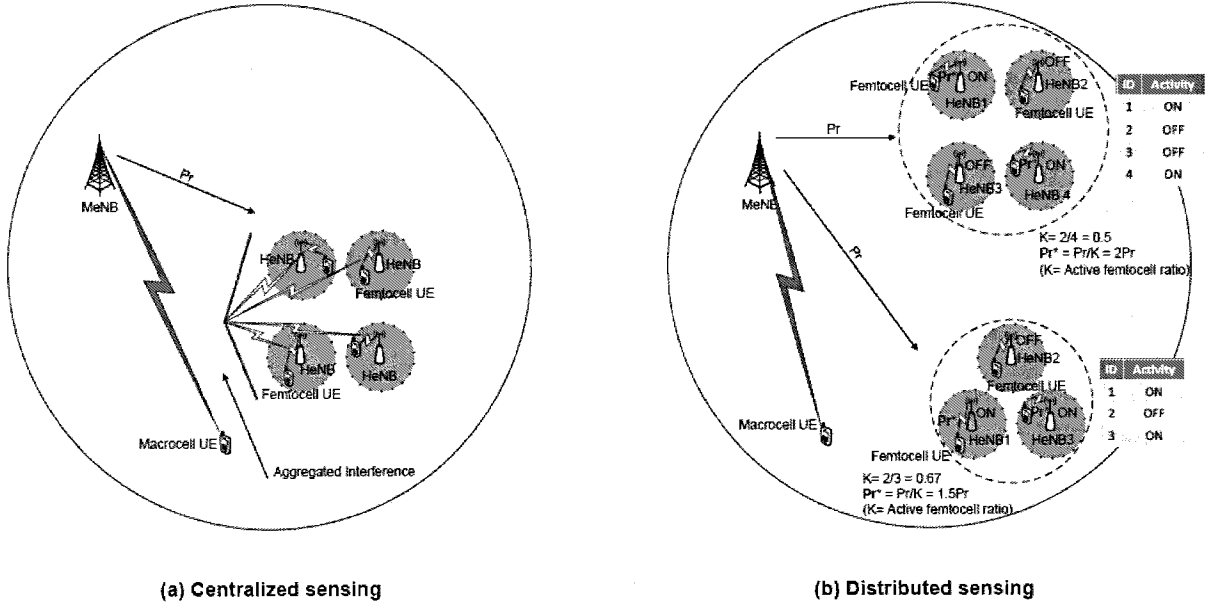


FIGURE 3.3 – Contrôle de puissance opportuniste basé sur la détection.

nique, FFR de 3 ou plus est appliquée à la cellule macro. Lorsqu'une FBS est activée, elle détecte les signaux pilotes à partir de la MBS et rejette la sous-bande ayant la plus grande puissance du signal reçu, et donc utilise le reste des sous-bandes de fréquence ce qui résulte une augmentation de SINR des MUEs. Le débit global du réseau est renforcé en adoptant des algorithmes de modulation d'ordre supérieur. Dans [43], un autre système de gestion d'interférence pour les cellules femto LTE est présenté sur la base de la FFR. La technique évite les interférences cross-tier en DL en attribuant des sous-bandes de la bande de fréquence allouée aux FBS qui ne sont pas utilisées dans la sous-zone de la cellule macro. Dans l'algorithme proposé, la cellule macro est divisée en zone centrale (correspondant à 63% de la superficie totale de la couverture de la cellule macro) et la région de bord, y compris trois secteurs par chaque région. Le facteur de réutilisation de un est appliqué dans la zone centrale, tandis que la région de bord adopte le facteur de réutilisation de

trois. L'ensemble de la bande de fréquence est divisé en deux parties, l'une d'elles est affectée à la zone centrale et le reste de la bande est également divisé en parties et affecté aux les trois zones de bord.

La figure 3.4 (b) illustre la répartition des sous-bandes de fréquences dans les sous- domaines de la cellule macro. La sous-bande A est utilisé dans la zone centrale (C1, C2 et C3), et les sous-bandes B , C et D sont utilisées dans les régions X1 , X2 et X3, respectivement. Maintenant, quand un HeNB est mise en marche, il détecte les signaux des MenBs voisins, compare les valeurs de l'indicateur de la puissance du signal reçu (RSSI) pour les différentes sous-bandes, et choisit les sous-bandes qui ne sont pas utilisées dans la sous-zone de la cellule macro. En outre, si la FBS est située dans la zone centrale elle exclut la sous-bande qui est utilisée dans la zone centrale ainsi que celle qui est utilisée par la MBS dans la zone de bord du secteur courant .

Par exemple, si une FBS est située au bord de la région X1, elle exclurait la sous-bande B qui est utilisée par les MUEs, et sélectionne les sous-bandes A, C ou D. Toutefois, si une FBS est située dans la zone centrale C1, alors elle évite la sous-bande A et en même temps la sous-bande B puisque le RSSI pour cette sous-bande est relativement plus élevé que pour la FBS. Ainsi, cette technique atténue les interférences co-tier et cross-tier. Les résultats de simulation montrent que, cet algorithme offre un gain de throughput de 27 % et de 47 % en moyenne, par rapport au FFR-3 (sans zone centrale) et sans FFR, respectivement.

Les deux systèmes décrits ci-dessus utilisent un partitionnement fixe, ce qui entraînerait une dégradation de performance due à une utilisation inefficace des ressources de bande passante. Un système de partitionnement dynamique (en temps et en fréquence) peut être utilisé pour le partage de la bande passante qui minimise les interférences cross-tier. Dans [44], une technique FFR adaptative est présentée pour minimiser les interférences en DL causées par les FBSs dans les alentours de la cellule macro. Les informations de localisation des FBSs peuvent être obtenues et maintenues dans le réseau à l'aide d'adresse physique enregistrée associée avec l'adresse IP qu'utilise une FBS.

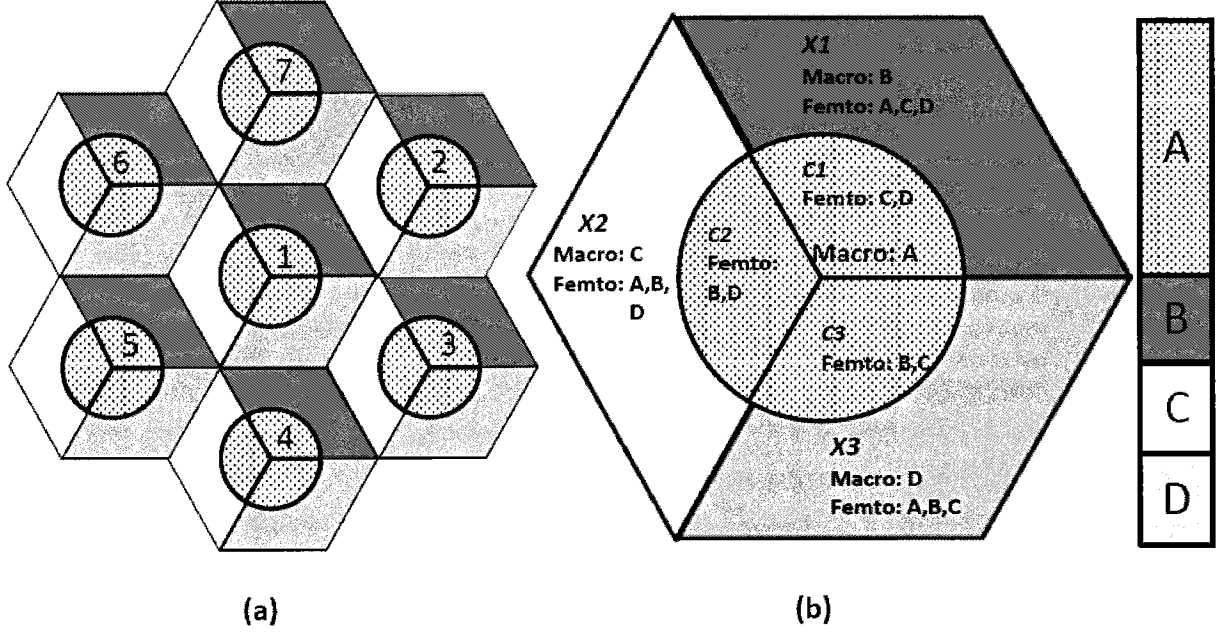


FIGURE 3.4 – Gestion des interférences en utilisant FFR.

Le système proposé ne traite que l'interférence cross-tier posée par les FBSs situées (zone intérieure) près de la MBS. Si la FBS est située dans une région interne hautement dense, les sous-canaux orthogonaux sont adoptés par les FBSs. Dans le cas contraire, la FBS sélectionne un sous-canal de manière arbitraire, il l'utilise pour un certain laps de temps, puis elle saute à d'autres sous-canaux. Le système proposé réduit les interférences cross-tier en DL. On notera que la méthode de partage des ressources peut être utilisée en même temps que le contrôle de puissance (entraînant ainsi une approche hybride) pour réduire les interférences co-tier et cross-tier.

3.2.6 Approche cognitive

L'approche de radio cognitive basée sur de la détection du spectre distribué peut être utilisée pour l'atténuation des interférences dans les réseaux femtos. Dans [45], une technique efficace

d'atténuation d'interférence co-tier en DL pour le système LTE à base OFDMA est proposée où l'information de l'atténuation du parcours est partagée entre les FBSs voisines. En outre, les FBSs voisines partagent les informations relatives à l'utilisation des LTE "Component Carriers" (CC), obtenues sur la base de la technique d'agrégation, dans une manière distribuée. L'échange d'informations entre les FBSs peut être fait par l'intermédiaire de la passerelle de la cellule femto (HeNB GW) ou la méthode "over-the-air" (OTA). La GW de la FBS est considérée comme un noeud intermédiaire entre les FBSs et le réseau core qui gère les messages de coordination entre les FBSs via une connexion S1. D'autre part, la méthode OTA comprend un lien direct entre FBS-MBS.

Dans l'algorithme proposé, lorsqu'une FBS est mise en marche, elle identifie les adjacentes voisines et obtient la connaissance des CC utilisés par les voisines. L'idée de cette technique est que, chaque FBS estime l'interférence co-tier basée sur l'information de perte de trajet, capitalise la connaissance de l'utilisation des CC par les voisines, et accède au spectre intelligemment pour minimiser les interférences. La sélection de CC se fait de manière telle que, chaque FBS sélectionne le CC qui n'est pas utilisé par la voisine ou le CC qui est occupé par la voisine la plus loin ou le CC qui est occupé par le plus petit nombre de voisines (dans l'ordre chronologique, comme mentionné). Les résultats de simulation montrent une réduction significative des interférences co-tier et un surplus de signalisation dans le réseau par rapport à une autre approche cognitive basée sur la gestion des interférences co-tier dans la FBS.

La figure 3.5 illustre un scénario de gestion des interférences co-tier (DL) des FBSs par l'approche cognitive. Dans ce scénario, les CCs disponibles pour les FBSs sont CC1, CC2, CC3 et CC4. Dans la figure 3.5 (a), puisque HeNB1 et HeNB3 sont adjacentes les unes aux autres, elles sélectionnent des CCs différentes. D'autre part, puisque HeNB2 n'est ni une voisine de HeNB1 ni de HeNB3, elle sélectionne alors seulement une des paires de CCs disponibles (par exemple, CC1 et CC2). Maintenant, en vertu de ce déploiement du système femto, quand HeNB4 est mise en marche, elle découvre ses voisines immédiates (HeNB1 et HeNB2). Grâce à un mécanisme de coordination inter-

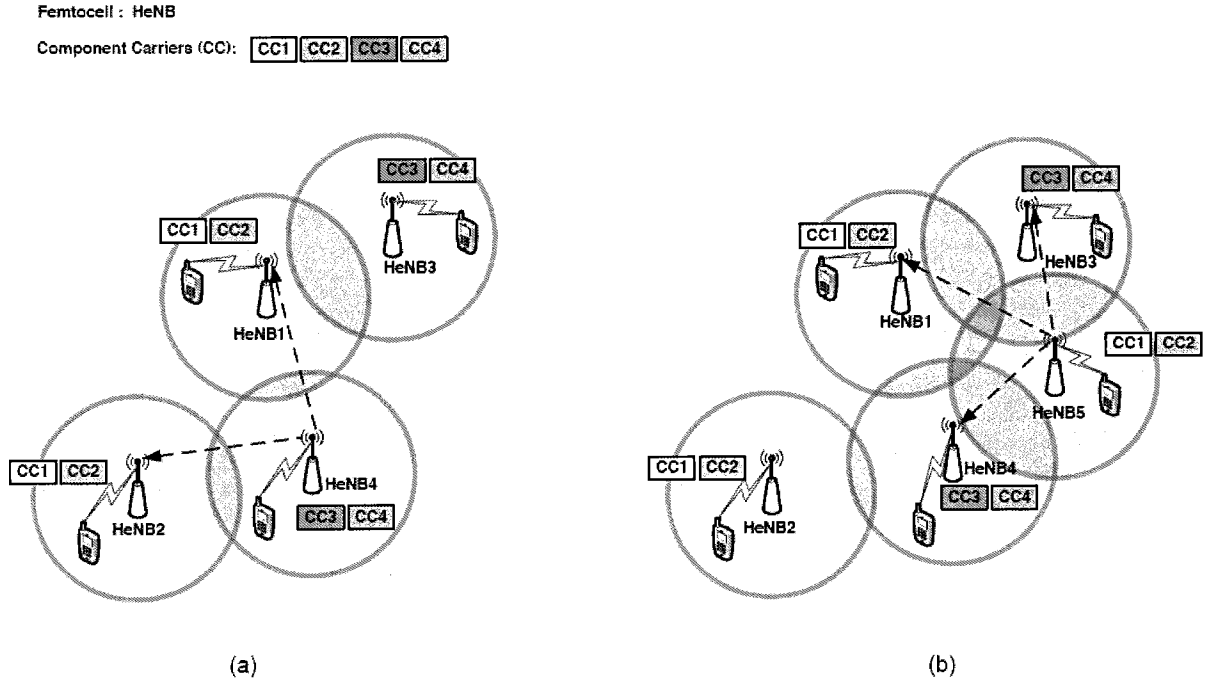


FIGURE 3.5 – Gestion des interférences en utilisant l’approche cognitive.

HeNBs, HeNB4 obtienne les informations liées à l’utilisation de CCs de ses voisines immédiates. Ainsi, afin d’éviter les interférences co-tier, quand HeNB4 sélectionne les CCs pour la transmission en DL, elle sélectionne les CCs (CC3 et CC4) qui sont différentes de celles utilisées par HeNB1 et HeNB2. En outre, dans la figure 3.5 (b), lorsque la HeNB5 est mise en marche, elle identifie les adjacentes voisines (HeNB1, HeNB3 et HeNB4), et obtienne la connaissance des CCs utilisés par les voisines. Dans ces circonstances, la HeNB5 sélectionne les CCs qui sont occupés par la voisine la plus éloignée, c’est-à-dire HeNB1. A cette fin, la HeNB5 sélectionne CC1 et CC2 pour la transmission en DL pour réduire les interférences co-tier.

3.2.7 Comparaison qualitative entre les différentes approches de gestion des interférences

Le tableau 3.1 présente une comparaison qualitative entre les différentes méthodes de gestion des interférences. L'efficacité d'une méthode dépend si elle (i) réduit significativement à la fois les interférences co-tier et cross-tier; (ii) est applicable à la fois pour le sens montant et le sens descendant de la transmission; (iii) considère la coordination entre les FBSs et la MBS, ou se base sur une quantité minimale d'informations, telles que, affaiblissement de parcours, localisation géographique, ou l'utilisation du spectre ou sous-bande entre les FBSs voisines et/ou entre les FBSs et la MBS; (iv) traite les interférences inter-canaux (en utilisant l'ordonnancement de fréquence ou toute autre méthode); (v) adopte un mécanisme de contrôle de puissance adaptative; (vi) correspond à un accès du spectre opportuniste par les FBSs basé sur la valeur de RSSI reçue des signaux de la MBS; (vii) réduit les AIs inutiles du mode LDO pour FBS; (viii) est évolutive et robuste, c'est à dire, applicable pour un déploiement de masse de FBSs; et (ix) est applicable aux trois types de modes d'accès (fermé, ouvert, et hybride). Si une technique atteint la majorité (plus de 5) de ces attributs, alors nous considérons l'efficacité d'une telle approche comme élevée. Nous considérons l'efficacité d'une approche comme modérée si elle atteint 3-5 des attributs précités.

Par exemple, l'efficacité de l'approche cognitive est considéré comme modéré étant donné qu'elle est capable de manipuler à la fois les interférences cross-tier et co-tier avec un minimum d'informations (renseignements sur l'utilisation de sous-bandes) échangées entre les FBSs voisines, applicables à tous les modes d'accès de FBSs, et surtout, elle accède au spectre d'une manière opportuniste causant un minimum d'interférence aux MUEs à proximité. La technique d'Ordonnancement collaborative de fréquence est jugée très efficace car elle réduit significativement les interférences cross-tier et co-tier pour le déploiement de masse de FBSs à la fois en UL et DL, traite les problèmes d'interférences inter-canaux, et permet aux FBSs d'accéder de manière opportuniste au spectre en se basant uniquement sur les informations de planification des MUEs qui sont échangées entre les

FBSs et la MBS.

Le complexité de chaque technique augmente avec (i) la quantité d'informations échangée entre les FBSs voisines, (ii) la quantité d'informations échangée entre les FBSs et la MBS, (iii) la formation de groupes parmi les FBSs, (iv) l'algorithme exécuté dans les FBSs et/ou dans la MBS pour permettre aux FBSs d'accéder au spectre de manière opportuniste etc. Plus d'informations échangées entre les FBSs ou entre les FBSs et la MBS, plus l'entête de signalisation est introduite, plus de traitement dans les FBSs et la MBS et plus la complexité d'algorithme augmente. La sélection d'une technique de gestion d'interférence dépend du compromis souhaité entre la complexité et l'efficacité. A cette fin, FFR peut être considérée comme une technique de gestion des interférences prometteuse pour les réseaux HetNets, car elle exige un minimum/pas de coordination entre les FBSs et la MBS (et réduit donc l'entête de signalisation, et donc la complexité du système), accède de façon opportuniste au spectre en se basant uniquement sur la valeur du RSSI des signaux du MBS, et elle résout effectivement. Actuellement, FFR est considéré comme une technique de gestion des interférences très efficace pour le HetNet à base de OFDMA [30].

3.3 Contrôle d'admission dans les réseaux HetNets de type OFDMA

Le but principal de l'algorithme de contrôle d'admission est de contrôler l'admission de nouvelles sessions ou handover, tout en maintenant la charge du réseau dans certaines limites qui ne perturbent pas la qualité de service. d'autres sessions. La fonction principale d'un algorithme efficace pour les réseaux hétérogènes est de décider à un moment particulier s'il y a un réseau qui a les ressources nécessaires pour servir (pour satisfaire aux exigences de la QoS) une nouvelle session. Il y a eu beaucoup de travaux sur le problème de contrôle d'admission pour les réseaux cellulaires sans fil hétérogènes.

Technique	Mode de transmission	Coopération entre les BSs	Mode d'accès	Complexité	Efficacité	Type d'interférence
Femto-aware Spectrum Arrangement	UL	Requise	Fermé	Modéré	Faible	cross-tier
Regroupement des cellules femtos	DL	Requise	Fermé	Modéré	Modérée	co-tier et cross-tier
Ordonnancement collaborative de fréquence	UL et DL	Non requise	Fermé	Modérée	Elevée	cross-tier et entre canaux
Approche de contrôle de puissance	DL	Non requise	Ouvert et fermé	Modérée	Elevée	cross-tier
FFR et Parpartitionnement des ressources	DL	Requise	Ouvert et fermé	Modérée	Modérée	cross-tier
Approche cognitive	DL	Non requise	Ouvert, fermé et hybride	Faible	Elevée	co-tier et cross-tier

Tableau 3.1 – Comparaison qualitative entre les différentes approches de gestion des interférences

Dans [46] ils ont montré comment un algorithme qui a l'intention de satisfaire multiples critères peut bien performer pour le cas d'un trafic intense comme pour le cas d'un faible trafic.

Un paramètre très important est le seuil pour la restauration du débit de données des utilisateurs. Si ce seuil est très faible, la probabilité de blocage serait très bas aussi, donc seulement quelques utilisateurs restaurent leurs QoS, ce qui ne serait pas souhaitable pour de nombreux utilisateurs. Par contre, si le seuil est très élevé, presque chaque utilisateur va restaurer son débit de données, mais la probabilité de blocage serait plus élevé, et qui n'est pas souhaité quant à un opérateur. Ainsi, l'opérateur doit être très prudent lorsqu'il choisit le seuil pour la restauration du débit de données.

Dans l'algorithme d'admission cité dans [47], les décisions de sélection du réseau sont évaluées

en utilisant les informations sur la charge du réseau, qui permettent une évaluation initiale de la capacité résiduelle et la qualité de service attendue pour le type de service demandé. Les résultats ont montré une amélioration de la QoS offerte à l'utilisateur puisque l'algorithme proposé utilise des connaissances des connexions existantes. réseau qui a la plus forte probabilité de fournir le meilleur QoS. Dans [48], en supposant que les exigences de qualité de service sont dynamiques dans un HetNet, un algorithme d'admission a été étudié sur la base de la théorie de fuzzy-logic pour trouver les seuils d'admission optimaux et de garder la probabilité de handover non réussi à un niveau faible.

En outre, le problème de contrôle d'admission dans HetNet a également été étudié dans [49] dans lequel les utilisateurs prioritaires (avec des exigences strictes en terme de QoS) ont été pris en compte avec les utilisateurs réguliers (sans exigence de QoS) et l'algorithme proposé a été développé sur la base d'un problème d'optimisation de l'allocation des ressources.

Les caractéristiques souhaitables d'un algorithme d'admission sophistiqué pour les réseaux HetNet peuvent être décrits comme suit : la fiabilité (ayant une connexion fiable après l'admission), transparence (c'est à dire, l'admission devrait être rapide afin de ne pas avoir dégradation du service ou interruption), et de prévention d'interférence (par exemple, en évitant l'interférence co-canal qui est provoquée par les utilisateurs femto et macro opérants sur le même canal).

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons étudié des approches de gestion des interférences dans les HetNets à base OFDMA, ensuite nous avons fourni une comparaison qualitative entre les différentes approches. Nous avons aussi mis l'accent sur le contrôle d'admission dans les HetNets. Dans ce cadre, nous présentons dans le chapitre suivant notre stratégie proposée pour éviter l'interférence dans le HetNet par contrôle d'admission avancé ainsi que la stratégie de contrôle d'admission classique que nous allons la comparer avec.

Chapitre 4

Approche proposée de gestion des interférences dans HetNet par contrôle d'admission cognitif

4.1 Introduction

Dans un réseau HetNet LTE, les cellules femtos sont déployées conjointement avec les cellules macros. Cette nouvelle couche de cellules peut générer une interférence qui peut affecter les usagers voisins attachés aux cellules macros (MUE), ainsi que les usagers voisins attachés à d'autres cellules femtos (FUE). Ces scénarios d'interférence causent une dégradation de la performance du système.

Dans HetNet avec un déploiement co-canal, les utilisateurs (MUE ou FUE) sont généralement dans la zone de couverture de plus d'une station de base (macro ou femto). Ainsi, ayant un algorithme de contrôle d'admission efficace est un enjeu important.

Ainsi, dans nos travaux de recherche, nous nous intéressons aux algorithmes de contrôle d'admission sur le lien descendant (DL), plus particulièrement quand un utilisateur apparaît dans la zone

de couverture d'une cellule femto. Dans ce cadre, nous proposons une nouvelle stratégie cognitive de contrôle d'admission pour minimiser les interférences dans un HetNet macro-femto à spectre partagé. Dans ce chapitre, nous présentons une étude détaillée des deux techniques de contrôle d'admission : la technique conventionnelle et la technique cognitive proposée, dans les deux cas d'une allocation de puissance fixe ou dynamique au niveau de la FBS.

4.2 Modèle de système

Nous considérons un réseau HetNet LTE composé de deux couches de cellules différentes : les cellules macros de l'extérieur (outdoor) et les cellules femtos de l'intérieur (indoor). Nous supposons également que chaque utilisateur u à partir de l'ensemble des utilisateurs, noté l , est attaché à une cellule femto ou à une cellule macro. Le signal de la liaison descendante reçu par l'utilisateur est affecté par une forte interférence reçue de l'ensemble des cellules voisines, désignées par J_u . En fait, chaque utilisateur $u \in l$ calcule son rapport signal reçu à interférence plus bruit (SINR) au niveau du RB à chaque intervalle de temps de transmission (TTI), en utilisant l'expression suivante [50] :

$$\delta_u = \frac{L_{M,u,i(u)} \times L_{S,u,i(u)} \times P_{i(u)}}{\sum_{j \in J_u} L_{M,u,j} \times L_{S,u,j} \times P_j + \sigma_u}, \quad (4.1)$$

où δ_u est le SINR reçu de l' $u^{\text{ème}}$ usager, $P_{i(u)}$ et P_j sont les puissances d'émission de la cellule de desserte $i(u)$ et la cellule interférente $j \in J_u$, respectivement, $L_{M,u,i(u)}$ et $L_{M,u,j}$ modélisent l'affaiblissement dû à la distance et au gain d'antenne entre l'utilisateur u et sa cellule de desserte $i(u)$ et la cellule interférente $j \in J_u$, respectivement, $L_{S,u,i(u)}$ et $L_{S,u,j}$ modélisent l'effet d'ombrage causé par des obstacles dans le chemin de propagation entre l'utilisateur u et sa cellule de desserte $i(u)$ et la cellule interférente $j \in J_u$, respectivement, et σ_u est la puissance du bruit Gaussien blanc additif reçu par l'utilisateur u . Dans le but de simplifier les notations, nous adoptons les deux expressions suivantes

$$P_{u,i(u)} = L_{M,u,i(u)} \times L_{S,u,i(u)} \times P_{i(u)}, \quad (4.2)$$

et

$$P_{u,j} = L_{M,u,j} \times L_{S,u,j} \times P_j, \quad (4.3)$$

où $P_{u,i(u)}$ et $P_{u,j}$ représentent les puissances reçues de la cellule de desserte $i(u)$ et la cellule voisine interférente $j \in J_u$, respectivement. L'équation (4.1) se réduit alors à :

$$\delta_u = \frac{P_{u,i(u)}}{\sum_{j \in J_u} P_{u,j} + \sigma_u}. \quad (4.4)$$

Faisant usage de (4.4), le SINR est mappé au 'block error rate'(BLER) via les courbes de performance au niveau lien [50, 51]. La valeur de BLER agit comme une probabilité pour calculer ACK/NACKs, qui sont combinés avec la taille de bloc de transport (TB) pour calculer le débit de liaison.

Il est à noter que le développement récent du réseau hétérogène en particulier des réseaux macro-femto est un moyen d'offrir une meilleure qualité de service pour les utilisateurs dans des environnements internes. En adoptant cette approche un MUE peut être soit à l'intérieur ou à l'extérieur, et donc, nous devons considérer la perte de pénétration de l'intérieur à l'extérieur lorsque nous mesurons l'interférence produite par une FBS à un MUE extérieur [52].

L'interférence produite par une FBS à un utilisateur peut être calculée comme suit [53, 54] :

$$I_{F-n_i} = P_F - PL_F, \quad (4.5)$$

où P_F est la puissance de transmission de la FBS par RB et PL_F est l'affaiblissement de propagation de la FBS. Le modèle d'affaiblissement de propagation entre un utilisateur à l'intérieur et une FBS peut être exprimé comme suit :

$$PL_F = 15.3 + 37.6 \log_{10} d_{n_i}, \quad (4.6)$$

où d_{n_i} désigne la distance FBS- n_i en mètres. D'un autre côté, le modèle d'affaiblissement de trajet lorsque l'utilisateur est à l'extérieur de la maison peut être calculée comme

$$PL_F = \max(15.3 + 37.6 \log_{10} d_{n_i}, 37 + 20 \log_{10} d_{n_i}) + qW + L_o, \quad (4.7)$$

où la perte due à un mur W est fixée à 5 dB, L_o est la perte de pénétration extérieure fixée à 10 dB avec une probabilité de 80% et à 2 dB avec une probabilité de 20%, q est le nombre de parois entre la FBS et l'utilisateur externe.

4.3 Contrôle d'admission

Plusieurs travaux de recherche ont été développés afin de remédier au problème d'interférence inhérent au contrôle d'admission des usagers dans un réseau HetNet LTE et différentes approches ont été proposées comme solutions à ce problème. Dans la plupart des algorithmes d'admission, l'allocation du canal pour les nouveaux usagers est basée sur les ressources disponibles et les besoins en QoS [55]. D'autre part, l'interférence dans HetNet est un problème majeur qui peut dégrader la performance du réseau. Dans ce contexte, les techniques de coordination d'interférence ont été couramment présentées comme une solution efficace pour éliminer l'interférence en DL. Le concept de base de la coordination d'interférence consiste à appliquer des restrictions lors de la gestion des ressources temporelles et fréquentielles de manière coordonnée entre les stations de base. Également, plusieurs algorithmes de contrôle de puissance ont été largement développés afin d'optimiser la puissance de transmission des stations de base dans un réseau HetNet, tel que discuté dans [56, 57].

À travers ce travail, nous allons étudier la technique d'admission conventionnelle des usagers en se basant sur les signaux reçus de différentes stations de base. Nous proposons également une

nouvelle technique d'admission basée sur la contrainte d'interférence moyenne au niveau de la FBS. Avec ces deux techniques, nous allons évaluer deux scénarios qui diffèrent au niveau de la stratégie de l'allocation de puissance au niveau de la FBS : une allocation de puissance fixe et une allocation de puissance adaptative.

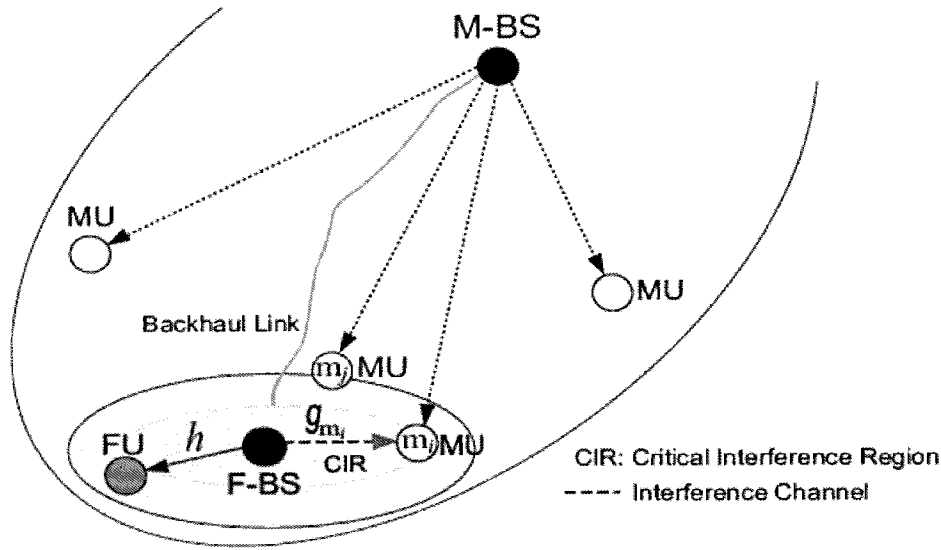


FIGURE 4.1 – Le système HetNet (macro-femto).

Pour ce faire, nous considérons dans la Fig.4.1 un scénario de liaison descendante typique dans un système macro-femto à spectre partagé avec une MBS et un nombre d'utilisateurs macros (MUEs) distribués dans la zone de transmission de la MBS. On considère aussi une FBS et un FUE qui utilise la bande de fréquence déjà allouée au réseau macro. La FBS est connectée à la MBS à travers une ligne dédiée "Digital Subscriber Line" (DSL) utilisée pour l'échange d'information entre les deux systèmes macro et femto. Nous supposons un partage du spectre de façon à ce que l'on puisse donner service au MUEs qui passent près de la FBS. Dans ce contexte, nous examinons les scénarios de contrôle d'admission dans un HetNet quand un nouveau usager apparaît dans la

zone de couverture d'une cellule femto. En particulier, nous étudions deux techniques de contrôle d'admission : la première conventionnelle basée sur la moyenne de l'intensité du signal reçu (ARSS) et la seconde nouvellement proposée, cognitive, basée sur la contrainte d'interférence moyenne (AIC).

4.3.1 Admission basée sur ARSS

Dans la technique d'admission classique basée sur ARSS, l'algorithme de contrôle d'admission compare les puissances des signaux reçus des cellules femtos et de cellule macro associées au nouvel usager et décide par conséquent d'admettre cet utilisateur comme un nouveau FUE ou MUE. L'algorithme d'admission ARSS est illustré dans la Fig. 4.2, où P_{F-n_i} et P_{M-n_i} sont les puissances moyennes reçues au nouvel utilisateur n_i de la FBS et de la MBS, respectivement. En particulier, si $P_{F-n_i} > P_{M-n_i}$, le nouvel utilisateur n_i a un signal reçu plus puissant de la FBS que de la MBS. Par conséquent, n_i est admis par la FBS comme un FUE. À noter que l'impact de l'interférence co-canal n'est pas considéré dans l'algorithme ARSS.

4.3.1.1 Avec une puissance de transmission fixe au niveau de la FBS

Dans le cas de puissance de transmission fixe au niveau de la FBS, peu importe la variation du canal, la même puissance est toujours allouée pour chaque utilisateur. Ainsi la puissance de transmission de la FBS est distribuée équitablement sur tous les RBs.

4.3.1.2 Avec une puissance adaptative au niveau de la FBS

Dans le cas adaptatif, la puissance de transmission de la FBS varie adaptativement selon la variation du canal de transmission. Dans ce qui suit, nous allons expliquer l'approche proposée. On suppose un canal à fading AWGN stationnaire et ergodique. Sachant que la capacité d'un canal

AWGN variant dans le temps est comme suit [58] :

$$C = \int_h B \ln(1 + h)p(h)dh \quad (4.8)$$

où $p(h)$ désigne la loi que suit la variation du canal h et B la bande passante du signal reçu. Supposons que la puissance de transmission $S(h)$ varie avec le canal h tout en respectant une contrainte sur la puissance moyenne S . Ainsi le problème d'optimisation s'écrit :

$$\begin{aligned} C(S) = \max_h \int_h B \ln(1 + \frac{S(h)h}{S})p(h) dh \\ \text{s.t. } \int_h S(h)p(h) dh \leq S \end{aligned} \quad (4.9)$$

Après calcul, il est montrée dans [59] que la puissance adaptative qui maximise (4.9) est donnée par :

$$\frac{S(h)}{S} = \begin{cases} 0 & h < \gamma_0 \\ \frac{1}{\gamma_0} - \frac{1}{h} & \gamma_0 \leq h < \gamma_1 \\ 1 & h \geq \gamma_1 \end{cases} \quad (4.10)$$

La règle d'adaptation de puissance représentée en 4.10 est partitionnée en trois régions en fonction de la variation de h par rapport à deux seuils, à savoir, γ_0 et γ_1 . Comme nous l'avons observé, dans la première région, nous n'utilisons pas le canal pour des valeurs de $h < \gamma_0$. La deuxième région est définie par la gamme $\gamma_0 \leq h < \gamma_1$, où l'allocation de puissance est du type "water-filling". Enfin, une puissance constante égale à S est allouée dans la troisième région. À noter que les seuils γ_0 et γ_1 sont déterminés en intégrant 4.10 dans la contrainte de puissance moyenne du système 4.9

Nous avons choisi d'étudier cette technique et de la simuler avec le simulateur LTE afin de mieux comprendre la technique proposée qui va être présentée dans ce qui suit.

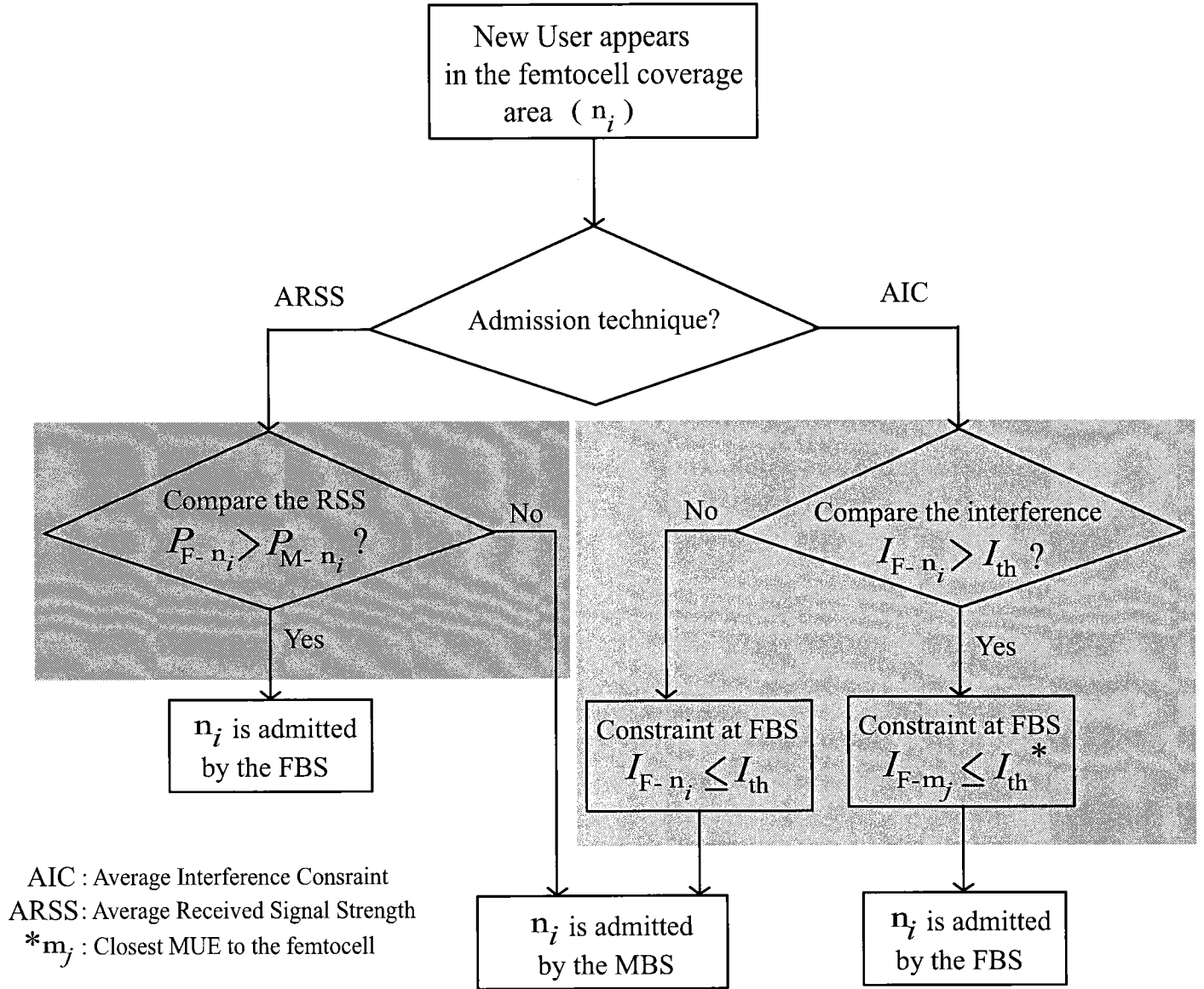


FIGURE 4.2 – Organigramme des algorithmes de contrôle d'admission.

4.3.2 Admission cognitive basée sur AIC

Étant donné que l'analyse théorique de l'algorithme d'admission basé sur ARSS est bien discutée dans la littérature, on s'en tient seulement à la mise en œuvre de l'algorithme basé sur ARSS dans

une simulation au niveau système à des fins de comparaison. D'autre part, il est intéressant de noter que l'algorithme d'admission cognitif basé sur AIC proposé peut garantir la performance maximale possible sur le sous-réseau femto, en évitant toute interférence co-canal supérieure à un certain seuil à la région de transmission femto. À noter que l'étude théorique des effets de l'algorithme proposé sur la performance globale du HetNet (macro-femto) co-canal a été élaborée dans notre équipe. Cependant, dans ce mémoire nous montrons l'effet de notre algorithme d'admission cognitif basé sur AIC sur le débit global du HetNet co-canal (macro-femto) par simulations au niveau système.

4.3.2.1 Avec une puissance de transmission fixe au niveau de la FBS

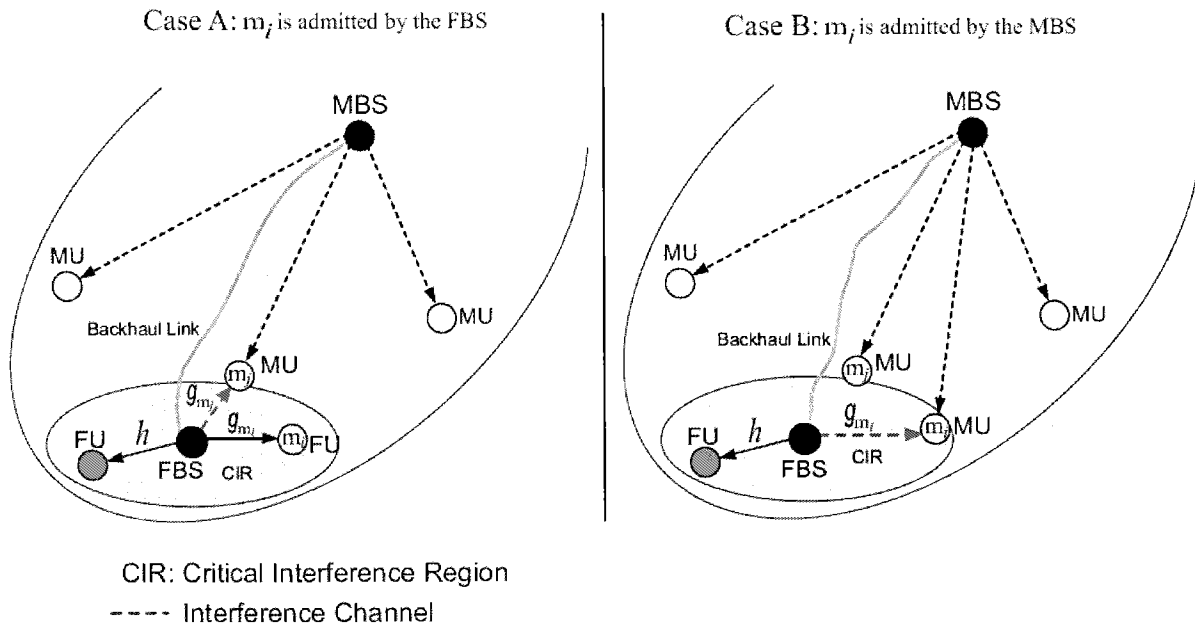


FIGURE 4.3 – Illustration de l'algorithme AIC.

Nous considérons une contrainte sur la puissance moyenne interférente, I_{F-m_i} , résultant de la transmission de la FBS sur le MUE adjacent, m_i . En se basant sur la limite d'interférence maximale tolérable, I_{th} , nous proposons un algorithme d'admission pour la FBS pour servir plus efficacement

les FUEs admis et les MUEs adjacents admissibles tout en veillant à ce qu'aucun brouillage est causé au système macro. Nous examinons tout d'abord une zone dans la région de transmission de la FBS appelée région d'interférence critique (CIR) dans laquelle $I_{F-m_i} > I_{th}$, où m_i est considéré comme le MUE le plus proche de la FBS. En fait, nous permettons l'opération co-canal pour les utilisateurs femtos et macros seulement quand m_i est dans la région externe du CIR afin de ne pas dégrader l'efficacité du spectre partagé entre les systèmes macro et femto. Par exemple, si m_i est à l'intérieur du CIR, c'est à dire que m_i est très proche de la FBS et doit être admis comme un FUE supplémentaire par la FBS. Dans ce cas la contrainte sur la puissance moyenne interférente est considérée pour le prochain MUE le plus proche, par exemple, m_j , qui est en dehors de la CIR tel que $I_{F-m_j} < I_{th}$.

L'algorithme 4.1 décrit la technique d'admission cognitive proposée nommée admission basée AIC.

Algorithme 4.1 : Admission cognitive basée sur AIC d'un nouvel usager m_i

```

1 :  if  $I_{F-m_j} \leq I_{th}$  then
2 :      Case(A) :  $m_i$  is outside the CIR and it is served by the MBS.
3 :      The interference constraint :  $I_{F-m_j} \leq I_{th}$ 
4 :  else
5 :      Case(B) :  $m_i$  is inside the CIR and it must be served by the FBS.
6 :      The interference constraint :  $I_{F-m_j} \leq I_{th}$ 
7 :  end if

```

4.3.2.2 Avec une puissance adaptative au niveau de la FBS

Considérant l'algorithme d'admission cognitif basé sur AIC proposé, nous supposons que la puissance de transmission de la FBS peut changer de manière adaptative en fonction de la variation

du canal de transmission, tout en respectant la contrainte d'interférence au niveau de la transmission de la FBS. À cet égard, nous résolvons l'équation 4.11 pour la maximisation de la capacité du système femto comme dans le cas d'admission basé sur ARSS, sauf que γ_0 et γ_1 sont déterminés à partir de la contrainte d'interférence mentionnée dans l'Algorithme 4.1, $I_{F-n_j} \leq I_{th}$ dans le cas (A) ou $I_{F-m_j} \leq I_{th}$ dans le cas (B), comme suit :

$$C(S) = \max_h \int_h B \ln(1 + \frac{S(h)h}{S}) p(h) dh \quad (4.11)$$

Cas 1 : Tout d'abord, nous commençons par le cas où la moyenne d'interférence reçue au nouvel utilisateur, n_i , est inférieure à la valeur de la contrainte d'interférence, c'est à dire $I_{F-n_i} \leq I_{th}$, donc n_i est admis par la MBS. Dans ce cas on a un seul FUE dans le système femto et par conséquent la moyenne d'interférence reçue au nouvel utilisateur n_i en watts s'écrit :

$$I_{F-n_i} = E_{h,g_{n_i}}[P_f(h)g_{n_i}] = E_h[P_f(h)]E_{g_{n_i}}[g_{n_i}] \quad (4.12)$$

Sachant que $E_{g_{n_i}}[g_{n_i}] = \frac{(H_F H_{n_i})^2}{d_{n_i}^\alpha}$, on peut écrire 4.12 comme suit :

$$I_{F-n_i} = \frac{(H_F H_{n_i})^2}{d_{n_i}^\alpha} E_h[P_f(h)] \quad (4.13)$$

où H_F est la hauteur de l'antenne de la FBS, H_{n_i} est la hauteur de l'utilisateur n_i et α est le coefficient d'atténuation du pathloss.

Ainsi $S(h) = P_f(h)$ dans l'équation 4.11 et la contrainte d'interférence est la suivante :

$$\frac{(H_F H_{n_i})^2}{d_{n_i}^\alpha} E_h[P_f(h)] \leq I_{th} \quad (4.14)$$

Après détermination des constantes γ_0 et γ_1 , on établit la stratégie d'allocation optimale de la puissance de transmission à la FBS sous contrainte de l'interférence moyenne.

Cas 2 : Dans le cas où $I_{F-n_j} > I_{th}$ (Fig. 4.3 - A), n_i est admis par la FBS comme un nouveau FUE. Dans ce cas, les deux FUEs, f et n_i , sont servis par la FBS. Par conséquent, on peut définir la moyenne d'interférence reçue au prochain MUE, m_j , comme suit :

$$I_{F-m_j} = \frac{(H_F H_{m_j})^2}{d_{m_j}^\alpha} E_{h, g_{n_i}} [\xi P_f(h) + \bar{\xi} P_{n_i}(h)] \quad (4.15)$$

où ξ ($\bar{\xi} = 1 - \xi$) désigne le poids attribué à l'utilisateur f avec $\xi \in [0,1]$.

Ainsi $S(h) = \xi P_f(h) + \bar{\xi} P_{n_i}(h)$ est considérée comme le budget total de la puissance à la FBS. Dans ce qui suit, notre objectif est d'étudier le schéma d'allocation optimale de la puissance sous la contrainte d'interférence moyenne. Dans ce cas, l'équation 4.11 devient :

$$C(S) = \max_h \int_h B \ln(1 + \frac{(\xi P_f(h) + \bar{\xi} P_{n_i}(h))h}{S}) p(h) dh \quad (4.16)$$

sous la contrainte

$$\frac{(H_F H_{m_j})^2}{d_{m_j}^\alpha} E_{h, g_{n_i}} [\xi P_f(h) + \bar{\xi} P_{n_i}(h)] \leq I_{th} \quad (4.17)$$

Ainsi, en déterminant les constantes γ_0 et γ_1 dans le système 4.10, on établit la stratégie d'allocation optimale de la puissance de transmission à la FBS sous contrainte de l'interférence moyenne.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué en premier lieu la technique d'admission conventionnelle basée sur ARSS (dans les deux cas de puissance fixe et adaptative au niveau de la FBS), puis nous avons défini la technique d'admission cognitive proposée basée sur AIC (dans les deux cas de puissance fixe et adaptative au niveau de la FBS). Les résultats de simulations sont discutés et analysés dans le chapitre suivant.

Chapitre 5

Évaluation des performances des algorithmes de contrôle d'admission proposés

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de simulation du nouvel algorithme de contrôle d'admission cognitif proposé basé sur AIC en le comparant avec l'algorithme classique basé sur ARSS pour différents scénarios. L'environnement de la simulation et les hypothèses sont présentés dans les deux sections 5.2 et 5.3. L'évaluation des performances des algorithmes de contrôle d'admission est présentée dans la section 5.4. Nous concluons le chapitre à la section 5.5 où nous décrivons le résumé des résultats obtenus.

5.2 Le simulateur HetNet LTE au niveau système

Avant d'introduire la couche de cellules femtos dans leurs réseaux, les opérateurs de réseaux de communication sans fil ont besoin d'étudier l'impact du déploiement de cette nouvelle couche de cellules sur le réseau existant de cellules macros en termes de couverture, capacité, interférence, etc... Le coût élevé d'offrir le matériel nécessaire pour cette évaluation directement dans le réseau a obligé ces opérateurs à développer de nouveaux algorithmes et simulateurs pour évaluer l'impact des cellules femtos sur le réseau avec le moindre coût et un temps de simulation inférieur au temps de déploiement réel. La simulation des cellules femtos se compose de deux niveaux [60] :

- Simulation au niveau lien (LLS) : elle s'intéresse au comportement du lien radio entre un seul transmetteur et un seul récepteur. Le comportement de ce lien est étudié bit par bit.
- Simulation au niveau système (SLS) : ce niveau de simulation étudie le comportement du réseau en tant qu'un ensemble de stations de base (BS), d'équipements d'utilisateur (UE) et d'autres entités assurant le bon fonctionnement du réseau. À ce niveau, on s'intéresse aux problèmes liés à la couche liaison de données (MAC) tels que les problèmes de mobilité, ordonnancement, gestion des ressources radio, etc. . . La simulation SLS permet d'étudier la performance moyenne du système dans un large endroit pour une longue période de temps. Elle permet d'évaluer la performance du réseau en utilisant différents indicateurs tels que l'indicateur clé de performance (KPI), le débit de transmission par utilisateur ou par cellule, le nombre d'appels bloqués, etc.

On s'intéresse dans nos travaux de recherche à la simulation SLS afin d'étudier l'impact des algorithmes de contrôle d'admission sur la performance du réseau HetNet LTE.

5.2.1 Description du simulateur

Bien que le simulateur « Link Level (LL) » s'intéresse à l'étude du comportement du lien radio entre un seul transmetteur et un seul récepteur pour investiguer une technique ou un algorithme,

le simulateur « System Level (SL) » se concentre sur l'impact qu'auront les gains prédits lors des simulations LL sur les performances du réseau. De plus, le simulateur SL s'intéresse aux problèmes liés plus au réseau, tels que l'ordonnancement, la gestion de mobilité et la gestion d'interférence. Ce simulateur SL est développé afin d'étudier les performances du système HetNet LTE, spécifié précédemment.

Le simulateur HetNet LTE SL est capable d'évaluer la performance du canal descendant partagé dans des réseaux HetNet LTE SISO et MIMO en utilisant les techniques de multiplexage spatial en boucle ouverte (OLSM) ainsi que les modes de transmission en diversité. La mise en oeuvre du simulateur LTE SL offre un degré élevé de flexibilité. Son implémentation profite extensivement de la capacité de Matlab d'offrir la programmation orientée objet (OOP), introduite avec la version 2013a.

5.2.2 Structure du simulateur

La simulation de la totalité des liens radios entre l'équipement de l'utilisateur (UE) et une cellule macro ou une cellule femto est une procédure complexe dans une simulation SL en raison de l'énorme quantité de puissance de calcul qui serait nécessaire [61]. Ainsi, dans les simulations SL, la couche physique est modélisée d'une façon abstraite par des modèles simplifiés qui capturent ses caractéristiques essentielles avec une grande précision et en même temps une faible complexité. De même que pour d'autres simulateurs SL, la structure de notre simulateur HetNet LTE SL contient une partie centrale composée de deux modèles : un modèle de mesure du lien [62] et un modèle de performance du lien [63]. La figure 5.1 illustre le schéma fonctionnel du simulateur HetNet LTE SL.

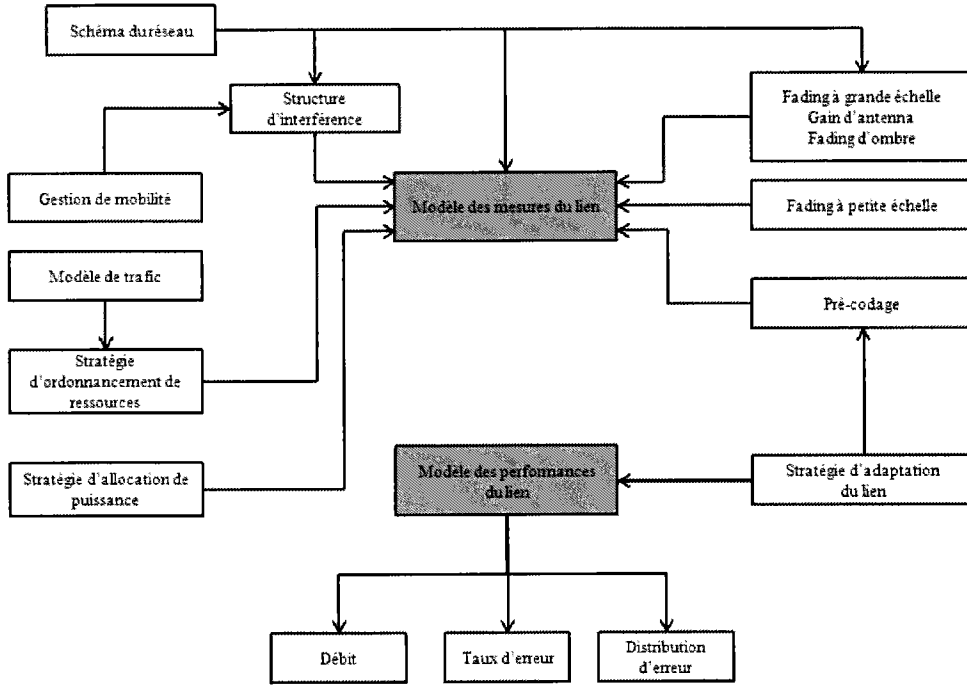


FIGURE 5.1 – Schéma fonctionnel du simulateur HetNet LTE SL.

Le modèle de mesure du lien fait abstraction de la qualité du lien mesurée utilisée pour l'adaptation du lien et l'allocation des ressources. D'autre part, le modèle de performance du lien détermine le BLER du lien à une complexité réduite. La simulation est effectuée en définissant une région d'intérêt (ROI) dans laquelle les eNBs, les HeNBs et les UEs sont positionnés. Les eNBs sont situées aux centres des cellules macros outdoors hexagonales formant une grille couvrant le ROI. Ces cellules se composent de trois secteurs chacune. D'autre part, les HeNBs sont des cellules circulaires indoors, positionnées aléatoirement dans une cellule eNB. Durant le temps de la simulation exprimé en TTIs, les noeuds eNBs et HeNBs restent fixes et ne changent pas de positions. En outre, les UEs sont uniformément distribués par cellule macro au TTI initial. Selon le scénario de simulation, certains usagers seront attachés à des cellules femtos. C'est seulement dans la région ROI où le mouvement des UEs et la transmission du canal descendant partagé (DLSCH) sont simulés. Le

fonctionnement du simulateur suit le pseudo-code ci-dessous.

Algorithm 5.1 : Pseudo-code du simulateur HetNet LTE.

```
Pour chaque TTI faire
  Déplacer UEs
  Si UEs hors ROI alors
    Réaffecter UEs au hasard dans ROI
  Pour chaque eNB/HeNB faire
    Recevoir le feed-back des UEs
    Ordonnancer les UEs
  Pour chaque UE faire
    1 - état du canal – modèle de qualité du lien– SINR
    2 - SINR, MCS– modèle de performance du lien – BLER
    3 - envoyer le feed-back au eNB/HeNB
```

5.2.3 Modèle des mesures du lien

Comme indiqué dans le pseudo-code mentionné dans la section précédente, le SINR a été adopté comme métrique afin de faire abstraction des mesures de la qualité du lien. Le modèle des mesures du lien extrait les mesures qui serviront à l'adaptation du lien et l'allocation des ressources. Ce modèle vise à réduire le temps d'exécution et la complexité des calculs en pré-générant le plus de paramètres nécessaires. Dans ce modèle de mesure, une attention spéciale est accordée à la modélisation des corrélations spatiale et temporelle du canal présentes dans le système cellulaire. De ce fait, le module « modèle des mesures du lien » est divisé en trois parties : le pathloss macroscopique, l'effet d'ombrage (shadow fading) et le modèle du canal.

- **Le pathloss macroscopique** Le pathloss macroscopique entre un secteur d'une station macro/femto et un UE est utilisé pour modéliser conjointement à la fois le pathloss de propagation dû à la distance et le gain d'antenne. Le simulateur HetNet LTE SL implémente une grille du pathloss macroscopique entre toutes les positions du ROI et tous les noeuds du réseau. Le simulateur supporte plusieurs modèles de pathloss macroscopique. Nous avons utilisé dans nos scénarios de simulation les deux modèles suivants : le modèle macro urbain basé sur

le modèle de propagation modifié COST231 Hata adopté par 3GPP dans le développement du réseau LTE version 8 [64]. Le deuxième modèle de pathloss macroscopique est basé sur le modèle de canal ITU-Advanced défini par l'Union International des Télécommunication (UIT) [65]. Il permet de modéliser le pathloss de l'environnement indoor pour les utilisateurs femtos.

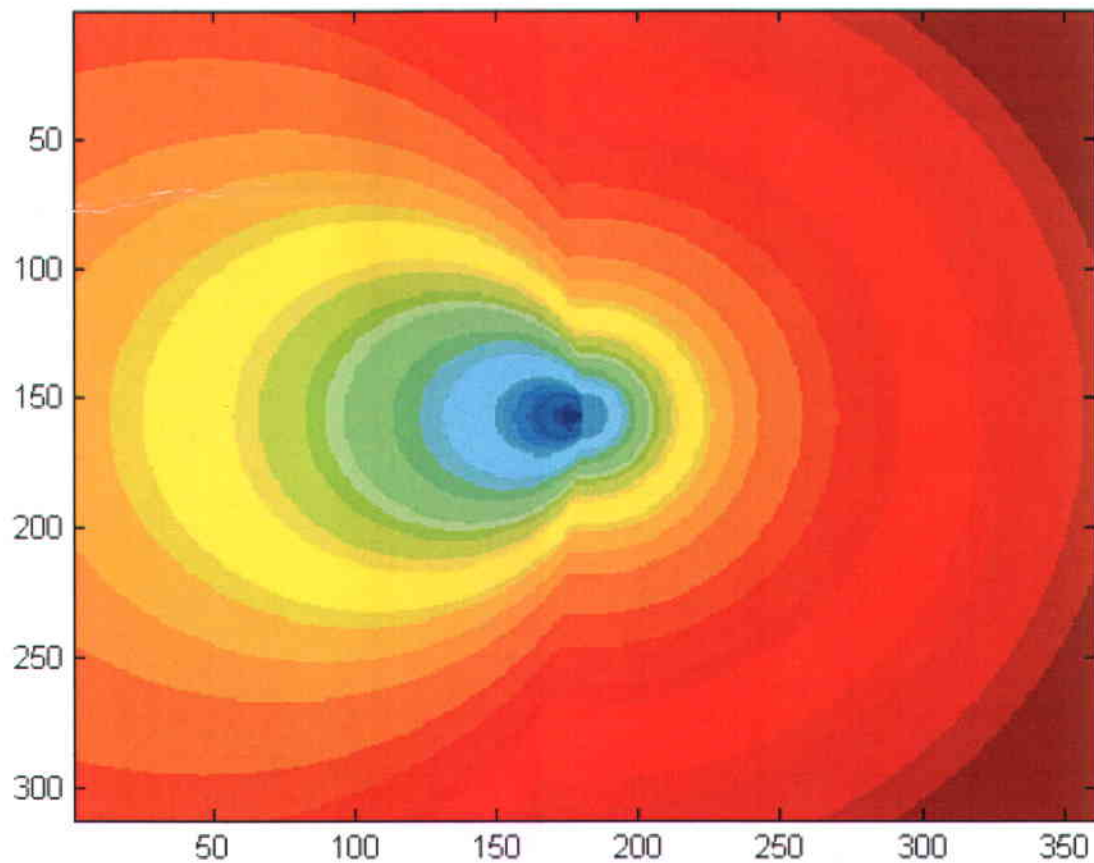


FIGURE 5.2 – Le pathloss macroscopique d'une section d'une cellule macro.

- **L'effet d'ombrage** L'effet d'ombrage, en anglais « shadow fading », est causée par les obstacles qui se positionnent dans le trajet de propagation entre une station (eNB ou HeNB) et

un UE. Il peut être interprété comme étant les irrégularités des caractéristiques géographiques du terrain introduites en respectant le pathloss macroscopique moyen obtenu à partir du modèle de pathloss macroscopique. Il est typiquement approximé par une distribution log-normale de moyenne 0 dB et une déviation standard de 10 dB [66, 67]. Le simulateur HetNet LTE SL utilise une méthode à faible complexité afin d'introduire une corrélation spatiale à travers un processus aléatoire Gaussien bidimensionnel [68], tout en conservant les propriétés statistiques ainsi que la corrélation inter-sites [69].

– **Le modèle du canal**

Comme il a été déjà mentionné, le pathloss macroscopique et l'effet d'ombrage sont des modèles qui dépendent de la position de l'UE et varient dans le temps. Cependant, l'évanouissement à petite échelle est modélisée comme étant un processus dépendant du temps. Pour chaque mode de transmission MIMO, Transmission Diversity (TxD) et Open Loop Spatial Multiplexing (OLSM), un modèle basé sur un récepteur Zero Forcing (ZF) a été développé. Dans cette version du simulateur, les systèmes à deux antennes de transmission ont été conçus. En se basant sur ses modèles, les traces des paramètres décrivant la variation temporelle et fréquentielle du canal peuvent être générées. Le modèle du canal du simulateur vise à calculer un SINR par couche de flux. En effet, dans le système LTE, le terme "couches spatiales" désigne les différents flux générés à travers le multiplexage spatial. Par conséquent, une couche de flux peut être définie comme étant le mappage des symboles avec les ports de l'antenne de transmission. Par la suite, chaque couche de flux est identifiée par un vecteur de pré-codage de taille égale au nombre des ports de l'antenne de transmission [23].

5.2.4 Modèle de performances du lien

Le modèle des performances du lien permet de déterminer le BLER au niveau du récepteur en se basant sur les informations fournies sur l'allocation des ressources et les schémas de codage

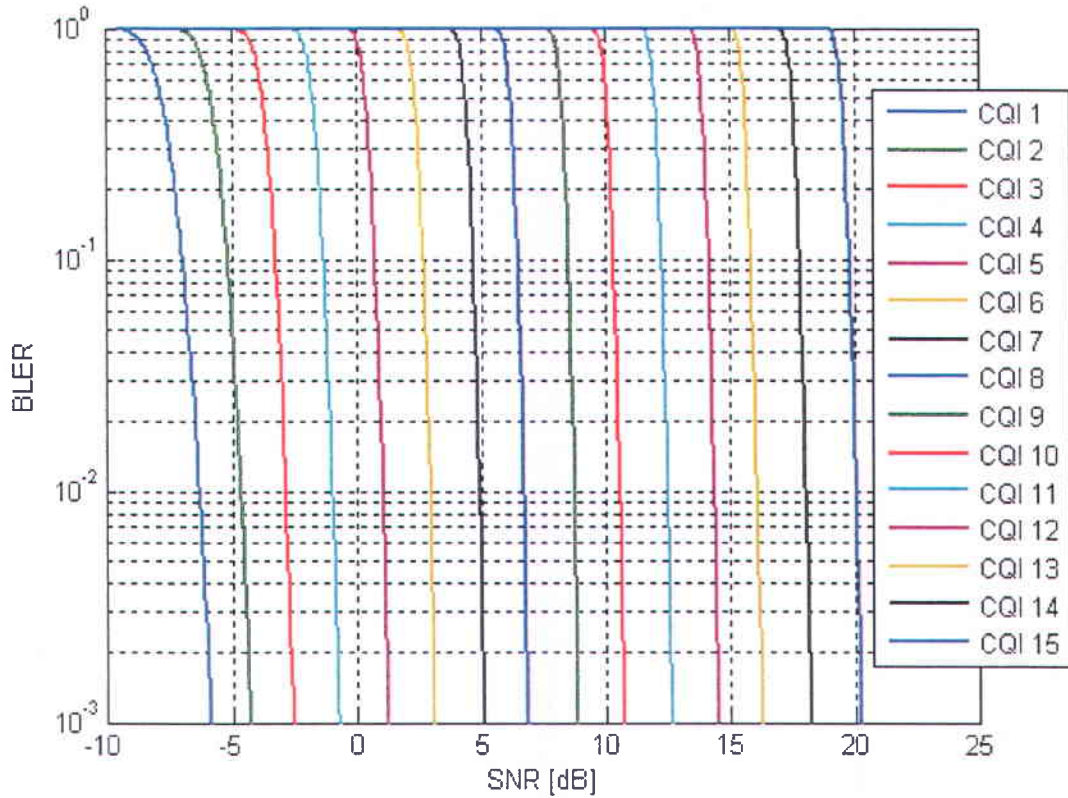


FIGURE 5.3 – Courbes de BLER pour AWGN.

et de modulation (MCS). Pour le système LTE, 15 différents MCS sont définis, traduits par 15 valeurs différentes de l'indicateur de la qualité du canal (CQI). Ces CQIs utilisent un codage avec un taux compris entre 1/13 et 1, combiné avec les modulations 4-QAM, 16-QAM et 64-QAM [70]. Afin d'évaluer le BLER des blocs de transport reçus (TB), le simulateur exploite les courbes de performances sur un canal AWGN au niveau LL. Ensuite, il effectue un mappage SINR-BLER en utilisant une valeur effective du SINR, notée γ_{eff} . Cette valeur est obtenue à travers le mappage de l'ensemble des SINRs des sous-porteuses allouées aux TB de l'UE et l'ensemble des SINRs équivalents pour un canal AWGN. La figure 5.3 représente les courbes de BLER pour un canal AWGN en mode de transmission SISO. Le mappage exponentiel et effectif du ratio signal sur interférence et bruit (EESM) [71, 72] est la méthode utilisée par le simulateur pour obtenir le SINR

effectif pour un TB donné. Cette valeur γ_{eff} peut être utilisée pour assurer le mappage avec le BLER obtenu à partir des simulations LL du AWGN. La valeur de γ_{eff} est obtenue en effectuant la moyenne non linéaire suivante pour les SINRs des différents RBs :

$$\gamma_{eff} = EESM(\gamma_i, \beta) = -\beta \cdot \ln \left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N e^{-\frac{SINR_i}{\beta}} \right) \quad (5.1)$$

où N est le nombre total des RBs à moyenner et le paramètre β est calibré à travers les simulations LL afin d'adapter la fonction de compression aux BLERs résultant du canal AWGN [73]. Il est possible de ne pas considérer dans le calcul tous les TBs des sous-porteuses, et plutôt en considérer seulement un sous-ensemble aussi longtemps que l'espacement fréquentiel entre deux valeurs SINRs n'excède pas la moitié de la bande de cohérence de la bande passante [73]. Par conséquent, le simulateur HetNet LTE SL réduit la quantité de mémoire requise pour la sauvegarde des traces du canal durant la simulation en n'utilisant que deux SINRs par TB dans le calcul de γ_{eff} . En utilisant les courbes de BLER du AWGN, la valeur de γ_{eff} est mappée au BLER. Ensuite, il est décidé par l'intermédiaire d'un tirage au sort si le TB reçu a été correctement reçu et un rapport d'acquiescement sera alors généré. Relativement au modèle des mesures de performances, le rapport de feedback CQI envoyé par l'UE permet au eNB/HeNB d'avoir une figure de mérite de l'état du canal de l'UE correspondant. La stratégie de feedback CQI effectue le mappage SINR-CQI gardant les points correspondant au 10% des courbes BLER. La figure suivante illustre la fonction de mappage SINR-CQI :

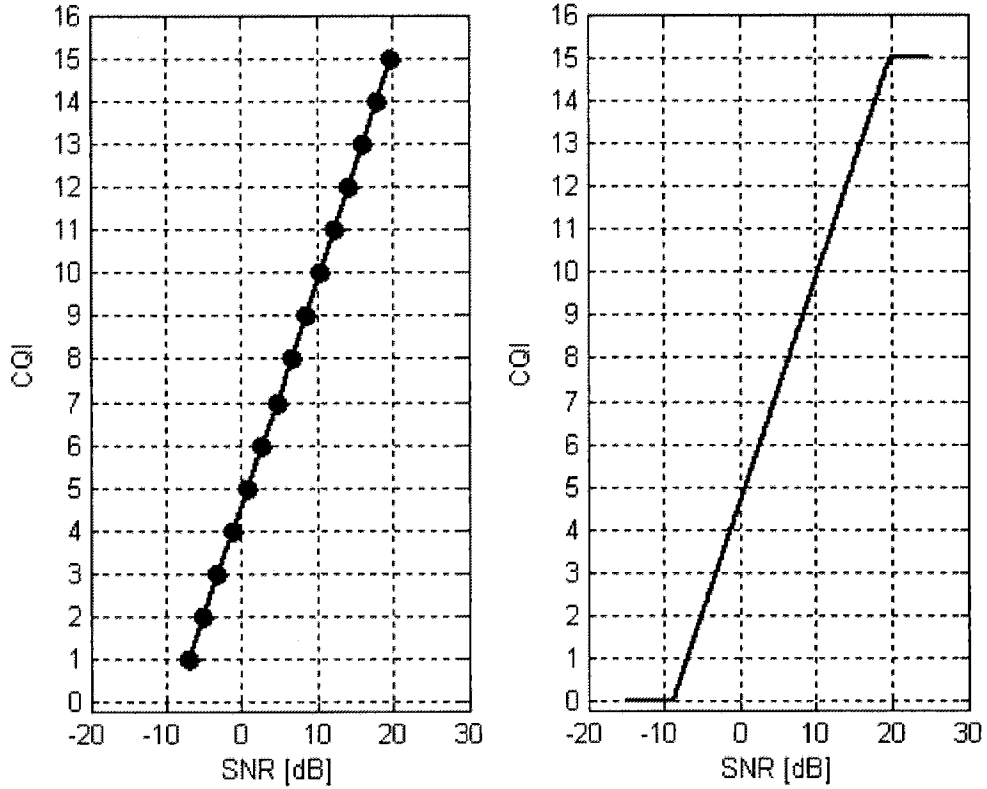


FIGURE 5.4 – Mappage SINR-CQI.

Les parties entières des CQIs obtenues correspondent alors aux valeurs des CQIs qui seront rapportés au eNB/HeNB.

5.3 Paramètres de simulation

Afin d'évaluer l'efficacité de l'algorithme d'admission cognitif basé sur AIC proposé et son impact sur les performances du réseau, nous avons utilisé un simulateur réseau LTE de niveau système. Ce simulateur génère une région d'intérêt (ROI) composée de 7 cellules macros hexagonales. Selon le scénario de simulation, il remplit de façon aléatoire ce ROI par des sites femtos jusqu'à un nombre

Paramètres	Cellule macro	Cellule femto
Fréquence du système	2 GHz	
Bande de fréquence	5 MHz (partagée)	
Schéma de cellule	Grille hexagonale de 7 cellules, 3 secteurs par cellule	Cellule circulaire, 1 secteur par cellule
Taille de la cellule	250 m	20 m / variable avec la technique d'admission
Modèle de gain d'antenne	TS 36.942	Omnidirectionnelle
Gain d'antenne Max	15 dBi	0 dBi
Puissance de transmission maximale	43 dBm	20 dBm
Facteur de bruit du récepteur	9 dB	9 dB
Niveau du bruit thermique	-174 dBm/Hz	-174 dBm/Hz
Modèle de Pathloss	Cost 231 urban macro	Indoor Hotspot
Vitesse d'UE	30 Km/h	3 Km/h
Ordonnanceur	Proportional Fair	
Temps de simulation en TTIs	1000	

Tableau 5.1 – Paramètres de simulation

requis en moyenne de sites femtos par cellule macro. Les utilisateurs sont déployés de façon aléatoire à l'intérieur de chaque secteur macro. Cependant, au cours de la simulation, chaque utilisateur peut demander un transfert, le cas échéant, à la cellule offrant la meilleure couverture. Les paramètres de simulation sont résumés dans le Tableau 5.1.

On résume aussi dans le Tableau 5.2 les paramètres utilisés dans la simulation des différentes techniques d'admission.

Technique d'admission		Paramètres
ARSS	Puissance de transmission fixe	$P_F = 15dBm$
	Puissance de transmission adaptative	$P_{Avg} = 17dBm$
Cognitive AIC	Puissance de transmission fixe	$I_{th} = -60dBm$
	Puissance de transmission adaptative	$I_{th} = -60dBm$

Tableau 5.2 – Paramètres utilisés pour différents algorithmes de contrôle d'admission

5.4 Performances globales du réseau

Comme étude de performances, nous mesurons le gain de débit total du réseau réalisé à l'aide de l'algorithme d'admission cognitif basé sur AIC comparé à l'algorithme d'admission classique basé sur ARSS dans les deux de puissance de transmission fixe et adaptative. En ce qui concerne la répartition des utilisateurs (MUEs et FUEs), nous adoptons deux scénarios :

- Les utilisateurs sont déployés de façon aléatoire à l'intérieur de chaque secteur de la cellule macro.
- Une zone peuplée autour de chaque FBS est considérée comme un Hotspot avec 30m de rayon. Donc, une proportion d'utilisateurs (MUEs et FUEs) de chaque cellule macro est répartie à l'intérieur de ces Hotspots et les utilisateurs restants sont distribués uniformément dans la zone de transmission de la cellule macro. Cette proportion est mesurée de telle sorte que le nombre d'utilisateurs à l'intérieur de chaque Hotspot ne dépasse pas 20. Il est à noter que cette valeur est déterminée expérimentalement avec le simulateur au niveau système.

Dans la Fig.5.5 nous évaluons l'impact de la sélection de la valeur de seuil I_{th} dans un scenario de 10 cellules femtos et une distribution uniforme des utilisateurs. Ensuite, nous traçons le gain en débit de réseau avec une admission cognitive basée sur AIC fixe par rapport à l'admission basée sur ARSS fixe, pour différents nombre d'utilisateurs. Nous avons constaté que le gain en débit augmente avec le nombre d'utilisateurs et la pente de la courbe est plus importante lorsque le nombre d'utilisateurs augmente de 30 à 50 que de 50 à 70 . Il peut être expliqué par le fait que certaines cellules femtos deviennent encombrées et par conséquent, elles ne peuvent plus servir autant d'utilisateurs que dans le cas d'un moindre encombrement. Avec la diminution de I_{th} de -40 dBm à -60 dBm, nous obtenons plus de gain en débit. Par contre avec -70 dBm, le débit diminue. En fait, diminuer la valeur de seuil d'interférence permet à plus de MUEs d'être servis par des cellules femtos, et par conséquent, cela augmente le débit du réseau jusqu'à une valeur critique après laquelle le débit diminue. Ces résultats suggèrent que le choix de la valeur optimale du seuil

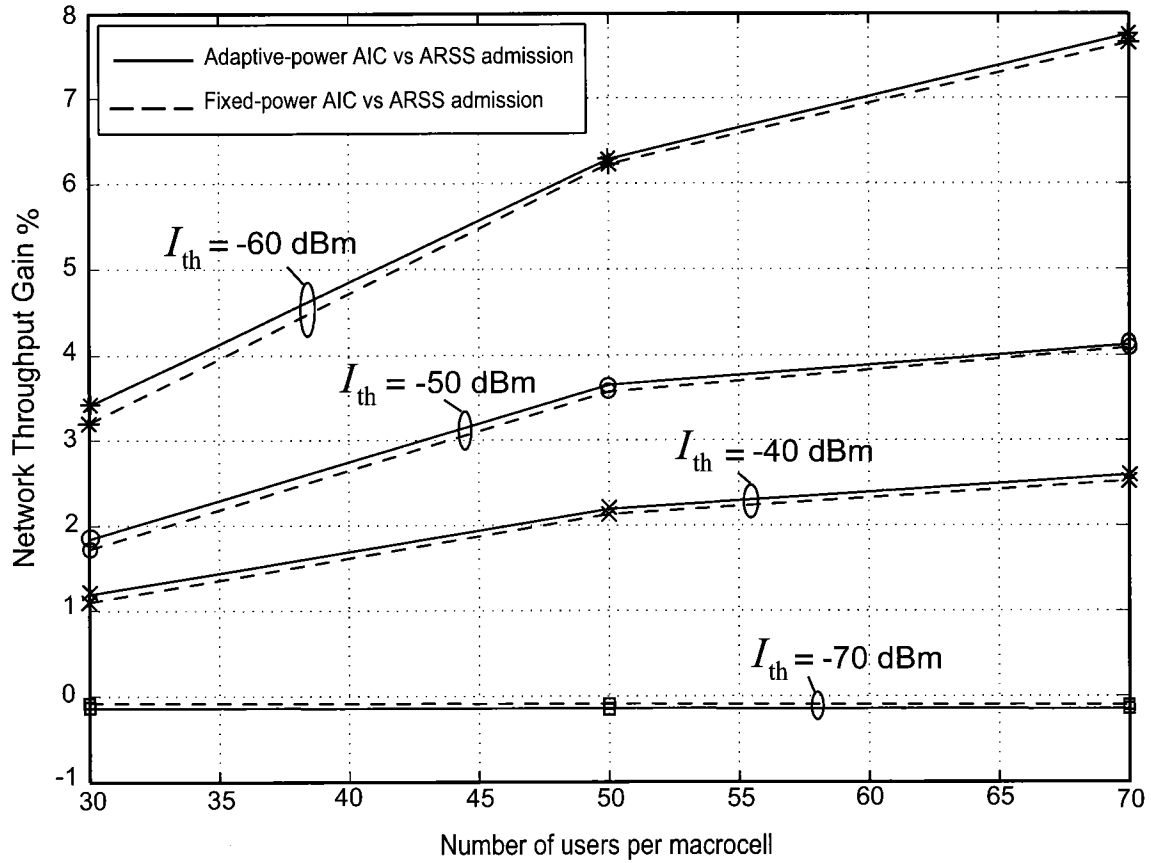


FIGURE 5.5 – Gain en débit total pour différents scénarios d'admission (10 FBSs par cellule macro, $P_F = 16$ dBm et $P_{avg} = 17$ dBm)

d'interférence est une étape cruciale pour la technique proposée d'admission basée sur AIC.

La figure 5.6 illustre le débit total du système pour différentes techniques. Il est montré que le débit augmente avec l'augmentation du nombre de FBSs. On voit aussi qu'en utilisant l'algorithme d'admission cognitif basé sur AIC, le débit total est plus important comparant.

Dans la Fig.5.7, une fois la valeur du seuil est fixée, nous traçons les courbes de gain en débit total du réseau pour différents nombres d'utilisateurs par cellule macro. On considère deux cas : avec une puissance de transmission fixe et avec une puissance de transmission adaptative au niveau de la FBS. Comme on l'observe, ce gain atteint 9% si on considère 5 femtos et 70 utilisateurs par

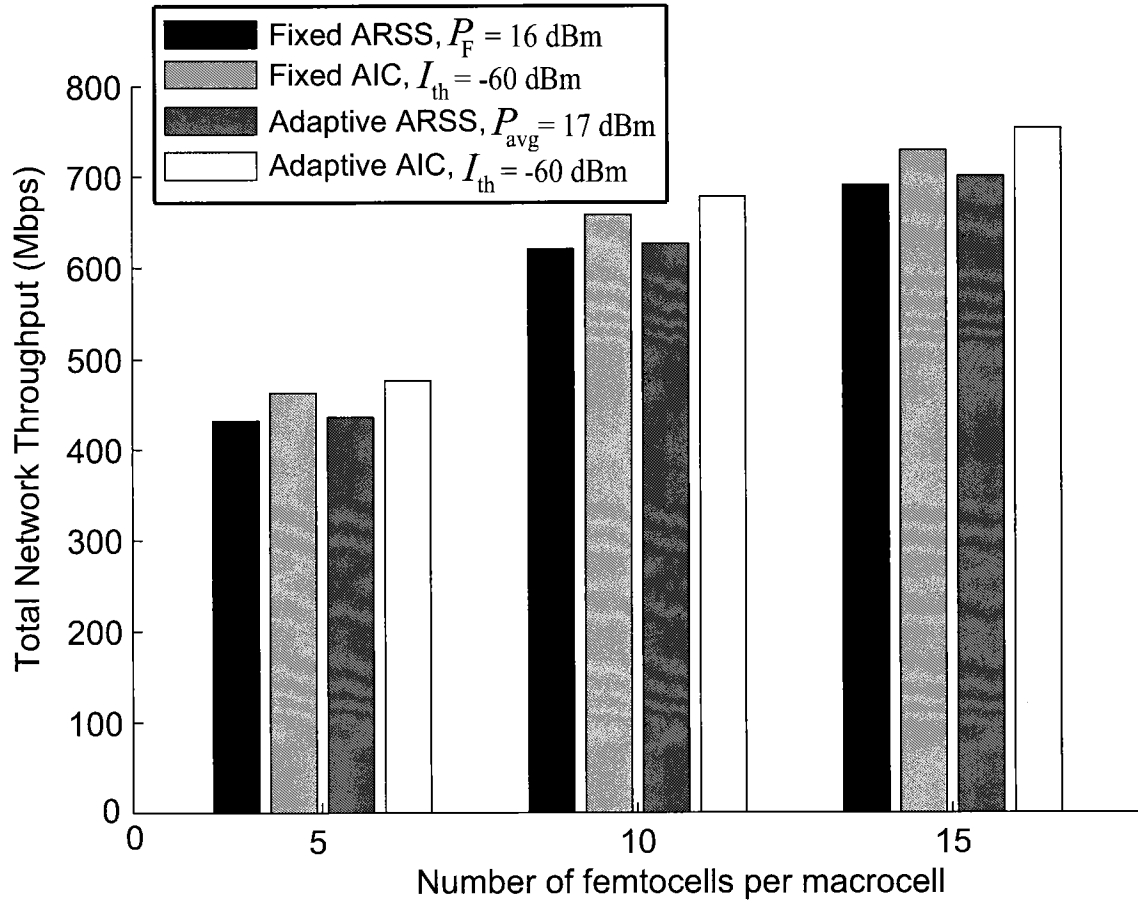


FIGURE 5.6 – Le débit total du réseau en fonction du nombre de FBSs et pour différents scénarios d'admission (50 utilisateurs par cellule macro)

cellule macro en utilisant une puissance de transmission fixe au niveau de la FBS. Il est montré que le gain en débit du réseau avec une puissance de transmission adaptative est légèrement supérieur par rapport au cas fixe. Les courbes montrent également que le gain en terme de débit du réseau augmente tant que la cellule macro est peuplée. Cela prouve que l'algorithme proposé d'admission cognitive basée sur AIC est plus efficace quand la cellule macro est déjà chargée. En outre, pour un nombre donné d'utilisateurs par cellule macro, nous remarquons que la variation du nombre de cellules femtos et le gain de débit sont inversement proportionnels. Cela signifie qu'en augmentant

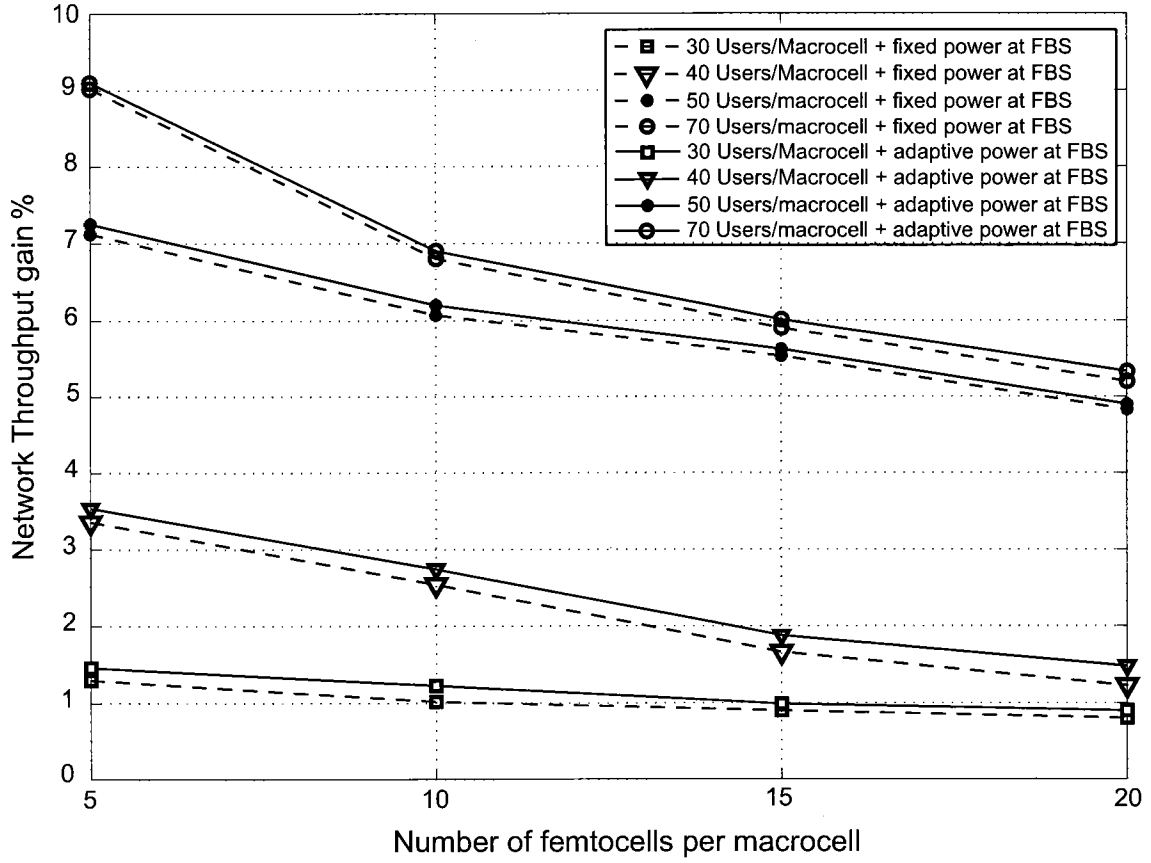


FIGURE 5.7 – Gain en débit total en fonction du nombre des FBSs et nombre des utilisateurs par cellule macro ($P_F = 16dBm$, $I_{th} = -60$ dBm et $P_{avg} = 17dBm$)

le nombre de cellules femtos, la cellule macro devient moins encombrée et par conséquent, il y a moins de MUEs qui changent de cellule pour devenir des FUEs.

Dans la Fig. 5.8, si l'on considère une distribution non uniforme des utilisateurs, le gain de débit total peut atteindre 13% avec 5 FBS et 100 utilisateurs par cellule macro en utilisant l'adaptation de la puissance au niveau de la FBS, comparé à 10% lorsque tous les utilisateurs sont déployés de manière uniforme à l'intérieur de la zone de transmission de la cellule macro.

D'un autre côté, si on fixe le nombre de FBSs/MBS à 10, et pour une haute densité d'utilisateurs (100 ou 70 UEs/MBS), nous constatons une performance importante de l'admission cognitive basée

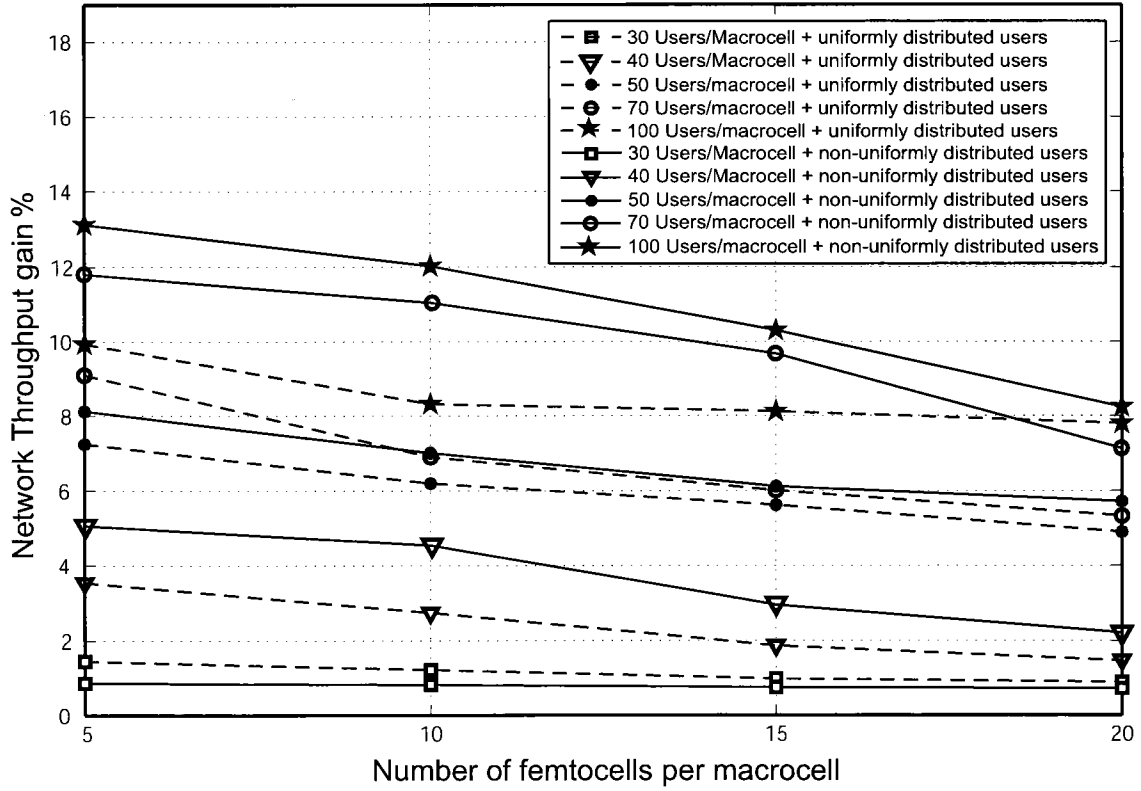


FIGURE 5.8 – Gain de débit total en termes de nombre des FBSs et nombre des utilisateurs par cellule macro ($I_{th} = -60$ dBm)

sur AIC en termes de débit total du réseau par rapport à l'admission basé sur ARSS, un peu moins dans le cas de 40 et 50 UEs/MBS. Tandis que dans le cas de 30 UEs/MBS, les deux algorithmes ont presque la même performance. Ceci s'explique comme dans le cas de la distribution uniforme par le fait que lorsque la MBS est chargée (70 ou 100 par MBS), l'AIC est plus efficace, mais encore plus dans le cas de la distribution non uniforme puisque plus d'utilisateurs vont être servis par la FBS vu que l'interférence produite par la FBS sur ces usagers est assez importante, en outre l'allocation adaptative de la puissance au niveau de la FBS permet toujours d'augmenter les performances du réseau même si la puissance de la FBS est considérée faible comparée à celle de la MBS.

D'après ce qui précède, nous pouvons confirmer que l'admission cognitive basée sur AIC est performante, surtout lorsque HetNet est plus chargé.

5.5 Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons présenté en premier lieu l'environnement de simulations. Ensuite, nous avons présenté les résultats de simulations de l'algorithme d'admission cognitif basé sur AIC ainsi que l'algorithme d'admission basé sur ARSS. Enfin, nous avons montré que le nouvel algorithme cognitif d'admission basé sur AIC proposé est plus performant dans un réseau HetNet en présence de plus grandes densités d'utilisateurs et de Hotspot.

Chapitre 6

Conclusion générale

L'évolution de la quatrième génération (4G) des systèmes de communication tels que LTE-Advanced vise à améliorer la couverture cellulaire et la capacité du réseau. Dans ce contexte, la structure hiérarchique des cellules avec des stations de base macros coexistantes avec des stations de base de faible puissance et de faible portée (correspondant aux cellules femtos) dans une zone de service, est considérée comme une solution efficace pour améliorer l'efficacité spectrale du réseau.

Un tel déploiement hiérarchique de cellules, qui est considéré comme un réseau hétérogène (Het-Net), apporte une amélioration significative à la couverture des utilisateurs dans des environnements internes et au bord de la cellule et assure une meilleure qualité de service (QoS) aux utilisateurs. Toutefois, l'atténuation d'interférence et le contrôle d'admission entre les différentes couches sont les principales questions qui doivent être résolues pour un déploiement réussi de HetNet.

Dans ce mémoire, nous avons étudié les performances en termes de débit de notre algorithme de contrôle d'admission sur la base de la limite maximale d'interférence tolérable reçue aux utilisateurs macros voisins dans les deux cas de puissance de transmission fixe et adaptative au niveau de la station de base femto. Nous les avons aussi comparées avec les performances de l'algorithme d'admission classique basée sur la moyenne de la puissance du signal reçu. À cet égard, nous avons proposé un nouvel algorithme d'admission qui impose une contrainte sur l'interférence moyenne

générée sur les MUEs voisins, et qui permet de prévenir l'interférence cross-tier en DL avec un degré minimal de complexité sans le moindre besoin de coordination entre les systèmes macro et femto.

Enfin, des résultats de simulations numériques et des comparaisons ont été fournis pour illustrer les gains en performances de l'algorithme proposé dans les réseaux HetNet. En effet, en utilisant l'algorithme d'admission proposé dans un Hetnet macro-femto avec un déploiement co-canal, les nouveaux utilisateurs peuvent être servis par le sous-réseau femto sans causer une interférence nuisible au réseau macro. Les résultats révèlent également l'existence d'un seuil optimal du niveau d'interférence admissible que peuvent générer les stations de base femtos sur les usagers macros voisins. Nos simulations ont pu le situer dans la configuration considérée à un niveau optimal proche de -60 dBm. En outre, en comparant le débit du réseau de l'algorithme d'admission proposé avec la technique d'admission classique en utilisant la puissance du signal reçu, on a observé que le gain en termes du débit du réseau augmente quand la cellule macro devient plus encombrée où les gains en débit total peuvent atteindre jusqu'à 13 % avec une distribution d'utilisateurs moins uniforme et plus condensée autour des cellules femtos. Cela confirme que l'algorithme proposé est plus efficace quand un HetNet est déjà chargé.

La stratégie proposée de contrôle d'admission cognitive basée sur AIC peut être améliorée dans des futurs travaux afin d'inclure par exemple des contraintes en termes de QoS au niveau de la cellule femto.

Bibliographie

- [1] J. Andrews, H. Claussen, M. Dohler, S. Rangan, and M. Reed, “Femtocells : past, present, and future,” *IEEE Trans. Selected Areas in Communications*, vol. 30, no. 3, pp. 497–508, 2012.
- [2] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, “Femtocell networks : A survey,” *IEEE Comm. Magazine*, vol. 46, no. 9, pp. 59–67, Sep. 2008.
- [3] D. Lopez-Perez, I. Guvenc, G. de la Roche, M. Kountouris, T.Q.S. Quek, and J. Zhang, “Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks,” *IEEE Comm. Magazine*, vol. 18, no. 3, pp. 22–30, Jun. 2011.
- [4] 3GPP TR 25.967 (Release 10), “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ; Home Node B (HNB) Radio Frequency,” pp. 1–56, 2011, version 10.0.0.
- [5] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, T. Muharemovic, Z. Shen, and A. Gatherer, “Power control in two-tier femtocell networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 8, pp. 4316–4328, Aug. 2009.
- [6] “Interference management in UMTS femtocells,” Femto Forum, pp. 1–151, Dec. 2008.
- [7] L. Ho and H. Claussen, “Effects of user-deployed, co-channel femtocells on the call drop probability in a residential scenario,” in *Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Sep. 2007.
- [8] P. Xia, V. Chandrasekhar, and J. G. Andrews, “Open vs. closed access femtocells in the uplink,” *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 9, no. 12, pp. 3798 – 3809, Dec. 2010.

- [9] R4-071231, "Open and closed access for home nodeBs," Nortel, Vodafone.
- [10] D. Calin, H. Claussen, and H. Uzunalioglu, "On femto deployment architectures and macrocell offloading benefits in joint macro-femto deployments," *IEEE Comm. Magazine*, vol. 48, no. 1, pp. 26–32, Jan. 2010.
- [11] H. A. Mahmoud and I. Guvenç, "A comparative study of different deployment modes for femtocell networks," in *Proc., IEEE 20th Inter. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun.*, Tokyo, Japan, Sep. 2009, pp. 1-5.
- [12] Y. Bai, J. Zhou, L. Liu, L. Chen and H. Otsuka, "Resource coordination and interference mitigation between macrocell and femtocell," in *Proc., IEEE 20th Inter. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun.*, Tokyo, Japan, Sep. 2009, pp. 1401–1405.
- [13] ITU Telecommunications Indicators Update-2014. Available at : <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>
- [14] Cisco, "Cisco Visual Networking Index : Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018," *Technical Report, Cisco systems Inc.*, San Jose CA, White Paper, Feb. 2014.
- [15] L. Lindbom, R. Love, S. Krishnamurthy, C. Yao, N. Miki, and V. Chandrasekhar, "Enhanced Inter-cell Interference Coordination for Heterogeneous Networks in LTE-Advanced : A Survey". Available at : <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1112/1112.1344.pdf>
- [16] 3GPP : TS 36.300 V9.2.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Techn. Ber.; Dec. 2009.
- [17] 3GPP : TS 23.401 V10.3.0 *Technical Specification Group Services and System Aspects*; Techn. Ber.; Mar. 2011.
- [18] 3GPP : TS 23.401 V8.16.0 *General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access* (Release 8); Techn. Ber.; Mar. 2012.

- [19] 3GPP : TS 36.300 V8.12.0 *Technical Specification Group Radio Access Network* ; Techn. Ber. ; Mar. 2010.
- [20] 3GPP : TS 36.401 V8.8.0 *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) ; Architecture description* (Release 8) ; Techn. Ber. ; Jun. 2010.
- [21] R. Bendlin, V. chandrasekhar, R. Chen, A. Ekpenyong, and E. Onggosanusi, "From Homogeneous to Heterogeneous Networks : A 3GPP Long Term Evolution Rel. 8/9 Case Study," *in Proc., Information Sciences and Systems*, Mar. 2011.
- [22] A. Ghosh, J. Zhang, J. G. Andrews, and R. Muhamed, "Fundamentals of LTE," *1st edition, Communications Engineering and Emerging Technologies Series*, Prentice Hall, 2010.
- [23] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, "LTE - The UMTS Long Term Evolution : From Theory to Practice," *2nd edition, John Wiley & Sons, Ltd.*, 2011.
- [24] 3GPP Technical Specification 36.913 : "Requirements for Further Advancement for E-UTRA," v8.0.1, Mar. 2009. Available at : <http://www.3gpp.org>
- [25] J.G. Andrews, "Interference cancellation for cellular systems : A contemporary overview," *IEEE Wireless Communications*, vol. 2, no. 3, pp. 19-29, Apr. 2005.
- [26] Qualcomm Document Cente, "LTE Advanced : Heterogeneous Networks," Jan 27, 2011. Available at : <http://www.qualcomm.com/documents/lte-advancedheterogeneous-networks-0>.
- [27] Presentations by ABI Research, Picochip, Airvana, IP.access, Gartner, Telefonica Espana, *2nd International Conference on Home Access Points and Femtocells*. Available at : <http://www.avrenevents.com/dallasfemto2007/purchasepresentations.htm>.
- [28] J. Cullen, "Radioframe Presentation," in *Femtocell Europe*, London, UK, Jun. 2008.
- [29] D. Chambers, "Femtocell History". Available at : <http://www.thinkfemtocell.com/FAQs/femtocell-history.html>.
- [30] Femto Forum, available at : <http://www.femtoforum.org/femto>.

- [31] 3GPP Technical Report 23.830 : “Architecture Aspects of Home NodeB and Home eNodeB,” v9.0.0, Sept. 2009. Available at : <http://www.3gpp.org>
- [32] A. Golaup, M. Mustapha, and L. B. Patanapongipibul, “Femtocell access control strategy in UMTS and LTE,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 9, pp. 117-123, Sept. 2009.
- [33] 3GPP release 8, available at : <http://www.3gpp.org/Release-8>.
- [34] M. Ouellette, Kuiwen Ji, and al. “Using IEEE 1588 and boundary clocks for clock synchronization in telecom networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 2, pp. 164-171, Fev. 2011.
- [35] M. Fiac : Using NTP for network synchronisation femtocells of of 3G femtocells ; Oct. 2008.
- [36] Y. J. Sang, H. G. Hwang, and K. S. Kim, “A self-organized femtocell for IEEE 802.16e system,” *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, pp. 1-5, Nov. 30 Dec. 4 2009.
- [37] W. Yi, Z. Dongmei, J. Hai, and W. Ye, “A novel spectrum arrangement scheme for femtocell deployment in LTE macrocells,” in *Proc. IEEE 20th Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 6-11, 13-16 Sept. 2009.
- [38] H. Li, X. Xu, D. Hu, X. Qu, X. Tao, and P. Zhang, “Graph method based clustering strategy for femtocell interference management and spectrum efficiency improvement,” in *Proc. IEEE 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, pp. 1-5, 23-25 Sept. 2010.
- [39] H. Widiarti, S. Pyun, and D. Cho, “Interference mitigation based on femtocells grouping in low duty operation,” in *Proc., IEEE 72nd Vehicular Technology Conference Fall (VTC’10-Fall)*, pp. 1-5, 6-9 Sept. 2010.
- [40] M. E. Sahin, I. Guvenc, Moo-Ryong Jeong, H. Arslan, “Handling CCI and ICI in OFDMA femtocell networks through frequency scheduling,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 55, no. 4, pp. 1936-1944, Nov. 2009.

- [41] 3GPP R1-105238, "Further Discussion on HeNB Downlink Power Setting in Het- Net," *3GPP RAN1 Meeting*, Xian, China, Oct. 2010.
- [42] T. Kim and T. Lee, "Throughput enhancement of macro and femto networks by frequency reuse and pilot sensing," in *Proc., IEEE International Performance, Computing and Communications Conference (IPCCC)*, pp. 390-394, Dec. 2008.
- [43] L. Poongup, L. Taeyoung, J. Jangkeun, and S. Jitae, "Interference management in LTE femtocell systems using fractional frequency reuse," in *Proc., 12th International Conference on Advanced Communication Technology*, vol. 2, pp. 1047-1051, 7-10 Feb. 2010
- [44] R. Juang, P. Ting, H. Lin, and D. Lin, "Interference management of femtocell in macro-cellular networks," in *Proc., Wireless Telecommunications Symposium (WTS'10)*, pp. 1-4, 21-23 April, 2010.
- [45] L. Zhang, L. Yang, and T. Yang, "Cognitive interference management for LTE-A femtocells with distributed carrier selection," in *Proc., IEEE 72nd Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall)*, pp. 1-5, 6-9 Sept. 2010.
- [46] E.Z. Tragos, G. Tsiropoulos, G.T. Karetsos and S.A. Kyriazakos, "Admission control for QoS support in heterogeneous 4G wireless networks," *IEEE Network*, vol. 22, no. 3, pp. 30-37, May. 2008.
- [47] K. Murray and D. Pesch, "Intelligent network access and inter-system handover control in heterogeneous wireless networks for smart space environments," in *Proc., IEEE Int. Symposium on Wireless Commu. Systems*, Mauritius, pp. 66-70 Sep. 2004
- [48] S. Sha and R. Halliwell, "Performance modelling and analysis of dynamic class-based call admission control algorithm using fuzzy logic for heterogeneous wireless networks" in *Proc., IEEE Int. Conf. Trust, Security and Privacy in Computing and Communications ('TrustCom')*, pp. 1795-1800, China, Nov. 2011.

- [49] S. Bashar and D. Zhi, "Admission control and resource allocation in a heterogeneous OFDMA wireless network," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 8, pp. 4200–4210, Aug. 2009.
- [50] J.C. Ikuno, M. Wrulich and M. Rupp, "System level simulation of LTE networks," in *Proc., IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC'10-Spring)*, pp. 1–5, Taipei, Taiwan, May. 2010.
- [51] J. Blumenstein, J.C. Ikuno, J. Prokopec and M. Rupp, "Simulating the long term evolution uplink physical layer," in *Proc., IEEE Symposium ELMAR-2011*, pp. 141–144, Sep. 2011.
- [52] X. Peng, F. Xuming, Y. Jun and C. Yaping, "A user's state and SINR-based handoff algorithm in hierarchical cell networks," in *Proc., IEEE Wireless Commu. Net. and Mobile Computing (WiCOM'2010)*, pp. 1–4, Sep. 2010.
- [53] 3GPP TR 25.820 V.2.0.0, "3G Home NodeB study item technical report (Release 8)," in *Proc., Qualcomm Europe*, Mar. 2008.
- [54] 3GPP R4-071617, "HNB and HNB-macro propagation models," in *Proc., Qualcomm Europe*, pp. 141–144, Oct. 2007.
- [55] E.Z. Tragos, G. Tsiropoulos, G.T. Karetsos and S.A. Kyriazakos, "Admission control for QoS support in heterogeneous 4G wireless networks," *IEEE Network*, vol. 22, no. 3, pp. 30–37, May 2008.
- [56] V. Chandrasekhar, J. Andrews and al., "Power control in two-tier femtocell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 8, pp. 4316–4328; Aug. 2009.
- [57] D. Oh, H. C. Lee, and Y. H. Lee, "Power Control and Beamforming for Femtocells in the Presence of Channel Uncertainty," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 60, no. 6, pp. 2545–2554, Jul. 2011.
- [58] A. J. Goldsmith and P. P. Varaiya, "Capacity of Fading Channels with Channel Side Information," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 43, no. 6, pp. 1986–1992, Nov. 1997.

- [59] V. Asghari, S. Aissa, "Adaptive Rate and Power Transmission in Spectrum-Sharing Systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 10, pp. 3272-3280, Oct. 2010.
- [60] J. Zhang and G. Roche, "Femtocells : Technologies and Deployment," *Wiley Publishing*, 2010.
- [61] M. Wrulich, W. Weiler, and M. Rupp, "HSDPA Performance in a Mixed Traffic Network," *in Proc., IEEE Vehicular Technology*, pp. 2056-2060, May 2008.
- [62] M. Wrulich, S. Eder and al., "Efficient Link-to-System Level Model for MIMO HSDPA," *in Proceedings of the 4th IEEE Broadband Wireless Access Workshop*, New Orleans, Dec. 2008.
- [63] K. Brueninghaus, D. Astely and al., "Link performance models for system level simulations of broadband radio access systems," *in Proc., IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 4, pp. 2306-2311, Sept. 2005.
- [64] 3GPP : TR 25.996 V8.0.0 *Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations* (Release 8); Techn. Ber.; 2008.
- [65] Andreas F. Molisch : *Wireless Communications*; second edition Aufl.; 2011.
- [66] 3GPP : TR 36.942 V8.3.0 *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios* (Release 8); Techn. Ber.; Septembre 2010.
- [67] William C. Lee : *Mobile Communications Engineering*; McGraw-Hill Professional; 1982.
- [68] G. X. Cai and Giannakis, "A two-dimensional channel simulation model for shadowing processes," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 52, no. 6, pp. 1558-1567, Nov. 2003.
- [69] H. Claussen, "Efficient modelling of channel maps with correlated shadow fading in mobile radio systems," *in Proc., IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, pp. 512-516, Berlin, Sept. 2005.
- [70] 3GPP : TS 36.213 V8.8.0 *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures*; Techn. Ber.; 2009.

- [71] X. He, K. Niu, and al., "Link Layer Abstraction in MIMO-OFDM System," in *Cross Layer Design, 2007. IWCLD '07. International Workshop*, pp. 41-44, Sept. 2007.
- [72] R. Sandanalakshmi, T.G. Palanivelu, and K. Manivannan, "Effective SNR mapping for link error prediction in OFDM based systems," in *Proc., Information and Communication Technology in Electrical Sciences*, pp. 684-687, Dec. 2007.
- [73] WINNER : *IST-2003-507581 D2.7 ver 1.1 Assessment of Advanced Beamforming and MIMO Technologies*; Techn. Ber.; 2005.