TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 2

CHAPITRE 1 APERÇU DU RÉSEAU UNIVERSEL SANS FIL MOBILE ET SON AVENIR 7
1.1 Introduction.....7
1.2 Contexte de cette thèse.....10
1.3 Bref historique des réseaux sans fil cellulaires 12
1.3.1 Architecture d'un réseau cellulaire traditionnel..... 15
1.3.2 Architecture d'un réseau cellulaire hétérogène..... 17
1.3.3 Survol des technologies envisagées pour la 5G..... 19
1.4 Aspects pertinents de la quatrième génération de réseau mobile sans fil 20
1.4.1 Topologie et déploiement du réseau 21
1.4.1.1 *Hotspot* intérieur 22
1.4.1.2 *Hotspot* extérieur..... 22
1.4.2 Couverture et capacité..... 23
1.4.3 Spécifications des cellules et des éléments d'un HetNet 24
1.4.3.1 La macrocellule..... 25
1.4.3.2 La picocellule..... 26
1.4.3.3 La femtocellule 27
1.4.3.4 Les relais 28
1.4.3.5 Les unités de radio à distance 28
1.5 Caractéristiques techniques du HetNet 28
1.5.1 Association UE-BS 28
1.5.2 Mobilité..... 30
1.5.3 Allocation de ressources 31
1.5.4 Consommation de puissance et d'énergie..... 33
1.5.5 Relation lien ascendante-descendante..... 33
1.5.6 Liaison de raccordement 35
1.5.6.1 Petite cellule à liaison de raccordement filaire : 35
1.5.6.2 Petite cellule à liaison de raccordement sans-fil 36
1.6 Conclusion 37
1.6.1 Plan de recherche proposé 37

CHAPITRE 2 OPTIMISATION DE PERFORMANCE POUR HETNET 41
2.1 Introduction.....41
2.2 Problèmes rencontrés dans les réseaux hétérogènes et les défis à relever 42
2.2.1 Gestion d'interférence..... 42
2.2.2 Sélection cellulaire..... 44
2.2.3 Équilibrage de charge 45
2.2.4 Transfert intercellulaire et gestion de mobilité 46
2.2.4.1 Quelques définitions 46

2.2.4.2 Aperçu du processus de transfert intercellulaire dans HetNet ... 48
2.2.4.3 Conditions de transfert intercellulaire ... 51
2.2.4.4 Conséquences du transfert intercellulaire ... 52
2.2.4.5 Métriques de performance du transfert intercellulaire ... 53
2.3 Conclusion ... 54

CHAPITRE 3 REVUE DE LITTÉRATURE : ASSOCIATION UE-BS, ÉQUILIBRAGE DE LA CHARGE, SUPRESSION D'INTERFÉRENCES, GESTION DE LA MOBILITÉ ... 57
3.1 Introduction ... 57
3.2 Techniques existantes de sélection cellulaire et d'équilibrage de charges ... 57
3.2.1 Définition et détermination de la charge d'une cellule ... 59
3.2.2 Technique de sélection cellulaire par défaut Max-SINR ... 60
3.2.3 Stratégies d'équilibrage de charge de la cellule basées sur l'emprunt de canal ... 62
3.2.3.1 Assignation hybride de canal ... 63
3.2.3.2 Emprunt de canal sans verrouillage ... 64
3.2.3.3 Équilibrage de charge avec emprunt sélectif de canal ... 66
3.2.4 Équilibrage de charge basé sur le transfert de trafic ... 67
3.2.4.1 Nouvelle tentative directe ... 67
3.2.4.2 Algorithmes d'admission d'appels assistée par le mobile ... 68
3.2.4.3 Systèmes hiérarchiques de recouvrement cellulaire ... 69
3.2.4.4 Techniques de dimensionnement cellulaire ... 71
3.2.4.5 Méthode de biaisage de puissance pour l'extension de la couverture cellulaire dans HetNets ... 74
3.2.5 Approche optimale centralisée d'équilibrage de charge ... 75
3.2.6 Algorithmes pratiques et distribués pour l'équilibrage de charge ... 77
3.2.6.1 Optimisation avec assouplissement de contraintes, solution de décomposition double ... 77
3.2.6.2 Algorithmes heuristiques ... 79
3.2.7 Processus de décision de Markov ... 81
3.2.8 Approche basée sur la théorie de jeu ... 83
3.2.9 Géométrie stochastique ... 85
3.3 Transfert intercellulaire et gestion de mobilité dans HetNets ... 86
3.3.1 Classification des algorithmes de décision de transfert intercellulaire ... 87
3.3.1.1 Basée sur la RSS ... 87
3.3.1.2 Basée sur la vitesse du mobile ... 89
3.3.1.3 Basée sur l'exploitation d'une fonction coût ... 90
3.3.1.4 Basée sur la prise en compte de l'interférence ... 92
3.3.1.5 Basée sur l'efficacité énergétique ... 94
3.3.2 Différents algorithmes pour améliorer la performance du transfert intercellulaire ... 95
3.3.2.1 Optimisation de la procédure de transfert intercellulaire basée sur l'adaptation dynamique des paramètres ... 95
3.3.2.2 Contrôleur à logique floue ... 96

3.3.2.3 Gestion de la mobilité basée sur l'apprentissage 97
3.3.2.4 Gestion de la mobilité basée sur une méthode hybride..... 98
3.3.2.5 Gestion de la mobilité basée sur l'équité 99
3.4 Discussion et conclusion.....100

CHAPITRE 4 NOUVELLES STRATÉGIES DE SÉLECTION DE CELLULE ET D'ÉQUILIBRAGE DE LA CHARGE DANS UN ENVIRONNEMENT HETNET 103
4.1 Introduction.....103
4.2 Partie 1 : nouveaux algorithmes heuristiques pour une équitabilité de charge dans un réseau cellulaire hétérogène.....105
4.2.1 Motivation et travaux connexes 105
4.2.2 Contribution principale et organisation 106
4.2.3 Modèle du système utilisé..... 106
4.2.4 Description et formulation du problème 107
4.2.5 Approche DCRE 109
4.2.5.1 Règle d'association d'utilisateur..... 109
4.2.5.2 Calcul la charge de la cellule 109
4.2.6 Approche FGBLE 111
4.2.6.1 Mesure du gain d'équité par l'utilisateur: 111
4.2.6.2 Mise à jour de l'association d'utilisateur:..... 112
4.2.7 Simulation et résultats..... 112
4.2.7.1 Scénario de simulation..... 112
4.2.7.2 Paramètres de simulation 113
4.2.7.3 Résultats sur la performance des techniques proposées 113
4.3 Partie 2 : Approche de biaisage optimal pour le rééquilibrage de charge en tenant compte de la QoS et de la gestion d'interférence dans HetNet.....118
4.3.1 Motivation et travaux connexes 118
4.3.2 Contribution principale et organisation 120
4.3.3 Extension de la couverture de la cellule dans HetNet..... 121
4.3.3.1 Biaisage conventionel de puissance d'une petite cellule 122
4.3.3.2 Extension coordonnée de la couverture de la cellule..... 123
4.3.4 Modèle de biaisage proposé..... 124
4.3.4.1 Description et résumé de l'approche proposé..... 124
4.3.4.2 Algorithme CCREMM..... 127
4.3.4.3 Description de la fonction objective utilisée..... 127
4.3.4.4 Paramètres utiles pour la conception de la fonction objective combinée 129
4.3.4.5 Conception de la COF..... 131
4.3.4.6 Conception de la fonction d'utilité de l'utilisateur de la macrocellule..... 131
4.3.4.7 Calcul optimal du biais d'extension de la macrocellule 133
4.3.4.8 Conception de la fonction d'utilité de l'utilisateur de la picocellule..... 134
4.3.4.9 Calcul optimal du biais d'extension de la picocellule 135

4.3.5 Nouvelle approche de planification à débit maximal 135
4.3.6 Simulation et résultats 136
4.3.6.1 Scenario de simulation 138
4.3.6.2 Paramètres de simulation 138
4.3.6.3 Complexité de calcul du CCREMM 140
4.3.6.4 Évaluation de la performance du CCREMM pour différentes valeurs de $\alpha_{i,m}$ et $\alpha_{i,p}$ 141
4.3.6.5 Évaluation de la performance du CCREMM vs plusieurs solutions de CRE proposées dans littérature 145
4.3.6.6 Avantages et limites du modèle propose 156
4.4 Conclusion 157

CHAPITRE 5 APPROCHE INNOVATRICE DE TRANSFERT INTERCELLULAIRE: EXPLOITATION DE NOUVELLES FONCTIONS D'UTILITÉ 159
5.1 Introduction 159
5.1.1 Motivation et travaux connexes 160
5.1.2 Contribution principale et organisation 161
5.2 Modèle du système 162
5.3 Modèle proposé 163
5.3.1 Définition du problème rencontré dans le transfert intercellulaire 163
5.3.1.1 Procédure conventionnelle de transfert dans un réseau cellulaire 164
5.3.1.2 Procédure de transfert intercellulaire basée sur l'extension de la couverture cellulaire 165
5.3.2 Conception de la fonction objective combinée (COF) 165
5.3.3 Fonction d'utilité de l'utilisateur de la macrocellule (MUE) et biais optimal $\hat{w}_m$ de la macrocellule 166
5.3.4 Fonction d'utilité de l'utilisateur de la femtocellule (FUE) et biais optimal $\hat{w}_f$ de la femtocellule 167
5.3.5 Description de l'algorithme de transfert intercellulaire proposé 167
5.3.6 Analyse de la performance de l'algorithme proposé 168
5.4 Résultats de simulation 169
5.4.1 Scénario de simulation 169
5.4.2 Résultats numériques 170
5.5 Conclusion 178

CONCLUSION GÉNÉRALE 181

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 185

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1.1 Comparaison des différentes générations mobiles.....13

Tableau 1.2 Les différents types de BSs dans HetNet.....25

Tableau 4.1 Simulation de DCRE et FGBLE.....113

Tableau 4.2 Simulation du CCRE.....138

Tableau 5.1 Simulation du nouvel algorithme de transfert.....170

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1.1 Croissance du trafic mobile entre les années 2012 et 2017 9

Figure 1.2 Croissance attendue en trafic mobile d'ici l'année 2022 9

Figure 1.3 Architecture d'un réseau cellulaire actuel 16

Figure 1.4 Systèmes cellulaires conventionnels.....17

Figure 1.5 Un réseau HetNets à multi-niveaux 19

Figure 1.6 Architecture d'un HetNet 23

Figure 1.7 Déploiement d'une macrocellule-picocellule extérieure.....26

Figure 1.8 Déploiement d'une macrocellule-picocellule intérieures.....27

Figure 2.1 Illustration du problème d'échec de transfert dans HetNet 51

Figure 2.2 Traitement des mesures RSRPs via les couches 51

Figure 3.1 Synthèse des recherches antérieures 59

Figure 3.2 Exemple d'association Max-SINR dans un réseau à 3-niveaux.....61

Figure 3.3 Associations Max-SINR vs. Max-Débit 62

Figure 4.1 Illustration d'un réseau HetNet.....107

Figure 4.2 Distribution d'UEs dans le réseau pour toutes les techniques d'UA 114

Figure 4.3 Charge globale normalisée par cellule.....115

Figure 4.4 Indice d'équité globale dans HetNet – éxigences égales en débit 116

Figure 4.5 Indice d'équité globale dans HetNet –éxigences distinctes en débit 117

Figure 4.6 Indice d'équité des macrocellules dans le HetNet 118

Figure 4.7 Organigramme de la stratégie CCREMM proposée 126

Rapport-Gratuit.com

Figure 4.8 Illustration d'un réseau hexagonal *wrap-around* 137

Figure 4.9 Distribution de débit d'UE en Mbits/s pour différentes valeurs de paramètres coûts $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ 143

Figure 4.10 SINR à large bande de l'UE pour différentes valeurs de paramètres coûts $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ 144

Figure 4.11 Variation du coût de la COF $F_{mp,k}$ dans HetNets 145

Figure 4.12 Distribution d'UEs dans HetNets pour les techniques d'UA statiques et dynamiques vs CCREMM $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ 147

Figure 4.13 Distribution d'UEs dans HetNets en sélectionnant quelques BSs pour clarifier la figure 4.12 148

Figure 4.14 Charge normalisée des cellules dans HetNets pour les techniques d'UA statiques et dynamiques vs CCREMM 149

Figure 4.15 Charge des cellules dans HetNets en sélectionnant quelques BSs pour clarifier la figure 4.14 150

Figure 4.16 Débit de l'UE en Mbits/s, références vs CCREMM en assumant $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ 151

Figure 4.17 SINR large bande de l'UE en dB, techniques d'UA référentes vs CCREMM en assumant $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ 152

Figure 4.18 Débit moyen de la cellule en Mbits/s, références vs CCREMM 153

Figure 4.19 Débit de l'UE au bord de la cellule en Mbits/s, références vs CCREMM avec $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ et $nLPNs = 1,2,4$ 154

Figure 4.20 Débit moyen de l'UE en Mbits/s, références vs CCREMM avec $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ et $nLPNs = 1,2,4$ 155

Figure 4.21 Niveau d'équité en termes d'allocation de ressources, références vs CCREMM avec $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ et $nLPNs = 1,2,4$ 156

Figure 5.1 Illustration d'un réseau hexagonal wrap-around de cellules sectorisées avec l'orientation de chaque antenne du secteur 171

Figure 5.2 RSS à partir de la femtocellule vs. emplacement de l'UE 172

Figure 5.3 RSS à partir de la macrocellule vs. emplacement de l'UE 173

Figure 5.4 COF vs. biais des femtocellules 174

Figure 5.5 COF vs. biais des macrocellules 175

Figure 5.6 Probabilité d'assignation de l'UE à la femtocellule vs. emplacement de l'UE 176

Figure 5.7 Probabilité d'assignation de l'UE à la macrocellule vs. emplacement de l'UE 177

Figure 5.8 Nombre de transferts vs distance macrocellule-femtocellule 178

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

LISTE DES ALGORITHMES

Page

Algorithme 4.1 Extension dynamique de la couverture cellulaire.....110

Algorithme 4.2 Résumé de la stratégie CCREMM 127

Algorithme 5.1 Algorithme de décision de transfert proposé.....168

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AMPS	Système avancé de téléphonie mobile (*Advanced Mobile-Phone System*)
AN	Nœud d'antenne (*Antenna node*)
AP	Point d'accès (*Access Point*)
BER	Taux d'erreur binaire (*Bit Error Rate*)
BLER	Taux d'erreur des blocs (*Block Error Rate*)
BS	Station de base (*Base Station*)
CAPEX	Dépenses capitales (*Capital Expenditure*)
CB	Emprunt de canal (*Channel Borrowing*)
CBWL	Emprunt de canal sans verrouillage (*Channel Borrowing Without Locking*)
CBWL / CR	Emprunt de canal sans verrouillage avec réorganisation des canaux (*Channel Borrowing Without Locking with Channel Reorganization*)
CCE	Extension de la couverture cellulaire (*Cell Coverage Extension*)
CCI	Interférence dans le même canal (*Co-Channel Interference*)
CCREMM	Extension de la couverture cellulaire coordonnée pour la gestion de la mobilité (*Coordinated Coverage Extension for Mobility Management*)
CDF	Fonction de distribution cumulative (*Cumulative Distribution Function*)
CDMA	Accès multiple par répartition de codes (*Code division multiple access*)
CEC	Cellule à couverture étendue (*Cell with Extended Coverage*)

CINR	Rapport porteuse sur interférence plus bruit (*Carrier to Interference plus Noise Ratio*)
COF	Fonction objective combinée (*Combined Objective Function*)
CSI	Information sur l'état du canal (*Channel State Information*)
DAS	Systèmes distribués d'antennes (*Distributed Antenna Systems*)
DCRE	Extension dynamique de la couverture cellulaire (*Dynamic Cell Range Extension*)
DL	Lien descendant (*Downlink*)
DNCCRE	Méthode dynamique non-coordonnée d'expansion de la couverture de cellules (*Dynamic Non-Coordinated Cell Range Expansion*)
DSL	Ligne numérique d'abonné (*Digital Subscriber Line*)
EDGE	Services de données améliorés pour l'évolution du GSM (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*)
FEC	Codage de correction d'erreur directe (*Forward Error Correction*)
FGBLE	Égalisation de la charge basée sur le gain en équité (*Fairness Gain-Based Load Equalization*)
FNCCRE	Technique non-coordonnée d'extension fixe des cellules (*Fixed Non-Coordinated Cell Range Expansion*
FOBLE	Égalisation de la charge à biais uniformes (*Fixed Offset-Based Load Equalization*)
FUE	Utilisateur femtocellulaire (*Femtocell User Equipment*)
GPRS	Service général de radiocommunication par paquet (*General Packet Radio Service*)
GSM	Système mondial pour les communications mobiles (*Global System for Mobile Communications*)

HetNets	Réseaux hétérogènes (*Heterogeneous Networks*)
HFR	Taux d'échec du transfert (*Handover Failure Rate*)
HHM	Marge d'hystérésis de transfert (*Handover Hysteresis Margin*)
HLR	Registre de localisation de domicile (*Home Location Register*)
HSPA	Accès par paquet haute vitesse (*High Speed Packet-Access*)
iCAR	Système de cellule intégrée et de relais *ad-hoc* (*integrated Cell and Ad-hoc Relays*)
ICI	Interférence intercellulaire (*InterCell Interference*)
ICIC	Coordination des interférences intercellulaires (*InterCell Interference Coordination*)
IHO	Transfert intracellulaire (*IntraCell Handover*)
IMT	Télécommunication mobile internationale (*International Mobile Telecommunication*)
IMT-A	Télécommunication mobile internationale avancées (*International Mobile Telecommunication Advanced*)
IP	Protocole Internet (*Internet Protocol*)
ISM	Industriel, scientifique et médicale
ITU	Union internationale de la télécommunication (*International Telecommunication Union*)
LB	Équilibrage de la charge (*Load Balancing*)
LTE	Évolution à long terme (*Long-Term Evolution)*
LTE-A	Évolution à long terme avancée (*Long-Term Evolution Advanced*)
MAB	Bandit à bras multiples (*Multi-Arm Bandit*)

MAC	Contrôle d'accès au support (*Media Access Control*)
MACA	Connexions et admissions assistées par le mobile (*Mobile Assisted Connexion Admission*)
MDP	Processus de décision de Markov (*Markovian Decision Process*)
MIMO	Système d'antennes à multiples entrées et multiples sorties (*Multiple-Input Multiple Output*)
MM	Gestion de la mobilité (*Mobility Management*)
MMS	Service de messagerie multimédia (*Multimedia Messaging Service*)
MTS	Planification pour la maximisation du débit (*Maximum Throughput Scheduling*)
MUE	Utilisateur de la macrocellule (*Macrocell User Equipement*)
NLOS	Sans ligne de visée (*Non-Line Of Sight*)
nLPNs	Nombre des nœuds à faible puissance (*Number of Lowe Power Nodes*)
NMT	Téléphonie mobile nordique (*Nordic Mobile Telephony*)
NOMA	Accès multiple non-orthogonal (*Non-Orthogonal Multiple Access*)
NP	Temps polynomial non déterministe (*Non-deterministic Polynomial-time*)
OFDMA	Accès multiple par réparition orthogonale des fréquences (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*)
OPEX	Dépenses d'exploitation (*Operational Expenditure*)
PFS	Planification proportionnellement équitable (*Proportional Fair Scheduling*)
PMP	Point à Multipoint (*Point-to-MultiPoint*)
PPP	Processus de poisson (*Poisson Point Process*)

PUE	Utilisateur de la picocellule (*Picocell User Equipment*)
QoS	Qualité du service (*Quality Of Service*)
RAT	Technologie d'accès radio (*Radio Access Technology*)
RB	Bloc de ressources (*Resource Block*)
REO	Biais d'extension de couverture (*Range Expansion Offset*)
RIP	Puissance de l'interférence recue (*Received Interference Power*)
RRU	Unité de radio à distance (*Remote Radio Unit*)
RSQ	Qualité du signal reçu (*Received Signal Quality*)
RSRP	Puissance du signal de référence attendue reçue (*Reference Signal Received Power*)
RSRQ	Qualité du signal de référence reçu (*Reference Signal Received Quality*)
RSS	Puissance du signal reçu (*Received Signal Strength*)
RSSI	Indication de la puissance du signal reçu (*Received Signal Strength Indication*)
SINR	Rapport du signal et de l'interférence plus bruit (*Signal-To-Interference plus Noise Ratio*)
SCMA	Accès multiple des sous-porteuses (*SubCarrier Multiple Access*)
SMS	Service de message court (*Short Message Service*)
TDMA	Accès multiples par division temporelle (*Time-Division Multiple Access*)
TDD	Duplexage par répartition temporelle (*Time-Division Duplexing*)
TTI	Intervalles de temps de transmission (*Transmission Time Interval*)

Rapport-Gratuit.com

TTT	Temps de déclenchement (*Time To Trigger*)
UA	Association utilisateur (*User Association*)
UDN	Réseau ultra-dense (*Ultra-Dense Network*)
UE	Utilisateur (*User Equipment*)
UL	Lien ascendant (*Uplink*)
UMTS	Système universel de télécommunications mobiles (*Universal Mobile Telecommunication System*)
VLR	Registre de localisation de visiteurs (*Visitor Location Register*)
WIMAX	Interopérabilité mondiale pour l'accès au micro-ondes (*Worldwide Interoêrability for Microwave Access*)
WLAN	Réseaux locaux sans fil (*Wireless Local Area Network*)
WMAN	Réseau métropolitain sans fil (*Wireless Metropolitan Area Network*)
WPA	Accès protégé Wi-Fi (*Wi-Fi Protected Access*)
ZL	Zone de localisation
3GPP	Projet de partenariat de troisième génération (*Third Generation Partnership Project*)
1G	Première génération (*1st Generation*)
2G	Deuxième génération (*2nd Generation*)
3G	Troisième génération (*3rd Generation*)
4G	Quatrième génération (*4th Generation*)
5G	Cinquième génération (*5th Generation*)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

Lettres latines

B	Nombre total de BSs dans le réseau [-]
B_M	Ensembles de macrocellules [-]
B_S	Ensembles de picocellules [-]
BW	Bande passante disponible [MHz]
C	Fonction coût [-]
d_0	Distance de corrélation [m]
$d_{k,i}$	Débit exigé par l'UE *k* de la BS *i* [bits/s]
d_{M-F}	Distance entre la macrocellule et la femtocellule [m]
d_{mu}	Distance entre la macrocellule et l'UE [m]
d_1	Largeur de la fenêtre [m]
d_s	Distance entre deux emplacements de mesures adjacents [m]
d_{uf}	Distance entre l'UE et la femtocellule [m]
F_k	Fonction objective de chaque UE *k* [-]
$F_{m(p),k}$	Fonction objective combinée relative à la macrocellule ou à la picocellule [-]
g_{ki}	Gain de canal entre l'UE *k* et la BS *i* [dB]
i^*	Indice de la BS sélectionnée pour l'UE *k* [-]
I_F	Indice d'équité de Jain [-]
$I_{F_{ki}}$	Indice d'équité mesuré par l'UE *k* à partir de la BS de service i [-]
$I_{F_{kj}}$	Indice d'équité mesuré par l'UE *k* à partir de la BS voisine *j* [-]
$I_{k,r}^{max}$	ICI maximum tolérable dans la région de la cellule étendue [dB]
$I_{m(f)}$	Puissance de l'interférence [dB]
k^*	UE k sélectionné par la BS *i*
K	Ensemble des UEs dans le réseau [-]

$L_{M,k,i,r}$	Propagation de la perte de trajet due à la distance et le gain d'antennes entre l'UE *k* et sa cellule servante *i* [dB]
$L_{M,k,j,r}$	Propagation de la perte de trajet due à la distance et le gain d'antennes entre l'UE k et la cellule interférente *j* [dB]
$L_{S,k,i,r}$	Perte de trajet du *shadow fading* entre l'UE k et sa cellule servante *i* [dB]
$L_{S,k,j,r}$	Perte de trajet du *shadow fading* entre l'UE k et la cellule interférente *i* [dB]
M	Nombre de ressources disponibles au niveau de la BS i [-]
N	Nombre de cellules dans le réseau [-]
N_h	Nombre total de transferts [-]
N_i	Fonction normalisée [-]
nLPNs	Nombre de BSs à faible puissance [-]
$P_f(k)$	Probabilité d'assignation de l'UE à la femtocellule [-]
$P_{f\|m}[k]$	Probabilité de transfert à partir d'une macrocellule vers une femtocellule [-]
$P_h(k)$	Probabilité de transfert de l'UE [-]
$PL_{m,f}(k)$	Perte de trajet [dBm]
$P_m(k)$	Probabilité d'assignation de l'UE à la macrocellule [-]
$P_{m\|f}[k]$	Probabilité de transfert à partir d'une femtocellule vers une macrocellule [-]
$P_{rx,m,k}$	RSRP de l'UE *k* à partir de la macrocellule *m* [dB]
$P_{rx,p,k}$	RSRP de l'UE *k* à partir de la picocellule *p* [dB]
$P_{tx,i,k}$	Puissance de transmission de la BS de service *i* à l'UE *k* [dB]
$P_{tx,j,k}$	Puissance transmise de la cellule interférente *j* [dB]
$r_k(n)$	Vecteur binaire indiquant quels RBs sont alloués à l'UE *k* [-]
R_{ki}	Débit réalisable de l'UE *k* lorsqu'il est connecté à la BS *i* [bits/s]
s_{ki}	Quantité de ressources consommées par chaque UE lorsqu'il est associé à la BS *i* [bits/s]
$s_{m,f}(k)$	RSSs reçues à partir la macrocellule ou de la femtocellule à un emplacement *k* [dB]

$s_{m(f),th}$	Seuil de RSS d'une macrocellule ou d'une femtocellule [dB]
$s_{opt}(k)$	RSS optimal à un emplacement *k* [dB]
T_k	Débit effectif ou *Throughput* de l'UE *k* [bits/s]
$U(\omega, x)$	Fonction d'utilité à partir d'un ensemble de critères produits observés *x* (par l'UE) et de préférences UE ω [-]
$u_{m,f}(k)$	Ombrage log-normal [dB]
$U_{m(p),k}$	Fonction d'utilité de la macrocellule ou de la picocellule, degré de satisfaction de l'UE *k* s'y connectant [-]
$U_{Net,k}$	Fonction d'utilité totale [-]
w	Biais des Bs appartenant à l'ensemble W [dB]
W	Ensembles de biais virtuels des Bs [dB]
$\overline{w}_{i,m}$	Biais maximal permis pour la macrocellule [dB]
$w_{i,m(p)}$	Biais virtuel non-négatif de la macrocellule ou de la picocellule ou de la cellule *i* [dB]
$\widehat{w}_{i,m(f)}$	Biais virtuel optimal de la macrocellule ou de la femtocellule [dB]
$\widehat{w}_{i,m(p)}$	Biais virtuel optimal de la macrocellule ou de la picocellule [dB]
$w_{m,f}$	Biais de la macrocellule ou de la femcocellule [dB]
x	Paramètre de contrôle de la fonction d'utilité totale de la picocellule [-]
x_{ki}	Indicateur d'association, lorsque l'UE k est associé à la BS i [-]
$y_{i,k,r}$	SINR en DL de l'UE *k*, servi par la BS *i* (macrocellule, femtocellule ou picocellule) sur RB *r* [dB]

Lettres grecques

$\alpha_{i,m}$, $\delta_{i,m}$	Paramètres de contrôle et de tarification de la fonction d'utilité de la macrocellule [-]
$\beta_{i,m(p)}$	Charge de la cellule *i*, de la macrocellule ou de la picocellule [-]

$\beta_{k,i}$	Quantité de ressources requises par l'UE k de la BS i [bits/s]
σ^2	Puissance du bruit blanc additif Gaussien reçu par l'UE k [dB]
$\sigma^2_{m,f}$	Variances de l'ombrage [dB]
$\delta_{i,p}$	Paramètres de tarification de la fonction d'utilité de la picocellule [-]
Γ	Différence entre le SINR mesuré à partir de la macrocellule servante et de la femtocellule [dB]
Γ_k	SINR cible de l'UE k [dB]
ξ	Seuil d'équité prédéterminé [-]
ρ_c	Coefficient de corrélation entre deux échantillons de RSSs [-]
$\psi_{i,j,k}$	Gain d'équité [-]
τ_k	Volume de trafic [bits/s]

INTRODUCTION

Les réseaux mobiles à large bande continuent de croître fortement et le nombre total d'abonnés mobiles atteint actuellement les 4,6 milliards. En moyenne, plus d'un million de nouveaux abonnés mobiles seront ajoutés tous les jours jusqu'à la fin de l'année 2022. Cela engendrerait une augmentation du trafic total des réseaux mobiles de 70 pour cent entre la fin de 2016 et la fin de 2017.

Les déploiements des réseaux hétérogènes HetNets (de l'anglais, *Heterogeneous Networks*) peuvent donc être considérés comme un moyen de densification des réseaux, afin de s'adapter efficacement à la demande de trafic et à l'environnement radio. C'est une approche prometteuse pour l'extension de la capacité dans certaines zones, par exemple dans les *hotspots*, où les cellules à faible portée créées par des nœuds de puissance inférieure peuvent être utilisées efficacement pour fournir des ressources supplémentaires afin d'améliorer localement la performance du réseau. Ainsi, les nœuds à faible puissance sont devenus particulièrement attrayants dans la gestion de la croissance de la diversité géographique du trafic et la variation croissante des densités locales de distribution des utilisateurs. Mise à part son potentiel, les déploiements du HetNet apportent des défis majeurs si l'on veut obtenir un fonctionnement efficace du réseau afin d'assurer une meilleure expérience utilisateur.

En effet, faire correspondre la demande de ressources, ou la charge avec l'approvisionnement en ressources, ou la capacité est un problème de base qui se produit depuis toujours dans de nombreux domaines tels que l'Internet et les réseaux sans fil. Évidemment, ce problème se complexifie avec l'évolution continue des réseaux cellulaires en réseaux hétérogènes denses, organiques et irréguliers. Par conséquent, la surcharge cellulaire est devenue un problème central et présente de nombreuses nouvelles subtilités. La modélisation et l'optimisation de cet objectif apparemment simple sont en fait très difficiles et nous nous apercevons que plusieurs changements dans le réseau conventionnel sont requis. Ainsi, pour éviter les surcharges et l'épuisement des ressources radio, les approches pour un équilibrage de charge efficace sont essentielles.

Pour l'équilibrage de charge, connu comme un aspect clé dans la gestion des ressources radio, les approches classiques de sélection cellulaire utilisées dans les réseaux cellulaires, telles que la Max-SINR ou encore les approches basées sur la puissance du signal le plus fort, ne sont pas appropriées pour HetNet. Des techniques plus robustes devraient alors être conçues. De ce fait, dans la littérature, des approches primaires ont été étudiées. Nous pouvons citer parmi elles, l'optimisation centralisée, la théorie des jeux, les processus de décision de Markov et l'extension de la couverture des cellules.

Après des travaux de recherches approfondis, nous concluons que la technique d'extension de la couverture cellulaire est un domaine qui a peut être exploité plus profondément et plusieurs points doivent y être encore éclaircis. Ainsi, dans cette thèse, nous nous focalisons sur ce sujet via une nouvelle perspective, afin d'atteindre une association UE-BS équilibrée, d'améliorer l'expérience de l'utilisateur lors d'un transfert intercellulaire et de réduire l'interférence mesurée par l'utilisateur associée à un nœud à faible puissance. Cependant, les questions suivantes se posent:

- quelle devrait-être la valeur optimale du biais?;
- quelle serait l'écart d'optimalité entre la technique d'extension de couverture cellulaire et les solutions théoriques d'optimisation proposées dans la littérature?;
- finalement, comment certaines hypothèses d'équilibrage de la charge dans les réseaux cellulaires conventionnels doivent être repensées dans le contexte d'un HetNet ?.

D'autres facteurs sont aussi à considérer dans l'extension de la couverture cellulaire puisque:

- la puissance du signal reçu diminue, mais l'interférence augmente également;
- forcer les utilisateurs à s'associer aux petites cellules via un biais spécifique réduit leur SINR.

Ainsi, dans ce travail, nous apportons certaines contributions afin de répondre aux questions et faits énumérés ci-dessus. Pour ce faire, nous exploitons les principes des fonctions d'utilité et de coût, qui selon nous, n'ont pas vraiment été utilisés ni approfondis dans le domaine de l'équilibrage de la charge dans HetNets.

De façon explicite, les contributions de cette recherche concernant l'équilibrage de la charge dans HetNets sont :

- la conception de nouveaux algorithmes heuristiques de sélection cellulaire se basant sur l'indice d'équité de chaque utilisateur où des biais dynamiques sont ajoutés aux petites cellules afin d'étendre leur couverture;
- la conception d'un nouvel algorithme optimisé d'extension de couverture cellulaire coordonnée qui vise à calculer les biais optimaux de chaque cellule afin de tirer profit de la puissance de la technique d'extension cellulaire;
- application de nouvelles fonctions d'utilités qui tiennent compte des paramètres reliés à la charge cellulaire, au niveau maximal d'interférence supporté par les utilisateurs des petites cellules, à la QoS exigée par l'utilisateur en termes de SINR minimal afin d'obtenir des améliorations en fonction de plusieurs indices de performance;
- la conception d'une nouvelle politique de décision de transfert intercellulaire basée sur l'utilité pour un utilisateur macrocellulaire traversant une région femtocellulaire.

Les contributions énumérées ci-dessus font l'objet des articles suivants :

- E. Rakotomanana and F. Gagnon, "Fair load balancing in Heterogeneous Cellular Networks," 2015 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB), Montréal, Canada, pp. 1-5, October 2015.
- E. Rakotomanana and F. Gagnon, "Optimum biasing for cell load balancing under QoS and interference management in HetNets," IEEE Access, vol. 4, pp. 5196-5208, September 2016.
- E. Rakotomanana and F. Gagnon, "A novel utility-based handover decision policy for a two-tier HetNets," 2017 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Sydney, Australia, June 2017.

Rapport-Gratuit.com

CHAPITRE 1

APERÇU DU RÉSEAU UNIVERSEL SANS FIL MOBILE ET SON AVENIR

1.1 Introduction

La communication sans fil est sans doute le segment connaissant la plus rapide expansion dans l'industrie de communications et elle est parmi la plus importante contribution de la technologie envers l'humanité. Depuis les années 1990, la communication sans fil a connu un développement explosif. Ce développement a entraîné l'augmentation exponentielle du nombre d'UEs (de l'anglais, *User Equipment*) des systèmes cellulaires sans fil, de plus de deux milliards ces cinq dernières années. Si on se fie à une définition préliminaire sur la communication sans fil, elle implique la transmission de l'information à une distance donnée sans faire appel aux fils, câbles ou encore d'autres formes de conducteurs électriques. La distance de transmission peut varier de quelques milliers de kilomètres pour les communications par satellite ou plusieurs dizaines de kilomètres pour une liaison micro-onde. Les équipements utilisant la communication sans-fil sont les téléphones sans-fil, les téléphones cellulaires, les matériels de géolocalisation, les pièces d'ordinateurs sans fil et la télévision satellite.

Actuellement, le développement de la communication sans fil se traduit par la disponibilité d'une large gamme d'applications sans fil ainsi que l'existence des nouvelles techniques. Les nouveaux réseaux sans fil ont la capacité de supporter des trafics hétérogènes, notamment la voix, la vidéo et les données multimédias. De plus, les nouvelles technologies sans fil présentent de nouveaux standards, de nouveaux niveaux de qualité de services, de nouveaux groupes de protocoles et d'architectures. D'autres aspects de la nouvelle technologie sont aussi : la réduction du bruit, le contrôle de la puissance, l'amélioration de la performance, la gestion du lien et de la mobilité, la sécurité des réseaux nomades et sans-fil et les

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

architectures *ad-hoc*. Cependant, bien que ces nouveaux systèmes sans-fil aient été mis en place, de nombreuses améliorations sur le plan technique restent à accomplir. Quelques avantages de la communication sans-fil sont :

- la rapidité de la transmission de l'information à l'UE ;
- l'accès non-limité à Internet indépendamment de la localisation de l'UE en tout temps et sans être obligé d'emmener avec lui des câbles, ce qui permet aux professionnels d'augmenter leur productivité ;
- le maintien du contact des professionnels de santé et des corps médicaux travaillant dans des régions éloignées, avec les centres médicaux via la communication sans fil ;
- la gestion des situations d'urgence, par l'alerte, à travers la communication sans-fil ;
- les faibles coûts de maintien et d'installation des réseaux sans-fil.

L'expansion du réseau sans-fil nous a permis d'utiliser des appareils personnels en tout temps et où que l'on soit. Plusieurs aspects de la vie de l'humanité ont aussi été améliorés mais cela n'est cependant pas sans inconvénients. En effet, parmi ces contreparties sont les menaces de la sécurité, puisque dans le réseau sans-fil, il est très facile aux pirates informatiques de capter les signaux sans-fil qui se propagent dans l'air. Il est ainsi crucial de sécuriser le réseau sans-fil afin que l'information ne soit pas exploitée par les UEs non-autorisés. De plus, le risque de perdre l'information est élevé. Des protocoles de sécurité robustes comme le WPA (de l'anglais, *Wifi Protected Access*) et le WPA2 ont été créés pour sécuriser les signaux sans fil. On peut aussi augmenter la sécurité par l'utilisation d'un système de prévention d'intrusion. La figure résume les résultats d'un récent rapport de l'industrie qui montre une augmentation de 70% de la demande de trafic mobile entre les années 2016 et 2017. Il prévoit également une augmentation de 10 fois de la circulation mobile entre les années 2012 et 2022. Les Figure 1.1 et Figure 1.2 ci-dessous reflètent des statistiques montrant la croissance du trafic mobile et les prévisions attendues (Ericsson, 2017).

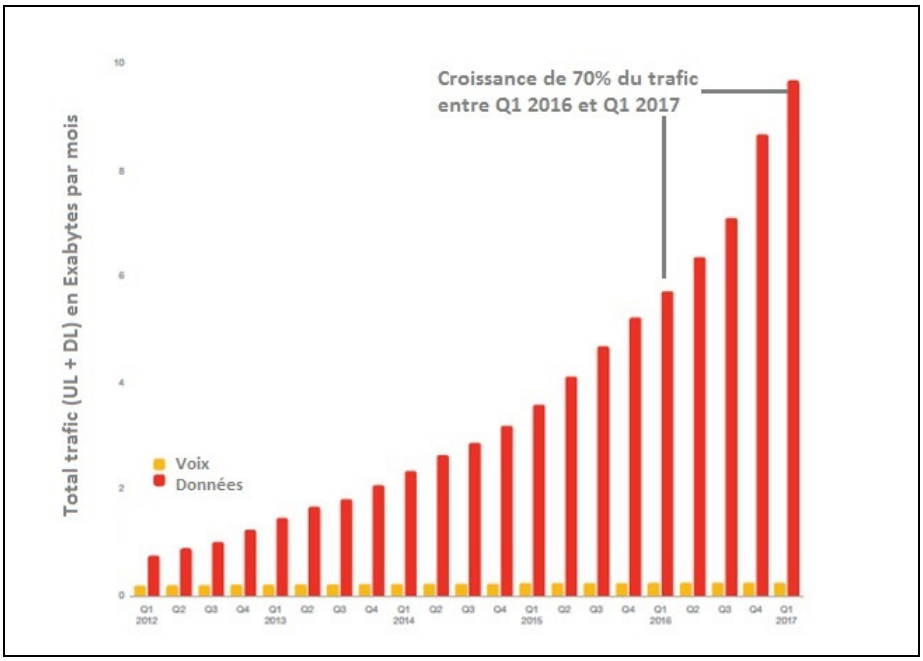

Figure 1.1 Croissance du trafic mobile entre les années 2012 et 2017

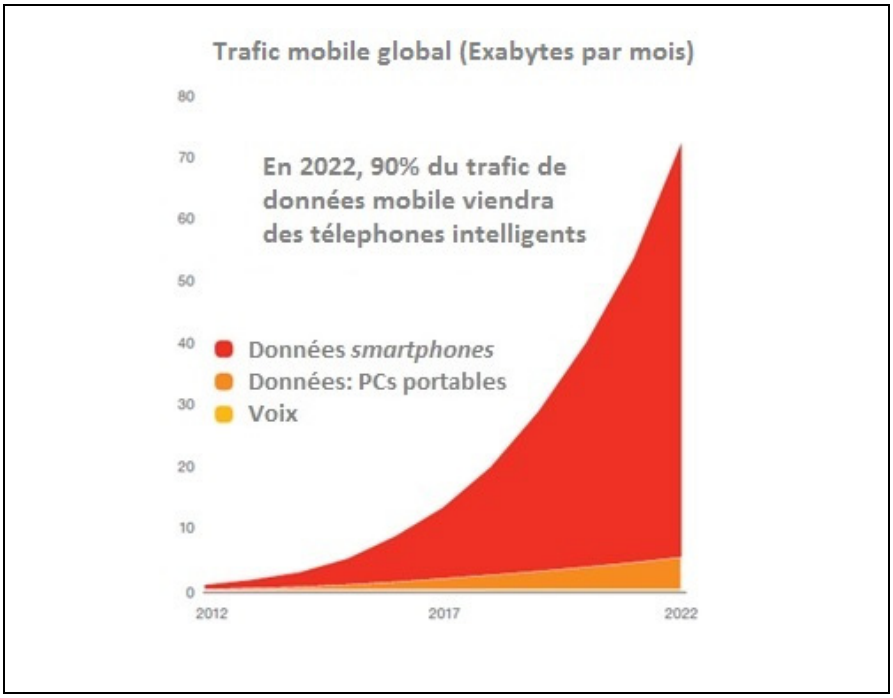

Figure 1.2 Croissance attendue en trafic mobile d'ici l'année 2022

1.2 Contexte de cette thèse

Dans cette thèse, nous nous focalisons principalement sur l'allocation de ressources dans les HetNets, c'est-à-dire les réseaux s'appuyant sur plusieurs technologies distinctes. Nous nous concentrons notamment sur l'association UE-BS (de l'anglais, *Base Station*) ou la sélection cellulaire, l'équilibrage de la charge des cellules, la gestion d'interférences et le transfert intercellulaire. Tous ces points doivent être considérés pour concevoir une bonne technique d'allocation de ressources dans un réseau. En d'autres termes, il s'agit d'une optimisation conjointe mettant en œuvre plusieurs variables d'allocation interdépendants. Pour ce faire notre travail est divisé en deux parties.

La première partie consiste à la conception d'un algorithme efficace d'équilibrage de charge et de la sélection cellulaire tout en tenant compte de la gestion d'interférences. Ainsi, nous considérons un réseau dans lequel des nœuds à faible puissance sont déployés conjointement dans la région macrocellulaire. Cependant, il existe une grande disparité entre les niveaux de puissance de transmission, les régions de couverture et les densités de déploiement entre ces deux types de BSs. De telles inégalités résultent en une distribution inéquitable de la charge des cellules ainsi qu'un faible débit pour certains UEs. Afin de surmonter le problème de déséquilibrage de la charge des cellules dans HetNets, l'utilisation d'une technique d'équilibrage de la charge est nécessaire. Cette technique a pour but d'optimiser l'utilisation de ressources, l'utilisation efficace des BSs et l'équilibrage de leur charge. De plus, elle permet la maximisation du débit, la minimisation du temps de réponse et la diminution de la surcharge de toutes les ressources. La technique d'extension de la couverture cellulaire (dite CCE, de l'anglais *Cell Coverage Extension*) est une technique sous-optimale d'équilibrage de la charge qui est une approche standardisée par le projet (dite 3GPP, de l'anglais *3rd Generation Partnership Project*) dans la dernière décennie. Conformément à ce concept, chaque cellule servante et voisine étendent virtuellement leur zone de couverture en ajoutant un biais virtuel à leur signal pilote en lien descendant reçu par les UEs. Tel que démontré dans plusieurs travaux, la CCE permet un équilibrage de la charge efficace dans HetNets. Néanmoins, il peut en résulter une interférence intercellulaire (dite ICI, de l'anglais *InterCell*

Interference) sévère au niveau des UEs de la cellule à couverture étendue (dite CEC, de l'anglais *Cell with Extended Coverage*), ce qui conduit à la détérioration de leur débit. L'interférence résultante peut être déduite par le fait que les UEs associés à la CEC ne sont pas servis par la BS qui leur fournit la puissance du signal reçue (dite RSS, de l'anglais, *Received Signal Strength*) la plus forte. De plus, la technique CCE peut dégrader la capacité du réseau lorsque le biais de la cellule n'est pas sélectionné correctement. Au vu des faiblesses citées de la CCE, nous proposons dans un premier temps, une technique d'extension de la couverture cellulaire coordonnée en lien descendante pour la gestion de la mobilité d'un UE (dite CCREMM, de l'anglais *Coordinated Coverage Extension for Mobility Management*) dans un réseau HetNet. L'algorithme CCREMM proposé est basé sur une fonction objective combinée (dite COF, de l'anglais *Combined Objective Function*) formée par plusieurs paramètres. Via cette COF, la valeur optimale de chaque biais de la BS est calculée. Cette technique permet la diminution de l'interférence au niveau des UEs de la CEC en tenant compte de leur interférence maximale tolérable. De plus, CCREMM est capable d'atteindre un équilibrage de charge et une satisfaction de l'UE en termes de qualité de service (dite QoS, de l'anglais *Quality Of Service*) en tenant compte de paramètres additionnels. Les résultats numériques montrent que notre stratégie associée à une technique d'ordonnancement à débit maximal permet une amélioration de la performance en termes d'équilibrage de la charge des cellules, d'équité d'attribution de ressources entre les UEs ainsi qu'une augmentation du débit de l'UE entre 50 à 90%. A travers ces résultats numériques, on constate que la performance obtenue par notre approche surpasse celle obtenue par les approches existantes dans la littérature.

La deuxième partie consiste à assurer une bonne gestion de la mobilité de l'UE traduit par le transfert intercellulaire via un algorithme robuste. Dans cette partie, nous proposons un nouvel algorithme de transfert intercellulaire basé sur une fonction d'utilité afin d'améliorer la performance de la gestion de la mobilité dans un réseau HetNet où un UE entre dans la couverture d'une femtocellule. La principale idée est la conception de nouvelles fonctions d'utilité résultant d'une fonction objective spécifique qui tient compte de la QoS requise par l'UE imbriquant quant à elle des paramètres essentiels relatifs à la charge de la cellule, au

rapport du signal et de l'interférence plus bruit (dite SINR, de l'anglais *Signal-To-Interference plus Noise Ratio*) et à l'interférence. Par la suite, les fonctions d'utilité sont utilisées pour calculer le biais optimal du transfert intercellulaire. Le biais a pour but de contrebalancer la large asymétrie dans la puissance de transmission de la macrocellule et de la femtocellule. Ensuite, nous effectuons une comparaison de performance sur notre approche de transfert intercellulaire par rapport aux approches proposées dans la littérature et obtenons des résultats en termes de puissance du signal de référence attendue reçue (dite RSRP, de l'anglais *Reference Signal Received Power*), des probabilités d'assignation à la macrocellule et à la femtocellule, la probabilité de transfert et le nombre de transferts résultants. Les résultats numériques montrent un gain considérable de plus de 90% lié à la probabilité d'attribution d'UE à la femtocellule alors que le nombre de transferts reste acceptable.

1.3 Bref historique des réseaux sans fil cellulaires

Dans les réseaux sans fil cellulaires, les anciens systèmes radios transmettent des signaux analogiques et ceux d'aujourd'hui transmettent quant à eux des signaux numériques, composés de bits binaires, où les bits sont obtenus directement par un signal de données ou par un signal analogique numérisé. Un radio numérique peut transmettre un flot de bits continu où il peut grouper les bits dans des paquets.

La première génération de systèmes cellulaires conçus dans les années 60 utilise les communications analogiques avant que les communications numériques ne soient répandues. La deuxième génération quant à elle a migré de l'analogique vers le numérique dû à ses divers avantages. Les composants numériques sont moins chers, plus rapides, plus petits et requièrent moins de puissance. De plus, la qualité de la voix est améliorée grâce au codage de correction d'erreurs. La capacité des systèmes numériques est aussi plus importante comparée à celle des systèmes analogiques puisqu'ils utilisent une modulation numérique spectralement plus efficace ainsi que plusieurs techniques plus performantes pour la répartition du spectre cellulaire. Les systèmes numériques profitent aussi des avantages des techniques de compression avancées et des facteurs d'activité de la voix. De plus, les

techniques d'encryptions peuvent être utilisées pour sécuriser les signaux numériques contre l'écoute. Finalement, en plus de la voix, les systèmes numériques offrent des services de données, tels que les messages courts, les courriels, l'accès à Internet et les capacités d'imagerie. Le Tableau 1.1 résume sur les différentes générations de systèmes cellulaires où les informations ont été tirées de (Goldsmith, 2005).

Tableau 1.1 Comparaison des différentes générations mobiles

Génération	**Technologie**	**Types**	**Caractéristiques**
1G	NMT, AMPS	Analogique	Services voix uniquement
2G	GSM/EDGE	TDMA	Services voix + SMS, largement déployé dans le monde, amélioration des données sur GSM, services multimédias simples (MMS, navigation sur internet)
3G	UMTS/HSPA	CDMA	Service de données pour le réseau UMTS, services multimédias et vidéos en continu améliorés, nouveaux types d'appareils
4G	LTEA/WIMAX 2.0	OFDMA	Nouvelle architecture basée sur IP, service de données à très haut débit, applications dédiées
5G	Émergent	CDMA, OFDMA, SCMA, NOMA	Hétérogénéité transparente, accès agnostique, services et applications avancées

La norme système global pour la communication mobile (dite GSM, de l'anglais Global System for *Mobile communications*) utilise une combinaison d'accès multiples par division temporelle (dite TDMA, de l'anglais *Time-Division Multiple Access*) et de saut à fréquence lente avec une modulation de fréquence pour la modulation vocale. Toutes les normes numériques cellulaires de deuxième génération ont été améliorées pour prendre en charge les services de données par paquets à haut débit. Les systèmes GSM fournissent des débits de données allant jusqu'à 100 Kbps en fusionnant tous les intervalles de temps pour un seul UE. Cette amélioration est appelée service général de radiocommunication par paquet (dite GPRS, de l'anglais *General Packet Radio Service*). Une amélioration plus fondamentale appelée services de données améliorés pour l'évolution du GSM (dite EDGE, de l'anglais *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), augmente encore les débits de données en utilisant une technique de modulation de haut niveau combiné avec le codage de correction d'erreur directe (dite FEC, de l'anglais *Forward Error Correction*). Les systèmes cellulaires de la troisième génération (dite 3G, de l'anglais *Third Generation*) sont basés sur une norme d'accès multiples par répartition de code (dite CDMA, de l'anglais *Code Division Multiple Access*) à large bande, développée sous les recommandations de l'union internationale de la télécommunication (dite ITU, de l'anglais *Internationl Telecommunication Union*) (Goldsmith, 2005). La norme, initialement appelée télécommunication mobile internationale (dite IMT-2000, de l'anglais *International Mobile Telecommunication*), fournit différents débits de données en fonction de la mobilité et de l'emplacement de l'UE, de 384 Kbps pour l'utilisation piétonnière à 144 Kbps pour l'utilisation véhiculaire, à 2 Mbps pour l'usage intérieur. Cependant, la norme 3G est incompatible avec les systèmes de la deuxième génération (2G), de sorte que les fournisseurs de services doivent investir dans une nouvelle infrastructure avant de pouvoir fournir un service 3G.

Les systèmes mobiles de la quatrième génération (dite 4G, de l'anglais *4th Generation*) se concentrent sur l'intégration transparente des technologies sans fil existantes, y compris le GSM, le réseau d'accès local sans fil et le *Bluetooth*. Cela contraste avec la 3G, qui se concentre uniquement sur le développement de nouvelles normes et de nouveaux matériels. Les systèmes 4G soutiendront des services complets et personnalisés, assurant une

performance stable du système et un service de qualité. Toutefois, la migration des systèmes actuels vers 4G présente d'énormes défis. Les réseaux mobiles de la cinquième génération (dite 5G, de l'anglais *5th Generation*) sont quant à eux une norme universelle qui permettra une connectivité totalement transparente sans frontières entre les différents standards existants. Cette nouvelle norme offre une large variété de nouveaux services multimédias à un très haut débit de données. Les espérances sont alors que la 5G surpassera la 4G en termes de débit réalisé, une efficacité spectrale plus importante, un service entièrement omniprésent et finalement une meilleure efficacité énergétique.

1.3.1 Architecture d'un réseau cellulaire traditionnel

L'installation et l'entretien d'une station de base sont très coûteux, elle vaut approximativement un million de dollars pour chaque station de base. C'est la principale raison pour laquelle les premiers systèmes cellulaires ont été conçus. De plus, dû à ce coût important des BSs, les premiers systèmes cellulaires utilisaient un nombre de cellules relativement faible pour assurer la couverture d'une ville ou d'une région entière. Les BSs sont installées sur de grands bâtiments ou des montagnes et transmettent à très haute puissance avec des zones de couverture cellulaire de plusieurs miles carrés. Ces grandes cellules sont appelées macrocellules. La puissance du signal a été rayonnée uniformément dans toutes les directions, de sorte qu'un mobile en mouvement circulaire autour de la BS aurait une puissance reçue approximativement constante si le signal n'est pas bloqué par un objet atténuant. Ce contour circulaire de puissance constante donne au système, une forme de cellule hexagonale, car un hexagone est la forme régulière la plus proche d'un cercle pouvant couvrir une zone donnée avec plusieurs cellules non chevauchantes.

Actuellement, pour pallier aux problèmes de coûts reliés aux installations des BSs et pour assouvir le besoin d'une capacité plus élevée dans les zones à forte densité d'UEs, les systèmes cellulaires ont été améliorés et ne consistent plus uniquement en un système exclusivement macro. Des petites cellules ont été introduites dans les réseaux conventionnels. Ainsi, en milieu urbain, les systèmes cellulaires récents utilisent souvent des cellules à couverture plus étroite dont les BSs sont localisées au niveau de la rue tout en transmettant à

Rapport-Gratuit.com

faible puissance. Ces petites cellules sont appelées des microcellules et des picocellules, dépendamment de leur couverture ou de leur taille. Chaque type de cellule est capable de supporter approximativement le même nombre d'UEs tant que le système est mis à l'échelle en conséquence. En effet, pour une couverture donnée, un système avec plusieurs microcellules comporte un nombre plus élevé d'UEs par unité de surface qu'un système avec uniquement quelques macrocellules. De plus, moins de puissance est requise par les terminaux mobiles dans les systèmes microcellulaires puisque les terminaux sont situés proches des BSs. Cependant, l'évolution vers les petites cellules complique la conception du réseau puisque:

- les mobiles traversent une petite cellule plus rapidement qu'une grande cellule, ce qui oblige les processus de transferts intercellulaires à être traités plus rapidement;
- la gestion de la localisation devient plus complexe dès lors que le nombre de cellules est élevé dans une région donnée où le mobile est localisé;
- il est aussi plus difficile de développer des modèles généraux de propagation pour les petites cellules étant donné que le signal de propagation dans ces cellules dépend fortement de la localisation de la BS et de la géométrie des réflecteurs environnants.

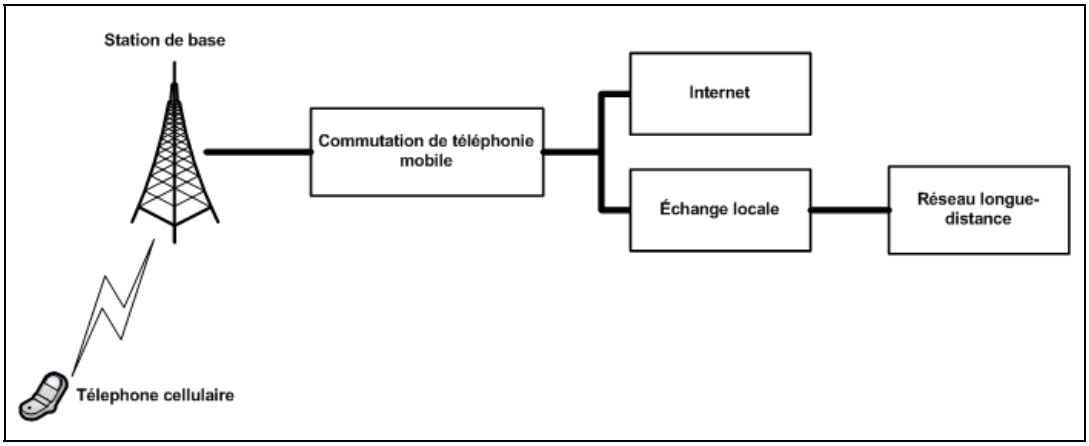

Figure 1.3 Architecture d'un réseau cellulaire actuel

En effet, la forme hexagonale de la cellule n'est généralement pas une bonne approximation de la propagation du signal dans les microcellules. Les systèmes microcellulaires sont souvent illustrés en utilisant des formes carrés ou triangles, néanmoins, ces formes présentent une grande marge d'erreurs dans leur approximation au signal de propagation de la

microcellule (Rappaport, 2002). Les Figure 1.3 et Figure 1.4 ci-dessous illustrent respectivement, l'architecture des systèmes cellulaires conventionnels et actuels. Les figures ont été reprises de (Goldsmith, 2005) :

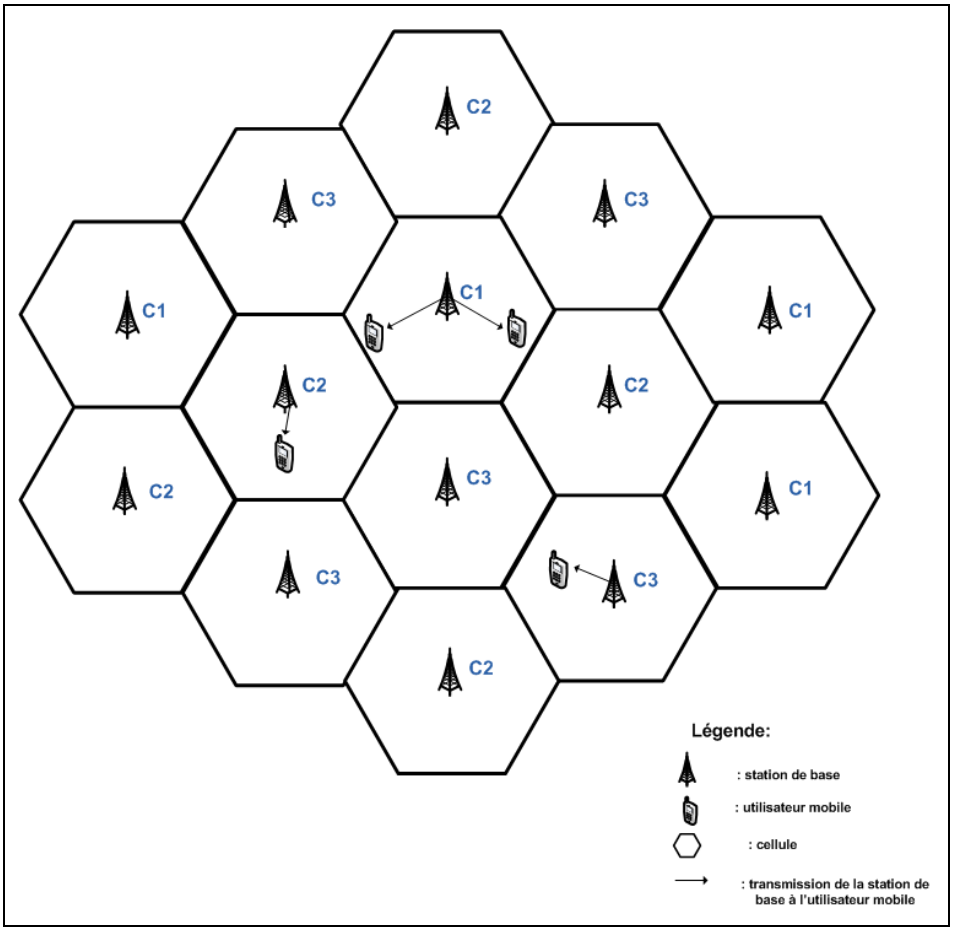

Figure 1.4 Systèmes cellulaires conventionnels

1.3.2 Architecture d'un réseau cellulaire hétérogène

La multiplication excessive et rapide des appareils mobiles, tels que les téléphones intelligents, les tablettes et d'autres appareils exigeants en données médias, connectés à Internet continue de stimuler la croissance du trafic de données de façon exponentielle. Pour satisfaire la croissance explosive des demandes entraînée par ces nouveaux appareils, les

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

opérateurs réseaux doivent augmenter significativement la capacité de leurs réseaux et doivent réduire le coût par bit livré.

De nombreuses recherches ont démontrées qu'à partir de l'année 2008, le développement annuel du trafic de données mobiles est de 100% par année et ne cesse de s'accélérer, ce qui correspond à un facteur de développement de 1000 entre les années 2007 et 2016. De toute évidence, les approches conventionnelles pour accroître la capacité ne sont pas à la hauteur de ce défi d'expansion. Pour que le déploiement du réseau soit rentable économiquement, il est nécessaire de modifier le modèle de déploiement de l'infrastructure du réseau conventionnel qui nécessite l'installation sur tour des BSs traditionnelles, coûteuses, de haute puissance. Cette modification peut être effectuée par le déploiement sous-jacent des BSs hétérogènes dans le réseau traditionnel exclusivement macro. Des exemples d'éléments hétérogènes incluent les microcellules, les picocellules, les femtocellules ou BS d'intérieur, les relais, les systèmes distribués d'antennes (dite DAS, de l'anglais *Distributed Antenna Systems*) qui sont différenciés par leur puissance de transmission, l'étendue de leur zone de couverture, leur taille physique, la liaison de raccordement ou *backhaul*, et leurs caractéristiques de propagation. Ces petites cellules citées plus haut sont distribués partout dans le réseau macrocellulaire.

Dans les déploiements du HetNet, la macrocellule de superposition fournit une couverture étendue tandis que les petites cellules sont déployées de manière plus ciblée pour atténuer les zones de couverture mortes ainsi que les *hotspots*. Il est évident que la modification apportée au réseau conventionnel permet l'amélioration de la capacité. Cependant, cette modification entraîne de nombreux défis au niveau de la coexistence et de la gestion du réseau. La Figure 1.5 inspirée de (Ye, 2013) illustre le déploiement d'un réseau hétérogène.

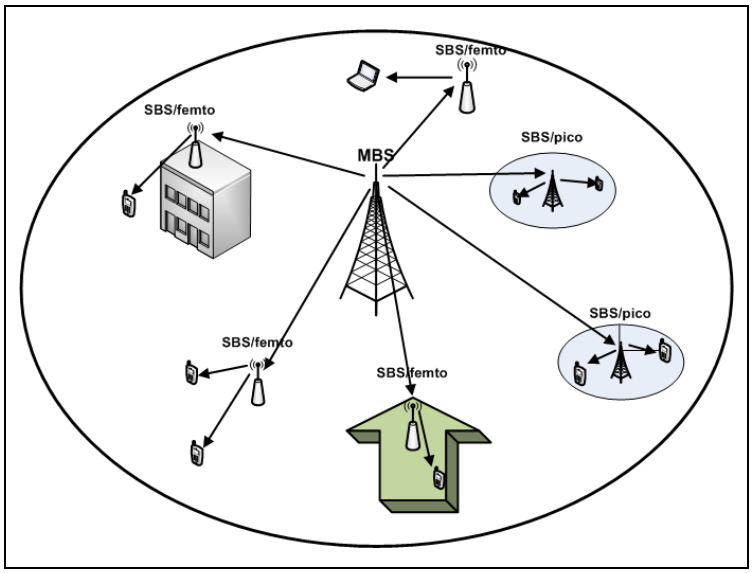

Figure 1.5 Un réseau HetNets à multi-niveaux

1.3.3 Survol des technologies envisagées pour la 5G

Les réseaux mobiles de la 5G sont une technologie de nouvelle génération qui peut s'adapter aux différents réseaux avec lesquels il interagit. En effet, la 5G est une norme universelle qui permettra une connectivité totalement transparente et sans limites entre les différents standards technologiques existants, par exemple, les technologies d'accès par parquets à grande vitesse (dite HSPA, de l'anglais *High Speed Packet Access*), l'évolution à long terme (dite LTE, de l'anglais *Long-Term Evolution*) et le Wifi ainsi que les futurs systèmes sans fil. Cette nouvelle norme en cours de définition supporterait une large variété de nouveaux services multimédias avec un très haut débit de données. Certains services émergents et de futures applications peuvent déjà être envisagés, notamment, la réalité augmentée et l'Internet tactile offrant à l'UE, une expérience multimédia très riche. D'autres exemples d'innovations supportées par la 5G sont les concepts émergents de villes intelligentes, le pilotage sans conducteur des véhicules ou encore le service électronique de santé où les patients peuvent être surveillés instantanément chez eux.

Les consommateurs s'attendent à ce que la 5G surpasse la 4G en termes de débit réalisé, d'efficacité spectrale, de service entièrement omniprésent et finalement une meilleure

efficacité énergétique. De plus, parmi les attentes sont un débit uniforme de 1 Gbps et des crêtes de l'ordre de 10 Gbps avec quelques millisecondes de latence fournissant un service hautement fiable. Au vu de toutes ces attentes, l'exigence de la 5G va au-delà de celles exigées par le secteur de la radiocommunication de l'ITU pour la 4G, définies comme étant le standard des télécommunications mobiles internationales-Avancées (dite IMT-A, de l'anglais *International Mobile Telecommunication Advanced*). Néanmoins, avant le déploiement réel et l'utilisation de la 5G, plusieurs défis au niveau technique et au niveau de la standardisation doivent être résolus. De nouvelles techniques d'accès multiple ont récemment été proposées, telles que l'accès multiple par codes clairs et l'accès multiple non orthogonal.

1.4 Aspects pertinents de la quatrième génération de réseau mobile sans fil

Avec le développement rapide des réseaux de communication sans-fil, le lancement des systèmes mobiles de la 4G a été effectué ces cinq dernières années. Premièrement, les réseaux 4G sont des réseaux hétérogènes basés exclusivement sur le protocole internet (dite IP, de l'anglais *Internet Protocol*), ce qui permet aux UEs d'utiliser tout le système, en tout temps et à tout endroit. Les UEs ayant un terminal intégré peuvent utiliser un large choix d'applications fournis par des réseaux sans-fil différents. Deuxièmement, les systèmes 4G supportent non seulement les services de télécommunication mais aussi des services multimédias et données. En effet, les systèmes mobiles 4G se focalisent sur l'intégration transparente des technologies sans-fil existantes incluant le GSM, le réseau local sans-fil et le Bluetooth, contrairement à la 3G, qui se concentre uniquement sur le développement des nouveaux standards et matériels. Les systèmes 4G supportent des services complets et personnalisés, fournissant au système, une performance stable ainsi qu'une qualité de service. Les systèmes 4G offrent une grande facilité d'utilisation en tout temps, à tout endroit et avec n'importe quelle technologie. De plus, afin de supporter les services multimédias, des services haut débit avec un bon système de fiabilité et à coût raisonnable sont fournis.

Lorsque les services 4G sont lancés, les UEs se trouvant dans diverses localisations à grande étendue, ayant diverses professions, et provenant de classes économiques différentes

pourront utiliser les services offerts. Afin de répondre aux demandes des divers UEs, les fournisseurs de services doivent leur concevoir des services personnalisés. Finalement, les systèmes 4G fournissent aux UEs, la facilité pour les services intégrés, c'est-à-dire qu'ils peuvent utiliser des services de différents opérateurs en tout temps. Pour illustrer ces affirmations, prenons en exemple, un UE mobile de la 4G. Le mobile peut simultanément se connecter à différents systèmes sans-fil qui peuvent inclure un système de positionnement pour suivre la localisation actuelle, un réseau local sans-fil pour avoir un aperçu des films projetés dans les cinémas environnants et un système CDMA pour faire un appel téléphonique à l'un des cinémas. Dans cet exemple, l'UE utilise différents services sans-fil qui ont des niveaux de QoS, des politiques de sécurité, des paramètres d'appareil, des méthodes de paiement et des applications différents.

1.4.1 Topologie et déploiement du réseau

Un réseau HetNet peut être un réseau consistant en différents nœuds d'accès, tel qu'on l'a défini dans la section précédente. Il peut aussi être un réseau comprenant différentes technologies d'accès radio (dite RAT, de l'anglais *Radio Access Technology*) tels que le WIFI, GSM, HSPA, LTE/LTE-A fournis par plusieurs opérateurs et coexistant dans un même réseau HetNet. HetNet met en œuvre de multiples tiers et/ou couches réseaux. Cependant, dans ce travail, nous nous focalisons sur un HetNet qui comprend différents nœuds d'accès.

Dans les déploiements de réseaux hétérogènes, la macrocellule de superposition fournit une couverture étendue tandis que les nœuds à faible puissance sont déployés de manière plus ciblée pour atténuer les zones de couverture mortes ou *deadzones* et les zones de trafic chaud ou *hotspots*. Une topologie HetNet défie fondamentalement de nombreux aspects traditionnels de la conception et de l'analyse des systèmes cellulaires. Deux exemples marquants de modèles dépassés sont:

- l'utilisation d'une cellule hexagonale uniforme pour modéliser les emplacements des BSs;

- l'hypothèse selon laquelle un mobile devrait généralement se connecter à la BS fournissant le signal le plus fort, ce qui n'est souvent pas celui qui fournit le meilleur débit ou la meilleure performance du réseau dans un HetNet.

D'un autre côté, les nœuds à faible puissance peuvent être déployés en utilisant la même fréquence porteuse que le réseau macro (F1-F1), ou en utilisant une fréquence porteuse différente (F1-F2). En utilisant les petites cellules dans les *hotspots* où la densité d'UEs est plus importante, on peut réaliser la réutilisation de spectre via le fractionnement de cellules.

1.4.1.1 *Hotspot* intérieur

Les UEs résidentiels des réseaux mobiles pour la voix et l'Internet ne cessent d'augmenter, ainsi un édifice résidentiel peut devenir un *hotspot* intérieur de petite ou moyenne taille à multiples partitions. Les *hotspots* intérieurs sont catégorisés par des cloisons et ils comportent une variation importante de tailles de couverture : petite, moyenne ou large. Les *hotspots* non-partitionnés de petite à moyenne taille incluent les supermarchés, les passages sous-terrain et les salles de conférences où l'UE est en mouvement et la capacité de demandes est élevée. Les hotspots intérieurs larges à partitions multiples comprennent les larges bureaux d'un édifice, les hôtels et d'autres lieux où la densité d'UEs et la demande sont élevées. Cependant, les exigences en couverture et en capacité doivent être considérées pour ce scénario en raison de la présence d'ascenseurs et d'étages où la couverture verticale de la macrocellule est souvent faible. Les *hotspots* intérieurs non-partitionnés sont typiquement des *hubs* de transport où la densité d'abonnés est élevée et la plupart des pics sont sporadiques.

1.4.1.2 *Hotspot* extérieur

Les *hotspots* d'extérieur se divisent en trois catégories : les hotspots indépendants (*hotdots*), les *hotspots* qui suivent une rue ou *hotlines* et les hotspots larges ou *hotzones*. Dans un scénario hotdot, pour un restaurant par exemple, la demande est élevée mais la couverture est étroite et la mobilité des UEs est faible. Dans un scénario hotline, la densité d'abonnés et les

exigences du trafic sont élevées, avec une couverture ressemblant à un plan de rues présentant quelques chevauchements avec les entreprises environnantes. Un *hotzone* est généralement un carré ou un autre espace public où la densité d'UEs et la demande sont toutes les deux élevées mais uniquement à certains moments et sont en grande partie prévisibles.

1.4.2 Couverture et capacité

Le réseau HetNet est basé sur l'idée d'un déploiement très dense de BSs à faible coût et à faible consommation qui sont sensiblement plus petites que les macrocellules traditionnelles. Plusieurs travaux montrent que le déploiement de BSs à faible puissance peut fournir des avantages au réseau, tels que l'amélioration de la capacité, l'extension de la couverture, la réduction de coûts et l'efficacité énergétique.

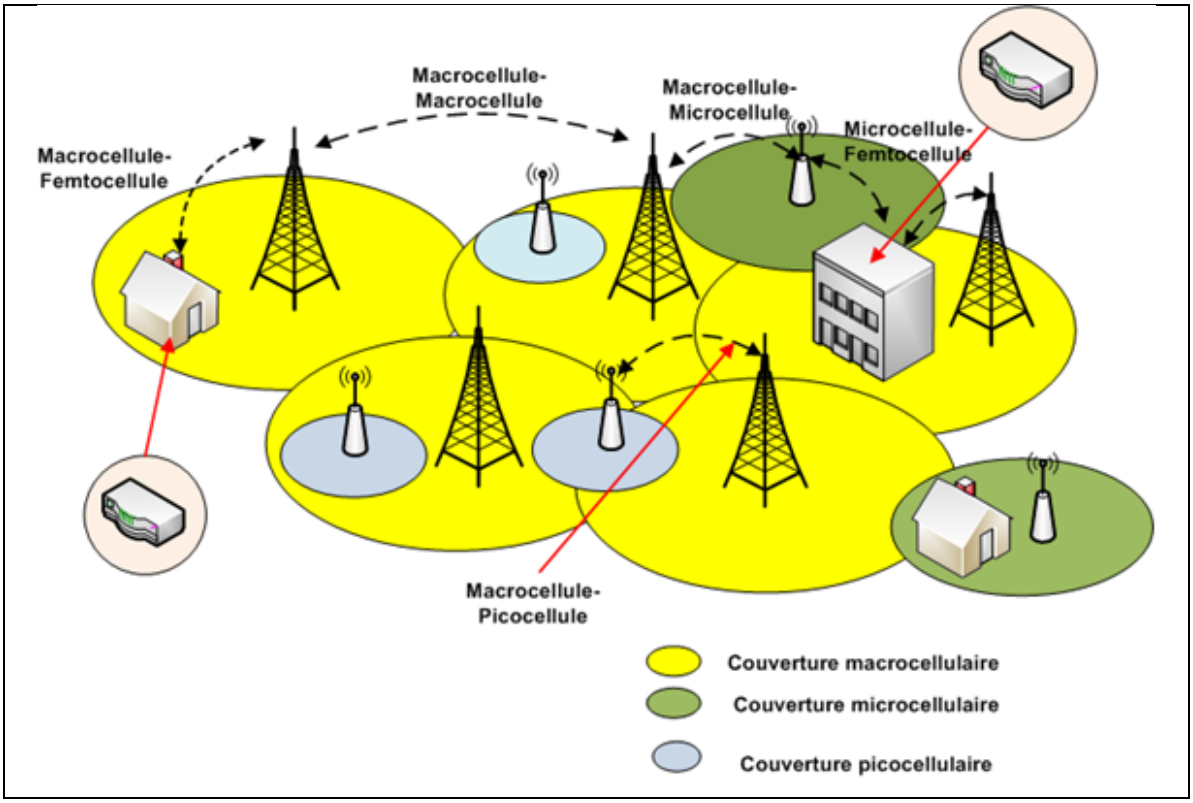

Figure 1.6 Architecture d'un HetNet

Due à leur puissance de transmission, relativement faible par rapport à celle de la macrocellule, les petites cellules ont une efficacité énergétique plus considérable. Pour un HetNet donné, le rayon d'une petite cellule est typiquement de 10 à 200m dans des locations urbaines ainsi que dans des édifices et il est supérieur à 2 km dans les zones rurales. Sa puissance de transmission se situe entre 20 mW et 2 W. D'un autre côté, le rayon d'une macrocellule est de quelques kilomètres, soit environ 35 km et sa puissance de transmission est de 20 à 40 W. Toutes les BSs peuvent coexister pour former une architecture multi-niveau et elles s'appuient sur des fonctionnalités d'auto-organisation pour un fonctionnement autonome. La Figure 1.6 illustre l'architecture typique de HetNets et la zone de couverture relative de chaque BS (Nasimi, 2012).

1.4.3 Spécifications des cellules et des éléments d'un HetNet

Les petites cellules peuvent être considérées comme des points d'accès de petite portée (300 m ou moins), de faible puissance qui sont généralement équipées d'une antenne omnidirectionnelle. De plus, elles sont moins coûteuses et supportent moins d'UEs comparées aux macrocellules. Les petites cellules ont les mêmes fonctionnalités de liaison de raccordement et d'accès qu'une BS conventionnelle, elles sont généralement déployées à l'intérieur ou à l'extérieur et opèrent dans la licence spectrale d'un opérateur mobile. Il a été démontré que l'utilisation de petites cellules promet l'amélioration de la couverture cellulaire, augmente la capacité du système et supporte la surabondance des applications émergentes à domicile et en entreprise.

Les picocellules et microcellules sont gérées par l'opérateur tandis que les femtocellules sont typiquement installées et gérées par l'UE et ce, d'une manière non-planifiée (Zahir, First quarter 2013). Celles-ci améliorent la couverture radio pour les UEs mobiles à l'intérieur d'une maison ou dans un petit bureau. Contrairement aux microcellules et picocellules, les femtocellules utilisent la liaison de raccordement à large bande de l'UE final pour atteindre l'opérateur du réseau mobile. En effet, les femtocellules sont connectées aux opérateurs de réseau via des connexions à large bande telles que la ligne numérique de l'abonnée (dite DSL, de l'anglais *Digital Subscriber Line*) ou le câble. Les femtocellules sont exploitées à

accès restreint (CSG) signifiant que seuls les abonnés d'une femtocellule sont autorisés à s'y connecter.

Plusieurs études ont démontré que les femtocellules ont la capacité de garantir une bonne QoS, une capacité de réseau élevée ainsi qu'une réduction des coûts d'infrastructure, de maintenance et d'exploitation pour les opérateurs de réseau (Xenakis, First Quarter 2014). D'un autre côté, les nœuds de relais sont une solution peu coûteuse pour améliorer la couverture au niveau du bord de la cellule qui pourrait offrir une flexibilité dans la liaison de raccordement.

1.4.3.1 La macrocellule

Les réseaux macrocellulaires sont constitués de BSs installées par un opérateur conventionnel, offrant un accès public et une couverture étendue, approximativement de l'ordre de quelques kilomètres. Généralement destinées à fournir un débit de données minimum garanti sous des contraintes de retard et d'interruption maximales tolérables, les macrocellules émettent généralement jusqu'à 46 dBm, desservant des milliers de clients et utilisant une liaison de raccordement dédiée.

Tableau 1.2 Les différents types de BSs dans HetNet

BSs	**Puissance de transmission**	**Couverture**	**Accès**	**Liaison de raccordement**
Macro	*46 dBm*	Quelques kilomètres	Ouvert	S1
Pico et micro	23-30 dBm	< 300 m	Ouvert	X2
Femto	< 23 dBm	< 50 m	CSG (restreint)	DSL
Relais	30 dBm	300 m	Ouvert	Sans-fil

Rapport-Gratuit.com

1.4.3.2 La picocellule

Les picocellules sont généralement déployées de manière centralisée, desservant quelques dizaines d'UEs dans une plage radio de 300 m ou moins et ayant une plage de puissance de transmission typique de 23 dBm à 30 dBm. Les picocellules sont principalement utilisées pour la couverture à l'extérieur ou à l'intérieur, c'est-à-dire dans des environnements dont la pénétration de la macrocellule est insuffisante (par exemple, des immeubles de bureaux).

De plus, les picocellules :

- peuvent être déployées au bord de la macrocellule afin d'étendre la couverture ou le débit;
- sont accessibles à tous les UEs ;
- ont une couverture d'environ 200m ;
- peuvent servir entre 32 à 100 UEs.

La Figure 1.7 a été tirée de (Singh, 2014), elle illustre le déploiement d'un réseau de macrocellule-picocellule extérieures.

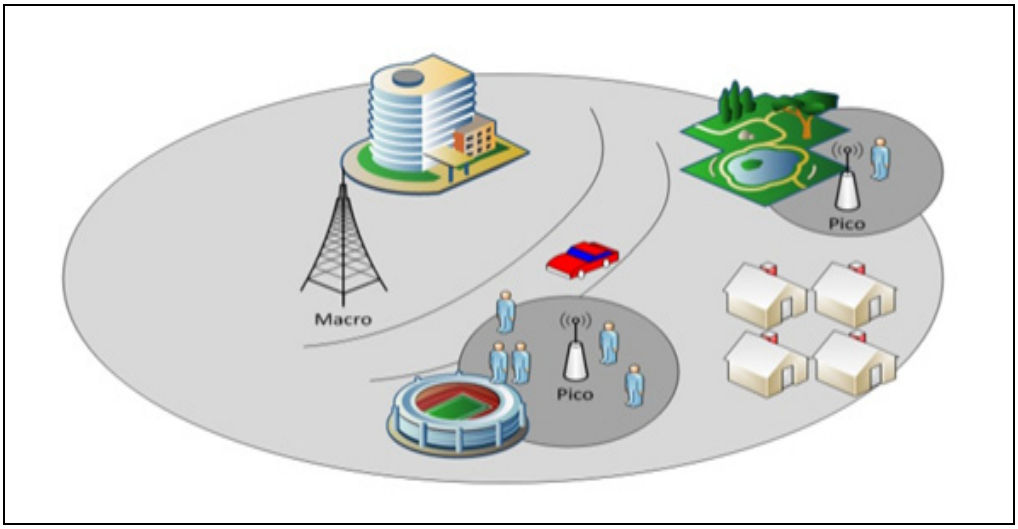

Figure 1.7 Déploiement d'une macrocellule-picocellule extérieure

1.4.3.3 La femtocellule

Les femtocellules déchargent le trafic de données à l'aide de la connexion à large bande des consommateurs et desservent une douzaine d'UEs actifs dans les foyers ou les entreprises. Typiquement, la plage de la femtocellule est inférieure à 50 m et sa puissance de transmission est inférieure à 23 dBm. La Figure 1.8 qui a été tirée de (Singh, 2014) donne un aperçu de déploiement d'une macrocellule-femtocellule à l'intérieur des logements.

En général, les femtocellules :

- sont déployées à l'intérieur afin d'augmenter le débit;
- sont accessibles à des UEs spécifiques, appelé groupe fermé d'abonnés (dite CSG, de l'anglais Closed Subscriber Group), c'est-à-dire que même si un UE est localisé proche de la femtocellule, il ne peut pas s'y connecter s'il n'est pas membre du CSG et sera connecté automatiquement à la macrocellule.

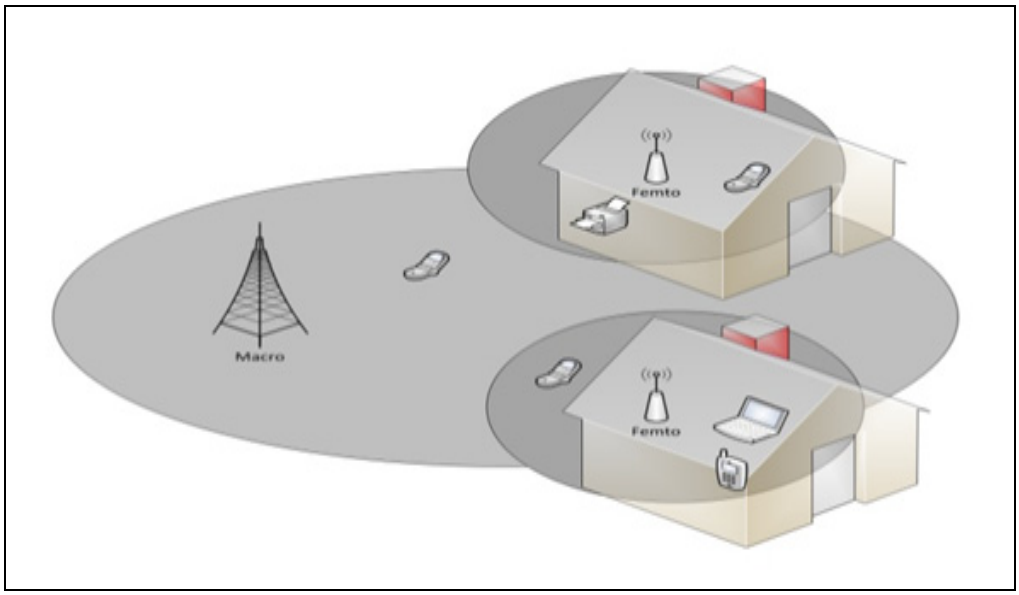

Figure 1.8 Déploiement d'une macrocellule-picocellule intérieures

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

1.4.3.4 Les relais

Les relais sont généralement des points d'accès déployés par l'opérateur qui acheminent les données de la macrocellule vers les UEs finaux et vice versa et dont la puissance d'émission est similaire à celle des picocellules. Ils sont positionnés de façon à augmenter la puissance du signal et à améliorer la réception dans les points morts (*deadzones*) du réseau tels que les bords des cellules et les tunnels. Ils peuvent fonctionner dans des modes transparents ou non transparents comme dans le cas du IEEE 802.16m, avec peu ou pas de frais incrémental de liaison de raccordement.

1.4.3.5 Les unités de radio à distance

Les unités de radio à distance (dite RRU, de l'anglais remote radio unit (RRU) sont des appareils compacte, de haute puissance, qui sont installés à l'extérieur de la macrocellule classique et reliées à celle-ci généralement par un câble de fibre optique, créant ainsi une BS répartie. La BS centrale de la macrocellule est en charge du traitement du signal de contrôle et de bande de base. Les RRUs éliminent les pertes de puissance dans le câble d'antenne et réduisent la consommation d'énergie. Ils donnent également aux opérateurs, qui font face à des défis d'acquisition de site et / ou des limitations physiques, une amélioration de la flexibilité lors des déploiements réseau.

1.5 Caractéristiques techniques du HetNet

1.5.1 Association UE-BS

Le problème d'association UE-BS qui est aussi souvent appelé sélection de sites cellulaires, survient, dans les réseaux cellulaires homogènes. Les recherches sur ce sujet ont débuté aux alentours de l'année 1995. Ce problème est d'autant plus important dans les réseaux HetNets lorsque l'UE peut être servi par plusieurs BSs simultanément, plus précisément lorsqu'il y a un chevauchement de couverture. La sélection de réseau devient un problème de prise de décision à critères multiples qui implique un nombre important de paramètres ainsi que des

compromis complexes entre les critères contradictoires. Dans la littérature, une variété des caractéristiques du réseau d'accès a été considérés et identifiés comme des critères potentiels de sélection de réseau, telles que discutés dans (Shen, 2007; Wang, 1999). Les caractéristiques incluent la qualité de lien, la disponibilité, le débit, la charge du réseau, le délai de transfert du fichier, la fiabilité, la consommation de puissance, la bande passante, le coût du service, la fréquence du transfert intercellulaire ainsi que la vitesse du terminal mobile. Généralement, les techniques de sélection considèrent des sous-ensembles de ces critères dans leur stratégie de prise de décision.

La complexité de la sélection du réseau d'accès est reconnue comme un problème d'optimisation non-déterministe NP-complet (dit NP-hard, de l'anglais Non-deterministic Polynomial-time Hard) (Gazis, 2003). Plus précisément, un problème H est NP-complet lorsque chaque problème L dans NP peut être réduit en temps polynomial à H, c'est-à-dire: en supposant qu'une solution pour H prend 1 unité de temps, on peut utiliser la solution de H pour résoudre L en un temps polynomial (Knuth, 1974; Leeuwen, 1998). En conséquence, trouver un algorithme polynomial pour résoudre un problème NP-complet donnerait des algorithmes polynomiaux pour tous les problèmes dans NP. Ainsi, il n'existe aucune solution optimale puisque chaque UE a ses propres préférences. En effet, satisfaire tous les critères posés par les UEs peut être assez complexe puisque certains critères peuvent avoir des conflits. Par exemple, un UE peut préférer un réseau d'accès à faible coût tandis qu'un autre peut préférer un réseau d'accès pouvant lui fournir la meilleure performance au détriment du coût. En effet, les préférences de l'UE sont des moyens de surpasser la complexité de la procédure de prise de décision. Elles forment aussi une relation d'estimation entre un ensemble de critères ainsi qu'un degré d'importance pour chaque critère. Plus précisément, les UEs assignent à chaque critère un poids relatif à sa préférence en fonction de leurs exigences. Une fois que le critère est identifié et que les préférences sont fixées, une méthode de comparaison de réseaux est requise afin d'identifier le critère le plus approprié. Généralement, la décision sera basée sur une utilité aperçue qui est aussi utilisée pour déduire le profit de l'opérateur réseau en termes d'allocation de ressources radio.

L'utilité est un métrique clé dans la sélection de réseau et dans l'allocation de ressources. Les objectifs sont d'adapter les modèles d'utilités existants aux caractéristiques du système réseau et des expériences de l'UE, et de rendre possible l'analyse et la quantification de la QoS qui déduit la satisfaction de l'UE offerte par un nœud d'accès réseau. L'utilisation d'une technique robuste de sélection permet aussi d'équilibrer la charge des cellules malgré la disparité de la puissance de transmission et de la couverture cellulaire entre les BSs de différents types dans le HetNet.

1.5.2 Mobilité

Les réseaux sans-fil actuels permettent aux usagers mobiles de transporter des terminaux multimodes pour déplacer leurs réseaux domestiques vers différents réseaux tout en ayant un accès complet à leurs services (Araujo, 1998; Pandya, 1997; Pierre, Avril 2003). Il s'agit d'une mobilité globale et d'une transférabilité des services. Dans ce contexte, la localisation d'un UE ou l'autorisation d'accès aux services exigent une interopérabilité entre plusieurs sous-systèmes fixes et mobiles qui n'implémentent pas nécessairement la même technologie, ce qui peut augmenter le trafic de signalisation et diminuer la performance du réseau.

Dans un réseau mobile, la zone de service est divisée en zone de localisation (ZL) et chaque ZL couvre plusieurs cellules (Jannink, 1996). En principe, lorsqu'un terminal mobile entre dans une nouvelle ZL, il doit mettre à jour son information de localisation avec le réseau, ce qui permet au réseau de connaitre exactement sa ZL actuelle à tout moment (Li, 2002; Wang, 2000). L'implémentation des méthodes basées sur la ZL pour la gestion de mobilité exige l'utilisation d'un registre de localisation de domicile (dite HLR, de l'anglais Home Location Register) ainsi que plusieurs registres de localisation de visiteurs (dite VLR, de l'anglais Visitor Location Register) (Ho, 1997; Ryan, 1999). En effet, lorsqu'un UE mobile se souscrit aux services sans fil, un enregistrement permanent de son profil est créé dans le HLR. Puisque cet UE peut se déplacer d'une ZL vers une autre, sa position actuelle est généralement maintenue dans le VLR et doit être identifiée avant l'établissement d'une connexion quelconque.

Dans le contexte de la mobilité globale, il est crucial de posséder une architecture qui garantit à la fois les connexions des terminaux mobiles pendant l'itinérance ou roaming entre les réseaux hétérogènes et d'un autre côté, qui supporte la portabilité de services entre les sous-systèmes sans-fil. Une telle architecture peut être possible par l'utilisation d'un équipement spécialisé appelé registre de localisation et de passerelle d'interconnexion (RL-PIN), qui interconnecte le RLD des sous-systèmes adjacents. Cette interconnexion permet de réduire le prix du lien financier et le coût total de signalisation résultant de la mobilité globale.

1.5.3 Allocation de ressources

Dans les réseaux sans-fil, l'allocation des ressources sans-fil aux nœuds du réseau, c'est-à-dire aux BSs et aux UEs constitue une des procédures les plus importantes. Dans les réseaux basés sur le multiplexage orthogonal par division de fréquences (dite OFDM, de l'anglais Orthogonal Frequency Division Multiplexing), les sous-canaux sont des exemples évidents de telles ressources. Ainsi, une technique particulière d'allocation de ressources détermine comment les ressources disponibles du canal sont allouées aux différents nœuds. Dans les réseaux cellulaires homogènes, l'allocation de ressources est souvent très simple puisqu'elle implique l'allocation entre les nœuds ayant des couvertures et des charges similaires. Par exemple un modèle de réutilisation peut être utilisé pour allouer la même quantité de ressources du canal aux différentes BSs. Cette approche, simplifie l'allocation de ressources et offre une certaine garantie en termes de niveau d'interférences puisque l'influence de l'interférence entre les BSs est plutôt symétrique. Dans les réseaux HetNets, les différents nœuds ont une couverture et une charge différente. De plus, l'inégalité de la puissance entre les macrocellules et les petites cellules entraîne l'asymétrie de l'interférence. L'allocation de ressources dans un HetNet devient donc très complexe.

Dans les réseaux sans-fil, il existe différentes techniques d'allocation de ressources et de gestion d'interférence déterminant comment les ressources du canal sont partagées entre les petites cellules (femtocellule ou picocellule) et la BS d'une macrocellule. Parmi les plus importantes sont le contrôle de la congestion, le routage, la planification de lien et le contrôle

de puissance (Rappaport, 2002). Chacun de ces points principaux peut être ciblé séparément, en ne tenant pas compte des interdépendances pouvant exister entre eux. Néanmoins, l'exploitation de ces interdépendances par le biais d'une optimisation conjointe peut mener à des gains de performance considérables mais cela peut être prohibitif du point de vue du calcul pour une utilisation réelle. D'autres techniques d'allocation de ressources sont le déploiement co-canal (DCC), le déploiement orthogonal (DO) et le déploiement partiel partagé (DPP). Dans le DCC, la ressource radio disponible est utilisée par toutes les BSs qui appartiennent à une couverture macro donnée. Dans le DO, les canaux sont divisés entre la macrocellule et les petites cellules, ainsi, l'interférence est maintenue à un niveau acceptable. Dans le DPP, la macrocellule est autorisée à transmettre aux petites cellules sur les canaux disponibles, même si c'est avec une puissance faible. Cependant, les paramètres de certaines de ces techniques d'allocation de ressources doivent être ajustés. Un choix optimal de ces paramètres donnerait une bonne performance, résultant cependant une complexité importante. Ainsi, un bon algorithme d'allocation de ressources aurait pour objectif, de trouver les bonnes valeurs de ces variables ou paramètres d'allocation de ressources.

Généralement, le problème d'allocation de ressources dans HetNets est fortement couplé avec le modèle de sélection cellulaire. Dans un réseau cellulaire exclusivement macro, l'association UE-BS peut être découplée de l'allocation de ressources et l'UE est simplement associé à la BS lui fournissant la plus forte puissance de signal. Cependant, dans un HetNet, cette politique d'association entraînera la limitation des ressources des macrocellules tandis que les petites cellules seront extrêmement sous-utilisées, ce qui est entraîné par le large écart dans leur puissance de transmission. Afin de rééquilibrer la charge, un UE peut être associé à une petite cellule même si la puissance du signal qu'il reçoit d'une macrocellule est plus forte mais cela cause une interférence sévère à l'UE concerné. De plus si les ressources radios ne sont pas soigneusement partitionnées entre les cellules, le gain résultant de l'hétérogénéité du réseau diminue. Il est ainsi évident que l'allocation de ressources et l'association UE doivent être optimisées conjointement.

1.5.4 Consommation de puissance et d'énergie

Dans les réseaux cellulaires, la BS consomme jusqu'à 80% d'énergie, correspondant à une grande dépense d'exploitation (dite OPEX, de l'anglais Operational Expenditure) (Tombaz, 2011). Par conséquent, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les réseaux cellulaires est devenue une demande urgente, elle peut être réalisée de deux façons. La première consiste à réduire la consommation d'énergie de la BS grâce à la conception matérielle économe en énergie ou à l'optimisation de l'amplificateur de puissance. Une autre façon consiste à réduire la distance de propagation entre les BSs. D'un autre côté, les stratégies de déploiement avancées basées sur les petites cellules de faible puissance sont aussi très prometteuses.

Ainsi, les réseaux HetNets, qui utilisent un ensemble diversifié de BSs telles que macro, pico, femto et relais pour compléter les réseaux cellulaires macro conventionnels, semblent un moyen d'augmenter les performances du système et l'efficacité énergétique des réseaux cellulaires (Leem, 2013; Richter, 2009) selon un certain nombre d'études réalisées. (Nasimi, 2012) étudie les effets de la taille des cellules sur l'économie d'énergie, la capacité du système et la capacité par énergie. (Badic, 2009; Richter, 2009) ont montré que la réduction de la taille des cellules diminue le taux de consommation d'énergie cellulaire tout en augmentant la densité de capacité, cependant, la consommation d'énergie du réseau d'accès radio (RAN) reste inchangée.

1.5.5 Relation lien ascendante-descendante

HetNet résulte en une large zone de couverture des macrocellules et en une couverture plus étroite des picocellules et femtocellules. En effet, en lien descendant (dite DL, de l'anglais Downlink), à cause des écarts importants entre les puissances de transmission des différents types de BSs, la couverture d'une femtocellule peut être limitée à une seule maison, ou un seul étage d'un édifice. Ce cas n'est peut-être pas valable pour le lien ascendant (dite UL, de l'anglais Uplink) du réseau. Pour des mêmes localisations de BSs, la puissance maximale des zones de couverture en DL et UL est très différente. En effet, en UL, tous les appareils

utilisés en émetteurs sont des appareils mobiles qui épuisent des batteries. Ces appareils ont à peu près la même puissance de transmission, ainsi, une même portée. Pour un appareil mobile émetteur, une BS est juste un récepteur, par conséquent, une femtocellule et une macrocellule sont identiques.

Les macrocellules peuvent être installées sur des tours et ont des gains d'antennes plus élevées, incluant le gain d'antenne de réception, tandis que les femtocellules peuvent être installées à l'intérieur et ont un gain d'antennes plus faible. Les régions de couverture nominales ne dépendent pas du contrôle de puissance en UL, même si cela forme aussi une différence majeure entre le DL et l'UL. Pour une puissance de transmission donnée, la BS la plus proche permettra un maximum de puissance reçue. Par conséquent, dans un HetNet, la relation entre les deux liens est un peu différente de celle dans un réseau conventionnel uniquement macro. En effet, un mobile peut souhaiter être associé avec différentes BSs en UL et DL et le fait de ne pas répondre à cette demande peut extrêmement entraîner une dégradation de la performance obtenue. Par exemple, les UEs situés au bord de la macrocellule pourraient préférer être connectés à une picocellule ou à une femtocellule située plus proche d'eux, même si le signal correspondant est trop faible pour une réception en DL. Cependant, si DL et UL sont assouplis pour que les deux directions deviennent indépendantes, il y aura des implications intéressantes pour la QoS de l'UE mobile et pour le réseau principal. Le trafic dans chaque direction est acheminé à différentes BSs et vers différentes BSs. Un mobile peut se situer au bord de la cellule et avoir un SINR faible dans une direction mais plus puissant dans une autre direction. Ce déséquilibre entre les deux liens peut être réduit par la méthode biaisée qui augmente les zones de couverture en DL des petites cellules, ce qui les rend plus identiques aux régions UL. On utilise ici le terme «biaisée» ou «biaisage», utilisé interchangeablement, pour exprimer la méthode d'extension de couverture cellulaire par laquelle un biais (en dB) est ajouté à la puissance reçue par l'UE de la petite cellule/macrocellule afin de l'inciter à se connecter ou à se reconnecter à cette cellule.

Une autre caractéristique du DL et UL est la différence entre les modèles d'interférence et les SINR résultants dans les deux liens. En assumant les accès orthogonaux, les UEs qui sont orthogonaux entre eux au niveau du DL, c'est-à-dire partageant la même BS d'une macrocellule peuvent s'interférer entre eux au niveau de l'UL s'ils transmettent vers différentes BSs. Ceci est dû au quasi non-corrélation des gains de canaux et du SINR dans les deux directions (DL et UL).

1.5.6 Liaison de raccordement

Sur le plan opérationnel, les HetNets peuvent partager l'infrastructure de la liaison de raccordement avec les points d'accès (dite AP, de l'anglais *Access Point*) sans fil / filaires déjà existants. Comme la plupart des microcellules sont insérées sur n'importe quelle infrastructure disponible, la plupart des sites n'ont pas de support de transmission préexistant. Une solution pour la microcellule nécessite une liaison de raccordement fixe et sans fil. Les solutions typiques de liaison de raccordement radio utilisent les micro-ondes à 60GHz, le LTE TDD, le micro-onde d'*eBand,* ou le Wifi, chacun ayant ses propres avantages. Les micro-ondes 60GHz sans licence ont un bénéfice en termes de coûts pour les scénarios de déploiement des microcellules qui sont à une courte distance et à large bande passante. D'un autre côté, le LTE à duplexage en division temporelle prendrait en charge la liaison de raccordement sans ligne de visée (dite NLOS, de l'anglais *Non-Line Of Sight*) point-multipoint (PMP). Finalement, le Wifi est mieux adapté aux services de données à faible coût.

1.5.6.1 Petite cellule à liaison de raccordement filaire :

Le scénario à liaison de raccordement filaire est le scénario de connexion le plus courant des petites BSs à la macrocellule. Cependant, le déploiement de liaisons filaires n'est pas toujours réalisable. Dans ce scénario, il existe trois types de liaisons, les liaisons directes entre les macrocellules et les UEs, les liaisons d'accès entre les petites cellules et les UEs, et les liaisons filaires entre les macrocellules et les petites cellules. Les deux premiers types sont souvent appelés les liens utilisateurs. En effet, la performance du HetNet dépend des

Rapport-Gratuit.com

algorithmes et des techniques de gestion des ressources radio utilisés dans les liens UE. Ainsi, les liens de raccordement doivent être suffisamment fournis en termes de ressources radio. Généralement, on suppose que le lien de raccordement est idéal. Cependant, cette hypothèse pourrait avoir besoin d'une révision dans le futur HetNets ultra-dense où la liaison de raccordement doit être prise en compte.

1.5.6.2 Petite cellule à liaison de raccordement sans-fil

Contrairement au scénario filaire, les liens de raccordement sans fil des petites cellules rivalisent avec les liens UEs pour les ressources radio, telles que la fréquence, le temps et la puissance de transmission. Différents types de configurations des liens de raccordement peuvent exister et ils diffèrent selon les capacités du nœud, y compris le nombre d'interfaces aériennes, la directivité de chaque interface aérienne, etc…De plus les types de configurations diffèrent dans la manière dont les ressources du canal sont allouées aux différentes liaisons. Un autre scénario de liaison de raccordement sans fil existe également, où une bande séparée est disponible pour l'exploitation des liens de raccordement. Un tel scénario est appelé scénario de relais à bande dédiée.

Ces dernières années, l'utilisation des bandes d'ondes millimétriques pour les liaisons de données sans fil attire beaucoup d'attention mais son utilisation pour les liens d'UEs n'est pas aussi simple. L'utilisation de ce spectre d'onde millimétriques pour les liaisons de raccordement statiques peut être considérée comme une solution potentielle pour résoudre le problème de la pénurie de spectre dans l'industrie sans fil, à condition qu'une largeur de bande suffisante soit disponible et que les caractéristiques de propagation (telles que l'afaiblissement du trajet, ombrage), la puissance de transmission disponible et les techniques de couche physique sous-jacentes supportent la capacité requise par les liaisons de raccordement. Un tel *backhauling* peut potentiellement être configuré pour approcher la performance d'un scénario câblé.

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé de la généralité sur la communication sans fil, notamment, son développement, l'évolution de ses configurations et son déploiement de génération en génération, de la GSM à la 5G. Un tableau récapitulatif des différentes générations est aussi présenté dans ce chapitre, afin de faciliter l'observation des améliorations apportées à chaque type de technologie d'accès radio. Les communautés de la recherche, les fournisseurs de service, les opérateurs de télécommunication constatent constamment l'augmentation exponentielle de la demande des consommateurs en volume de données et en QoS (les applications sur les appareils intelligents ne cessent de se multiplier et généralement, ces applications requièrent des données volumineuses de grande qualité). Cette observation les encourage à proposer des améliorations continues sur les technologies existantes puisque les exigences de chaque nouvelle technologie, émises par l'ITU doivent surpasser celles des technologies antérieures, principalement en termes de débit. Ainsi, dans notre thèse, nous nous focalisons sur les aspects du HetNet, plus précisément, sur la sélection cellulaire, la mobilité et l'allocation de ressources. Nous constatons que la prolifération des petites cellules dans la macrocellule dans un HetNet ajoute une nouvelle dimension dans la possibilité d'exploitation des réseaux cellulaires. Certes, le nombre d'UEs pouvant être servis devient large comparé au cas du réseau conventionnel mais la complexité résultante devient aussi plus importante dans le HetNet. De plus, la disparité dans les caractéristiques des différents types de BSs en termes de puissance de transmission, couverture, nombre d'UEs dans chaque bloc de ressources rend ce type de réseau plus difficile à traiter.

1.6.1 Plan de recherche proposé

Cette thèse comporte six chapitres, ci-dessous nous donnons un aperçu du contenu de chaque chapitre. Dans le chapitre 1, nous avons discuté de la généralité sur les réseaux sans-fil mobiles, allant de sa création d'il y a plusieurs années à son état actuel ainsi que de son futur. Nous avons vu dans le développement de ce chapitre que l'évolution du réseau sans fil de génération en génération est due à l'augmentation infinie de la demande des consommateurs en termes de QoS pour leurs applications exigeantes en débit et en volume de données. Ainsi,

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

il est nécessaire pour les opérateurs de satisfaire à ces besoins en offrant simultanément un coût de services assez raisonnable. Sur le plan technique, le déploiement et la configuration des réseaux de la génération sans fil subséquente sont améliorés par rapport à la précédente. Ce qui implique certainement un gain important en capacité, couverture et débit. Cependant, cette amélioration entraîne quelques inconvénients pour les réseaux subséquents tels que la complexité de la configuration et du déploiement physique et réel, l'augmentation du coût, l'augmentation des interférences. Pour remédier à ces divers problèmes rencontrés dans les réseaux sans-fil, nous nous intéressons au type de réseau HetNet, qui ces cinq dernières années proposent des caractéristiques intéressantes pouvant alléger les problèmes de coût exorbitant reliés au déploiement du réseau conventionnel par l'exploitation des petites cellules conjointement avec les macrocellules conventionnelles.

Le chapitre 2 nous donne un aperçu des problèmes rencontrés dans HetNets ainsi que les défis à y relever. Le principal avantage de ce type de réseau est sa capacité d'étendre la zone de couverture cellulaire par l'exploitation des petites cellules. Moins de macrocellules et plus de petites cellules sont utilisées en offrant une performance remarquable comparée à celle obtenue par les réseaux de la génération précédente, plus précisément les réseaux conventionnels composés exclusivement de macrocellules. Néanmoins, en assumant que toute chose est imparfaite, HetNet lui aussi présente certains défauts et il existe plusieurs défis à relever et des problèmes à régler sur le plan technique. Notamment, des points en vogue en recherche suivants sont abordés, tels que la gestion de l'interférence, l'équilibrage de la charge, la gestion de la mobilité de l'UE ainsi que d'autres points que nous n'aborderons pas tous dans cette thèse.

Dans le chapitre 3, la revue de la littérature est abordée. On y discute des travaux de recherche proposant des solutions pour les problèmes dans HetNet discutés dans le deuxième chapitre. Nos références se portent sur celles proposant des techniques d'atténuation d'interférences dans un même canal (*co-channel*) et dans un même type de BSs (*co-tier*), des techniques d'équilibrage de la charge et de sélection de cellule et des techniques de transfert intercellulaire pour l'optimisation de la gestion de la mobilité de l'UE. Ces trois thématiques

sont conjointement étudiées dans cette thèse puisqu'en effet il existe un lien important entre eux. Il est donc nécessaire, de notre point de vue de les considérer simultanément. En effet, le déséquilibre de la charge des cellules est très important dans HetNet, dû à l'écart de la puissance de la transmission entre les différents types de BSs. Ainsi, pour atténuer cet effet de déséquilibre de la charge, il est crucial d'adopter un algorithme approprié pour la sélection de la BS, qui devra assumer plusieurs contraintes. Cependant, la plupart des techniques sous-optimales pour l'équilibrage de la charge dans HetNet, par exemple l'extension de la couverture des petites cellules (que nous exploitons principalement dans cette thèse), augmente les interférences au niveau des UEs ayant été forcés de migrer vers ces petites cellules pour être servis par des petites BSs. Ces interférences sont dues au fait que les UEs sont forcés à migrer vers les petites cellules avec la technique de l'extension de la couverture même s'ils reçoivent en réalité de ces petites BSs, une faible puissance de signal comparée à ce qu'ils peuvent recevoir de la macrocellule. L'interférence reçue de la macrocellule est alors plus importante que le signal reçu de la petite BS (devenue BS servante) à couverture biaisée. D'un autre côté, il est important dans le processus de déchargement de considérer un algorithme robuste de transfert intercellulaire afin d'assurer la continuité des services offerts aux UEs concernés et ce, particulièrement durant le processus de déchargement vers les petites cellules à couverture étendue.

Dans le chapitre 4, nous proposons plusieurs techniques de sélection cellulaire basées sur le biaisage optimal dans le but de rééquilibrer la charge, en tenant compte de la QoS de l'UE et de la gestion d'interférence dans un HetNet. La technique proposée vise à l'extension des couvertures macrocellulaire et picocellulaire par l'intermédiaire de biais hétérogène pour chaque cellule. Les biais calculés sont obtenus par l'utilisation d'une fonction objective spéciale formée par les contraintes de QoS d'interférence et de la charge de la cellule. De plus, en utilisant cette fonction objective, nous arrivons à former des fonctions d'utilité du côté des UEs de la macro et de la pico. Finalement, les biais (en dB) sont obtenus à partir de ces fonctions d'utilités. Puisque ces biais cellulaires sont optimaux, des gains très intéressants sont obtenus en termes de débit, d'équité en ressources et d'équilibrage de la charge des

cellules comparés aux méthodes proposées dans la littérature. Nous étalons les détails sur cette méthode et algorithme dans le chapitre approprié.

Dans le chapitre 5, nous proposons une approche innovatrice de transfert intercellulaire via exploitation de nouvelles fonctions d'utilités. Ce nouvel algorithme reprend la méthode d'utilité et de calcul de biaisage utilisé dans la technique étalée au quatrième chapitre. Cependant, l'approche a été renforcé par la considération de nouveaux paramètres tels que la distance BS-UE et la différence de SINR afin d'obtenir une performance additionnelle en termes de transfert intercellulaire, c'est-à-dire, le nombre de transfert intercellulaire, les probabilités d'assignation à la macrocellule et à la femtocellule et la probabilité de transfert. La fonction objective spéciale incluant les paramètres de QoS ainsi que les fonctions d'utilité sont utilisées afin d'obtenir les biais cellulaires optimaux. Par la suite, les biais sont insérés dans l'équation conventionnelle de décision du transfert intercellulaire. Finalement, nous comparons notre méthode avec celles étudiées dans la littérature.

CHAPITRE 2

OPTIMISATION DE PERFORMANCE POUR HETNET

2.1 Introduction

Tel qu'on l'a décrit dans le chapitre précédent, HetNet est un réseau consistant en des points d'infrastructure avec différents types de technologies d'accès sans fil, où chacun d'eux ont des capacités, des contraintes et des fonctionnalités opérationnelles distinctes. Par exemple, dans le LTE-A, le déploiement des réseaux multi-niveaux implique les RRUs, les picocellules, les femtocellules ainsi que les stations relais sous-jacentes. Ces BSs sous-jacentes à faible puissance peuvent être déployées par l'opérateur ou par l'UE, elles peuvent coexister dans la même région géographique et partager le même spectre.

Le déploiement de telles petites cellules vise à décharger les macrocellules, étendre la couverture intérieure, améliorer la performance de l'UE au bord de la cellule et stimuler l'efficacité spectrale par unité de surface avec la réutilisation spatiale. Les BSs à faible puissance peuvent être déployées avec relativement une faible surcharge du réseau et ont la capacité de diminuer la consommation d'énergie dans les réseaux sans-fil. De plus, cette nouvelle gamme de petites BSs demande peu ou pas de planification préalable ni de frais de location, réduisant ainsi considérablement les dépenses opérationnelles OPEX et les dépenses capitales (dite CAPEX, de l'anglais Capital Expenditure) du réseau (Ericsson, 2017).

La configuration du HetNet entraîne un changement significatif de paradigme des approches traditionnelles et centralisées vers des approches plus autonomes, non-coordonnées et des déploiements plus intelligents (Lopéz-Pérez, 2011). Cependant, ce changement de modèle qui est vu comme une excellente opportunité d'améliorations introduit aussi des défis. Parmi les inconvénients générés par ce nouveau déploiement sont l'interférence au niveau croisé ou

cross-tier et la variabilité de la charge du trafic. HetNet met ainsi en jeu des questions techniques importantes et soulèvent des défis importants qui sont présentés dans ce chapitre.

2.2 Problèmes rencontrés dans les réseaux hétérogènes et les défis à relever

Les défis techniques clés dans HetNet sont l'auto-organisation, la liaison de raccordement, le transfert intercellulaire, l'équilibrage de la charge et l'interférence. Parmi ces défis, la gestion de la mobilité est l'une des plus importantes. La gestion de la mobilité est essentielle pour assurer une continuité de la connectivité à l'UE tout en maintenant une QoS satisfaisante. Cependant, le déploiement d'un nombre élevé de petites cellules peut augmenter la complexité de la gestion de la mobilité puisque les UEs mobiles peuvent déclencher des transferts intercellulaires fréquents lorsqu'ils se déplacent vers les zones de couverture étroites des petites cellules. Ainsi, une gestion médiocre de la mobilité entraîne l'échec des transferts intercellulaires, l'échec des liens radio, ainsi que le déclenchement de transferts intercellulaires inutiles, connus sous le nom d'effets *ping-pongs*. De telles déficiences résultent en une utilisation inefficace des ressources et une mauvaise expérience de l'UE. Dans le but de résoudre les problèmes susmentionnés, les paramètres de la mobilité dans chaque cellule doivent être optimisés dynamiquement conformément à la charge du trafic, les régions de couverture des différentes cellules et la mobilité de l'UE. D'un autre côté, l'équilibrage de la charge est aussi crucial dans HetNet afin que des ressources équitables soient attribuées aux UEs servis par les différents types de BSs. De plus, le problème d'interférence entre les macrocellules et les petites cellules est une des grandes préoccupations dans HetNets puisqu'elle peut entraîner la dégradation de la capacité du réseau et peut causer d'autres effets indésirables. Plus tard dans ce manuscrit, nous verrons la relation entre ces trois points, notamment, le transfert, l'équilibrage de la charge et l'interférence dans HetNet.

2.2.1 Gestion d'interférence

Un des caractéristiques des BSs dans HetNet est l'asymétrie des puissances rayonnées par les BSs macrocellulaires comparées aux BSs des petites cellules. En effet, il existe une

différence de 20 dB dans la plupart des cas. De ce fait, un UE qui est physiquement plus proche d'une petite BS pourrait préférer se connecter avec la macrocellule puisque la RSRP fournie par la macrocellule peut être plus forte que celle fournie par la petite BS. Cela peut être raisonnable pour une réception en DL. Cependant, le problème est au niveau de l'UL où la puissance faible du signal de l'UE est reçue encore plus faible à la macrocellule comparée à celle reçue à la petite BS, en DL.

Généralement, la zone de couverture d'un système cellulaire est divisée en des cellules sans chevauchements où quelques groupes de canaux sont assignés à chaque cellule. Ce même groupe de canaux est utilisé dans une autre cellule à quelques distances de là. Dans le cas d'un HetNet, les macrocellules et les femtocellules partagent la même fréquence radio, ce qui cause l'interférence au niveau croisé entre les macrocellules et les femtocellules. Cette interférence causée aux UEs dans différentes cellules opérant sur l'ensemble de mêmes canaux peut aussi être appelée interférence intercellulaire. Une alternative pour résoudre ce problème est l'application d'une séparation spatiale ou une distance de réutilisation minimale entre les cellules qui réutilisent le même ensemble de canaux afin que les fréquences soient réutilisées le plus souvent possible tout en réduisant le risque d'interférence. L'obtention d'une efficacité spectrale maximale est ainsi assurée. Cependant, lorsque la distance de réutilisation diminue, l'interférence intercellulaire augmente due à la distance de propagation faible entre les cellules interférentes. Puisque l'interférence intercellulaire doit rester au-dessous d'un seuil donné pour une performance acceptable du système, la distance de réutilisation ne peut pas être réduite au-dessous d'une valeur minimale. En pratique, il est assez difficile de déterminer cette valeur minimale étant donné que les signaux émetteurs et interférents rencontrent des variations aléatoires de puissance dues aux caractéristiques du signal de propagation sans fil. Dans le but de déterminer la meilleure distance de réutilisation et l'emplacement de la BS, une caractérisation précise du signal de propagation dans les cellules est requise.

Contrairement aux réseaux traditionnels uniquement composés de macrocellules, dans HetNets, les problèmes d'interférence au niveau croisé et intra-niveau sont significativement complexes. En effet, le réseau de la liaison de raccordement supportant différents types de

cellules peut avoir différentes bandes passantes et possède une contrainte de retard. Par exemple, les femtocellules ont invraisemblablement tendance à se connecter directement au réseau principal ou core network. Par conséquent, seule la signalisation limitée de la liaison de raccordement pour la coordination d'interférence est possible. De plus, le contrôle d'accès restreint associé aux picocellules et aux femtocellules peut entraîner des scénarios d'interférences sévères au niveau des UL et DL puisque les UEs peuvent ne pas être transférés aux cellules voisines les plus proches. Finalement, dans le but de supprimer ou éviter dynamiquement et adaptivement l'interférence, une détection et une surveillance continues de l'environnement radio environnant sont requises par la capacité d'auto-organisation des cellules.

2.2.2 Sélection cellulaire

La puissance du signal que l'UE reçoit des différentes BSs dépend entièrement de la puissance de transmission des BSs et de l'atténuation du canal. Par conséquent, la zone de couverture des petites BSs sera plus étroite que celle des BSs à puissance élevée si l'on adopte uniquement les stratégies d'association basées sur la puissance maximale du signal. Afin d'effectuer une utilisation totale des infrastructures de BSs à faible puissance, on devrait considérer un algorithme spécifique de sélection cellulaire qui va inciter activement les UEs mobiles des macrocellules à se décharger vers les petites BSs à faible charge, entraînant l'obtention d'un débit plus important en fournissant aux UEs mobiles plus de ressources physiques.

En effet, une approche équilibrée d'association UE-BS devrait être capable de réduire la charge des BSs à forte puissance, produisant ainsi des services plus satisfaisants aux UEs restants qu'elles servent. De plus dans HetNet, l'hétérogénéité des BSs fait en sorte que les techniques d'association dépendant uniquement des RSSs de l'UE, telles que le max-SINR, le débit maximal atteint, la meilleure qualité du canal et la distance la plus proche, ne sont plus vraiment appropriées. L'adoption de tels algorithmes lors de l'exécution de l'association UE dans HetNet entraîne une distribution inégale des charges entre les différentes BSs bien

que géographiquement, les UEs mobiles soient distribués uniformément. En d'autres termes, l'association cellulaire dans HetNets devient plus complexe comparée à celle dans les réseaux cellulaires conventionnels. Cependant, en utilisant des techniques d'association tenant compte de la charge, l'association cellulaire peut fournir des gains potentiels.

De nombreux travaux ont été faits sur la sélection cellulaire pour équilibrer la charge d'une cellule/réseau et ils peuvent être classés en deux groupes :

- les stratégies basées sur la quantité de ressources consommées, telles que le contrôle d'association (Bejerano, 2007), l'association UE-BS optimale distribuée (Kim, 2012), l'attribution de plage de cellules utilisant des biais spécifiques pour chaque cellule (Siomina, 2012), l'équilibrage dynamique de la charge des réseaux sans fil intégrés (E., 2004), la planification coordonnée à travers un groupe de BSs (Das, 2003), la technique de dimensionnement cellulaire ou cell breathing (Bejerano, 2009;Sang, 2004);
- les stratégies basées sur le nombre d'UEs associés, telles que la maximisation de l'utilité du réseau étendu avec suppression d'interférence (Son, 2009), l'utilité agrégée de la maximisation globale des débits (Ye, 2013) et les méthodes d'extension de la couverture cellulaire (Cho, 2013;Singh, 2014;Tang, 2013;Ye, 2013).

De toute évidence, le premier groupe de stratégies de sélection de sites cellulaires réalise l'association des UEs selon les exigences pratiques des UEs et peut atteindre un équilibrage de charge plus que satisfaisant. Cependant, elles ne considèrent que le nombre d'UEs associés comme charge, ce qui peut entraîner un taux de blocage d'appels élevé et des distributions d'UEs non équilibrées parmi différentes BSs en raison de l'insuffisance des ressources.

2.2.3 Équilibrage de charge

L'adaptation de la demande de ressources (charge) à l'offre de ressources (capacité) est un problème de base se produisant dans plusieurs domaines de l'ingénierie, logistique et économique, et a été largement considéré au niveau de l'Internet et des réseaux sans fil. L'évolution continue des réseaux de communication cellulaires vers les réseaux denses, organiques et hétérogènes irréguliers a entraîné la considération de la charge comme étant un

Rapport-Gratuit.com

problème centralisé et introduisant plusieurs subtilités. En dehors des systèmes de communication, l'équilibrage de la charge a longtemps été étudié comme une approche de contre-balancement de la charge de travail entre plusieurs serveurs (dans les réseaux) et les machines (dans la fabrication) dans le but d'optimiser les quantités telles que l'utilisation de ressources, l'équité, les délais d'attente et de traitement ou encore le débit. Dans les réseaux sans-fil émergents, à cause de la disparité des puissances de transmission et les capacités de la BS, même si les UEs sont distribués d'une manière équitable et uniforme, les métriques naturelles d'association d'UE telles que le SINR et le RSS peuvent entraîner un déséquilibre de charge important où la charge d'une cellule peut être représentée par la quantité de ressources consommées par chaque BS ou par le nombre d'UEs associés à chaque BS. De plus, si la décision du transfert intercellulaire est basée sur la RSRP la plus forte mesurée, l'UE a tendance à se connecter à la macrocellule, même si les conditions de pertes de trajet entre les petites cellules et l'UE sont meilleures.

2.2.4 Transfert intercellulaire et gestion de mobilité

Dans un réseau quelconque, les transferts intercellulaires sont nécessaires afin de fournir un service uniforme transparent lorsque les UEs se déplacent dans la couverture ou hors de la couverture de la cellule. De plus, les transferts intercellulaires sont efficaces pour l'équilibrage de la charge du trafic en décalent les UEs localisés au bord des cellules adjacentes ou chevauchantes des cellules plus congestionnées vers les cellules moins congestionnées. Néanmoins, cela entraîne la surcharge du système qui est plus considérable dans les systèmes HetNets due au nombre élevé de petites cellules et des différents types de liens de raccordement disponibles pour chaque type de cellule. De plus, la probabilité d'échec du transfert intercellulaire augmente la probabilité de pannes de l'UE.

2.2.4.1 Quelques définitions

Une vue d'ensemble sur le processus de transfert dans les réseaux hétérogènes et l'identification des défis techniques dans la gestion de la mobilité sont fournies dans cette section. Le transfert intercellulaire dans une cellule consiste en toutes les procédures de

signalisation et de décision requises pour le transfert transparent des connexions en cours d'un UE donné, de sa cellule actuelle vers une autre cellule. La phase de décision du transfert est effectuée par la cellule servante et est basée sur les mesures de la qualité du signal fournies par l'UE, c'est un type de transfert contrôlé par le réseau assisté par l'UE ou *user assisted network controlled handover* (Sesia, 2010). La phase de décision du transfert intercellulaire est généralement utilisée pour décharger les macrocellules hautement congestionnées et pour améliorer la qualité du signal reçu par les UEs mobiles. L'exécution du transfert intercellulaire sont des procédures nécessaires de signalisation pour effectuer la mobilité intercellulaire lorsque l'UE est dans l'état connecté.

Dans les réseaux homogènes classiques, les UEs utilisent généralement le même ensemble de paramètres de transfert, par exemple la marge d'hystérésis et le temps de déclenchement (dite TTT, de l'anglais Time To Trigger) dans tout le réseau. Cependant, dans HetNets, où macrocellules, picocellules, femtocellules et nœuds de relais ont des tailles de zone de couverture différentes, l'utilisation du même ensemble de paramètres de transfert pour toutes les cellules et / ou pour tous les UEs peuvent dégrader les performances de mobilité. Dans HetNet, les UEs de la macrocellule à mobilité élevée peuvent parcourir les zones de couverture des cellules à faible puissance avant que le chronomètre TTT expire, entraînant ainsi un échec du transfert en raison de la dégradation du SINR. Les transferts effectués pour les UEs de la macrocellule à mobilité élevée peuvent également être inutiles, entraînant des effets *ping-pongs*, lorsqu'ils traversent rapidement les petites zones de couverture des petites cellules.

Par conséquent, la nécessité d'une optimisation des paramètres spécifiques de transfert de l'UE s'impose. Une des techniques efficaces utilisées dans le transfert intercellulaire est l'extension de la couverture des petites cellules à accès ouvert en attribuant aux BSs à couverture étroite, des biais hétérogènes. Nous nous étalerons d'avantages sur ce sujet à partir du chapitre 3 de cette thèse.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2.2.4.2 Aperçu du processus de transfert intercellulaire dans HetNet

Dans les réseaux de communications sans fil, les transferts pourraient être effectués entre différentes RAT, différentes porteuses ou différentes cellules. Dans cette thèse, nous discutons du transfert intra-RAT intra-porteuse. Plus précisément, nous nous concentrons sur les procédures de transferts matériels ou hard handovers dans un réseau HetNet, dans lesquels les UEs se déconnectent de sa cellule servante avant d'établir une nouvelle connexion avec la cellule cible, selon des critères prédéterminés. Le processus de transfert peut généralement être divisé en quatre phases, dont la mesure, le traitement, la préparation et l'exécution. Les phases de mesure et de traitement du transfert sont effectuées par l'UE où les mesures sont généralement basées sur des estimations de la RSRP en DL. D'un autre côté, le traitement a lieu pour filtrer les effets de la décoloration ou fading et des imperfections d'estimation dans les mesures de transfert.

Après le traitement, si selon les mesures filtrées, une condition d'entrée donnée d'un évènement de transfert est atteinte, l'UE avertit sa cellule servante et renvoie les mesures de transfert via un rapport de mesure. Ainsi, la phase de préparation commence, dans laquelle la cellule servante lance la procédure de transfert et prépare l'exécution du transfert avec la cellule cible. Finalement, dans la phase d'exécution, la cellule servante et la cellule cible exécutent les procédures nécessaires du réseau avec l'assistance de l'UE pour transférer sa connexion de la cellule servante vers la cellule cible. Dans les standards LTE, l'UE réalise les mesures de transfert et le traitement à la couche physique (1) et à la couche réseau (3) (Anas, 2007; Lopez-Perez, 2012). Généralement, pour les mesures du transfert, l'UE prend les estimations de RSRP des cellules incluses dans la liste de sa cellule voisine. Dans le but de supprimer les effets du fading des estimations du RSRP, l'UE obtient chaque échantillon de RSRP en effectuant une moyenne linéaire sur les contributions de puissance de tous les éléments ressources qui portent les symboles références dans une sous-trame (1ms) et de la bande passante de mesure considérée (par exemple, 6 blocs de ressources). Par la suite, une autre moyenne sur plusieurs échantillons RSRP est déduite. Cette moyenne linéaire est réalisée à la couche 1 et est connue sous le nom de filtration L1.

Pour une configuration typique, une mesure de transfert filtrée de la couche L1 est obtenue par la prise des échantillons du RSRP en DL à chaque 40ms, la moyenne est ensuite effectuée sur cinq échantillons successifs de RSRP. Afin d'éliminer les effets de la décoloration et des imperfections dans les estimations, les mesures de transfert filtrées L1 sont mises à jour à chaque période de mesure du transfert (par exemple, 200ms) au niveau de l'UE, et sont ensuite moyennées par le biais d'un filtre à réponse impulsionnelle infinie de premier ordre. Cette moyenne est effectuée à la couche 3 et est connue sous le nom de filtrage L3. Puisque les échantillons log-normaux de l'ombrage sont spatialement corrélés, il est plus approprié d'utiliser une période de filtrage L3 adaptive pour s'adapter au degré de corrélation d'ombrage dans le signal reçu. Contrairement aux UEs à faible mobilité, pour les UEs à mobilité élevée, les échantillons log-normaux de l'ombrage ne sont pas fortement corrélés. Ainsi, il est préférable d'avoir une période de filtrage L3 plus courte (généralement, 200ms).

Le transfert est alors exécuté si les mesures de transfert filtrées L3 atteignent une condition d'entrée à un événement de transfert. Dans le LTE, il existe 8 types de conditions d'entrée d'évènement de transfert (36.331, 2011):

- **événement A1**: la BS servante devient meilleur que le seuil;
- **événement A2**: la BS servante devient pire que le seuil;
- **événement A3**: la BS cible devient mieux compensé que le serveur;
- **événement A4**: la BS cible devient meilleur que le seuil;
- **événement A5**: la BS servante devient pire que le seuil 1 et la BS cible devient meilleur que le seuil 2;
- **événement A6:** la BS cible devient mieux compensé que la BS servante secondaire;
- **événement B1:** la BS cible inter-RAT devient meilleur que le seuil;
- **événement B2:** la BS servante devient pire que le seuil 1 et la BS cible inter-RAT devient supérieur au seuil 2.

Les transferts intra-RAT intra-porteuses sont déclenchés sur l'évènement A3. Lorsque la condition de l'évènement A3 est rencontrée, c'est-à-dire le RSRP filtré au L3 de la cellule

cible est plus grand que celui de la cellule servante plus une marge d'hystérésis (compensation de l'évènement A3), l'UE active le chronomètre TTT. Seulement si la condition de l'évènement A3 est satisfaite tout au long du TTT, l'UE alerte la cellule servante et renvoie cette condition de l'évènement A3 à travers un rapport de mesure, initiant ainsi la procédure de préparation de transfert. Il est important de sélectionner soigneusement les valeurs du TTT puisque des valeurs trop faibles de TTT peuvent entraîner des transferts trop tôt, augmentant les effets ping-pongs, tandis que des valeurs trop élevées de TTT peuvent entraîner des transferts trop tard, augmentant les échecs des transferts. Une fois que le TTT expire avec succès, la phase de préparation de transfert peut commencer.

Par la suite, la cellule source délivre un message de demande de transfert à la cellule cible, qui effectue des procédures de contrôle d'admission selon la qualité de service requise par l'UE (Pacifico, 2009). Après l'admission, la cellule cible prépare le processus de transfert et envoie un accusé de réception de demande de transfert à la cellule source. Lorsque l'acquittement de la demande de transfert est reçu à la cellule source, le transfert de données de la cellule source vers la cellule cible débute, et la cellule source envoie une commande de transfert, à l'intérieur d'un message de contrôle des ressources radio, à l'UE.

Finalement, lors de la phase d'exécution du transfert, l'UE se synchronise avec la cellule cible et l'accède (Pacifico, 2009). L'UE envoie un message complet de transfert à la cellule cible lorsque la procédure de transfert est terminée. La cellule cible, qui peut alors commencer à transmettre des données à l'UE, envoie un message de commutation de chemin pour informer le réseau que l'UE a changé sa cellule servante. Ensuite, le réseau envoie un message de demande de mise à jour de l'UE à la passerelle de service ou serving gateway qui commute le chemin des données de la liaison descendante de la cellule source à la cellule cible. Le réseau envoie également des paquets de marqueurs finaux ou end marker packets à travers l'ancien chemin vers la cellule source, lui demandant de libérer les ressources précédemment allouées à cet UE. En s'inspirant de (Simsek, 2015), les Figure 2.1 et Figure 2.2 ci-dessous représentent respectivement, le problème de l'échec du transfert dans HetNets dû à la petite taille des cellules et le processus de mesures de RSRP au niveau des filtrages de la couche 1 et 3.

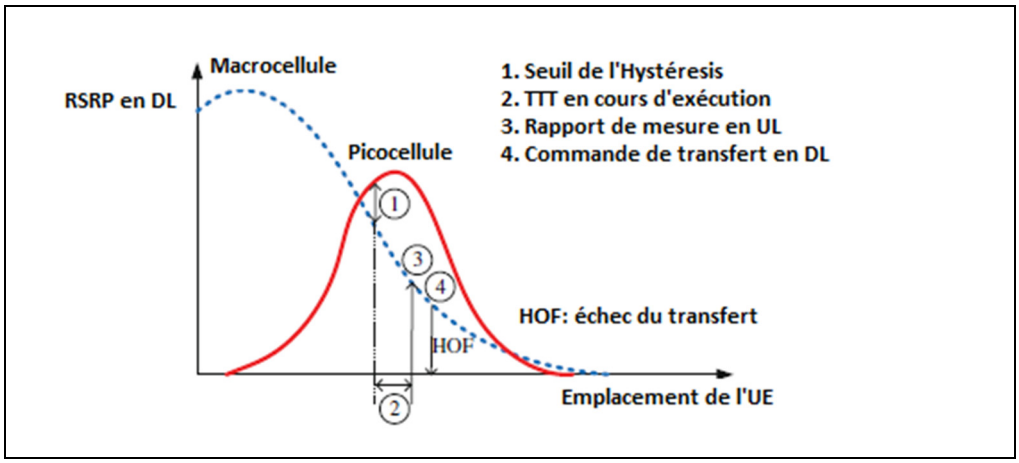

Figure 2.1 Illustration du problème d'échec de transfert dans HetNet

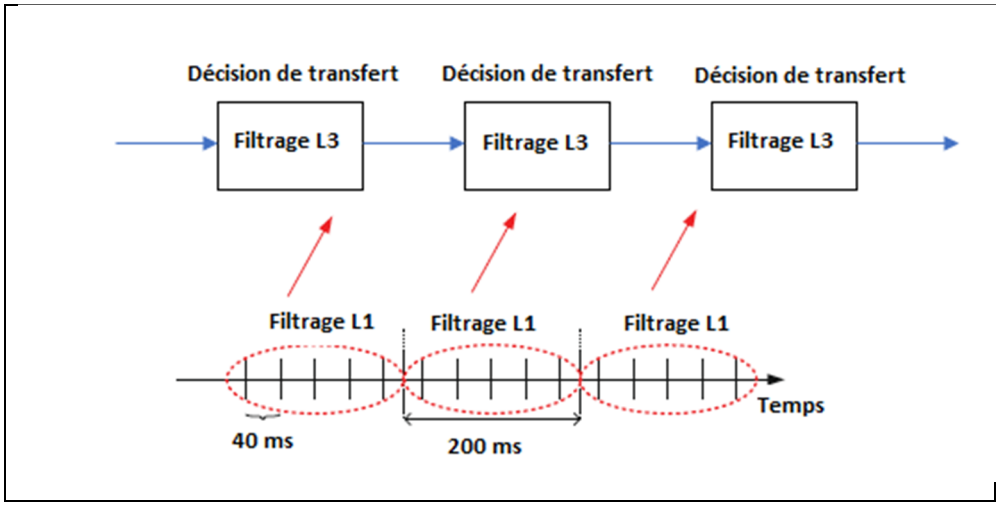

Figure 2.2 Traitement des mesures RSRPs via les couches de filtrage 1 et 2 au niveau de l'UE

2.2.4.3 Conditions de transfert intercellulaire

La littérature actuelle comprend divers algorithmes de décision de transfert pour le réseau macrocellule-femtocellule à deux niveaux. La grande majorité des algorithmes existants donnent la priorité à la femtocellule par rapport à la macrocellule en fonction de critères comme la puissance du signal, la vitesse de l'UE ou le type trafic. La grande majorité des algorithmes de décision de transfert existants se concentrent sur le scénario de décision de transfert intercellulaire et appliquent l'algorithme de la cellule la plus forte pour les transferts

internes, c'est-à-dire pour les transferts macrocellule-macrocellule et femtocellule-femtocellule. Cependant, l'algorithme de la cellule la plus forte ne tient pas compte de la puissance de transmission réelle sur la puissance reçue des cellules candidates ni du niveau d'interférence aux sites cellulaires. Un autre aspect des approches existantes est la supposition de configurations simples des réseaux pour atteindre la traçabilité analytique, telles que les configurations macrocellule unique – femtocellule unique.

Dans le but de concevoir un algorithme robuste de transfert :

- la décision d'initier un transfert devra dépendre d'un certain nombre de variables de contrôle;
- la mesure de la puissance du signal reçu doit être moyennée dans le temps pour éliminer les fluctuations rapides dues à la propagation par trajets multiples;
- les vitesses des UEs sont également un facteur important à considérer;
- les paramètres de transfert, par exemple, le TTT, basé sur l'information de l'état de la mobilité ou le traitement des rapports de mesure peuvent être utilisé pour atténuer les échecs de transfert.

2.2.4.4 Conséquences du transfert intercellulaire

Durant un transfert, il y a une brève interruption du service fourni à l'UE. Comme la fréquence de ces interruptions augmente, la QoS perçue par l'UE est réduite. Les probabilités d'annulation d'un appel en raison de facteurs tels que la disponibilité des canaux augmentent avec le nombre de tentatives de transfert. Tous ces problèmes posent des défis supplémentaires sur le système cellulaire. Au fur et à mesure que le taux de transfert augmente, les algorithmes de transfert doivent être améliorés pour que la QoS perçue ne dégénère pas et le coût pour l'infrastructure cellulaire ne monte pas en flèche. Les principales conséquences d'un transfert sont énumérées ci-dessous :

- l'échec de transfert qui survient lors des transferts vers une BS à partir de laquelle le signal reçu n'est pas suffisamment fort :

- par conséquent, une panne de service se produit lorsque la puissance du signal est inférieure à un certain niveau requis pour un service satisfaisant mais pas suffisamment faible pour abandonner un appel;

- les effets *ping-pong* qui est un phénomène très courant dans les réseaux mobiles, il peut entraîner une inefficacité, une baisse des appels et une dégradation des performances du réseau :
  - les paramètres reliés à la couverture de la cellule, la zone d'emplacement de l'UE, son mouvement et sa vitesse sont les principaux paramètres qui peuvent causer le *ping-pong*;
  - l'effet ping-pong signifie des transferts fréquents de l'UE entre la BS source et la BS cible provoqués par des fluctuations rapides des intensités de signal reçues par l'UE des deux BSs ou une fluctuation élevée du signal à la limite commune des BSs;
  - il en résulte une dégradation de la qualité de service due à la dispersion des ressources.

2.2.4.5 Métriques de performance du transfert intercellulaire

Cette sous-section aborde les aspects de base des métriques de la performance du transfert qui sont utilisées pour évaluer les algorithmes de transfert (Pollini, 1996):

- la probabilité de blocage d'appel : la probabilité qu'une nouvelle tentative d'appel soit bloquée;
- la probabilité de blocage d'un transfert : probabilité qu'une tentative de transfert soit bloquée;
- la probabilité de transfert : probabilité que, tout en communiquant avec une cellule particulière, un appel en cours nécessite un transfert avant que l'appel ne se termine, elle se traduit par le nombre moyen de transferts par appel;
- la probabilité de perte d'appel : probabilité qu'un appel se termine en raison d'une défaillance de transfert, elle peut être dérivée directement de la probabilité de blocage de transfert et de la probabilité de transfert;

- la probabilité d'un transfert inutile : probabilité qu'un transfert soit stimulé par un algorithme particulier alors que la liaison radio existante est toujours adéquate;
- le taux de transfert : nombre de transferts par unité de temps dont la moyenne par appel ou la probabilité de transfert peut être déterminée si on connaît la durée moyenne d'un appel;
- la durée de l'interruption : durée pendant laquelle le terminal mobile n'est en communication avec aucune BS au cours d'un transfert, cette métrique dépend fortement de la topologie particulière du réseau et de la portée du transfert (Li, 2012);
- le délai: distance parcourue par le mobile entre un point où le transfert doit se produire et un point où le transfert se produit.

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, le processus de transfert entre les cellules composants un réseau hétérogène est abordé. Ainsi, nous discutons des quatre principales phases du transfert, notamment la phase de mesure, de traitement, de préparation et d'exécution. Des définitions sont données, les conséquences, les caractéristiques et les bénéfices engendrés par cette procédure sont décrits dans ce chapitre. Tel que discuté plus-haut, la raison principale du transfert entre la cellule servante et la cellule cible dans un réseau donné est l'affaiblissement de la puissance du signal reçue par l'UE de la BS source. Dans un réseau, cet affaiblissement peut être causé par l'ombrage, la perte de trajet, la vitesse de mobilité de l'UE, la distance UE-BS, les différents types d'obstacles, etc. De plus dans un HetNet, la différence sur la puissance d'émission entre les différents types de BSs joue aussi un rôle important dans l'affaiblissement de la puissance du signal reçu par l'UE.

Ainsi, lors d'une prise de mesure et une comparaison sur la puissance du signal reçue, celle d'une BS voisine donnée est remarquablement meilleure par rapport à un seuil donné, on peut dire que la QoS fournit à l'UE ne lui satisfait plus. Si l'on se fie à cette définition, le transfert est un bon moyen de refournir à l'UE des meilleurs services en changeant sa BS servante. Il permet aussi d'un autre côté de rééquilibrer la charge des BSs en transférant

certaines connexions et en forçant les UEs désignés à se déconnecter de la BS source et à transférer leurs connexions vers une BS moins chargée, leur fournissant quand même une QoS minimale satisfaisante. D'autres raisons de déclencher le transfert de connexions sont : la surcharge d'une cellule donnée (où la charge est égale au nombre d'UEs), le transfert est déclenché en fonction de plusieurs paramètres de sélection d'UEs à décharger. L'équilibrage de la charge nécessite souvent l'application d'un algorithme d'optimisation (multi-paramètres, multi-variables) robuste afin de minimiser les conséquences engendrées par le transfert. De plus, le déclenchement du transfert peut aussi survenir lors de l'insuffisance de ressources (où la charge est égale à la quantité de ressources consommées par chaque UE) lorsque certains UEs consomment trop de ressources et d'autres sont privés de ressources.

Nous observons que le transfert est moins complexe dans un réseau conventionnel, composé uniquement de macrocellules et il est effectué sans trop générer d'inconvénients tant au niveau des BSs source et voisine qu'au niveau de l'UE. Ceci est dû au fait que toutes les macrocellules émettent à une puissance approximativement égale, ainsi le risque d'interférence est moins élevé. Cependant, dans le HetNet, le transfert des UEs d'une macrocellule vers une petite cellule (femto, pico, micro) cause en DL, une interférence sévère à ces UEs transférés. Ceci s'explique par le fait qu'en réalité, la macrocellule émet à une puissance plus importante que la petite cellule, donc logiquement, la puissance du signal reçue de la macrocellule est toujours plus importante comparée à celle que les UEs reçoivent maintenant de la petite cellule. D'un autre côté, en lien ascendant, comme la puissance du signal reçue par l'UE d'une petite BS est faible, l'UE émet en lien ascendant à la BS source un faible signal.

À la lumière de tous ces informations, des modèles robustes de transfert doivent être proposés et étudiés afin d'obtenir un meilleur compromis entre la QoS, l'interférence et les métriques de performance du transfert telles que la probabilité de transfert, le nombre de transfert, la probabilité d'assignation de l'UE à la macrocellule ou à la petite cellule.

Rapport-Gratuit.com

CHAPITRE 3

REVUE DE LITTÉRATURE : ASSOCIATION UE-BS, ÉQUILIBRAGE DE LA CHARGE, SUPRESSION D'INTERFÉRENCES, GESTION DE LA MOBILITÉ

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous effectuons une revue de la littérature sur les techniques existantes d'association UE-BS, d'équilibrage de la charge, de suppression d'interférences et de la gestion de la mobilité dans un système cellulaire HetNets. Dans les chapitres précédents, nous avons mentionné l'interconnexion et l'interrelation entre ces différents points. Ainsi, nous verrons que pour une assurance d'optimalité de la performance dans un réseau donné, ces différentes caractéristiques devraient être considérées conjointement. En effet, plusieurs recherches ont été effectuées, visant toutes l'amélioration de la performance du réseau en offrant à l'UE une meilleure expérience et une meilleure QoS. On observe généralement, dans les travaux effectués, des compromis entre plusieurs paramètres et donc l'atteinte d'une optimalité partielle. Dans cette thèse, on s'intéresse plutôt à une performance globale optimisée et atteignable en concevant des méthodes bien élaborées et robustes.

3.2 Techniques existantes de sélection cellulaire et d'équilibrage de charges

Le processus d'association UE-BS ou de sélection d'une cellule servante est plus complexe dans les réseaux hétérogènes comparé au cas des réseaux homogènes conventionnels, composés exclusivement de macrocellules. En effet, l'association UE-BS dans le HetNets est un sujet qui a suscité beaucoup d'intérêt ces cinq dernières années, car elle est cruciale pour un déploiement réussi du réseau. Dans cette section, nous donnons un aperçu des problèmes rencontrés dans la sélection cellulaire et des solutions proposées dans la littérature en tenant compte des caractéristiques d'un réseau HetNets.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Dans un HetNets, il est possible que certaines cellules servent un large nombre d'UEs, entraînant leur surcharge. D'un autre côté, d'autres cellules peuvent en même temps servir un faible nombre d'UEs, ainsi les ressources ne sont pas utilisées pleinement. Un tel déséquilibre de la charge entre les BSs est indésirable puisqu'il empêche le réseau d'utiliser la totalité de sa capacité et de fournir des services équitables aux UEs. Une méthode d'équilibrage de la charge devrait ainsi être introduite afin de décaler certains UEs situés à la frontière de chevauchement de deux cellules ou dans des cellules plus congestionnées vers des cellules moins congestionnées. Ce processus de déplacement des UEs est appelé transfert. En changeant la BS servante de l'UE, la charge est rééquilibrée et la performance du système est améliorée au détriment de la surcharge ou *overhead* du système causé par les transferts. Cependant, la procédure de transfert intercellulaire, intracellulaire et inter-RAT consomme les ressources importantes du système et peut entraîner une dégradation de la performance globale du réseau. Par conséquent, les transferts ne doivent pas se produire trop souvent, autrement, la perte de performance provoquée par les transferts ne peut pas être compensée par l'amélioration de la performance obtenue par une charge de trafic plus équilibrée. Le diagramme ci-dessous résume les techniques existantes d'association d'utilisateurs et de transfert pour les réseaux cellulaires dont l'objectif principal est l'équilibrage de la charge.

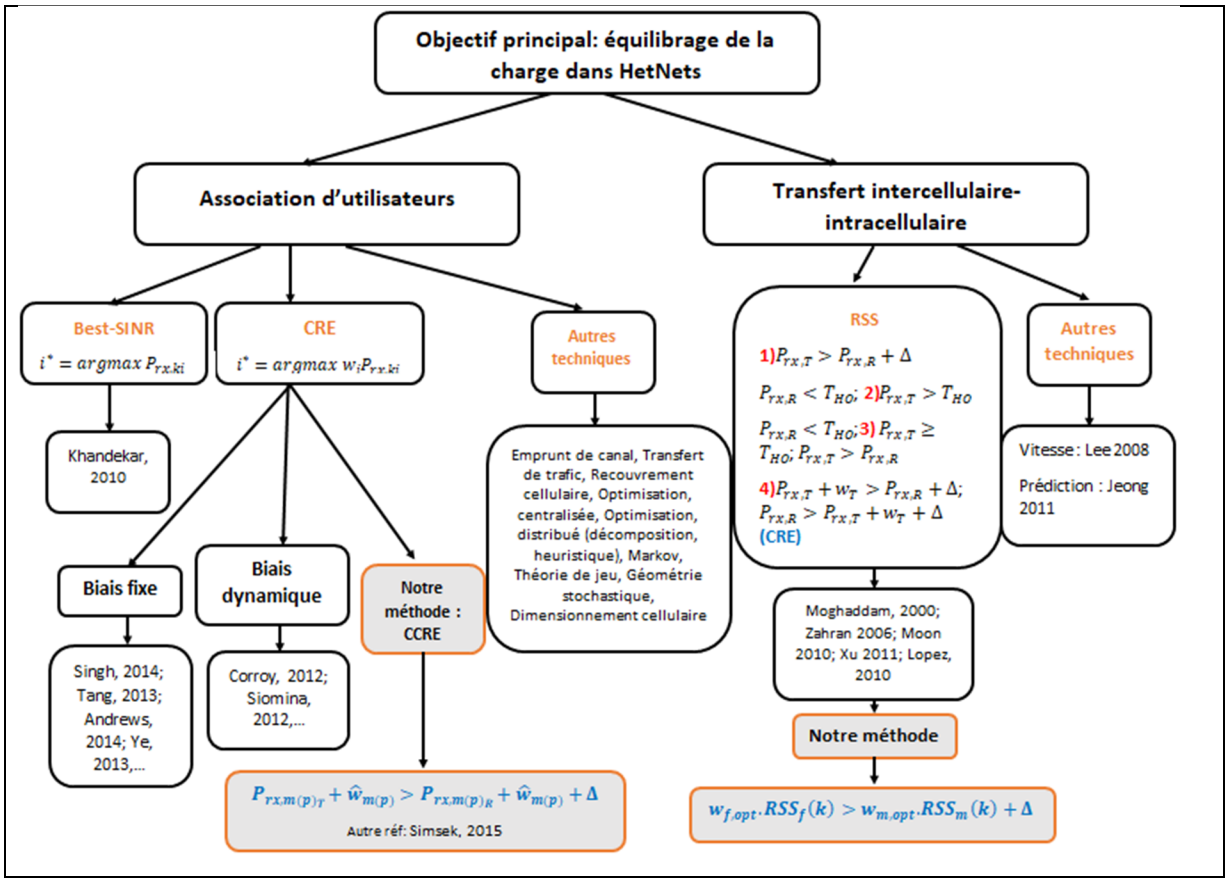

Figure 3.1 Synthèse des recherches antérieures

3.2.1 Définition et détermination de la charge d'une cellule

La charge d'une BS peut refléter son incapacité à satisfaire les exigences des UEs qu'elle sert. Ainsi, elle peut être définie comme étant inversement proportionnelle à la moyenne de la bande passante que les UEs expérimentent. La charge peut aussi refléter la quantité de ressources consommées par chaque BS ou encore le nombre d'UEs associés à chaque BS (Bejerano, 2007).

Si la charge est définie par la quantité de ressources consommées par chaque UE $k \in U$ (Zhou, 2014), elle peut être interprétée par :

$$\beta_i = \sum_{k \in U} x_{ki}\, s_{ki} \tag{3.1}$$

Où :

- s_{ik} est la quantité de ressources consommées par l'UE et est définie par:

$$s_{ki} = \frac{d_k}{R_{ki}} \tag{3.2}$$

- x_{ki} est l'indicateur d'association, lorsque l'UE k est associé à la BS i, $x_{ki} = 1$, sinon, $x_{ki} = 0$;
- d_k et R_{ki} représentent respectivement, le débit exigé par l'utilisateur k et son débit réalisable pour la BS i.

D'un autre côté, si la charge est définie comme étant le nombre total d'UEs servis par une BS donnée, elle peut être interprétée par :

$$\beta_i = \sum_{k \in U} x_{ki} \tag{3.3}$$

Une autre définition de la charge sur une BS quelconque est la période de temps que prend la BS i pour fournir un volume de trafic de taille $x_{ki}.\tau_k$ à tous ses UEs $k \in U$ (Bejerano, 2007), tel que:

$$\beta_i = \sum_{k \in K} \frac{x_{ki}.\tau_k}{R_{ki}} \tag{3.4}$$

3.2.2 Technique de sélection cellulaire par défaut Max-SINR

Comme l'hétérogénéité des BSs, entraînant la disparité des puissances de transmission des BSs, est exploitée dans des réseaux cellulaires HetNets, le type d'association qui ne dépend que de la puissance du signal reçue par l'UE, tel que le SINR maximal (Max-SINR), le débit maximum réalisable, la meilleure qualité de canal et la distance la plus proche peuvent ne plus convenir. L'adoption de ces algorithmes lors d'une association UE-BS dans HetNets entraîne l'inégalité des répartitions de la charge entre les différentes BSs, même si géographiquement, les UEs mobiles sont répartis uniformément. Comme la macrocellule transmet à haute puissance, un grand nombre d'UEs ont tendance à s'y associer. Cela signifie que la sélection de site cellulaire dans HetNets devient plus complexe par rapport aux réseaux conventionnels mais peut fournir des gains plus importants en adoptant des techniques d'associations qui tiennent compte de la charge.

En effet, l'association conventionnelle Max-SINR donne la priorité à l'UE ayant le plus grand SINR en allouant une ou plusieurs unités de ressources à l'UE k parmi tous les UEs ($k = 1, 2 \ldots K$). Puisque la décision d'allocation se base sur la connaissance de la sous-

couche de contrôle d'accès au support (dite MAC, de l'anglais *Media Access Control*), le débit pourra être utilisé au maximum. Finalement, l'algorithme est simple à implémenter mais son efficacité n'est pas toujours pertinente.

Il est évident que la meilleure technique d'association UE-BS est la technique optimale, c'est-à-dire celle qui permet de maximiser le débit total du réseau tout en fournissant une qualité de service acceptable à tous les UEs. Cependant, en raison de la complexité élevée du calcul de l'association optimale, différentes règles simples et efficaces d'association ont été introduites dans la littérature. Ces règles simplifient le processus d'association des UEs au détriment d'une certaine dégradation de la performance. Un bon algorithme d'association est alors simple à mettre en œuvre et présente une performance proche de l'optimale. Une association du type Max-SINR est donnée par la Figure 3.2 ci-dessous, qui a été reproduite de (Andrews, 2014):

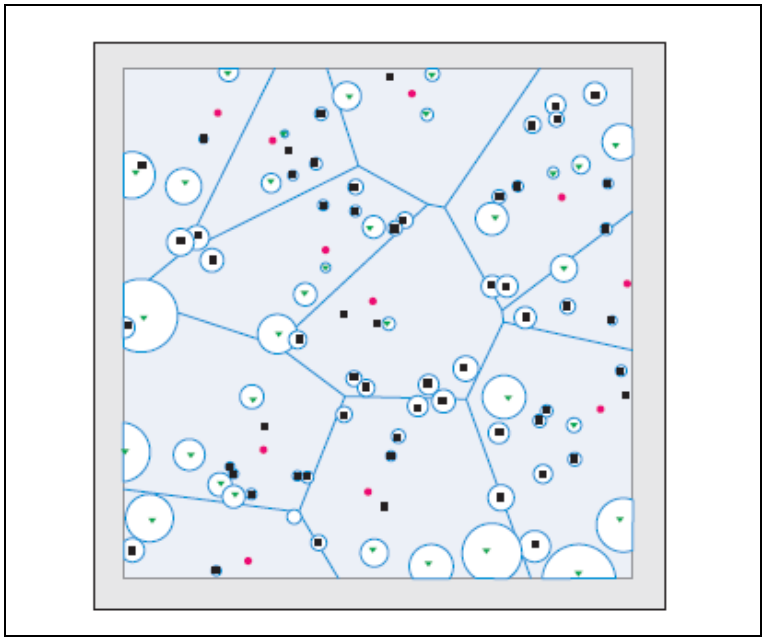

Figure 3.2 Exemple d'association Max-SINR dans un réseau à 3-niveaux composés de macrocellules (en rouge), picocellules (en vert), et femtocellules (en noir)

Deux types d'association dont la Max-SINR et une association optimale logarithmique basée sur la maximisation du débit dans un HetNets à trois niveaux (c'est-à-dire macrocellules, femtocellules, picocellules) sont illustrées à la Figure 3.3 (a) et (b), tirées de (Andrews, 2014; Ye, 2013). Comme on le voit sur les figures, dans (a) les macrocellules servent une grande majorité des UEs alors que quelques petites BSs sont presque inoccupées. D'un autre côté, dans (b), la charge est considérablement plus équilibrée. En effet, l'association basée sur la maximisation du débit entraîne une grande optimisation au niveau système, où les décisions comme la planification des UEs et l'association aux cellules sont couplées en raison de la charge et des interférences dans le réseau. Cependant, trouver l'association UE-BS vraiment optimale est un problème d'optimisation combinatoire où la complexité croît de façon importante avec l'échelle du réseau, ce qui rend ce problème encore plus complexe.

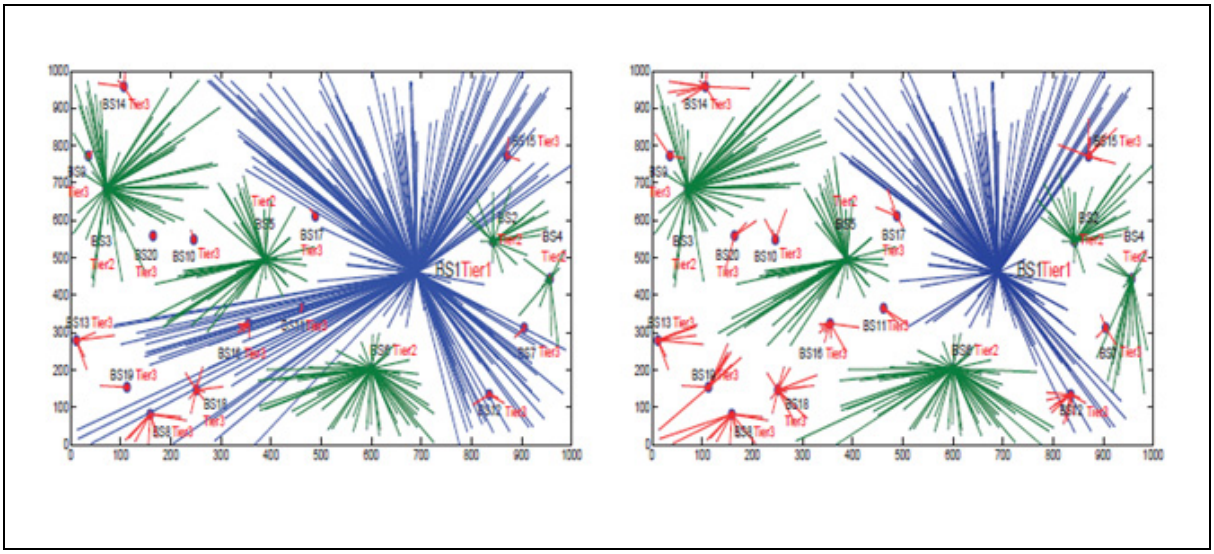

Figure 3.3 Associations Max-SINR vs. Max-Débit

3.2.3 Stratégies d'équilibrage de charge de la cellule basées sur l'emprunt de canal

De nombreuses techniques d'équilibrage de la charge dans un réseau cellulaire ont été étudiées. Parmi ces techniques sont celles basées sur l'emprunt de canal. Dans un système cellulaire, les ressources sont limitées et plusieurs UEs doivent partager les mêmes ressources dépendamment de la distance de réutilisation de canal obtenue en fonction des

caractéristiques de propagation du système. De plus, certains UEs peuvent être attribuées plus de ressources que d'autres, la distribution est de ce fait inéquitable et une stratégie plus intelligente d'utilisation de ressources doit être appliquée.

Dans un tel contexte, les ressources sont les canaux qui peuvent être les bandes de fréquences, les créneaux horaires, les séquences pseudo-bruits dans le cas des systèmes CDMA ou plus généralement les ressources de transmission générique. Dans la stratégie d'emprunt de canal, il est alloué à chaque cellule une portion des fréquences spectrales. Un spectre radio donné est divisé en un ensemble de canaux disjoints pouvant être utilisés simultanément tout en minimisant l'interférence dans le canal adjacent en allouant les canaux convenablement. Lorsque les UEs se déplacent dans une cellule donnée, ils sont autorisés à utiliser le canal alloué à cette cellule.

3.2.3.1 Assignation hybride de canal

(Kahwa, 1978) considère le problème d'assignation des canaux dans les systèmes de communication mobile en proposant une technique qui utilise à la fois des procédures d'assignation de canal fixes et dynamiques. Deux cellules voisines sont considérées, dont chacune y comporte une assignation des canaux donnés. Lors d'une assignation fixe de canal, si à un moment donné, tous les canaux de l'une des cellules sont occupés, et qu'il y a une demande de services dans cette même cellule, cette nouvelle demande sera refusée même s'il peut y avoir des canaux libres dans la cellule voisine à cet instant. On peut ainsi déduire que le résultat global de l'assignation fixe est une mauvaise utilisation des canaux. D'un autre côté, dans une assignation dynamique de canal, aucune relation définie n'existe entre les cellules du système et les canaux qui y sont utilisés. Les canaux sont temporairement assignés aux cellules pendant la durée de l'appel. Une fois l'appel terminé, les canaux sont libérés et conservés dans une base de données centralisée. Pour éviter l'interférence causée par la réutilisation de fréquence ou de canal entre deux cellules voisines (dite CCI, de l'anglais *co-channel interference*), tout canal utilisé dans une cellule ne peut être réaffecté

simultanément à une autre cellule du système à moins que la distance relative entre les deux cellules ne soit appropriée.

Dans une méthode d'assignation hybride de canal, un mélange des deux techniques d'assignation, fixe et dynamique, est utilisé. Un nombre donné de canaux hybrides est utilisés pour le service et ils sont divisés en deux ensembles, pas nécessairement égaux. Le premier ensemble de canaux contient ceux qui sont utilisés dans le système utilisant une technique d'assignation fixe. Le deuxième ensemble contient les canaux qui peuvent être utilisés dans une cellule dans le système appliquant la technique dynamique d'assignation. Par la suite, une méthode de détermination de la division exacte des deux ensembles de canaux (fixe, dynamique) est proposée. Selon les résultats obtenus, lorsque la technique d'assignation hybride de canal est appliquée sur un système qui offre un trafic non-uniforme, elle permet au processeur de gérer plus d'appels par unité de temps. De plus, la technique d'assignation hybride de canal, avec un nombre considérable de canaux dynamiques serait en mesure de répondre aux changements spatiaux dans un trafic donné et de prévenir le blocage d'un nombre élevé d'appels.

3.2.3.2 Emprunt de canal sans verrouillage

La méthode d'emprunt de canal sans verrouillage (dite CBWL, de l'anglais *Channel Borrowing Without Locking*) ou encore sans exclusivité permet l'emprunt en temps réel de canaux à partir de cellules adjacentes sans nécessiter de verrouillage de canal dans les cellules utilisant les mêmes fréquences. Cette méthode peut être utilisée pour améliorer la capacité de trafic des systèmes de communication cellulaires et pour s'adapter aux surcharges de trafic de communication spatialement localisée, par exemple dans les zones chaudes ou hotspots. Les canaux empruntés ne peuvent être accédés que dans une partie de la cellule et sont utilisés avec une puissance de transmission réduite de telle sorte que la CCI causée par l'emprunt de canal soit inférieure à celle entraînée par une méthode de non-emprunt. Les auteurs de (Jiang, 1996) étudient des améliorations de la méthode CBWL en proposant une structure de priorité de coupure qui favorise les appels se produisant dans la cellule. Dans cette méthode, les cellules qui possèdent plus d'un certain nombre de canaux occupés, ne

prêteront pas. Ainsi, lorsque la charge est importante, certains canaux seront disponibles uniquement pour les appels qui se produisent dans la cellule. Par conséquent, les performances globales sont améliorées. En outre, la priorité de coupure favorise un niveau de service plus uniforme dans toute la cellule, car elle tend à maintenir les canaux, disponibles pour les UEs qui sont plus éloignés de la BS et qui ne peuvent utiliser les canaux empruntés.

Concernant la méthode CBWL, (Das, 1997; Jiang, 1994) ont proposé l'emprunt de canaux avec une puissance de transmission réduite lorsque l'ensemble des canaux dans une cellule est épuisé. La diminution de la puissance de transmission permet d'éviter les interférences avec les autres cellules (CCI) du prêteur utilisant la même fréquence. De plus, les canaux ne peuvent être empruntés que par les cellules adjacentes de manière ordonnée. L'ensemble des canaux dans une cellule particulière est divisé en sept groupes. Un groupe est exclusivement destiné aux UEs de cette cellule, tandis que chacun des six autres groupes répond aux demandes de canaux provenant d'une des cellules voisines. Ce mécanisme de prêt (ou d'emprunt) structuré réduit les interférences entre les canaux et les conflits d'emprunt, qui sont empêchés par le verrouillage des canaux.

Si le nombre de canaux dans un groupe de canaux est épuisé, un abonné *k1* utilisant l'un des canaux peut être commuté sur un canal inactif dans un autre groupe, libérant ainsi un canal dans le groupe occupé. Puisque l'utilisation des canaux empruntés est effectuée sous une puissance de transmission réduite, certains UEs peuvent ne pas recevoir les paquets. Si l'UE *k1* trouve tous les canaux occupés, un UE *k2* ordinaire utilisant un canal régulier peut établir un transfert vers le premier canal, tandis que *k1* transfère sa connexion vers un canal emprunté si ce dernier est disponible. Cette variation particulière est appelée CBWL avec réorganisation des canaux (dite CBWL / CR, de l'anglais *Channel Borrowing Without Locking with Channel Reorganization*). Le système CBWL présente certains avantages par rapport à l'assignation dynamique de canal, puisque l'utilisation du canal est accrue sans verrouiller le canal. Cependant, un inconvénient important de la stratégie de transmission à puissance réduite (c'est-à-dire, le CBWL) est que tous les UEs ne sont pas dans la bonne zone tout le temps pour emprunter des canaux si le besoin se présente.

Rapport-Gratuit.com

Le CBWL / CR tente de résoudre ce problème par des réaffectations de canaux, augmentant le nombre de transferts intra-cellulaires. De plus, étant donné qu'une fraction des canaux dans toutes les cellules voisines est disponible à être emprunté, cela peut affecter considérablement la performance dans le cas des cellules de fort trafic, dénommés chaudes ou *hotcells*. Par exemple, si une *hotcell* est entourée par six autres *hotcells*, alors la technique CBWL a une performance défavorable pour la *hotcell* au centre, puisqu'aucun canal n'est disponible pour emprunt. Finalement, la limitation du nombre de canaux disponibles à emprunter impose une sévère restriction à la performance du système si au moins certaines des cellules voisines sont également *hot*.

3.2.3.3 Équilibrage de charge avec emprunt sélectif de canal

Une technique d'assignation fixe de canal est initialement utilisée, dans lequel un ensemble de canaux est initialement alloué à chaque cellule, chacun devant être assigné à la demande à un UE dans la cellule. Une cellule est classée « surchargée », si le rapport entre le nombre de canaux disponibles et le nombre total de canaux pour cette cellule, est inférieur ou égal à une certaine valeur de seuil. Sinon, la cellule est « allégée ». Une technique d'équilibrage de charge qui migre des canaux inutilisés de cellules sous-chargées vers les celles surchargées est proposée dans (Jiang, 1994) pour un environnement mobile cellulaire afin de résoudre le problème de surcharges de trafic ainsi que des hotspots. L'objectif principal est d'éliminer la demande de canal élevée dans les *hotcells* en empruntant des canaux à partir des *coldcells* appropriées en affectant ou en réaffectant convenablement, des canaux disponibles entre les nombreux UEs selon un algorithme d'emprunt de canal. Une stratégie d'attribution de canaux est également proposée en divisant les UEs d'une cellule en trois grands types, dont, « arrivant », « partant », « autres » et en formant différentes classes de priorité de demandes de canaux en fonction de ces trois types d'UEs. L'affectation des canaux locaux empruntés est effectuée selon les classes de priorité. En supposant qu'un système d'affectation de canal fixe est disponible initialement, l'algorithme d'équilibrage de charge proposé fonctionne périodiquement ou à la demande, en fonction de la charge de calcul ou *overhead* sur le système.

3.2.4 Équilibrage de charge basé sur le transfert de trafic

En effet, il existe de nombreuses recherches pour pallier aux problèmes de déséquilibre de charge dans les réseaux cellulaires, notamment des techniques basées sur le principe de transfert du trafic d'une BS surchargée vers une BS moins chargée. Parmi les travaux sont le redimensionnement cellulaire, l'optimisation d'une fonction d'utilité et les techniques heuristiques. L'extension de la couverture cellulaire d'une petite cellule est aussi proposée comme solution. Dans cette section, nous décrivons les travaux effectués sur ces sujets.

3.2.4.1 Nouvelle tentative directe

La technique de réplication proposée par (Eklundh, 1986) suppose que les cellules voisines se chevauchent et que certains des UEs dans la région de chevauchement sont capables d'entendre les émissions des cellules voisines presque aussi bien que celles de leur propre cellule.

Lors d'une requête de canal, si aucun n'est disponible, l'abonné doit vérifier la puissance du signal reçu des cellules voisines. Si un canal provenant d'une cellule voisine avec une puissance de signal adéquate est trouvé, l'appel est établi par le biais de ce canal. Si aucun canal de ce type n'est trouvé, la tentative d'appel échoue. Pour pallier à cet inconvénient, certains chercheurs (Ahinoda, 1997) proposent d'intégrer l'équilibrage de charge dans leur technique, en traitant les abonnés différemment selon leur capacité d'entendre plus d'une cellule ou BS. Chaque fois que la BS trouve un certain nombre de canaux vocaux occupés, elle demande aux UEs de vérifier la qualité des canaux dans les cellules voisines. Si certains UEs signalent qu'ils sont capables de recevoir une transmission suffisamment bien des cellules voisines, une recherche de canaux libres commence dans ces cellules et une tentative est effectuée afin de déplacer autant d'UEs que possible vers ces cellules voisines. Il n'existe pas de concept d'emprunt de canaux à partir de cellules voisines, mais les UEs sont simplement déplacés d'une cellule à une autre par l'entremise du processus de transfert. Si aucun abonné ne trouve un canal adéquat pour configurer ou commuter un appel, la BS

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

essaie de trouver un canal libre dans la cellule d'origine ou de laisser l'appel se dérouler normalement.

Bien que ce système de répartition des charges augmente le nombre de canaux potentiels, ses principaux inconvénients sont l'augmentation du nombre de transferts et de la CCI. Étant donné qu'un UE doit être situé à la région frontalière de deux cellules pour être défini comme un candidat potentiel du transfert, cela impose une sévère contrainte sur l'efficacité de l'algorithme en termes d'équilibrage de la charge. De plus, la région frontalière de cellules peut être très étroite, réduisant ainsi la probabilité qu'un nombre suffisant d'UEs puisse être trouvé dans ces régions pour déplacer la charge vers les cellules voisines lors d'une augmentation drastique de la demande de canal, par exemple, dans les *hotspots*.

3.2.4.2 Algorithmes d'admission d'appels assistée par le mobile

Traditionnellement, un ensemble de canaux sans-fil est assigné à une cellule d'une manière fixe (la technique d'allocation fixe de canal) lors du déploiement du système (Bejerano, 2007; Zhou, 2014). Avec l'assignation fixe, le modèle de réutilisation du canal peut être optimisé si la charge du trafic est statique et la gestion de l'assignation du canal au mobile est simple. Cependant, un tel système peut ne pas être en mesure de s'adapter à la fluctuation de trafic dans une cellule. Lorsque le trafic augmente, la probabilité de blocage de l'appel peut aussi augmenter à un niveau indésirable.

Afin d'atténuer ce défaut, des systèmes d'allocation globale de canaux ont été proposés, dans lesquels un ensemble de canaux peut être dynamiquement assigné à une cellule dépendamment de sa demande de trafic actuelle (Jiang, 1996; Kahwa, 1978). Néanmoins, l'assignation dynamique exige un contrôleur centralisé et complexe. Afin de compromettre entre une allocation totalement fixe et totalement dynamique du canal, une approche est proposée, dans laquelle quelques canaux dynamiques peuvent être réservés à partir d'un réseau d'allocation fixe. Ainsi, une cellule ayant un trafic élevé (*hotcell*) peut emprunter des

canaux provenant de sa cellule voisine allégée en trafic (*coldcell*). Ce genre de technique assigne plus de canaux à une *hotcell* afin d'y accueillir plus de trafic.

Dans leurs travaux, les auteurs de (Wu, 2000) développent la méthode d'emprunt de canal (dite CB, de l'anglais *Channel Borrowing*) et proposent un nouveau système d'allocation de canal qui est un algorithme de connexions et d'admissions assistées par le mobile (dite MACA, de l'anglais *Mobile Assisted Connexion Admission*) pour obtenir un équilibrage de la charge dans un réseau cellulaire. Dans ce système, quelques canaux spéciaux sont utilisés pour connecter les UEs à partir de différentes cellules. Ainsi, un UE, qui est incapable de se connecter à sa propre BS à cause de la surcharge de celle-ci, peut être connecté à la BS d'une cellule voisine moins chargée via une liaison à deux bonds. Les UEs localisés dans la zone de chevauchement des cellules choisissent les canaux provenant de la cellule ayant le trafic minimal. Cela ne cause pas un problème de verrouillage de canal mais le problème de cette approche est que seulement un nombre limité d'UEs dans la zone chevauchante peut l'utiliser.

La méthode MACA est similaire à la méthode d'emprunt de canal CB (Chung, 1996; Das, 1997), dans laquelle lorsqu'une cellule ne possède pas assez de canaux, elle emprunte temporairement un ou plus de canaux provenant de ces cellules voisines. Bien que le CB soit simple à mettre en œuvre, il représente quelques inconvénients, tels que le verrouillage du canal puisqu'il change le modèle de la réutilisation de fréquence pré-désignée. Une autre approche MACA est proposée dans (Eklundh, 1986). La méthode proposée surmonte les limitations du MACA avec l'ajout d'un réseau de recouvrement *ad-hoc* sur l'infrastructure fixe du réseau cellulaire. Les canaux assignés à ce réseau *ad-hoc* peuvent aider l'infrastructure fixe à effectuer un équilibrage de la charge.

3.2.4.3 Systèmes hiérarchiques de recouvrement cellulaire

La capacité des réseaux sans fil peut être améliorée via un équilibrage ou un partage dynamique de la charge en employant des réseaux de recouvrement au-dessus des réseaux cellulaires existants. Une solution est l'ajout d'un réseau ad-hoc superposé, pour utiliser les

ressources efficacement en équilibrant dynamiquement la charge des hotspots du réseau cellulaire, et de fournir la qualité de service aux abonnés, indépendamment de leur localisation et du moment de la demande. Cette technique d'équilibrage de la charge permet de gérer le trafic excédentaire des cellules surchargées par l'exploitation des cellules moins encombrées du réseau.

Dans (Yanmaz, 2004), une architecture pour les réseaux multi-hétérogènes est envisagée et les problèmes de recherche qui doivent être abordés pour l'intégration réussie de technologies hétérogènes dans les générations avancées de réseaux sans fil et mobiles sont identifiés. En effet, l'intégration de différentes technologies avec différentes capacités et fonctionnalités est une tâche extrêmement complexe en raison des divers scénarios de communication, des différentes capacités d'interface et des modèles de mobilité des UEs et implique des problèmes au niveau de toutes les couches de la pile de protocoles. Pour fournir des services de données efficaces aux UEs, des exemples d'intégration hiérarchique de réseaux sont donnés dans (Yanmaz, 2004). Par exemple, l'intégration des réseaux locaux sans fil (dite WLAN, de l'anglais Wireless Local Area Network), tels que, la norme 802.11a / b / g et le réseau local HiperLAN / 2. Un deuxième exemple est le réseau sans fil, tel que, la 1G, 2G, 2.5G, 3G, 802.20. Un troisième exemple est le réseau local sans fil personnel, tels que, le Bluetooth, 802.15.1 / 3/4. Finalement, l'intégration du réseau métropolitain sans fil, tel que le 802.16, en gardant la caractéristique du mode de fonctionnement à un seul saut, où les UEs accèdent au système via une BS fixe ou un AP connecté à une infrastructure câblée. Par la suite, cette intégration à un seul saut peut être étendu à un environnement de communication à multi-sauts en utilisant le réseau mobile ad-hoc, qui consiste en des dispositifs sans fil utilisés comme routeurs.

Un problème courant avec la plupart des systèmes d'équilibrage de charge et d'affectation de canal existants dans le réseau cellulaire est l'accroissement de la CCI lors de leur utilisation. Une autre approche innovatrice proposée pour résoudre le problème des hotspots consiste à utiliser des réseaux de superposition au-dessus de l'infrastructure existante tel que le système de cellule intégrée et de relais ad-hoc (dite iCAR, de l'anglais integrated Cell and Ad-hoc

Relays) (Bejerano, 2009). iCAR emploie un réseau ad-hoc superposé sur un réseau cellulare et utilise l'infrastructure cellulaire existante et les technologies de relais ad-hoc modernes (comme les réseaux de capteurs). En effet, l'infrastructure iCAR emploie des stations relais ad-hoc au sein du réseau cellulaire pour équilibrer efficacement les charges de trafic et partager les canaux entre les cellules congestionnées et non encombrées via les relais primaire et secondaire.

En utilisant le système iCAR et en supposant un nombre suffisamment important de canaux relais, la probabilité de blocage d'appel dans les hotcells pourrait être sensiblement réduites (Wu, 2001). Bien que cela fournit un aperçu précieux de la capacité ultime d'iCAR, il est clair qu'à certains moments, le nombre de canaux relais dans la bande industrielle, scientifique et médicale (ISM) sera limité en raison d'interférences provenant d'autres UEs (tels que les UEs du Bluetooth, du IEEE 802.11b ou des fours à micro-ondes, etc.) dans le spectre non autorisé. L'insuffisance de canaux relais ad-hoc en raison de l'interférence d'autres UEs dans la bande ISM pourrait avoir des conséquences considérables sur le rendement dans les systèmes iCAR. Ainsi, une approche est proposée dans (Yanmaz, 2004) pour améliorer la performance des systèmes iCAR. Une illustration simple y est fournie sur la façon dont l'interférence des autres UEs dans la bande ISM peut dégrader les performances d'iCAR en termes de taux d'erreur binaire (dite BER, de l'anglais Bit Error Rate) et du rapport porteuse sur l'interférence plus bruit (dite CINR, de l'anglais Carrier to Interference plus Noise Ratio) et les auteurs proposent une stratégie de réduction de cette dégradation en utilisant un simple modèle de sélection de canal. Il est démontré que la performance réaliste d'iCAR en termes d'équilibrage dynamique de charge dépend fortement du nombre de canaux de relais ISM disponibles qui est déterminé par la quantité d'interférences que les relais ad-hoc vont expérimenter.

3.2.4.4 Techniques de dimensionnement cellulaire

La technique de dimensionnement cellulaire a pour but d'équilibrer la charge entre les cellules voisines (Bejerano, 2009; Das, 2003). Elle modifie dynamiquement (contracte ou

dilate) la zone de couverture de la cellule en fonction de la situation de charge (surchargée ou sous-chargée) des cellules en ajustant leur puissance de transmission. (Sang, 2004) propose un système intégré consistant au dimensionnement cellulaire au niveau de la couche MAC, au transfert de charge et à la sélection de site cellulaire.

(Bejerano, 2009) présente une technique de dimensionnement cellulaire qui permet d'équilibrer la charge en réduisant la taille des cellules des BSs congestionnées. Le système proposé ne nécessite aucune modification ni du côté de l'UE ni du côté de la norme du réseau, il nécessite uniquement la modification dynamique de la puissance de transmission des messages de balises des points d'accès (dite AP, de l'anglais Access Point). Contrairement aux méthodes existantes de dimensionnement cellulaire, qui utilisent une optimisation locale heuristique, les auteurs proposent des algorithmes qui garantissent l'obtention des paramètres optimaux de la puissance de la balise. Ces algorithmes minimisent la charge des APs les plus congestionnés.

Ainsi, une variante du problème, appelée équilibrage de charge prioritaire min-max est identifié et des algorithmes polynomiaux pour trouver des solutions optimales sont proposés. Le modèle proposé incite les UEs près des limites des cellules congestionnées à se déplacer vers les cellules voisines moins encombrées. De façon informelle, un réseau ou une cellule est appelé équilibré en charge min-max, s'il est impossible de réduire la charge d'un AP sans diminuer la charge des autres APs ayant une charge égale ou supérieure. Les auteurs définissent la charge d'un AP comme étant la somme des charges entraînées par les UEs qui sont associés à l'AP, le nombre d'UEs associés à un AP.

Le premier algorithme proposé suppose une connaissance complète, dans laquelle l'association UE-AP et la charge AP correspondante sont connues a priori pour toutes les attributions possibles de puissance. Un modèle de connaissances limitées est également proposé, dans lequel, seules les informations sur l'association UE-AP et la charge de l'AP pour l'attribution de puissance de balise sont disponibles. Les algorithmes pour le modèle de connaissance complet servent de blocs de construction pour le modèle plus pratique de

connaissance limitée. Initialement, les algorithmes utilisent le niveau maximal de puissance dans tous les APs. Puis d'une manière itérative, ils réduisent la puissance d'un ensemble d'APs sélectionnés. Pour le cas de la connaissance complète, après avoir réduit le niveau de puissance de tous les APs congestionnés, la charge de chaque AP est réduite ou est constante comparée à la charge congestionnée initiale avant la réduction de puissance. Cette propriété assure la convergence monotone à la solution optimale. Pour le cas de la connaissance limitée, les niveaux de puissance des APs congestionnés sont progressivement réduits jusqu'à ce que la puissance ne puisse plus être réduite. Finalement, la recherche de solutions de rééquilibrage de charge min-max est effectuée.

(Das, 2003) propose des algorithmes de planification coordonnés dans lesquels les décisions sur la planification de transmission aux UEs sont prises conjointement par un groupe de cellules. Les techniques améliorent les performances en évitant les interférences et en équilibrant la charge. Les algorithmes supposent une connaissance complète des informations au niveau du planificateur centralisé sur la qualité de canal entre chaque BS à chaque UE. En effet, le planificateur est situé au niveau de la BS et fonctionne indépendamment entre différentes cellules. Plus précisément, un groupe de BSs adjacentes transmettent des signaux à différents UEs indépendamment de l'activité ou des décisions de planification par les BSs voisines.

Dans (Sang, 2004), une méthode de coordination multi-cellule est proposée pour les systèmes à canaux distribués à haute vitesse en DL. C'est un modèle évolutif pour la coordination de la planification des paquets, des appels, de la sélection du site cellulaire et du transfert et l'équilibrage de la charge au niveau du système. L'algorithme proposé est un algorithme opportuniste suivant une règle alpha pondérée ou weighted alpha-rule. Il exploite le gain de la diversité multi-UEs dans chaque cellule de façon indépendante, en traitant le débit agrégé de la DL afin de garantir une équité entre les UEs et un débit minimal entre les UEs. Leur objectif principal est d'améliorer l'utilisation globale des ressources et de réduire la congestion régionale compte tenu des arrivées et des départs asymétriques des UEs mobiles dans un système sans fil composé de plusieurs cellules où chaque cellule a un canal distribué

en DL. Chaque UE s'adapte à la dynamique de son canal et aux fluctuations de la charge dans les cellules voisines, en initiant le transfert qui tient compte de la charge et de la sélection du site cellulaire. Le serveur central ajuste les paramètres de planification de chaque cellule pour coordonner la couverture des cellules en incitant les transferts distribués des UEs au niveau de la couche MAC. Dans l'ensemble du système, les BSs et les UEs surveillent constamment leur charge, leur débit ou la qualité de leur canal afin de faciliter la coordination globale du système. Le taux de blocage des arrivées des UEs dans l'ensemble du système est réduit. L'utilisation du système est aussi améliorée et les congestions régionales sont réduites. En raison de la répartition géographique des UEs et de la perte de trajet résultante, un algorithme d'équilibrage de charge peut augmenter le nombre d'UEs satisfaits, mais le débit du système n’est pas toujours amélioré.

3.2.4.5 Méthode de biaisage de puissance pour l’extension de la couverture cellulaire dans HetNets

Les dix dernières années, l'association des UEs pour l'équilibrage de charge est un sujet qui a suscité beaucoup d’intérêt. Cependant, dans les réseaux HetNets, les techniques d'équilibrage de charge, qui ont été appliquées aux réseaux conventionnels, peuvent devenir excessivement inappropriées dues à la disparité des puissances de transmission et des capacités des BSs.

De nombreux efforts ont été déployés dans la littérature pour équilibrer la distribution des UEs. Une des techniques les plus fréquemment utilisées est la méthode de biaisage (Singh, 2014; Tang, 2013) qui ajoute un décalage ou un biais à la BS ayant une plus faible puissance afin que plus d’UEs puissent y être associés. Pour plus de précision, le 3GPP a standardisé le concept d'extension virtuelle de la couverture cellulaire afin d’élargir la zone de couverture d'une petite cellule en ajoutant un biais à son RSRP, entraînant le déchargement de la macrocellule. Avec la technique l'extension de la couverture cellulaire, un UE s'associe à la BS ayant le gain de canal le plus élevé. Cette approche est simple et efficace, toutefois elle définit souvent la charge comme étant le nombre d'UEs associés et fournit peu de techniques robustes qui calculent le biais optimal. Les résultats de simulation montrent que l'extension de la couverture cellulaire peut améliorer la performance de débit par rapport à la méthode

d'association conventionnelle basée sur le Max-SINR (Khandekar, 2010). L'équation ci-dessous, définie dans (Andrews, 2014) indique la sélection de la BS appropriée pour un UE donné, en introduisant un biais à sa puissance reçue:

$$i^* = arg \max_{i=1...I} w_i P_{rx,i} \tag{3.5}$$

- où w_i représente le biais de la cellule i et $P_{rx,i}$ est la puissance reçue à partir de la cellule ou BS i.

3.2.5 Approche optimale centralisée d'équilibrage de charge

Dans les systèmes entièrement centralisés, le traitement est effectué au même endroit. Tous les calculs sont faits dans un ordinateur ou processeur particulier ou encore dans un serveur dédié pour le calcul des données. La fonctionnalité centralisée est habituellement mise en œuvre par un serveur dans le cœur du réseau au niveau des macrocellules, en ne permettant qu'une adaptation lente à des échelles temporelles relativement longues et une exigence de coordination entre les différents niveaux ou des tiers. Les mécanismes centralisés incluent une complexité excessive du calcul et une faible fiabilité, car toute panne sur le fonctionnement du contrôleur centralisé perturbera l'équilibrage de la charge.

Dans les HetNets, les problèmes d'association UE-BS ou de sélection de site cellulaire sont de nature combinatoire et les problèmes d'optimisation résultants sont généralement classifiés comme étant NP-hard. Dans (Bu, 2006), les auteurs conçoivent un problème d'association sous une structure ou framework d'allocation globale de débit proportionnellement équitable. En considérant un système avec un nombre donné d'UEs et de BSs, les auteurs montrent que l'association UE arbitraire peut conduire à des résultats optimaux non-parés ou non-Pareto. Ils présentent des algorithmes hors-ligne et en-ligne pour l'association UE-BS. Leurs travaux présentent une formulation simple mais robuste d'association optimale d'UE en ayant pour objectif de maximiser le débit global.

Rapport-Gratuit.com

Un problème similaire est étudié dans (Li, 2008) pour un scénario WLAN comportant multiples APs. Les auteurs proposent une méthode pour obtenir une association UE-AP avec restriction d'un UE par AP en utilisant l'arrondissement de la solution fractionnelle via un problème d'assignation généralisé. Dans le but d'obtenir un débit élevé dans le réseau sans fil étendu considéré et de maintenir une équité proportionnelle entre les UEs, les auteurs proposent une technique d'optimisation d'association cellulaire en utilisant un objectif d'équité proportionnelle généralisée qui est la planification proportionnellement équitable (dite PFS, de l'anglais proportional fair scheduling). Les associations d'UEs sont déterminées lors des événements d'arrivées ou de transferts des UEs. L'allocation proportionnelle équitable des ressources du réseau équivaut à l'optimisation de la fonction objective F_k de chaque UE, selon (Kelly, 1997):

$$\max_{k \in K} \sum \log(F_k) \tag{3.6}$$

Dans (Li, 2008), les auteurs résolvent le problème d'association en le réduisent en un problème de correspondance tridimensionnelle. Puis ils proposent un algorithme hors ligne pour calculer les assignations optimales des UEs aux BSs dans un temps polynomial, c'est-à-dire en énumérant toutes les configurations possibles et en supposant que le nombre de BSs est constant. L'algorithme est polynomial puisque le nombre de configurations est n^m et que l'appariement pondéré maximal a un temps de fonctionnement de $O\left(\sqrt{n^3}\right)$ où $m = 3$.

Deux algorithmes d'approximation sont ensuite proposés pour l'optimisation hors ligne périodique afin d'obtenir une équité proportionnelle optimale (dans un réseau WLAN). Avec cet objectif d'équité à l'échelle du réseau, l'équilibrage de charge est automatiquement pris en charge. La première solution consiste à résoudre un problème convexe assoupli pour obtenir une association fractionnaire, après quoi la solution est arrondie à une solution binaire. Le deuxième algorithme est la discrétisation du problème non linéaire pour obtenir un assouplissement linéaire du problème où chaque UE peut être associé à plusieurs BSs simultanément. En arrondissant la solution du problème linéaire discrétisé, un algorithme d'approximation efficace est conçu de telle sorte que l'utilité totale du vecteur d'allocation de la bande passante donnée par l'algorithme soit supérieure à celle du vecteur d'allocation optimale.

3.2.6 Algorithmes pratiques et distribués pour l'équilibrage de charge

Plusieurs techniques optimales et centralisées pour l'équilibrage de la charge dans un réseau cellulaire ont été énoncées plus haut. Cependant, pour les HetNets, il est généralement difficile de coordonner les macrocellules et les femtocellules qui sont déployées respectivement par les opérateurs et les UEs. Dans cette section, nous effectuons une revue des travaux sur les algorithmes décentralisés ou distribués, dans lesquels aucun contrôleur central n'est requis pour le déclenchement de l'algorithme. Dans les algorithmes distribués, le calcul est distribué entre plusieurs processeurs, où chaque processeur effectue leur calcul chacun de leur côté et les processeurs sont interconnectés par un réseau informatique. Les systèmes distribués ne possèdent pas d'état global, ni de mémoire partagée, ni de variables partagées.

Dans les algorithmes distribués, les décisions sur l'association, la sélection ou encore l'équilibrage de la charge sont prises directement du côté des BSs ou / et des UEs en minimisant ou en maximisant une fonction d'utilité ou une fonction coût. La fonction coût ou d'utilité va ensuite être mise à jour par chaque UE à chaque itération afin qu'une décision appropriée soit prise. De plus, pour pallier à la complexité des problèmes NP-hard (combinatoires et non-polynomiaux qui consomment trop de mémoire) où généralement une solution est difficile à atteindre ou n'existe pas, il est plus intéressant de concevoir un algorithme distribué qui est plus facile à implémenter en réalité et dont le calcul n'est pas lourd. Les solutions décentralisées qui utilisent des communications locales peuvent converger vers la solution optimale mais elles le font nécessairement plus lentement que les solutions centralisées, où toute l'information est disponible à chaque instant.

3.2.6.1 Optimisation avec assouplissement de contraintes, solution de décomposition double

Une maximisation générale de la charge qui est assujettie à une contrainte de ressources et / ou de puissance, résulte en une relation couplée entre l'association UE-BS et la planification de la transmission aux UEs. Le problème est du type NP-complet et est non calculable même

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

pour des réseaux cellulaires de taille modeste. Le trafic dynamique dans les réseaux cellulaires rend le problème encore plus difficile. Une façon de résoudre ce type de problème est d'assouplir les contraintes du problème en supposant un modèle entièrement chargé, c'est-à-dire, en assumant que toutes les BSs transmettent continuellement et en permettant aux UEs de s'associer à plusieurs BSs, ce qui donne une limite supérieure à la performance par rapport à une association binaire (Ye, 2013). En effet, l'indicateur d'association binaire est assoupli en un nombre réel compris entre 0 et 1. Ainsi, en utilisant des outils d'optimisation standard, tels qu'une double décomposition, un algorithme distribué à faible complexité convergeant vers une solution presque optimale, peut être développé.

Les auteurs de (Ye, 2013) proposent une approche théorique d'optimisation de l'équilibrage de charge, où l'association des cellules et l'allocation des ressources sont considérées conjointement. Le problème général de la maximisation de l'utilité est découplé en supposant que les UEs peuvent être associés à plusieurs BSs. Cette approche d'association multiple fournit une limite supérieure ou sur l'utilité réalisable du réseau. L'hypothèse d'association fractionnelle (c'est-à-dire, l'assouplissement physique) convertit le problème de la force brute combinatoire quasi-intraitable en un problème d'optimisation convexe, où la convexité du problème est utilisée pour développer un algorithme distribué via une double décomposition qui converge vers une solution optimale avec une garantie sur l'écart maximal par rapport à l'optimalité. L'algorithme proposé est alors réalisable, efficace et son implémentation dans HetNets est moins complexe.

Ainsi, l'assouplissement physique réduit la complexité d'un problème en convertissant un problème combinatoire en un problème convexe. Il fournit une limite supérieure pour le cas particulier où chaque UE est associé à une seule BS en permettant théoriquement l'UE de se connecter à plusieurs BSs. De plus, l'association multiple offre une limite supérieure sur la performance du problème de sélection cellulaire en fournissant une allocation de ressources égale. Une méthode d'arrondissement est ensuite appliquée pour revenir à une seule association BS. Pour résoudre le problème d'optimisation convexe, un algorithme distribué via la décomposition Lagrangienne double de faible complexité sans coordination est proposé. Le problème double est découplé en deux sous-problèmes, qui sont résolus

séparément du côté des UEs et des BSs respectivement, en introduisant un nouvel ensemble de variables.

Une approche similaire à (Ye, 2013) est proposée dans (Corroy, 2012) dans des réseaux cellulaires hétérogènes, où les auteurs proposent un nouvel algorithme d'association UE-BS en tenant compte de la QoS. Le problème d'association est formulé comme un problème de maximisation de l'utilité pondérée à l'échelle du réseau. Une méthode de descente du gradient ou *gradient descent* est ensuite appliquée pour rechercher des solutions optimales du problème d'optimisation avec des variables d'indicateurs d'association assouplis. Ensuite, chaque UE sélectionne une BS possédant un indicateur d'association maximum. En assouplissant les variables d'indicateurs d'association, le problème combinatoire est converti en un problème d'optimisation convexe. L'UE n'est alors associé qu'avec une BS ayant une probabilité d'association maximale prise à partir des solutions du problème d'optimisation convexe, ce qui peut fournir une solution pseudo-optimale se rapprochant de la solution optimale globale située à la frontière de la région réalisable.

3.2.6.2 Algorithmes heuristiques

Un algorithme d'association cellulaire est proposé dans (Corroy, 2012) qui est un algorithme heuristique dynamique ayant une complexité linéaire, permettant d'obtenir des performances proches de l'optimum, proches de la limite supérieure. Premièrement, les UEs sont triés en fonction de la puissance qu'ils reçoivent des picocellules dans la zone macrocellulaire, puis la somme du débit obtenue par les différentes associations de cellules est calculée. L'UE avec la plus grande différence de puissance est associé à sa picocellule et la somme du débit résultant est déduite. Le processus est répété jusqu'à ce que tous les UEs soient connectés à leur picocellule appropriée en sélectionnant l'association de cellules fournissant la plus grande somme de débit.

De nouvelles techniques d'association heuristiques distribuées tenant compte des différentes puissances de transmission des picocellules et macrocellules sont proposées dans (Madan, 2010). Les techniques sont concentrées sur la maximisation de la somme de l'utilité des

débits moyens. L'accent est mis sur le fractionnement cellulaire, l'extension des couvertures cellulaires, la négociation semi-statique des ressources sur les connexions *backhaul* tierces et la gestion rapide et dynamique des interférences via la signalisation en direct pour obtenir une QoS. Bien que l'extension de la couverture ait été prouvée pour son efficacité, elle entraîne plus d'interférence provenant de la macrocellule au mobile qui est associée à la picocellule. Ainsi, une répartition des ressources est nécessaire dans laquelle la macrocellule abaisse sa puissance sur une fraction des ressources spectrales ou temporelles qui peuvent par la suite être utilisées par le mobile.

Les algorithmes d'association et d'allocation des ressources proposés offrent une équité entre les cellules et maximisent l'efficacité du système. Selon leurs résultats, les heuristiques proposés peuvent offrir une amélioration considérable de la performance par rapport aux algorithmes utilisés dans les déploiements des réseaux conventionnels. Un seul cycle d'échange d'informations est considéré dans chaque sous-trame pour maintenir le temps de latence nécessaire pour la coordination et le contrôle. Les heuristiques proposés ont pour but de maximiser la somme de débit pondéré à chaque instant (Stolyar, 2005; Tassiulas, 1992) où les poids peuvent changer arbitrairement d'une sous-trame à une autre. Dans (Madan, 2010), les auteurs proposent un algorithme itératif d'association cellulaire, où une cellule évalue une fonction d'utilité à chaque itération pour décider si un UE doit rester connecté ou être transféré à une cellule voisine. Puisque cet algorithme distribué nécessite l'échange de messages entre les cellules et l'évaluation des fonctions d'utilité par une approche heuristique, il peut ne pas être capable de réagir assez rapidement pour les transferts des UEs mobiles.

Une procédure itérative statistique est proposée dans (Siomina, 2012) pour résoudre le problème d'équilibrage de charge dans le LTE HetNets en assignant un biais spécifique aux picocellules. Dans cette méthode, l'équilibrage de charge du LTE HetNets est approché via l'optimisation des biais non-uniformes des picocellules. Cette approche assume une relation de couplage entre la charge des cellules. Pour un biais donné, la charge cellulaire résultante est obtenue par un système d'équations non linéaires caractérisant la relation de couplage entre la charge des cellules. Par la suite, un modèle de délimitation ou *bounding scheme* est utilisé pour converger vers la solution du système non linéaire et fournir des informations

théoriques sur la monotonie et la convergence du modèle. Le modèle de délimitation est incorporé dans un algorithme basé sur le principe de la conception d'expériences (dite DOE, de l'anglais *Design Of Experience*) afin d'optimiser les biais cellulaires. Le DOE est une approche statistique pour estimer simultanément les effets de plusieurs facteurs et identifier les plus importants par le dépistage factoriel. Une itération implique la conception d'un ensemble d'expériences qui sélectionne un ensemble de configurations à évaluer et qui effectue une analyse par régression pour l'ensemble évalué afin de déterminer les configurations à l'étape suivante.

3.2.7 Processus de décision de Markov

Les processus de décision de Markov (dite MDPs, de l'anglais *Markovian Decision Process*) fournissent un modèle pour l'étude de l'optimisation séquentielle des systèmes discrets stochastiques temporels en présence d'incertitude. L'objectif est d'effectuer des actions dans l'état actuel pour maximiser la récompense future attendue. Dans le cas des HetNets, les MDPs ont été utilisés dans l'étude du transfert entre les différentes RATs, par exemple, entre le réseau cellulaire et le réseau WiFi (Stevens-Navarro, 2008). Une autre application intéressante des MDPs dans HetNets est le problème d'association. L'article (Elayoubi, 2010) propose un système hybride où les UEs sont assistés dans leurs décisions par l'information sur la charge diffusée. Cependant, lorsque la taille du réseau augmente, il devient plus complexe d'obtenir des solutions précises avec les MDPs. Les MDPs présentent aussi des limitations lorsqu'il s'agit des espaces d'états inconnus. De plus, pour des scénarios complexes et non structurés, le problème est la détermination des états adéquats et d'un modèle d'état de transition raisonnable. Généralement, il est difficile de définir un modèle d'état approprié et de le résoudre exactement pour un HetNets large incluant différents types de BSs, en prenant l'avantage du contrôle partiel des décideurs. Néanmoins, les MDPs fournissent une approche possible pour les HetNets auto-organisateurs ou *self-organizing* en combinant les avantages de la conception centralisée et distribuée.

Dans leur travail, les auteurs de (Stevens-Navarro, 2008) déterminent les conditions dans lesquelles le transfert vertical doit être effectué. Ils se focalisent sur la phase de décision de

transfert vertical et proposent un algorithme de décision de transfert vertical adaptatif pour les réseaux hétérogènes sans fil. Le problème est formulé comme étant un processus de décision markovien dans le but de maximiser une fonction de récompense totale associée à la QoS reçue par la connexion mobile. Les ressources du réseau qui sont utilisées par la connexion sont capturées par une fonction de récompense de lien. Ils tiennent compte de la durée de connexion pendant la décision de transfert vertical et de la charge de traitement et de signalisation pendant l'exécution de transfert vertical. Une fonction coût de signalisation associée à la surcharge de signalisation, à la charge de traitement lors de l'exécution d'un transfert vertical et à la durée de connexion pendant la décision de transfert vertical est incorporée dans la conception du modèle de décision de transfert vertical. Puis un algorithme itératif est appliqué pour déterminer une fonction déterministe stationnaire maximisant la récompense totale par connexion attendue. Différentes fonctions de récompense de lien peuvent être assignées aux diverses applications réseaux avec des exigences de QoS différentes. De plus, différentes fonctions de coût de signalisation peuvent être utilisées en fonction de la complexité du processus de transfert et de la charge de signalisation sur le réseau.

Les auteurs de (Elayoubi, 2010) proposent des techniques hybrides pour les réseaux HetNets. En effet, ce sont des techniques de décision distribuées assistées par le réseau, où les UEs sans fil visent à maximiser leur propre utilité, dirigé par des informations diffusées par le réseau sur la charge de chaque système. Les utilités liées à la QoS perçue par les UEs via les différents types d'association sont dérivées et un modèle bayésien correspondant à l'équilibre de Nash est développé pour obtenir l'équité. Les méthodes d'association proposées combinent les avantages de la conception décentralisée et centralisée. Une intervention centrale est nécessaire pendant les périodes de congestion sévère et les mobiles suivent les instructions des BSs. Autrement, la décision d'association est prise en charge par les mobiles, qui prennent la décision de transfert en se basant sur l'information agrégée sur l'état du réseau provenant des BSs. De plus, la prise de décision peut être considérée comme un jeu bayésien et est basée sur une information partielle qui est signalée aux UEs par la BS. L'approche de décision hybride proposée pour le problème d'association peut atteindre un

bon compromis entre la performance du réseau global à l'équilibre et la quantité requise de signalisation.

3.2.8 Approche basée sur la théorie de jeu

La théorie de jeu est une discipline qui permet d'analyser les processus de prises de décision interactives et de fournir des méthodes tractables pour l'étude des problèmes d'optimisation décentralisés très larges. Plusieurs travaux ont été effectués sous ce thème, comme dans (Aryafar, 2013), où une approche centrée sur l'UE, sans exiger aucune surcharge de signalisation ou coordination entre les différents RATs est proposée. Un autre exemple dans l'étude de la sélection dynamique de réseau est présenté dans (Niyato, 2009), où les UEs dans diverses zones de services concourent pour la bande passante des différents réseaux sans fils. Cependant, bien que la théorie de jeu soit un outil très utile dans la sélection de BS, particulièrement pour les applications dans les réseaux dynamiques et auto-organisateurs, la convergence des algorithmes résultants n'est, en général, pas garantie. Même si les algorithmes convergent, ils ne fournissent pas une solution optimale, qui, avec les *overheads* importants, peuvent conduire à une utilisation inefficace. En outre, la concentration principale de la théorie de jeu est sur la prise de décision stratégique. Ainsi, il n'existe aucune expression fermée ou *closed-form* pour caractériser la relation entre une métrique de performance et les paramètres du réseau.

Les auteurs de (Aryafar, 2013) proposent un algorithme distribué de sélection de RAT dans un HetNets en considérant l'autonomie de chaque UE. Les UEs sélectionnent de manière égoïste, la meilleure RAT dans le but de maximiser leur propre débit. Deux classes générales de modèles de débit sont étudiés dont la première classe capture les propriétés de base d'un accès aléatoire et la deuxième, d'un accès planifié. Ensuite, ils formulent le problème comme un jeu non coopératif, et étudient sa convergence, son efficacité et sa praticité. Les résultats révèlent que les jeux de sélection de RAT de classe unique convergent vers des équilibres de Nash. Un mécanisme d'hystérésis pour la sélection de RAT basé sur la théorie de jeu est introduit et prouve qu'avec des valeurs d'hystérésis appropriées, la convergence peut encore être garantie. Finalement, l'efficacité de Pareto des équilibres de Nash résultants de ces

mécanismes est analysée. À titre de rappel, un profil de stratégie σ est dit à l'équilibre de Nash si chaque joueur considère sa stratégie choisie comme étant la meilleure dans les choix donnés par d'autres joueurs. Par conséquent, à l'équilibre de Nash, aucun UE ne profitera de dévier unilatéralement sa stratégie.

La sélection de RAT dans un réseau hétérogène est aussi étudiée dans (Niyato, 2009) en utilisant la théorie des jeux évolutifs où les UEs des différentes zones de service rivalisent pour la bande passante de différents réseaux sans fil, notamment, le réseau métropolitain sans fil (dite WMAN, de l'anglais *Wireless Metropolitan Area Network*) et le WLAN. En particulier, le jeu est formulé pour modéliser la concurrence entre les groupes d'UEs dans les différentes zones de service dans lesquelles différents nombres et différents types de technologies sans fil sont disponibles. Un UE sélectionne le réseau d'accès sans fil en fonction de son utilité, qui est définie en fonction de la largeur de bande allouée et le prix par connexion. La concurrence entre les groupes d'UEs (ayant des besoins différents en termes de services d'accès sans fil) pour partager la quantité limitée de la bande passante dans les réseaux d'accès sans fil disponibles est formulée comme un jeu évolutif dynamique et l'équilibre évolutif est considéré comme la solution à ce jeu. Deux algorithmes pour la sélection des réseaux sont présentés, à savoir l'évolution démographique et l'algorithme d'apprentissage par renforcement. L'algorithme de sélection de réseau basé sur l'évolution démographique atteint l'équilibre évolutif plus rapidement, mais il nécessite un contrôleur centralisé pour recueillir, traiter et diffuser des informations sur les UEs dans la zone de service correspondante. En revanche, avec l'apprentissage par renforcement, un UE peut apprendre graduellement, en interagissant avec le fournisseur de services et peut adapter la décision sur la sélection du réseau pour atteindre l'équilibre évolutif sans aucune interaction avec d'autres UEs. La solution au problème de sélection de réseau obtenue à partir du modèle de jeu évolutif est comparée à la solution d'équilibre de *Nash* obtenue à partir d'un modèle classique de jeu non coopératif.

En effet, dans la théorie des jeux non coopérative, un jeu peut être décrit par un ensemble de joueurs, un ensemble de stratégies associées à chaque joueur, par le gain de chaque joueur donné, par la stratégie choisie et par la solution de tous les joueurs. Cependant, un jeu

évolutif étend la formulation d'un jeu non coopératif en incluant le concept de population. Cette population est un groupe d'individus (c'est-à-dire des joueurs) dans lequel le nombre d'individus peut être fini ou infini, une population unique ou multiple. Les individus d'une population peuvent choisir des stratégies contre des individus dans une autre population. Un jeu évolutif définit une fondation pour obtenir la solution d'équilibre aux jeux, il garantit que tous les UEs d'un même groupe reçoivent des gains identiques.

3.2.9 Géométrie stochastique

La géométrie stochastique est une branche de la probabilité appliquée, qui peut être utilisée pour attribuer les emplacements de la BS et de l'UE dans le réseau via un processus de point. En utilisant, plus particulièrement, le processus de point de poisson indépendant (dite PPP, de l'anglais *Poisson Point Process*) pour modéliser les emplacements de l'UE et de la BS, des expressions traitables peuvent être obtenues en considérant des métriques clé, telles que, le SINR et le débit (Moon, 2010), qui peuvent être utilisées pour l'optimisation. Cette approche a aussi les avantages de donner des idées sur les impacts des paramètres clés sur le système, notamment, les puissances de transmission, les densités et les bandes passantes des différents types de cellules sur la conception des algorithmes d'équilibrage de la charge. Des exemples d'utilisation de ce modèle sont illustrés dans (Singh, 2013), où l'extension de la couverture cellulaire a été analysée en utilisant la géométrie stochastique, en moyennant toutes les configurations potentielles du réseau. Ainsi, l'effet des paramètres du réseau les plus importants sont obtenus sous une forme concise. Cependant, la modélisation aléatoire des emplacements des BSs dans HetNets entraîne l'intraitabilité de la région d'association précise et de la distribution de la charge. Une approximation analytique pour la région d'association a été proposée dans [27], où la géométrie stochastique est utilisée dans la distribution de la charge en assumant une distribution uniforme des UEs.

Un modèle général d'HetNet multi-RATs est proposé dans (Dhillon, 2012), avec chaque classe d'APs résultant d'une PPP homogène où les APs d'une RAT agissent comme interférants uniquement avec l'UE associé à cette RAT. La tessellation formée par les régions

Rapport-Gratuit.com

d'association des APs, c'est-à-dire, la région desservie par l'AP est caractérisée par une forme générale de *Poisson Voronoi* pondérée multiplicativement. De plus, les emplacements d'UEs sont modélisés comme étant un autre PPP indépendant. Tous les canaux consistent en des décolorations de *Rayleigh* indépendantes et identiquement distribuées. Puis, une approximation analytique pour caractériser les zones d'association, et la charge d'un AP est proposée. La distribution du débit sur l'ensemble du réseau est ensuite dérivée via une stratégie d'association pondérée, où les pondérations peuvent être ajustées pour optimiser un objectif particulier. En utilisant une association basée sur la puissance reçue biaisée, il est montré qu'il existe un pourcentage optimal du trafic qui devrait être déchargé pour maximiser la couverture du débit qui à son tour dépend des exigences de QoS de l'UE, de la condition de ressource à chaque RAT disponible, de la puissance du signal reçu et de la charge.

3.3 Transfert intercellulaire et gestion de mobilité dans HetNets

Premièrement, nous résumons quelques-unes des études récentes sur la gestion de la mobilité dans les HetNets, puis nous les utilisons pour mettre en évidence les défis et les problèmes rencontrés qui devraient être plus abordés dans la communauté de la recherche. La procédure de transfert est essentielle pour supporter la mobilité de l'UE dans tous les systèmes mobiles, notamment les réseaux composés de femtocellules. Le transfert permet la communication pendant le déplacement de l'UE dans le réseau. Cependant, il peut générer de manière significative, la surcharge de signalisation dans le réseau. En effet, le processus de transfert est défini comme étant le transfert de l'appel en cours ou de la session de données, d'un canal à un autre dans un réseau cellulaire. Les deux principales raisons du déclenchement du transfert sont, le déplacement de l'UE au-delà de la couverture de sa cellule et la surcharge de sa BS actuelle. Le transfert est un composant clé dans la gestion de la mobilité dans un réseau cellulaire puisqu'il requiert une latence spécifique sur le temps d'interruption du serveur. Les algorithmes pour améliorer la performance du transfert dans un réseau cellulaire doivent répondre aux exigences suivantes :

- faible latence et bonne flexibilité: l'évolutivité du modèle de transfert pour gérer l'augmentation des transferts sans compromettre la performance en termes de latence;

- possibilité de gestion des réseaux avec des BSs hétérogènes (pico, femto);
- optimisation permettant le transfert vers les dispositifs multi-porteuses.

3.3.1 Classification des algorithmes de décision de transfert intercellulaire

Cette section examine les algorithmes actuels de décision de transfert dans la littérature pour un réseau à deux niveaux (macrocellule-femtocellule). La littérature actuelle comprend un nombre remarquable d'algorithmes proposés où la grande majorité utilise une combinaison de paramètres pour atteindre la décision finale. En fonction du critère principal de transfert utilisé, cette section présente une classification de ces algorithmes en cinq groupes:

- basé sur l'intensité du signal reçu;
- basé sur la vitesse;
- basé sur une fonction coût;
- basé sur la sensibilité aux perturbations;
- basé sur l'économie d'énergie.

3.3.1.1 Basée sur la RSS

La RSS qui est la puissance reçue sur les signaux de référence est le paramètre de décision principale de transfert dans les réseaux sans fil. La RSS est obtenue par le produit de la puissance de transmission de la BS et de la perte de trajet, c'est un paramètre biaisé pour la prise de décision de transfert en présence de femtocellules. Les algorithmes existants basés sur la RSS donnent la priorité d'accès à la femtocellule (vs macrocellules) et intègrent aussi d'autres critères spécifiques. Il existe différentes approches sur la façon d'utiliser la RSS au cours de la phase de décision sur le transfert. Parmi ces approches sont la comparaison de la RSS des cellules actuelle et cible, directement ou avec une marge d'hystérésis, la comparaison du RSS de la cellule actuelle ou cible avec des marges absolues (RSS absolue) et la combinaison de ces approches.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Les auteurs de (Moon, 2009; Moon, 2010) proposent un algorithme de décision de transfert basé sur la RSS qui peut être utilisé dans la situation où un UE entre dans la zone de couverture de la femtocellule. L'idée principale de l'algorithme proposé est de combiner les valeurs de la puissance du signal reçue d'une macrocellule servante et d'une femtocellule cible en considérant une grande asymétrie dans leurs puissances de transmission afin de dériver un critère de transfert raisonnable. Afin de fournir un processus efficace de transfert, le concept d'un facteur de combinaison est introduit et sa performance est analysée en termes de probabilités d'assignation aux cellules et le nombre de transferts résultants. Le facteur de combinaison a pour rôle de pondérer la RSS de la macrocellule en fonction de la situation de chaque femtocellule, sa valeur doit être sélectionnée raisonnablement. Si la valeur du facteur de combinaison est définie comme inutilement élevée, le critère de transfert est toujours satisfait même si la RSS de la femtocellule est faible. Autrement, il n'y a pas de différence entre l'algorithme proposé et l'algorithme conventionnel. Une autre méthode qui détermine le facteur de combinaison optimal est introduite dans (Ulvan, 2010).

Dans leur travail, les auteurs de (Xu, 2011) proposent un nouvel algorithme de transfert qui tient compte de la disparité des puissances de transmission entre les cellules dans des réseaux hiérarchiques. Les résultats de l'analyse et de la simulation montrent que l'algorithme proposé peut améliorer l'utilisation des femtocellules et peut réduire le nombre de transferts redondants. En outre, la mise en œuvre cet algorithme dans les systèmes réels (au niveau des UEs) est facile avec moins de calculs. Il peut ainsi fournir une garantie sur la performance de transfert. Lorsque beaucoup de femtocellules sont irrégulièrement déployées, l'algorithme proposé peut également être réalisé rapidement en raison de son faible calcul.

Une nouvelle approche est proposée dans (Lopez-Perez, 2010) pour diminuer l'interférence inter-cellules dans les réseaux comprenant des macrocellules et des femtocellules à accès OFDMA. Cette nouvelle technique est basée sur l'utilisation de transferts intracellulaire (dite IHO, de l'anglais *IntraCell Handover*), et permet à une macrocellule ou à une femtocellule de réaffecter son sous-canal ou allocation de puissance lors de la détection d'interférences entre les types de cellules. Une nouvelle approche qui peut pallier à l'interférence entre les cellules de différents types dans les déploiements co-canaux est alors présentée. La

réutilisation du même sous-canal dans la macrocellule et la femtocellule à la même zone et au même moment est ainsi évitée. Les performances résultantes de l'approche IHO sont comparées aux méthodes d'accès ouvert et fermé utilisées dans les réseaux déployant des femtocellules. L'idée principale de l'approche proposée est que lorsqu'un non-abonné qui est connecté à une macrocellule souffre d'interférences inter-niveaux en raison de la présence d'une femtocellule voisine, la macrocellule elle-même exécute une IHO ou elle met en place un IHO dans toutes les femtocellules interférentes, le cas échéant. Ainsi, l'algorithme est capable d'atténuer les interférences entre niveaux, résolvant le principal inconvénient des femtocellules CSG. Il peut aussi réduire le nombre de tentatives de transfert, c'est-à-dire, la signalisation et la coupure, qui sont considérées comme les principaux inconvénients des femtocellules à accès ouvert. La réduction d'interférence des non-abonnés est obtenue au détriment de la signalisation et de la réduction du débit des UEs dans certains cas.

3.3.1.2 Basée sur la vitesse du mobile

La vitesse est un paramètre généralement utilisé pour améliorer le processus de transfert de l'UE vers les femtocellules et pour réduire le nombre de transferts inutiles pour les UEs à moyenne et haute vitesse (Wu, 2011; Zhang, 2011). L'utilisation du paramètre relié à la vitesse et à la mobilité de l'UE comme critère de décision de transfert principal peut améliorer significativement la phase de décision de transfert en présence de femtocellules (Jeong, 2011; Shaohong, 2009; Ulvan, 2010). Néanmoins, l'évaluation de la vitesse de l'UE se fait au détriment d'une augmentation du coût, de la consommation d'énergie ou de la signalisation du réseau. La décision de transfert est prise en comparant la vitesse de l'UE à des seuils absolus qui, dans la plupart des cas, sont arbitrairement choisis. Les algorithmes basés sur la vitesse incorporent également d'autres critères de décision de transfert, incluant principalement la RSS des cellules actuelles et cibles, le type de trafic de l'UE, la bande passante disponible sur les cellules cibles et le statut d'appartenance de l'UE.

Un nouvel algorithme de transfert basé sur la vitesse de l'UE et la QoS (représentée par les trafics en temps réel et non-réel) est proposé dans (Zhang, 2010). Trois scénarios de vitesse différents ont été considérés dans l'algorithme, tels que l'état mobile faible (0-15 km / h),

l'état mobile moyen (15-30 km / h) et l'état mobile élevé (> 30 km / h). Les auteurs ont introduit le mécanisme de prédiction du mouvement comme un paramètre supplémentaire pour la procédure de décision de transfert. Ce paramètre est envoyé par la BS servante dans l'information diffusée sur le système. La connaissance de la position et de la vitesse actuelles d'un UE peut aider à estimer l'endroit où l'UE se dirige, de sorte que la position suivante de l'UE vers laquelle le transfert peut être effectué peut-être prédite. Dans cette procédure de décision de transfert, l'UE peut périodiquement (par exemple toutes les 1s) envoyer sa position à la cellule servante pendant son déplacement. D'un autre côté, la cellule de service maintient la base de données de toutes les cellules cibles possibles vers l'endroit où le transfert peut être effectué. L'analyse comparative a montré que l'algorithme proposé présente de meilleures performances comparées à l'algorithme de transfert conventionnel en termes de réduction du nombre de transferts et de transferts inutiles.

Des algorithmes de transfert qui tiennent compte de la puissance du signal reçu et de la vitesse de l'UE sont proposés dans (Shaohong, 2009). Les algorithmes utilisent le concept mathématique d'« ensemble ». Les auteurs considèrent des réseaux LTE à deux hiérarchies composées de réseaux macrocellulaires traditionnels et de *hot-spots* femtocellulaires intégrés. Les auteurs analysent l'algorithme de transfert et la performance de tout le système dans un scénario réel lorsque des stations mobiles se déplacent avec une vitesse respective dans des cellules macrocellulaires dans lesquelles un nombre de femtocellules est déployé. Comme la vitesse est prise en compte et évaluée en premier lieu, les transferts fréquents de ces UEs à grande vitesse sont évités. De plus, il est assuré que les UEs à grande vitesse recevront un meilleur service, comme un taux d'abandon d'appels plus faible et une plus grande capacité du système. Les résultats ont montré que les probabilités de transfert résultants des deux algorithmes proposés diminuent largement pour les mobiles à haute vitesse. De plus, le débit offert par la macrocellule et la capacité des UEs à grande vitesse sont améliorés.

3.3.1.3 Basée sur l'exploitation d'une fonction coût

Les algorithmes de cette classe intègrent un large éventail de paramètres de décision de transfert dans une seule fonction coût (Lee, 2010; Reguiga, 2011; Xu, 2010; Zhang, 2010),

tels que la durée de vie de la batterie, le type de trafic, la charge de la cellule, la RSS et la vitesse. La décision de transfert est obtenue en comparant le résultat de la fonction coût pour les cellules servants et les cellules cibles. Les approches existantes intègrent les paramètres de décision de transfert dans une fonction multiparamétrique (Lee, 2010; Reguiga, 2011) ou utilisent une sommation pondérée (Xu, 2010; Zhang, 2011).

Un algorithme de transfert (de la macrocellule à la femtocellule) basé sur l'état du SINR de l'UE et considérant à la fois une grande disparité dans les puissances de transmission des cellules et de l'état des UEs est proposé dans (Xu, 2010). L'algorithme combine le SINR utilisé, la vitesse de l'UE et l'exigence des UEs en termes de QoS, comme critères de décision. Les SINRs moyens de la femtocellule et de la macrocellule sont une condition nécessaire dans le transfert vers les femtocellules, et le processus peut être décidé par la vitesse et la QoS. La procédure proposée résout le problème d'asymétrie des puissances de transmission, où le SINR reçu de différentes BSs peut être comparé immédiatement. L'utilisation du SINR comme un critère de transfert est plus efficace que de prendre la RSS puisque le SINR de la femtocellule est pratiquement toujours plus élevé que celui de la macrocellule en raison de l'environnement sans fil et de la distance. En conséquence, la probabilité de transfert donné par l'algorithme basé sur le SINR sera évidemment améliorée par rapport à celle obtenu par l'algorithme basé sur la RSS. Lorsque la vitesse et la QoS des UEs sont ajoutées, les transferts inutiles peuvent être supprimés. De plus, le taux d'utilisation des femtocellules augmente lorsque l'état de l'UE est pris en compte. Finalement, l'algorithme est facilement à mettre en œuvre et est plus approprié.

Les auteurs de (Lee, 2010) se focalisent sur un algorithme de décision de transfert horizontal à hystérésis adaptif basé sur le coût. L'algorithme de *hard handoff* proposé est contrôlé par le réseau et il minimise le taux d'échec de transfert (HFR) dans un système 3GPP LTE. En particulier, pour un fonctionnement en temps réel, un système d'hystérésis adaptatif avec une fonction coût simplifiée est proposé. Certains facteurs dominants étroitement liés à la performance du transfert sont considérés, tels que la différence de charge entre les cellules cible et de service, la vitesse de l'UE, et le type de service. Avec le modèle proposé, une

bonne valeur d'hystérésis basée sur les facteurs dominants est facilement obtenue, de sorte que l'optimisation des paramètres de transfert pour minimiser le HFR peut être efficacement atteinte. Les facteurs sur-mentionnés sont par la suite utilisés pour constituer la fonction coût afin de déterminer l'hystérésis adaptatif de transfert horizontal dans des réseaux homogènes ou de transfert vertical dans des réseaux hétérogènes (Kassar, 2008; Mcnair, 2004).

$$C = \sum_{i=1}^{i=K} w_i \, . \, N_i \tag{3.7}$$

- où w_i est un poids pour la $i^{ème}$ fonction normalisée N_i et la somme de tous les poids est 1. K est le nombre maximum de fonctions normalisées à considérer;
- la valeur de C est comprise entre -1 et 1 car la somme de tous les poids est 1 et N_i varie de -1 à 1.

3.3.1.4 Basée sur la prise en compte de l'interférence

Les algorithmes de cette classe tiennent compte de l'impact des interférences au niveau des UEs ou des sites cellulaires (Becvar, 2010; Xenakis, 2012). Les principaux paramètres de décision dans cette classe comprennent:

- les mesures sur la qualité du signal reçu (dite RSQ, de l'anglais Receiver Signal Quality);
- la puissance de l'interférence reçue (dite RIP, de l'anglais Received Interference Power) des sites cellulaires;
- les puissances de transmission des cellules;
- les contraintes d'interférence aux cellules.

L'incorporation du RIP aux cellules cibles améliore le résultat de la décision de transfert. Cependant, elle entraîne aussi l'utilisation de procédures de signalisation plus complexes au niveau de la cellule servante (36.214, 2011). Les algorithmes basés sur la RSQ comparent généralement la RSQ des cellules de service et cible, ou permettent le transfert vers les femtocellules chaque fois que la RSQ d'une femtocellule voisine est supérieure à un seuil de RSQ. D'autre part, les algorithmes qui tiennent compte de la puissance de transmission de la

BS, du niveau d'interférence ou des contraintes d'interférence aux cellules, améliorent les performances en termes de SINR (36.214, 2011).

Un modèle de décision de transfert appelé technique de réduction de la puissance de transmission de l'UE est proposé dans (Zheng, 2011). Pour un réseau LTE à deux niveaux, l'objectif des auteurs est de transférer l'UE à une cellule dont l'exigence en puissance de transmission de l'UE est minimale, tout en maintenant le SINR moyen cible. La technique proposée est ensuite utilisée pour dériver de façon appropriée la marge d'hystérésis de transfert par rapport à un SINR cible prescrit et des mesures standards dans LTE sur l'état des cellules candidates. L'incorporation du SINR garantit la QoS, tandis que l'utilisation des mesures standards du LTE fournit une estimation précise de la puissance de transmission de l'UE requise par chaque cellule candidate. L'avantage de l'utilisation de la politique de décision de transfert proposée ici est l'atténuation des interférences radios, la réduction de la consommation d'énergie des UEs du LTE et la garantie la QoS pour les liaisons UE en cours.

(Becvar, 2010) propose un mécanisme simple à mettre en œuvre avec des exigences minimales sur le réseau conventionnel et l'UE. L'efficacité de la méthode en termes de réduction redondante des transferts est évaluée et l'impact sur le débit de l'UE dans les réseaux sans fil 4G est déduit. Leur objectif est de dériver un HHM adaptatif et de modifier sa procédure d'adaptation pour être applicable et facilement mis en œuvre dans les réseaux comportant des femtocellules. Des mesures classiques telles que l'indicateur de la puissance du signal reçu (dite RSSI, de l'anglais *Received Signal Strength Indication*) ou le CINR habituellement mesurées par un UE lors du balayage ou du *scanning* de son voisinage sont utilisées pour l'adaptation dynamique d'une valeur réelle de HHM. Puis, le transfert est déclenché si le paramètre de signal de la BS cible dépasse le paramètre de signal de la BS de service au moins par niveau HHM. Finalement, la méthode de HHM adaptative proposée est évaluée dans un environnement de réseaux sans fil LTE selon la version 9. Les auteurs en concluent que le HHM adaptatif réduit le nombre de transferts tout en maintenant un gain maximal en débit. De plus, la technique proposée est simple puisqu'elle ne nécessite aucune information ni sur l'emplacement de l'UE ni sur les positions des femtocellules.

3.3.1.5 Basée sur l'efficacité énergétique

La consommation d'énergie constitue un problème critique pour les appareils mobiles du IMT-A. En effet, beaucoup d'énergie est exigée pour la prise en charge des multiples applications mobiles et des différentes techniques avancées utilisées dans les réseaux, telles que l'agrégation de porteuses, les transmissions multi-antennes et multi-interfaces. Quelques paramètres clés d'efficacité énergétique dans la littérature actuelle sont la puissance de la batterie de l'UE (Reguiga, 2011), la puissance de transmission moyenne de l'UE (Zheng, 2011) et la consommation d'énergie de l'UE (Pedersen, 2013). Les algorithmes de cette classe visent à utiliser le potentiel de l'économie d'énergie obtenu par le fonctionnement à faible puissance des femtocellules (Xenakis, 2012). Étant donné que la consommation d'énergie dépend fortement de l'interférence au niveau des nœuds du réseau, ces algorithmes sont étroitement liés aux algorithmes de détection des interférences (Xenakis, 2012; Zheng, 2011).

Dans leur travail, (Reguiga, 2011) proposent une nouvelle architecture autonome avec des capacités auto-organisatrices basées sur la sélection d'une femtocellule primaire pour chaque groupe d'APs. Le femtocellule primaire sera responsable d'ajuster dynamiquement la couverture globale du réseau pour économiser l'énergie de la femtocellule et fournir une meilleure QoS aux UEs. Ensuite, un algorithme contextuel avancé de décision de transfert nécessitant des critères multiples du côté de l'UE et du côté du réseau est considéré. Lors de la sélection de femtocellule, plus de critères de décision sont requis du côté de l'UE tels que les préférences de l'UE, les capacités de service, l'état de la batterie et la priorité du mode d'accès. Du côté du réseau, les critères de décision requis sont les paramètres reliés à la QoS et au coût. Les femtocellules les plus appropriées, parmi celles disponibles, doivent être sélectionnées s'ils satisfont un certain nombre d'objectifs. Une méthode de prise de décision multi-objective est ainsi considérée dans laquelle toutes les alternatives disponibles (femtocellules) sont évaluées en fonction de l'adhésion de la femtocellule, le BER, l'état de la batterie et la bande passante. La RSS agira comme un facteur de déclenchement, c'est-à-dire qu'une nouvelle femtocellule sera considérée comme une alternative si et seulement si la

RSS de la femtocellule actuelle est au-dessus du seuil à cet instant. L'évaluation de l'importance de chaque objectif est ensuite effectuée en fonction des préférences de l'UE.

(Xenakis, 2012; Xenakis, 2012) introduit un nouvel algorithme de décision de transfert centré sur l'énergie. L'algorithme vise à minimiser la consommation d'énergie du côté du terminal mobile dans un réseau LTE intégrant des macrocellules-femtocellules. La technique proposée étend l'algorithme de transfert largement adopté, basé sur la cellule la plus forte, en adaptant de manière appropriée le HHM de transfert selon des mesures LTE normalisées. Pour ce faire, la puissance de transmission moyenne en UL dans la cellule cible est évaluée, pour vérifier si les contraintes sur la puissance de transmission maximale autorisée de l'UE et sur la limitation d'interférence sont satisfaites. Les cellules voisines qui répondent aux critères ci-dessus sont ensuite évaluées conformément au critère de transfert de l'algorithme basé sur la consommation d'énergie de l'UE. L'algorithme proposé termine la boucle soit lorsque toutes les cellules voisines ont été évaluées, soit après l'expiration du temporisateur de transfert. En l'absence de cellules voisines, où les UEs ont une consommation d'énergie préférentielle, une procédure de reconfiguration est déclenchée à l'égard des contrôleurs de recherche de cellule et de rapport de mesure. Dans le cas contraire, une exécution de transfert est déclenchée vers la cellule voisine où la consommation d'énergie de l'UE est minimale. En plus de diminuer la consommation d'énergie de l'UE, les simulations montrent que l'algorithme proposé permet la réduction du nombre de transfert inutile.

3.3.2 Différents algorithmes pour améliorer la performance du transfert intercellulaire

Dans cette section, nous donnons un aperçu de divers travaux effectués dans le cadre de l'optimisation du transfert dans un réseau cellulaire, notamment, dans un réseau hétérogène.

3.3.2.1 Optimisation de la procédure de transfert intercellulaire basée sur l'adaptation dynamique des paramètres

Dans les réseaux homogènes classiques, les UEs utilisent généralement le même ensemble de paramètres de transfert, par exemple le HHM et le TTT dans tout le réseau. Cependant, dans

Rapport-Gratuit.com

HetNets, où macrocellules, picocellules, femtocellules et nœuds relais ont des zones de couverture de différente taille, l'utilisation du même ensemble de paramètres de transfert pour toutes les cellules et / ou pour tous les UEs peuvent dégrader les performances de mobilité. Par exemple, l'utilisation de l'extension de couverture dans des nœuds à faible puissance à accès ouvert affectera le moment et l'endroit où le processus de transfert est initié dans chaque cellule. Par conséquent, dans HetNets, l'optimisation de paramètres de transfert d'une cellule spécifique devient cruciale. De plus, dans HetNets, les UEs de la macrocellule de haute mobilité peuvent traverser profondément dans les zones de couverture des petites cellules avant que le TTT optimisé pour les macrocellules expire, entraînant ainsi une défaillance de transfert en raison de la dégradation du SINR. Ces faits imposent également la nécessité d'une optimisation des paramètres de transfert spécifique à l'UE en raison de son importance capitale.

Dans (Barbera, 2012), les auteurs évaluent l'effet de différentes combinaisons de divers paramètres de gestion de la mobilité dans les réseaux 3GPP LTE. L'objectif principal est d'analyser le comportement des réseaux LTE dans lesquels les cellules utilisant les mêmes canaux, avec des paramètres de mobilité différents. Basé sur les résultats de performance basiques de la mobilité pour divers paramètres de TTT, les principaux défis concernant la mobilité sont définis et des solutions pour améliorer la performance sont suggérées. L'analyse considère l'impact de la vitesse des terminaux mobiles et du nombre de picocellules sur la performance de mobilité des UEs se déplaçant librement ou se limitant à des *hotspots*. Ainsi, les auteurs concluent que la performance de la mobilité du HetNets dépend fortement de la taille des cellules et de la vitesse de l'UE. Par la suite, la conclusion des auteurs sont alignées avec les évaluations de la performance de la mobilité du HetNets dans 3GPP (3GPP, 2012).

3.3.2.2 Contrôleur à logique floue

D'autres résultats sur les effets des paramètres de gestion de la mobilité sont présentés dans (Muñoz, 2013), où les auteurs proposent un contrôleur de logique floue. Ce contrôleur modifie de manière adaptative, les paramètres de transfert pour l'optimisation du transfert en

considérant la charge du système et la vitesse de l'UE dans un réseau exclusivement macro. En premier lieu, une analyse de sensibilité des deux principaux paramètres de transfert, c'est-à-dire le HHM et le TTT, est réalisée en assurant différents niveaux de charge du système et différentes vitesses de l'UE dans un réseau LTE. Puis, un contrôleur de logique floue qui modifie de manière adaptative les HHM est conçu pour l'optimisation du transfert. Dans ce cas, différents paramètres, tels que l'étendu du réseau, la couverture de la cellule sont utilisés pour l'optimisation. De plus, l'impact des erreurs de mesure a été pris en considération.

Les résultats de l'analyse de sensibilité montrent que l'optimisation des HHMs est une solution efficace pour l'optimisation des transferts dans les réseaux LTE. De plus, on démontre que le contrôleur de logique floue est une technique efficace pour adapter le HHM aux différentes conditions de réseau, de sorte que la charge de signalisation dans le réseau diminue et un niveau admissible de baisse d'appel est atteint. Les avantages du contrôleur de logique floue proviennent de leur capacité à traduire le savoir humain en un ensemble de règles de base. Ces règles représentant la mise en correspondance ou le *mapping* de l'entrée à la sortie en termes linguistiques sont généralement dérivés de la connaissance et l'expérience d'un expert du système.

3.3.2.3 Gestion de la mobilité basée sur l'apprentissage

Des techniques de gestion de la mobilité sont proposées dans (Simsek, 2015). Dans les approches de gestion de la mobilité proposées, des solutions à court et à long terme sont étudiées. À long terme, une procédure d'équilibrage de la charge du trafic dans un scénario HetNet est proposée, alors qu'à court terme, le processus d'association de l'UE est résolu. Pour mettre en œuvre la méthode d'équilibrage de la charge à long terme, deux approches basées sur l'apprentissage sont proposées en utilisant des techniques d'apprentissage par renforcement: une approche basée sur la technique de bandit à bras multiples (dite MAB, de l'anglais MultiArm Bandit) et une approche basée sur la satisfaction. D'un autre côté, le processus d'association d'UE à court terme est basé sur un planificateur contextuel en prenant en considération l'historique de débit d'un UE, sa vitesse ainsi que l'équité pour permettre

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

une planification équitable et une association de cellules optimisée. La technique d'apprentissage MAB vise à maximiser la capacité globale, tandis que la technique d'apprentissage basée sur la satisfaction vise à satisfaire le réseau en termes de capacité. En particulier, les BSs apprennent conjointement la charge de leur trafic à long terme et l'extension optimale de leur couverture cellulaire et planifient leurs UEs en fonction de leurs vitesses et des historiques sur les débits de données échangés entre les niveaux.

MAB est une technique d'apprentissage automatique basée sur une analogie avec la machine à sous traditionnelle (bandit à un seul bras) (Auer, 20152). Lorsqu'il est tiré à l'instant tn, chaque machine / joueur offre une récompense. L'objectif est de maximiser la récompense récoltée par le biais d'itérations d'apprentissage. Le compromis crucial auquel le joueur fait face à chaque processus est entre l'exploitation de l'action qui a la plus grande utilité et l'exploration de nouvelles actions pour obtenir plus d'informations sur la performance de l'utilité des autres actions. Le joueur choisit ses actions via une fonction de décision reflétant ce compromis exploration-exploitation. Les techniques étudiées améliorent le débit global du système tout en réduisant les probabilités d'échec du transfert et des effets *ping pongs.*

3.3.2.4 Gestion de la mobilité basée sur une méthode hybride

Dans (Pedersen, 2013), les auteurs proposent une solution hybride pour la gestion de la mobilité dans HetNets, où la gestion de la mobilité dans une macrocellule est contrôlée par le réseau et est autonome dans une petite cellule. Dans le scénario étudié, les macrocellules et les petites cellules opèrent sur différentes porteuses, ce qui permet à la gestion de mobilité d'être maintenue au niveau de la macrocellule, tout en permettant aux petites cellules d'améliorer la capacité du plan UE ou user plan capacity. Les méthodes proposées améliorent la performance de la mobilité en mode connecté du RRC pour les scénarios HetNets où les macrocellules et les petites cellules sont déployées sur des fréquences porteuses différentes.

En supposant que les UEs associés aux petites cellules ont une mobilité autonome, la signalisation RRC fréquente pour la gestion de la mobilité des petites cellules peut être

réduite en déléguant partiellement les actions de gestion du réseau à l'UE. De plus, cette autonomie de l'UE est avantageuse lorsque le nombre de petites cellules. En fait, elle permet de décharger le réseau des décisions de mobilité fréquentes et de réduire la surcharge de signalisation ou *overhead*. De faibles probabilités d'expérience d'échec de la liaison radio, d'échec de transfert et des évènements *pings-pongs* sont aussi assurées tout en offrant des débits de données plus élevés.

3.3.2.5 Gestion de la mobilité basée sur l'équité

Une solution de gestion de la mobilité basée sur l'équité est discutée dans (Wang, 2011). Le problème de sélection de cellule dans HetNets est formulé comme un problème d'optimisation d'équité proportionnelle au sein du réseau, en considérant conjointement les conditions de canal à long terme et la répartition de la charge entre les différents niveaux. Bien que la méthode proposée améliore la performance de l'UE au bord de cellule, aucun résultat relatif à la performance de mobilité n'est présenté. Pour parvenir à une équité proportionnelle pour tous les UEs dans le réseau hétérogène, le problème de sélection de cellule dans la DL est formulé sous forme de problème de maximisation de l'utilité à l'échelle du réseau. Ainsi, basé sur l'état des canaux à long terme et l'état de la charge de chaque cellule, l'algorithme hors ligne basé sur la programmation dynamique et l'algorithme en ligne basé sur l'heuristique sont proposés. Les algorithmes sont conçus pour atteindre une équité proportionnelle pour tous les UEs du site.

Lorsqu'un nouvel UE arrive dans le système, l'information sur l'état du canal sans fil (dite CSI, de l'anglais *Channel State Information*) de plusieurs nœuds voisins comprenant des macrocellules et des picocellules est d'abord mesurée. En utilisant l'information CSI, l'UE peut calculer les qualités du canal, c'est-à-dire le SINR obtenu de chaque BS servante. En utilisant les informations sur le SINR, le débit de données réalisable sur la bande passante totale peut être estimé. Ensuite l'UE communique ces informations à une BS centrale directement ou par l'intermédiaire d'un des nœuds offrant la meilleure intensité de signal. La BS centrale détermine le résultat d'association pour cet UE en se basant sur les informations

rapportées (débit de données estimé à chaque nœud) ainsi que la charge de trafic des nœuds actuels ou du nombre d'UEs associés. La procédure d'association de l'UE n'est effectuée que lors des situations d'arrivées ou de transferts, et la prise de décision s'applique uniquement aux UEs nouvellement arrivés, aucun transfert ne se produit pour les autres UEs. Quant à la sélection optimale de cellules à l'échelle du réseau, elle pourrait fournir une limite supérieure théorique et donner des hypothèses aux planificateurs de réseau afin de construire un meilleur HetNets.

3.4 Discussion et conclusion

En premier lieu, dans ce chapitre, nous discutons des techniques de sélection cellulaire et d'équilibrage de charges existant dans la littérature. Chacune de ces techniques possède des avantages, inconvénients et compromis chacune à leur manière. Ainsi effectuer une comparaison exacte afin de déduire la meilleure technique est peu évidente. Il est plus judicieux de déterminer les problèmes concrets que l'on veut résoudre, déterminer les objectifs et les attentes par rapport à l'algorithme, faire un inventaire des paramètres d'optimisation dont on aura besoin, concevoir la fonction objective appropriée puis finalement, en fonction de ces points, sélectionner la méthode la plus adéquate.

Une solution centralisée optimale d'équilibrage de la charge et de sélection cellulaire est analytiquement plus complexe et parfois l'obtention d'une solution est presque impossible. D'un autre côté les algorithmes distribués (par exemple la théorie de jeu) et heuristiques ou *greedy* ne convergent pas et / ou provoque l'augmentation importante du calcul en fonction du nombre d'itérations et des nœuds (APs, BSs, UEs) à traiter. Néanmoins, le but principal de tous les algorithmes proposés est l'obtention de la meilleure association entre une BS et un UE. L'implémentation réelle (physique, dans un réseau réel) des algorithmes est toutefois un point nécessitant d'être soulevé puisque les opérateurs ont besoin d'un bon algorithme simple mais robuste et surtout qui ne leur coûte pas cher, en implémentation et en mise à jour.

Puis nous donnons un aperçu des problèmes au niveau de la gestion de la mobilité et étalons les techniques de transfert intercellulaire et de gestion de mobilité proposées pour un système HetNets. Cette partie quant à elle, décrit la majorité des travaux effectués sur la gestion de la mobilité dans HetNets, en exploitant particulièrement la procédure de transfert intercellulaire, intracellulaire et inter-RAT, en concevant des décisions de transfert en présence de femtocellules. Néanmoins, nous nous focalisons plus sur les transferts intercellulaires et intracellulaires en considérant un HetNets à deux niveaux représentés par les macrocellules et les femtocellules. La plupart des recherches sur la gestion de la mobilité dans la littérature sur les réseaux cellulaires est basée sur la mesure de la RSRP, de la qualité du signal de référence reçu (dite RSRQ, de l'anglais *Reference Signal Received Quality*) et de la RSS. Nous pourrons par la suite concevoir notre propre décision en se basant sur les algorithmes existants. En effet, l'utilisation d'hypothèses réalistes, de configurations de simulation au niveau du système et de la comparaison de performances avec d'autres algorithmes concurrents sont trois autres facteurs clés permettant d'assurer le déploiement réel des algorithmes proposés. Il est clair que la gestion de la mobilité dans le réseau macrocellule-femtocellule à deux niveaux est difficile dans de nombreux aspects et pose un certain nombre de questions ouvertes qui restent à résoudre.

CHAPITRE 4

NOUVELLES STRATÉGIES DE SÉLECTION DE CELLULE ET D'ÉQUILIBRAGE DE LA CHARGE DANS UN ENVIRONNEMENT HETNET

4.1 Introduction

Cette dernière décennie, l'exploitation des petites cellules dans les réseaux a attiré beaucoup d'attention en raison de la demande explosive des exigences des UEs en termes de données. Afin de satisfaire ces exigences, les réseaux sans fil actuels sont conçus de telle sorte que les macrocellules déployées par l'opérateur puissent fournir une couverture avec les picocellules, les femtocellules et les points d'accès Wifi à faible puissance déployés par l'UE ou par l'opérateur (Damnjanovic, 2011; Dhillon, 2012). Les réseaux résultants sont généralement appelés HetNets. Le déploiement des femtocellules conjointement avec les macrocellules, peut améliorer la couverture et la capacité des UEs situés au bord de la cellule et dans les hotspots en exploitant la réutilisation spatiale du spectre (Quek, 2013). Dans un réseau HetNet, les types de cellules diffère en termes de puissance de transmission, d'exposant d'afaiblissement de trajet, de densité de déploiement et de bande passante (Andrews, 2012; Bou Saleh, 2010). Comme indiqué dans la littérature, la puissance de transmission des picocellules est de 250 mW - 2 W tandis que celle de la macrocellule est de 5 W - 40 W (Damnjanovic, 2011), ce qui conduit à une grande disparité de puissance d'environ 20 dB. Néanmoins, en dehors des avantages obtenus par le déploiement de l'hétérogénéité des cellules, la variabilité de puissance entre les BSs implique le déséquilibre de la charge dans le réseau. Ce comportement pourrait s'expliquer par le fait que la plupart des UEs tendent à se connecter à la macrocellule, à partir desquels ils reçoivent la puissance du signal maximale (Bejerano, 2009) bien qu'ils soient plus proches d'une picocellule. Ainsi, nous déduisons que de nombreux défis sont impliqués par le déploiement du HetNet. Parmi eux, l'optimisation de la capacité, de la couverture, de la gestion de la mobilité (dite MM, de l'anglais *Mobility Management*), de l'association des utilisateurs (dite UA, de l'anglais *User Association*) et de

l'équilibrage de charge (dite LB, de l'anglais *Load Balancing*) entre différents types de BSs du réseau (3GPP, 2012) sont généralement cités. En particulier, MM, UA et LB sont les éléments clés dans HetNets pour assurer aux UEs une connectivité continue tout en maintenant la QoS (Xenakis, First Quarter 2014).

Une des solutions sous-optimale au déséquilibrage de la charge est la technique d'extension de la couverture cellulaire ou CCE, dans laquelle l'association UE-BS est basée sur la puissance reçue biaisée. Pour cette technique, la zone de couverture des petites cellules est étendue et les UEs sont déchargées de manière proactive à des BSs de puissance inférieure en utilisant un décalage (biais) d'association (Simsek, 2015). Cependant, bien que la CCE ait largement prouvé son efficacité, elle peut dégrader la capacité du réseau si le biais d'extension de la cellule n'est pas choisi correctement. En effet, il peut engendrer des interférences intercellulaires sévères au niveau des UEs des cellules à couverture étendue, ce qui conduit à une détérioration de leur débit. Nous proposons donc une stratégie coordonnée de gestion de la mobilité par l'utilisation de la CCE en DL.

Ainsi, dans la première partie de ce chapitre, nous proposons des algorithmes heuristiques pour résoudre le problème original d'égalisation de la charge dans HetNets classifié comme étant NP-complet. Nous suggérons un modèle d'association UE-BS qui applique une extension dynamique de couverture cellulaire (dite DCRE, de l'anglais *Dynamic Cell Range Extension*) sur les petites cellules. Dans DCRE, un biais dynamique basée sur la puissance est calculé et utilisé pour étendre la zone de couverture des petites cellules et ainsi améliorer l'équilibrage de charge dans le réseau. Puis, nous introduisons un deuxième modèle d'association UE-BS appelé égalisation de charge basée sur le gain en équité (dite FGBLE, de l'anglais *Fairness Gain-Based Load Equalization*). Dans cette deuxième méthode, la sélection cellulaire est basée sur le gain en équité mesuré par les UEs. Les résultats de la simulation montrent que les modèles d'associations proposés conduisent à un équilibrage de charge significativement meilleur. De plus, on obtient une atténuation plus considérable de la surcharge cellulaire ainsi qu'une distribution plus équitable d'UEs par rapport aux techniques étudiées dans la littérature.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous proposons une technique d'extension coordonnée de la couverture cellulaire pour la gestion de la mobilité de l'UE (CCREMM) où le biais optimal commun aux picocellules et aux macrocellules est calculé analytiquement. Le CCREMM est proposé de telle sorte que l'interférence des UEs associés aux cellules à couverture étendues soit atténuée en tenant compte de leurs interférences tolérables maximales. En outre, le CCREMM atteint l'équilibrage de charge et la satisfaction de l'UE relative à la QoS en tenant compte des paramètres supplémentaires. Il sera montré que notre stratégie qui est associée à la technique de planification qui maximise le débit (dite MTS, de l'anglais *Maximum Throughput Scheduling*), aboutit à une amélioration de l'équilibrage de la charge cellulaire, à l'équité et à une amélioration de 50-90% du débit de l'UE. Ces résultats de performance dépassent ceux obtenus par d'autres approches proposées dans la littérature existante.

4.2 Partie 1 : nouveaux algorithmes heuristiques pour une équitabilité de charge dans un réseau cellulaire hétérogène

4.2.1 Motivation et travaux connexes

Il existe de nombreuses recherches qui traitent le problème d'équilibrage de charge dans les réseaux cellulaires. Parmi les méthodes proposées sont le dimensionnement cellulaire (Bejerano, 2009), l'optimisation d'une fonction objective dans (Corroy, 2012) et les heuristiques dans (Das, 2003; Hande, 2009; Son, 2009). L'extension de la couverture de la petite cellule est utilisée dans (Das, 2003; Kim, 2012). Dans (Kim, 2012), une sélection dynamique de cellule est proposée. Cependant, le déchargement des UEs est seulement inspecté à partir d'une macrocellule vers les picocellules dans ces études. Dans (Das, 2003), un ensemble de biais non uniformes sont calculés et leur optimisation est effectuée via le principe de conception des expériences ou *design of experiment*.

Rapport-Gratuit.com

4.2.2 Contribution principale et organisation

Dans la littérature, nous avons constaté que la plupart des recherches dans CRE considèrent le décalage statique et bien que des techniques dynamiques sont proposées, le calcul de biais est différent par rapport à celui du DCRE que nous proposons. D'autre part, le DCRE optimise le biais en utilisant la technique de recherche locale *Hill climbing* pour trouver la meilleure valeur maximisant notre fonction objective d'équité. Nous notons également qu'aucun des travaux cités ci-dessus ne considère le débit minimal requis par chaque UE. C'est pourquoi, une nouvelle technique d'association basée sur le gain en équité mesuré par l'UE est suggérée. Dans un premier temps, nous formulons le problème en un problème objectif d'optimisation, puis nous analysons sa complexité, et proposons de nouveaux modèles d'association (DCRE et FGBLE). Pour la technique DCRE, le principe consiste à permettre un déchargement plus important des utilisateurs de la macrocellule vers les picocellules en utilisant des biais dynamiques sur les picocellules. D'un autre côté, pour la technique FGBLE, l'association UE-BS est basée sur le gain d'équité mesuré par l'UE, de sa BS servante et des BSs voisines.

4.2.3 Modèle du système utilisé

Une configuration du HetNet en DL constituée de macrocellules et de petites cellules est illustrée à la Figure 4.1, où les macrocellules forment un réseau cellulaire régulier. Les petites cellules et les UEs sont distribués de manière aléatoire dans chaque macrocellule. Dans ce travail, nous nous référons à deux types de petites cellules (femtocellules et picocellules) ayant une puissance de transmission plus faible et offrant une couverture plus étroite que les macrocellules. Le débit moyen R_{ki} entre l'utilisateur $k \in U$ et BS $i \in I$ est donné par la capacité de Shannon:

$$R_{ki} = \log_2(1 + y_{ki}) \tag{4.1}$$

Puis l'annotation générale du SINR, est utilisée et définie comme suit :

$$y_{ki} = \frac{P_{tx,i} g_{ki}}{\sum_{j \in I, j \neq i} P_{tx,j} g_{ji} + \sigma^2} \tag{4.2}$$

Où :

- $P_{tx,i}$ est la puissance de transmission de la BS i;
- g_{ki} est le gain de canal entre l'utilisateur k et la BS i incluant l'ombrage et la perte de trajet;
- σ^2 dénote la puissance du bruit.

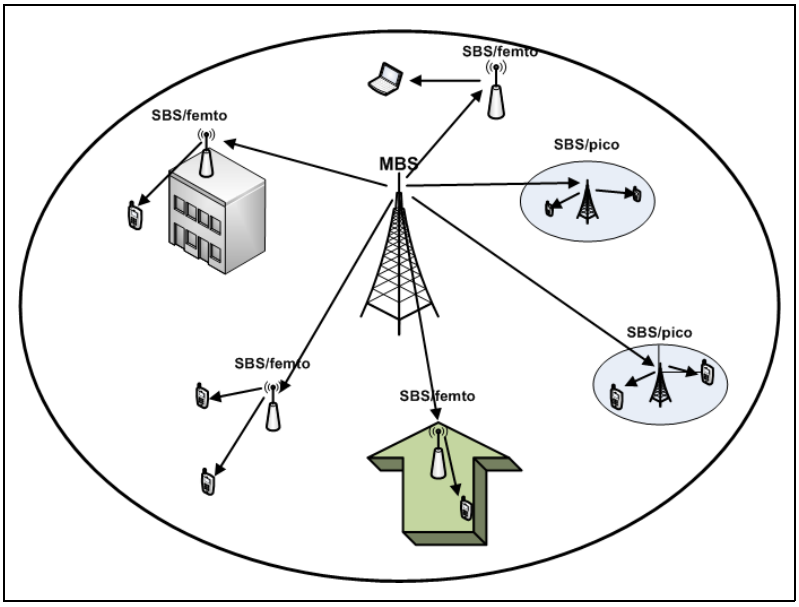

Figure 4.1 Illustration d'un réseau HetNet

4.2.4 Description et formulation du problème

On dénote respectivement par I_1 et I_2, les ensembles de macrocellules et picocellules. De plus, le nombre total de BSs dans le réseau est donné par $I = I_1 \cup I_2$. L'ensemble d'UEs est représenté par U et les biais virtuels non-négatifs ajoutés à la puissance reçue à partir des cellules (I_2) composent l'ensemble W. Il est important de noter qu'aucun biais n'est attribué aux macrocellules (I_1). La charge du réseau est donné par le vecteur $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)^T$. Nous utilisons x_{iw} pour déterminer si la picocellule $i \in I_2$ utilise un biais $w \in W$. L'allocation ou l'assignation des UEs aux cellules appropriées est définie par $u(x)$, avec $u_{ik}(x) = 1$ si la cellule $i \in I$ est celle qui sert l'UE $k \in U$. Pour chaque UE, l'assignation suit la règle de sélection de la cellule (macro ou pico) offrant la puissance du signal reçu biaisé la plus forte.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Puis nous dénotons par $\beta^{u(x)}$, le vecteur de la charge résultant du réglage du biais x. Nous essayons alors d'optimiser l'équilibrage de charge dans tout le réseau en utilisant l'indice d'équité de Jain noté par:

$$I_F = \frac{(\sum_{i \in I} \beta_i)^2}{N.\sum_{i \in I} (\beta_i)^2} \tag{4.3}$$

Notre objectif est la maximisation du problème (4.3), représenté comme suit :

$$\max G(\beta^{u(x)}) = \frac{\left(\sum_{i \in I} \beta_i^{u(x)}\right)^2}{N.\sum_{i \in I}\left(\beta_i^{u(x)}\right)^2} \tag{4.4}$$

$$\sum_{i \in I} u_{ik}(x), \forall k \in U \tag{4.5}$$

$$\sum_{w \in W} x_{iw} = 1, \forall i \in I_2 \tag{4.6}$$

$$x_{iw} \in \{0,1\}, \forall i \in I_2, w \in W \tag{4.7}$$

$$\beta_i^{u(x)} \in [0,1], \forall i \in I \tag{4.8}$$

- la contrainte (4.5) exige que chaque UE $k \in U$ soit associé exactement à une BS $i \in I$;
- la contrainte (4.6) définit si BS i dans l'ensemble I_2 utilise un biais $w \in W$;
- (4.8) représente la notation de la charge résultant du réglage du bais $w \in W$.

Visiblement, ce problème est du même type que le problème du voyageur, qui est un problème d'assignation NP-complet très connu. Par conséquent, nous proposons des solutions plus souples pour résoudre le problème. Tel qu'énoncé précédemment, le problème (4.4) est de type NP-complet, ainsi, nous proposons deux mécanismes heuristiques itératifs appelés expansion dynamique de la couverture cellulaire (DCRE) et égalisation de charge basée sur le gain en équité (FGBLE) pour l'égalisation de la charge. La complexité des solutions proposées est linéaire, en fonction du nombre de BSs et d'UEs.

4.2.5 Approche DCRE

Dans cette technique, les biais de puissance sont ajustés pour étendre dynamiquement la couverture des petites cellules. Le vecteur de biais dynamique Φ mentionné plus haut est obtenu par la relation: $w_i = P_{rx,i} - P_{rx,j}$. Cette équation désigne la différence entre la puissance reçue $P_{rx,i}$ de la BS servante et la puissance reçue $P_{rx,j}$ de la BS voisine la plus forte, et w_i (en dB) est le réglage ou la valeur du biais pour l'extension de la couverture cellulaire.
Les UEs mettent à jour leurs associations en fonction de la charge de la BS i (β_i). Après la mise à jour de l'association (4.9), la charge moyenne des cellules (4.10) est collectée et l'équité totale du système I_F (4.3) est calculée. Finalement, grâce à une recherche locale ou *greedy local search*, la macrocellule détermine s'il faut ou non appliquer la valeur du biais à la prochaine itération ou revenir au biais précédent en fonction du gain d'équité total du système. Le pseudo-code de la technique DCRE est résumée à l'Algorithme 4.1.

4.2.5.1 Règle d'association d'utilisateur

Pour chaque UE k, l'assignation suit la règle de sélection de la cellule (macrocellule ou petite cellule) ayant la plus forte puissance de signal reçu plus le biais dynamique. L'indice de la BS sélectionnée est alors donné par:

$$i^* = \underset{i \in I}{\operatorname{argmax}}\, Prx, i \; + \; w_i \tag{4.9}$$

4.2.5.2 Calcul la charge de la cellule

La charge d'une cellule est donnée par la relation dans (4.10). Une définition simple de la charge cellulaire pourrait être le nombre d'utilisateurs associés à la BS. Mais la charge peut aussi être définie comme étant la somme des ressources consommées par tous les UEs servis par i:

$$\beta_i = \frac{\sum_{k \in U} \beta_{k,i}}{M} \tag{4.10}$$

Où :

- M représente la quantité totale des ressources disponibles au niveau de la BS i;
- $\beta_{k,i}$est la quantité de ressources consommées par l'UE k au niveau de sa BS référente i, ce paramètre représente alors la charge induite par k à i :

$$\beta_{k,i} = \frac{s_{k,i}}{R_{k,i}} \tag{4.11}$$

Où :

- $s_{k,i}$ représente la quantité de ressources éxigée par l'UE k, qui est définie en termes de débit minimal requis;
- $R_{k,i}$est le débit réalisable par l'UE k, défini à l'équation (4.1).

Algorithme 4.1 Extension dynamique de la couverture cellulaire

```
Entrées: P_{rx,i}; I_F ∈ [0,1]
Initialisation: I_F = 0; β_i = 0; w_i = 0
Pour ∀k ∈ U, i ∈ B
        Si β̄_i = β̄_j
           I_F = max(I_F) = 1
           Arrêter le processus, la condition est satisfaite
        Sinon
            Si β̄_i > β̄_j
                w_i = P_{rx,i} − P_{rx,j}; W = {w_1, w_2, … , w_n}
                Pour ∀w_i
                  i* = argmax_{i∈I} Prx, i + w_i
                  β_i = (Σ_{k∈U} β_{k,i}) / M
                  I_F = (Σ_{i∈B} β_i)^2 / (N.Σ_{i∈B} (β_i)^2)
                Fin Pour
                  Recherche de w_i maximisant I_F
           Fin Si
        Fin Si
Fin Pour
```

4.2.6 Approche FGBLE

Dans cette section, nous proposons une deuxième heuristique d'association d'utilisateurs pour la réalisation de l'égalisation de charge dans HetNets. Le principe du FGBLE est l'assurance d'un meilleur gain d'équité de l'UE avant la prise de décision de déchargement (de l'UE) vers BS *j*. Le pseudo-code de la technique FGBLE proposée est résumé dans l'Algorithme 4.2.

4.2.6.1 Mesure du gain d'équité par l'utilisateur:

Chaque UE k ∈ K mesure le gain d'équité de sa BS servante *i* et de la BS voisine *j* et prend une décision en fonction de l'indice de gain mesuré. L'association utilisateur (4.9) supposant $w_i = 0$, βi (4.10) et IF (4.3) sont mis à jour à chaque intervalle de temps t.

Algorithme 4.2 Égalisation de la charge basée sur l'équité

Entrées: $P_{rx,i}$; $I_F \in [0,1]$
Initialisation: $I_F = 0$; $\beta_i = 0$; $\Psi_{i,k,j} = 0$
Pour $\forall k \in U$, $i, j \in I$, Calculer

$$\beta_i = \frac{\sum_{k \in U} \beta_{k,i}}{M}$$

$$I_F = \frac{(\sum_{i \in B} \beta_i)^2}{N.\sum_{i \in B} (\beta_i)^2}$$

$$\Psi_{i,j,k} = \frac{I_{F_{i,k}}}{I_{F_{j,k}}}$$

Si $\Psi_{i,j,k} > \xi$

$$i^* = argmax_{i=1 \ldots I} \Psi_{i,k,j}$$

Sinon

Arrêt du processus, le déchargement de l'UE n'est pas requis

Fin Si

Fin Pour

Le déchargement est autorisé lorsque l'indice d'équité mesuré par l'UE k à partir de la BS voisine j est supérieur à celui mesuré par k à partir de la BS servante i, autrement dit, lorsque $I_{F_{ki}} > I_{F_{kj}}$.

$$\psi_{i,j,k} = \frac{I_{F_{ki}}}{I_{F_{kj}}} > \xi \tag{4.12}$$

Le gain d'équité dans (4.12) doit être supérieur à un seuil ξ, de sorte que le déchargement de l'UE soit plus avantageux. $I_{F_{ki}}$ et $I_{F_{kj}}$sont dérivés de l'équation (4.3).

4.2.6.2 Mise à jour de l'association d'utilisateur:

L'UE k sélectionne la BS i appropriée, en se basant sur l'indice de gain d'équité noté Ψi,j,k tel que:

$$i^* = argmax_{i=1\ldots I}\Psi_{i,k,j} \tag{4.13}$$

4.2.7 Simulation et résultats

4.2.7.1 Scénario de simulation

Nous considérons un HetNet composé de macrocellules, femtocellules et picocellules en utilisant les paramètres donnés dans le Tableau 4.1 ci-dessous. Les macrocellules sont supposées être fixes, alors que les petites cellules et les UEs sont uniformément et indépendamment dispersés dans les macrocellules. Dans chaque macrocellule, nous déployons 4 petites cellules, dont 2 femtocellules et 2 picocellules. Dans nos simulations, nous effectuons des comparaisons de la charge des cellules et du gain d'équité résultant de toutes les associations possibles des UEs-BSs. Pour analyser la performance de nos techniques (DCRE et FGBLE), nous les comparons avec des méthodes proposées dans la littérature, telles que, la *Max-SINR* et la technique à biais uniforme (dite FOBLE, de l'anglais *Fixed Offset-Based Load Equalization*).

4.2.7.2 Paramètres de simulation

Tableau 4.1 Simulation de DCRE et FGBLE

Paramètres	Valeurs
Bande passante	15 MHz
Fréquence porteuse	2 GHz
Distance entre les BSs	500 m
Gain de canal entre macrocellule et UE	$g_M(d) = -(128.1 + 36.7 \times \log(d))$
Gain de canal entre petite cellule et UE	$g_S(d) = -(140.7 + 36.7 \times \log(d))$
Puissance de transmission de la macrocellule	46 dBm
Puissance de transmission de la petite cellule	30 dBm
Nombre de simulations	50
Exigence min. de débit de l'UE	$s_k = [1Mbps; rand(0 - 2Mbps)]$
Biais fixe du FOBLE	14 dB

Nous supposons que la valeur d'équité de Jain est dans la gamme [0,1] où l'équité maximale 1 est atteinte si toutes les cellules du système ont la même charge. Les paramètres de simulation utilisés ont été tirés de (Corroy, 2012), (3GPP, 2010) et (Zhou, 2014).

4.2.7.3 Résultats sur la performance des techniques proposées

À la Figure 4.2, nous montrons la distribution des UEs pour toutes les méthodes (Max-SINR, FOBLE, DCRE et FGBLE). Ici, la charge de chaque cellule engendrée par chaque technique d'association est mesurée par le nombre d'UEs servis par chaque cellule (ou BS). Comme on peut le voir sur la figure, le pire cas pour l'équilibrage de charge cellulaire est la Max-SINR. La macrocellule est plus chargée et les petites cellules sont sous-chargées ou pratiquement inutilisées, ce qui est dû au fait que, dans Max-SINR, la plupart des UEs sont généralement attirés par les BSs les plus puissantes. Pour FOBLE, la macrocellule et la petite cellule 1 sont largement chargées que la petite cellule 2.

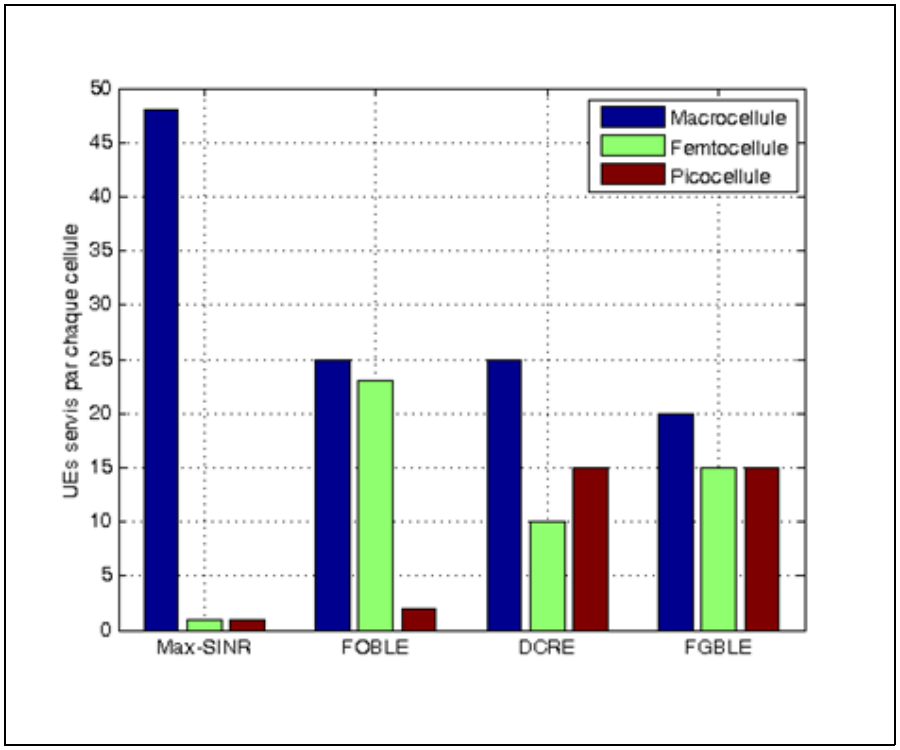

Figure 4.2 Distribution d'UEs dans le réseau pour toutes les techniques d'UA

Inversement, pour la première technique d'association proposée (DCRE), nous constatons que la charge cellulaire est plus égalisée et que toutes les cellules servent pratiquement le même nombre d'UEs. La charge cellulaire est de plus en plus égalisée pour la deuxième heuristique proposée (FGBLE). En se reportant à la Figure 4.3, nous considérons maintenant la charge d'une cellule comme le rapport de l'exigence de débit minimum et de la vitesse instantanée moyenne réalisable de l'UE (dans la première partie, on a assumé que la charge est égale au nombre d'UEs servis par la BS). D'autre part, la valeur de la charge de la cellule βi est obtenue en moyennant 50 simulations. Ensuite, la même observation est faite comme sur la Figure 4.2, et nous concluons que DCRE et FGBLE fournissent tous les deux une bonne performance par rapport aux méthodes apparentées si nous comparons la charge cellulaire globale.

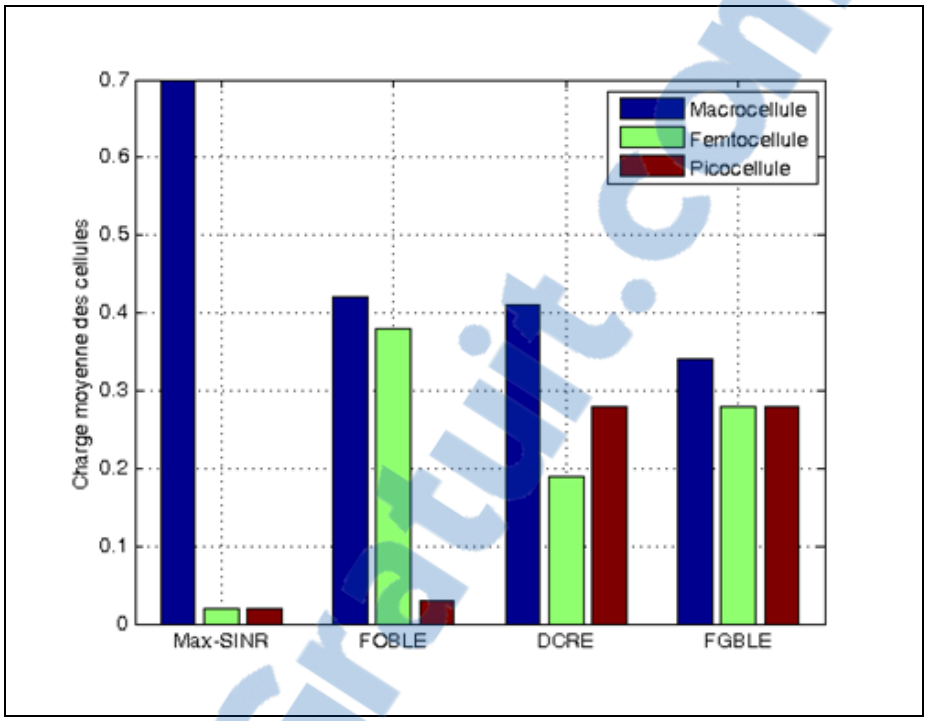

Figure 4.3 Charge globale normalisée par cellule

La Figure 4.4 montre les résultats concernant l'indice d'équité du système total I_F si l'on considère que les UEs ont les mêmes exigences de débit $s_k = 1Mbps$. Nous utilisons l'indice d'équité de Jain, défini à l'équation (4.3) pour obtenir les résultats en termes d'équité entre les UEs. Dans l'association Max-SINR, la plupart des UEs sont attirés par les macrocellules que les petites cellules, qui sont souvent laissées inutilisées.

Comparé à d'autres méthodes dans ce travail, le Max-SINR donne l'indice d'équité le moins satisfaisant. Une performance plus élevée est observée pour la stratégie FOBLE lorsque le biais fixe utilisé pour les petites BSs est $w_i = 14$ dB. Bien qu'une légère amélioration soit obtenue lorsque la charge de la macrocellule est réduite, un inconvénient possible de la FOBLE est la surcharge de certaines petites cellules lorsque le biais fixe maximal leur est appliqué.

Rapport-Gratuit.com

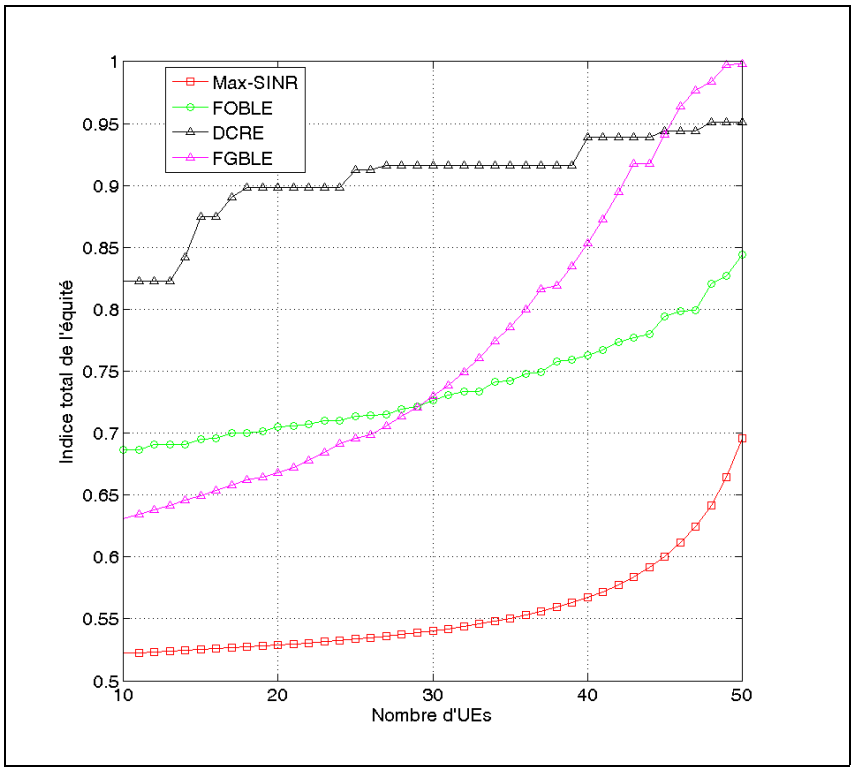

Figure 4.4 Indice d'équité globale dans HetNet – éxigences égales en débit

Pour le DCRE, où le biais optimisé dynamique est utilisé, et l'exigence de l'UE en débit est prise en compte, le déchargement de la macrocellule est obtenu sans surcharger les petites cellules. L'égalisation de charge du système est alors satisfaisante par rapport aux deux premières techniques. La dernière comparaison est faite à l'aide de la FGBLE, où le déchargement de l'UE est déclenché en fonction du gain d'équité mesuré par l'UE, en supposant $\xi = 1$. Comme on peut l'observer sur la figure, l'équité avec FGBLE est meilleure qu'avec le Best-SINR. Cependant, pour DCRE, l'équité est pire pour un certain nombre d'UEs. La raison en est que le gain d'équité mesuré par l'UE k de sa BS servante i est meilleur que le gain obtenu de la BS voisine j ($I_{F_{kj}} < I_{F_{ki}}$). Il est donc plus avantageux pour k de rester connecté à i que de transférer sa connexion à j, c'est-à-dire que le déchargement de k vers sa BS voisine n'est pas nécessaire.

La Figure 4.5 représente l'indice d'équité globale pour les UEs ayant des exigences distinctes en débit, tel que $s_k = [0 – 2\ Mbps]$. On a la même observation que dans la Figure 4.4, mais on

constate une certaine amélioration de la performance de l'égalisation de la charge du FGBLE par rapport au résultat précédent (Figure 4.4) où les UEs avaient le même s_k.

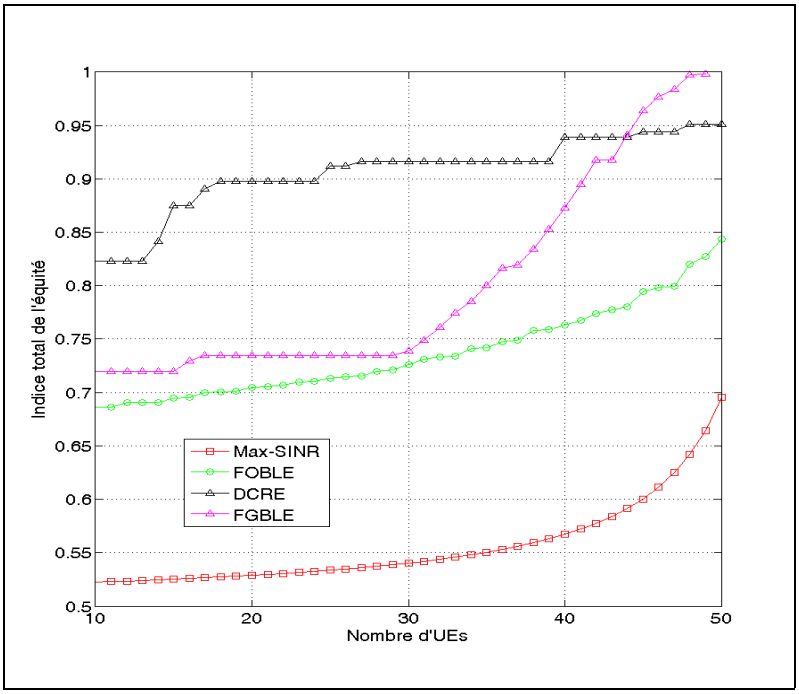

Figure 4.5 Indice d'équité globale dans HetNet –éxigences distinctes en débit

La Figure 4.6 montre l'indice d'équité d'une macrocellule. Sur cette figure, le Best-SINR surpasse FOBLE, DCRE et FGBLE. La raison en est que, lors de l'application de l'association Best-SINR, plus d'UEs sont servis par la macrocellule, alors que peu d'UEs sont déchargés vers une petite cellule. Ce n'est pas le cas des trois autres méthodes. En se référant aux Figure 4.2 et Figure 4.3, on peut voir que la macrocellule sert presque le même nombre d'UEs et qu'un nombre important d'UEs sont déchargés vers une ou toutes les petites cellules. En termes d'égalisation de charge globale, le DCRE peut en général obtenir la plus haute performance parmis toutes les méthodes, mais la condition du gain d'équité n'est pas prise en compte pour le déchargement des UEs. C'est l'un des avantages de la FGBLE, où les UEs ne sont pas poussés vers des petites cellules à moins que le déchargement ne soit bénéfique pour eux.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

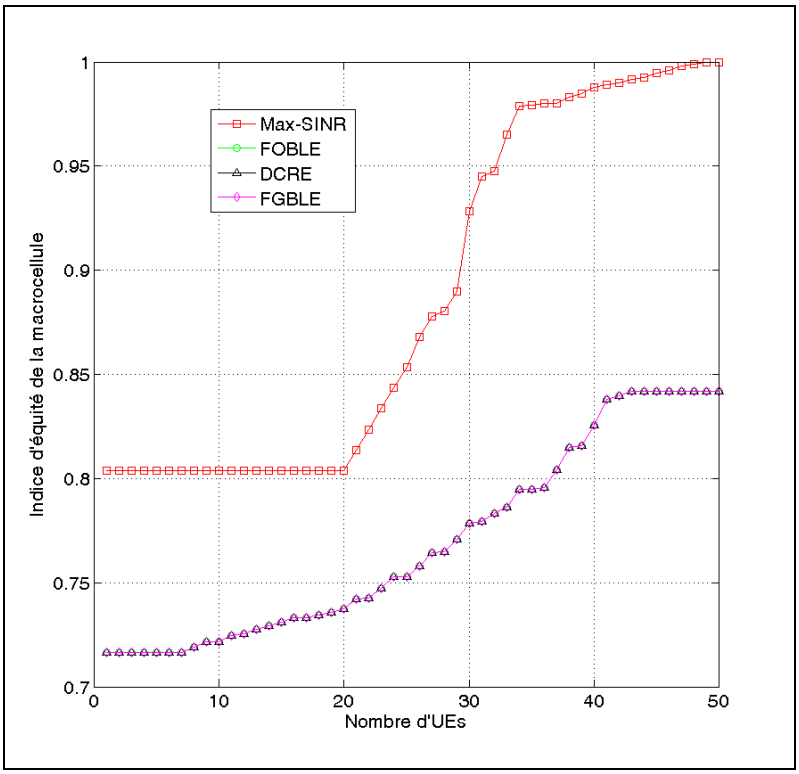

Figure 4.6 Indice d'équité des macrocellules dans le HetNet

4.3 Partie 2 : Approche de biaisage optimal pour le rééquilibrage de charge en tenant compte de la QoS et de la gestion d'interférence dans HetNet

4.3.1 Motivation et travaux connexes

Pour résoudre le problème de déséquilibre de charge dans les HetNets, l'utilisation d'une technique de LB est cruciale. Une technique d'équilibrage de charge vise à optimiser l'utilisation des ressources et une utilisation efficace des BSs. En outre, il permet la maximisation du débit et la minimisation du temps de réponse, et il évite la surcharge de toute ressource unique. Une technique sous-optimale efficace de LB est la CCE normalisée par le 3GPP. Selon ce concept, chaque petite cellule de service et voisines élargissent virtuellement leur zone de couverture en ajoutant un biais virtuel aux RSSs reçues par leur UEs. Comme démontré dans plusieurs travaux, CCE permet un équilibrage de charge efficace dans HetNets. Néanmoins, il peut en résulter une ICI sévère au niveau des ERC-

UEs, ce qui peut détériorer le débit de ces UEs. L'interférence résultante peut s'expliquer par le fait que les UEs associés aux CECs ne sont pas servis par la BS qui leur fournit le RSS le plus fort. Par conséquent, dans ce travail, nous exploiterons l'efficacité de la CCE susmentionnée pour concevoir notre stratégie CCREMM. Le CCREMM est basé sur une fonction objective combinée (COF) formée par plusieurs paramètres. Ensuite, via le COF, la valeur optimale du biais de chaque BS est calculée et une performance maximale en termes de débit, de SINR, d'équité et d'équilibrage de la charge du réseau est obtenue. Ci-après, nous donnons un aperçu des travaux existants concernant l'optimisation de l'UA et du MM basée sur le CRE dans les réseaux cellulaires.

Les auteurs (Simsek, 2015) proposent une technique de CCRE, dans laquelle les biais optimaux des macrocellules et picocellules sont trouvés en utilisant la technique d'apprentissage par renforcement et de coordination intercellulaire. Grâce à des simulations, il est montré qu'avec leur stratégie, la performance du transfert et du débit de l'UE dans HetNets est améliorée par rapport à la technique CCE-MM classique. Cependant, les exigences de QoS de l'UE et l'interférence maximale tolérable des UEs associés aux CECs ne sont pas considérées. (Lopez-Perez, 2012) se concentrent sur l'extension classique de la couverture picocellulaire et proposent conjointement une technique de coordination d'interférence intercellulaire (dite ICIC, de l'anglais *InterCell Interference*) pour améliorer la performance des picocellules. Le biais de la picocellule est calculé analytiquement par une approche géométrique et le problème d'interférence est résolu par une optimisation par programmation linéaire. Contrairement à (Lopez-Perez, 2012), nous tentons d'étendre les couvertures macrocellulaire et picocellulaire. De plus, dans notre méthode, l'interférence reçue par les UEs associés aux CECs est atténuée par l'utilisation d'un facteur de limitation d'interférence imbriqué dans une COF spécial. Dans (Madan, 2010), une technique conjointe de CCE et ICIC basée sur l'heuristique est proposée, dans laquelle la CCE est obtenue en déchargeant l'UE vers la BS pour laquelle il a la perte minimale de trajet. Le problème d'ICI au niveau de la CEC est alors résolu en appliquant un modèle de partitionnement de ressources où la macrocellule abaisse sa puissance sur une fraction des ressources spectrales ou temporelles. Ces ressources peuvent ensuite être utilisées par les UEs associés aux CECs.

Le partitionnement des ressources est également utilisé dans (Singh, 2014) pour atténuer l'ICI au niveau des UEs associés aux CECs. Dans (Ye, 2013), les auteurs proposent des méthodes de CCE basées sur le SINR et le débit. Ils calculent analytiquement les biais homogènes à attribuer à chaque petite cellule. En effet, le SINR et le débit sont multipliés par un facteur de biais pour trouver les valeurs de biais finales des picocellules. Illustré à travers des simulations, la méthode se traduit par une répartition plus équitable du trafic. Dans (Okino, 2011), les auteurs étudient la performance de la CCE des picocellules en DL en considérant différentes valeurs de biais. De plus, ils proposent conjointement, une technique de ICIC et les biais picocellulaires sont homogènes. Dans (Okino, 2011), ICIC est mise en œuvre en utilisant une technique de transmission de sous-trame CCH légèrement chargée utilisée dans le LTE-A. Grâce à des simulations, une amélioration des performances est observée, en termes d'atténuation des interférences. Dans (Kudo, 2013), une technique d'apprentissage par renforcement est utilisée pour déterminer la valeur de biais appropriée pour la CCE et les auteurs se concentrent sur la minimisation du nombre d'interruption de l'UE plutôt que sur l'ICI.

4.3.2 Contribution principale et organisation

La complexité de la sélection de BS dans un environnement de réseau sans fil est reconnue comme un problème d'optimisation NP-complet (Gazis, 2003). À ce jour, il n’existe pas de solution optimale puisque chaque UE a ses propres préférences. La satisfaction de tous les critères peut s'avérer difficile car certains critères peuvent entrer en conflit. Lors de la sélection de réseau d’accès par exemple, l’UE peut préférer le réseau d'accès le moins cher alors qu'un autre préfère le réseau d'accès offrant la meilleure performance. En fait, les préférences des utilisateurs deviennent un moyen d’alléger la complexité du processus décisionnel. Ils établissent une relation de notation entre un ensemble de critères et un degré d'importance pour chaque critère. Plus précisément, chaque préférence a un poids relatif que les UEs attribuent à chaque critère en fonction de leurs besoins. Une fois les critères identifiés et les préférences fixées, nous avons besoin d'une méthode pour comparer les cellules candidates afin d'identifier et de sélectionner la plus adéquate. Habituellement, la

décision sera basée sur l'utilité perçue. L'utilité est une mesure clé dans la sélection du réseau et l'allocation des ressources. Notre objectif est d'adapter un modèle d'utilité bien connu pour concevoir une nouvelle association d'UEs et des schémas de transfert dans un système HetNet, en supposant une exigence de QoS de l'UE et assurant ainsi la satisfaction des UEs offerte par un BS.

Dans ce deuxième volet du travail, nous apportons spécifiquement les contributions suivantes:

- nous formulons un COF contenant un facteur de limitation d'interférences pour les UEs associés aux CECs, un facteur de satisfaction QoS de l'UE et un facteur de charge cellulaire;
- ensuite, à partir du COF, nous formulons de nouvelles fonctions d'utilité pour la macrocellule et les picocellules qui nous permettent par la suite de concevoir notre stratégie CCREMM dans HetNets;
- puis, nous obtenons des expressions analytiques des biais optimaux macrocellulaires et picocellulaires;
- finalement, une stratégie de planification très efficace appelée MTS est utilisée conjointement avec le CCREMM proposé, et le gain de cette combinaison est obtenu par des simulations informatiques.

4.3.3 Extension de la couverture de la cellule dans HetNet

Dans une approche de CCE, on ajoute un biais d'expansion positif aux RSSs reçus par les UEs picocellulaires en DL afin d'élargir leur couverture. Avec l'extension de la couverture, l'UE de la macrocellule est transféré à la picocellule, même si la qualité de la liaison DL est meilleure avec la macrocellule. Cependant, l'amélioration de la réutilisation spatiale et de l'atténuation des interférences en liaison ascendante offertes par l'extension de la couverture picocellulaire se fait au détriment de la qualité réduite du signal dans les régions picocellulaires étendues. Ceci est dû au fait que les UEs associés aux CECs ne sont pas connectés aux cellules qui leur fournissent les RSSs les plus forts en DL et souffrent donc de DL-SINR. Par conséquent, l'expansion de la couverture doit être étayée par une technique de

coordination d'interférence intercellulaire entre les macrocellules et les picocellules de zone étendue superposées. Ceci se fait de manière à atténuer les interférences inter-cellulaires excessives en DL subies par les UEs associés aux CECs, c'est-à-dire, les UEs servis par les picocellules à couverture étendue.

Il existe deux cas majeurs à considérer pour la technique de biaisage ou d'extension de couverture cellulaire: les déploiements en co-canaux (macrocellule vers petite cellule, dans la même bande de fréquences) et les biaisages hors bande, comme le cellulaire vers le WiFi (Andrews, 2014). Les deux déploiements poussent proactivement les UEs vers les BSs où ils ont un SINR plus faible, mais il existe une différence clé entre ces deux types de déploiements. Dans le déploiement co-canal, non seulement la puissance du signal reçue diminue, mais l'interférence est également augmentée, puisque l'UE est par définition proche d'une forte source d'interférences (plus forte que celle de la nouvelle BS). Les valeurs des biais co-canaux sont généralement, plus proches de 5-10 dB, en fonction de la différence de puissance de transmission macrocellule-picocellule. Dans le déchargement hors bande, seul le signal souhaité souffre, mais dans la nouvelle bande, la forte source d'interférence n'est typiquement pas présente. Ainsi, dans le déchargement hors bande, le biaisage optimal est considérablement plus agressif (par exemple 20 dB ou plus). Dans cette thèse, nous discutons et nous nous concentrons uniquement sur le biaisage sous un déploiement co-canal.

Une question qui survient souvent concerne l'écart d'optimalité entre la CRE et les solutions théoriques. Il est quelque peu surprenant et rassurant qu'un simple biaisage par cellule atteigne pratiquement les performances optimales, si les valeurs de biais sont choisies adéquatement (Quek, 2013). Cependant, en général, il est difficile de prescrire les biais optimaux en utilisant les techniques d'optimisation.

4.3.3.1 Biaisage conventionel de puissance d'une petite cellule

La procédure conventionnelle de transfert dans les réseaux cellulaires a été discutée dans (Zhang, 2011) et a été définie comme suit :

$$P_{rx,p,k} > P_{rx,m,k} + HHM \tag{4.14}$$

Dans la condition ci-dessus, un UE k, qui est associé à une macrocellule, est simplement transféré vers une picocellule voisine lorsque son RSRP $P_{rx,p,k}$ en LD de la picocellule est plus fort que son RSRP $P_{rx,m,k}$ de la macrocellule plus un biais dénoté HHM. HHM est défini comme étant un paramètre de valeur positive qui est généralement utilisé pour supprimer l'effet *ping-pong* du transfert. Cependant, le biais HHM ne suffit pas pour supprimer complètement l'effet *ping-pong*.

Puis, le processus de transfert CRE a été proposé dans (Xenakis, First Quarter 2014), où les conditions relatives sont définies comme suit :

$$P_{rx,p,k} + w_p > P_{rx,m,k} + HHM \tag{4.15}$$

$$P_{rx,m,k} > P_{rx,p,k} + w_p + HHM \tag{4.16}$$

Les conditions (4.15) et (4.16) indiquent respectivement, la procédure de déclenchement du transfert de la macrocellule vers la picocellule et de la picocellule vers la macrocellule. Dans ce cas, les UEs effectuent l'extension de la région picocellulaire en ajoutant un biais virtuel non-négatif, w_p au RSS en LD (DL-RSS) du signal pilote $P_{rx,p,k}$ reçu de la picocellule. Toutefois, w_p devrait être choisi adéquatement afin de profiter de l'éfficacité de l'extension de la couverture cellulaire, puisqu'une valeur excessive de w_p va considérablement augmenter l'interférence résultante pour les UEs associés aux picocellules à coverture étendue (ERC-UEs). De plus, une valeur de w_p faible aura un impact non considérable sur la performance globale, telle que l'équilibrage de la charge et l'équité.

4.3.3.2 Extension coordonnée de la couverture de la cellule

La condition de transfert dans une stratégie d'extension coordonnée de couverture d'un UE k vers une picocellule ou une macrocellule voisine peut être définie comme suit :

$$P_{rx,m,k} + w_m > P_{rx,p,k} + w_p + HHM \tag{4.7}$$

Dans un processus conventionnel de CCE, seules les picocellules sont incitées à étendre leur couverture. Contrairement à cela, à partir du CCREMM défini dans (4.7), la picocellule et la macrocellule étendent conjointement leur couverture en DL en permettant aux UEs d'ajouter un biais artificiel positif au RSS en DL du signal reçu d'elles. L'extension de couverture coordonnée permet la robustesse de toute technique de gestion de mobilité pour les environnements dont les UEs se déplacent à une vitesse moyenne ou élevée. Cependant, dans le cas d'une CCE aggressive, la capacité globale du réseau peut se détériorer puisqu'une extension aggressive de couverture cellulaire peut entraîner la surcharge de certaines cellules et / ou une ICI excessive en DL. Ainsi, il est crucial de régler optimalement la valeur de $w_{m(p)}$ et d'utiliser une stratégie robuste de suppression d'interférence afin de bénéficier de la puissance du CCE. Les problèmes reliés au déséquilibre de la charge et à l'ICI sont adressés dans les sections suivantes.

4.3.4 Modèle de biaisage proposé

Dans cette section, nous décrivons la mise en œuvre et le fonctionnement de la stratégie coordonnée proposée (CCREMM) dans HetNets.

4.3.4.1 Description et résumé de l'approche proposé

Avant de décrire notre système, donnons en premier lieu, un rappel sur la fonction d'utilité. La théorie de l'utilité de base a été développée dans (Neumann, 1953). Par la suite, la théorie a été davantage expliquée et considérablement développée. En microéconomie, l'utilité signifie la capacité d'un produit ou d'un service à satisfaire un besoin humain. Un terme associé est la fonction d'utilité où l'utilité est obtenue par un consommateur à partir d'un produit ou d'un service. Différents consommateurs ayant des préférences différentes auront des valeurs d'utilité différentes pour le même produit. Cela signifie que les préférences individuelles doivent être prises en compte lors de l'évaluation de l'utilité. Le concept d'utilité s'applique aux conséquences à critère unique (attribut, caractéristique) et multicritères. Une fonction d'utilité est définie mathématiquement comme une fonction $U\ (\omega, x)$ à partir d'un

ensemble de critères produits observés x (par l'utilisateur) et de préférences utilisateur ω. Comme les préférences de l'utilisateur associées à un ensemble de critères ne changent pas lorsque des alternatives sont considérées, on peut simplement désigner $U(x)$ comme la fonction d'utilité associée au vecteur de critères x pour le produit considéré. L'utilité est un concept ordinal qui quantifie les préférences parmi les alternatives dans le processus de prise de décision. La relation de préférence peut être représentée par une fonction d'utilité continue. L'hypothèse fondamentale de la théorie est que les décideurs sont rationnels, c'est-à-dire qu'ils choisiront toujours l'alternative avec la valeur d'utilité la plus élevée. Un critère est classé comme ascendant si son utilité est une fonction croissante de sa valeur. Les critères ascendants incluent des paramètres tels que la largeur de bande allouée, le débit, le degré de fiabilité et le RSS. Inversement, l'utilité d'un critère descendant diminue en fonction de sa valeur. Les critères descendants incluent des paramètres tels que le coût d'utilisation du réseau, la consommation d'énergie, le taux d'erreur binaire, le délai de transfert et la fréquence de transfert.

Le prix est généralement considéré comme un critère distinct qui est complètement différent des autres. Cependant, le prix n'est pas seulement le coût d'utilisation du réseau mais également, par exemple, la dissipation de puissance du côté du terminal. Une BS ou une cellule est clairement préférée à une autre si elle a des valeurs plus élevées de critères ascendants, des valeurs inférieures de critères descendants ou les deux. La Figure 4.7 donnée ci-après décrit notre approche. En réalité, la macrocellule et la picocellule collectent des informations concernant la charge, la QoS moyenne de ses UEs associées et leur interférence maximale tolérable. Chaque cellule calcule son biais optimal d'extension de couverture selon une fonction objective combinée et des fonctions d'utilité formées par les facteurs précités. Après obtention du biais optimal, BS i définit la planification d'un UE k sur un bloc de ressources r, par l'intermédiaire d'un planificateur MTS que nous définissons dans ce chapitre. Afin d'avoir un meilleur aperçu, nous présentons l'organigramme de la stratégie du CCREMM à la figure ci-après. De plus, le résumé de la stratégie CCREMM est présenté à l'Algorithme 4.2.

Rapport-Gratuit.com

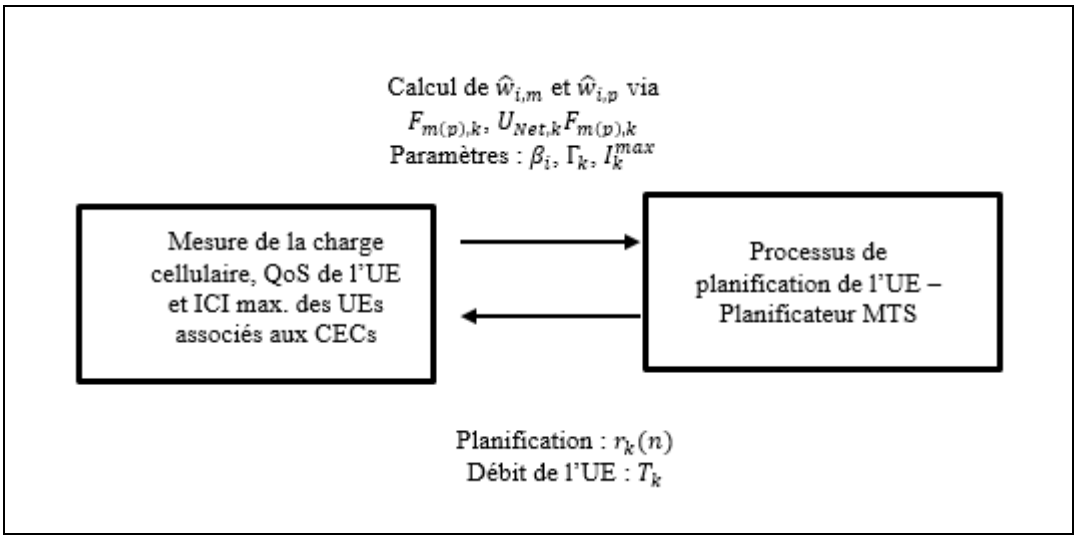

Figure 4.7 Organigramme de la stratégie CCREMM proposée

Comme nous l'avons indiqué, le but principal des travaux de recherches est d'améliorer l'association des UEs aux cellules et d'assurer l'efficacité de la gestion de la mobilité dans les environnements HetNets, dans lesquels les BSs diffèrent dans leur couverture et leur puissance de transmission et en considérant que la mobilité des UEs est considérable. Il est à noter que ces caractéristiques provoquent divers problèmes dans HetNets, tels que le déséquilibre de charge, l'iniquité entre UEs et la dégradation du débit de l'UE. Par conséquent, nous proposons une solution partielle à ces problèmes, en donnant de nouvelles expressions analytiques et optimales pour le calcul des biais macrocellulaires et picocellulaires. Pour ce faire, nous exploiterons l'efficacité des fonctions d'utilité. De plus, notre stratégie CCREMM utilise une fonction qui prend en compte plusieurs paramètres tels que la QoS, ICI et LB, indiqués respectivement dans les équations (4.20), (4.22) et (4.23) à la section suivante.

4.3.4.2 Algorithme CCREMM

Algorithme 4.2 Résumé de la stratégie CCREMM

Pour chaque TTI
Pour chaque RB r
1-Planification de l'UE au RB en utilisant la stratégie MTS
Pour chaque BS i
Pour chaque UE k
2-Chaque UE $k \in U$ mesure le $P_{rx,m,k}$ et $P_{rx,p,k}$de ses BSs servante et voisines, estime le *pathloss* et les gains de canal
3-Puis, $\beta_{i(m,p)}$ and $I_{k,r}^{max}$ peut être déduit de 2.
4-Chaque BS i acquiert les informations sur sur la charge $\beta_{i(m,p)}$, QoS $\Gamma_K$et max. interférence $I_{k,r}^{max}$
5- $N_{\beta_{i(m,p)}}$, N_{Γ_k}, $N_{I_{k,r}^{max}}$ sont déduits de 4. En utilisant l'équation de normalisation: $N_{x_i} = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$
6-De 2. à 5., construire $F_{m(p),k}$ dans (4.18)
7-Si
a-Macrocellule: calculer $\widehat{w}_{i,m}$ dans (4.19) par les équations (4.25) à (4.33)
b-Picocellule: calculer $\widehat{w}_{i,p}$ dans (4.19) par les équations (4.35) à (4.38)
8- Chaque BS calcule $F_{m(p),k}$ et évalue le coût résultant encourru par l'application de $\widehat{w}_{i,m}$, $\widehat{w}_{i,p}$
Fin
Fin
Fin
Fin

4.3.4.3 Description de la fonction objective utilisée

Afin de réaliser l'objectif énoncé plus-haut, nous concevons d'abord une fonction objective combinée, COF $F_{m(p),k}$ qui nous permettra de construire nos fonctions d'utilité pour calculer les biais artificiels macrocellulaires et picocellulaires. Nous avons supposé précédement que la COF $F_{m(p),k}$ est formée par trois facteurs majeurs, tels que la satisfaction de l'UE en termes de QoS, la limitation de l'interférence et les facteurs de charge cellulaire. L'interférence ayant non seulement, un impact sur le SINR reçu par l'UE ainsi que son débit,

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

il faudrait donc la minimiser. D'un autre côté, la charge cellulaire devrait être équilibrée, c'est-à-dire minimisation nécessaire de la surcharge d'une cellule donnée, afin de permettre une allocation équitable de ressources (débit) aux UEs, ainsi une amélioration du débit global du réseau. Ces facteurs nous ont permis la formulation de notre COF $F_{m(p),k}$ comme suit :

$$F_{m(p),k} = \ln\left(\frac{N_{\beta_{i,m(p)}}}{N_{\Gamma_k} + N_{I_{k,r}^{\max}}}\right) \tag{4.8}$$

Où:

- $N_{\beta_{i,m(p)}}$ est la charge normalisée de la macrocellule ou la picocellule cible définie par (4.23);
- N_{Γ_k} est la QoS minimale normalisée de l'UE en termes de SINR cible, tel que défini par (4.20);
- $N_{I_k^{\max}}$ représente l'ICI normalisée la plus puissante que les UEs des picocellules/macrocellule étendues peuvent tolérer, elle est définie par (4.22).

Puis, nous voudrions minimiser (4.18) afin de réduire la congestion au niveau des cellules ainsi que l'interférence. Pour ce faire, analytiquement, nous multiplions notre COF par des coefficients de réduction, qui sont pour notre cas, les biais macrocellulaires et picocellulaires $w_{i,m(p)}$ à déterminer.

Ainsi, la COF (4.18) modifiée (c'est-à-dire, après insertion du coefficient de réduction ou biais) est écrite comme suit :

$$F_{m(p),k} = w_{i,m(p)} \ln\left(\frac{N_{\beta_{i,m(p)}}}{N_{\Gamma_k} + N_{I_{k,r}^{\max}}}\right) \tag{4.19}$$

Où :

- $w_{i,m(p)}$ est le coefficient de réduction qui sera optimisée afin d'obtenir les biais virtuels de la macrocellule et des picocellules.

4.3.4.4 Paramètres utiles pour la conception de la fonction objective combinée

À chaque intervalle temporel de transmission (TTT) de durée *1ms*, chaque BS $i \in \{m, p\}$ décide d'étendre sa zone de couverture par l'intermédiaire d'un biais sur la puissance reçue, résultant des expressions analytiques produites par des nouvelles fonctions d'utilité de la macrocellule et des picocellules. Les fonctions d'utilités sont obtenues à partir de la fonction COF contenant trois paramètres majeurs reliés aux exigences de l'UE en termes de QoS, à la charge de la cellule et à la limite d'interférence. Par la suite, le biais d'extension de couverture (dite REO, de l'anglais range expansion offset) est introduit dans les équations d'association BS-UE ou/et des décisions de transfert dans le but d'améliorer la performance en équilibrage de la charge, en débit de l'UE et en équité. Nous décrivons ci-dessous, les trois paramètres majeurs de la COF.

Le premier paramètre représente le facteur de QoS en termes de SINR cible de tous les UEs associés à une BS donnée i, il est défini par Γ_k. Dans ce travail, on suppose qu'un environnement sans-fil hétérogène comporte différents UEs ayant différents QoS cibles. En particuler, ces exigences en QoS peuvent être définies par :

$$y_{i,k,r} \geq \Gamma \tag{4.20}$$

Dans laquelle, $y_{i,k,r}$ est le SINR en LD (DL-SINR) de l'UE k, $\forall k \in U$ servi par la BS i, $\forall i \in I$ dans le RB r et Γ_k est le SINR cible de l'UE. Le DL-SINR de l'UE est modélisé dans (Ikuno, 2010) comme suit:

$$y_{i,k,r} = \frac{L_{M,k,i(k),r} L_{S,k,i(k),r} P_{tx,i(k),r}}{\sigma^2 + \sum_{j \in J_k} L_{M,k,j,r} L_{S,k,j,r} P_{tx,j,r}} \tag{4.21}$$

Où :

- $L_{M,k,i(k),r}$ et $L_{M,k,j,r}$ représentent respectivement, la propagation de la perte de trajet due à la distance et le gain d'antennes entre l'UE k et sa cellule servante $i(k)$ et la cellule interférente $j \in J_k$;
- $L_{S,k,i(k),r}$et $L_{S,k,j,r}$ représentent respectivement, l'afaiblissement de trajet entre l'UE k et sa cellule servante $i(k)$ et la cellule interférente $j \in J_k$;
- $P_{tx,i(k),r}$ est la puissance transmise par la cellule servante $i(k)$ à l'UE k;

- $P_{tx,j,r}$ est la puissance transmise par la cellule interférente $j \in J_k$;
- et σ est la puissance du bruit blanc additif Gaussien reçu par l'UE k.

Le deuxième paramètre du COF est le facteur de limitation d'interférence de l'UE lorsqu'il est associé à une CEC. Le facteur de limitation permet d'atteindre le SINR en DL cible Γ_k de chaque UE $k \in U$ lorsqu'il est servi par une CEC. Pluc concrètement, ce paramètre définit le niveau d'interférence maximale qu'un UE associé à une CEC (macrocellule ou picocellule) peut tolérer. Motivés par (Lopez-Perez, 2012), le facteur de limitation d'interférence peut être défini par :

$$I_{k,r}^{\max} = \frac{P_{rx,i(k),r}}{\Gamma_k} - \sigma^2 \tag{4.22}$$

où $P_{rx,i(k),r}$ est le DL-SINR mesuré par l'UE k de son signal porteuse envoyé par son ERC i servant dans RB r.

Le dernier paramètre qui construit la fonction objective combinée est le facteur relatif à la charge de la cellule. Dans les réseaux cellulaires, la charge peut être mesurée par le niveau d'utilisation de ressources au niveau de chaque cellule/BS, qui est donnée par :

$$\beta_i = \frac{\sum_{i \in \mathrm{B}} \beta_{k,i}}{M} \tag{4.23}$$

Où

- M est le nombre de ressources disponibles dans la BS i;
- $\beta_{k,i}$ est la quantité de ressources requises par l'UE k de la BS i, qui est définie par:

$$\beta_{k,i} = \frac{d_{k,i}}{WB \log_2(1 + y_k)} \tag{4.24}$$

- $d_{k,i}$ est l'exigence en débit de l'UE k de la BS i;
- et BW est la bande passante disponible.

La charge de la cellule est une valeur positive comprise entre 0 et 1, $0 \leq \beta_i \leq 1$. Une valeur de charge $\beta_i \leq 1$ signifie que les ressources radio de la cellule peut satisfaire la demande de l'UE. Lorsque la valeur de la charge de la cellule $\beta_i \approx 1$, il existe une grande probabilité

d'interruption de service ainsi qu'une congestion au niveau de plusieurs UEs. $\beta_i \geq 1$ signifie que la cellule est hautement chargée et les ressources offertes par la cellule en question ne peuvent pas satisfaire les exigences de tous les UEs.

4.3.4.5 Conception de la COF

Une fonction objective linéaire à pondérations multiples, sous la forme de (4.8), a été proposé par (Lee, 2010). Dans leur travail, la fonction coût utilisée dans leur travail consiste en une somme pondérée de paramètres individuels liés à la vitesse de l'utilisateur et la charge de la cellule, ainsi que le nombre d'utilisateurs connectés. Ensuite, le résultat de la fonction coût est multiplié par un paramètre de réglage, qui est noté par α, et il est incorporé dans une procédure standard basée sur le RSS en tant que HHM supplémentaire. En utilisant (4.8), nous pouvons concevoir les fonctions utilitaires qui nous permettent de construire des équations pour le calcul du REO macrocellaire et picocellulaire. Actuellement, les fonctions d'utilité sont largement utilisées dans les algorithmes de contrôle de puissance et d'atténuation des interférences. Cependant, à notre connaissance, le concept de fonction d'utilité n'a pas été exploité auparavant dans les techniques d'UA et de MM basées sur CCE dans HetNets.

4.3.4.6 Conception de la fonction d'utilité de l'utilisateur de la macrocellule

Dans cette section, nous calculons la valeur optimale du biais pour chaque macrocellule. Ainsi :

- la notation de la COF dans (4.8) devient $F_{m,k}$;
- le poids de la fonction coût devient $w_{i,m}$;
- et la charge de la macrocellule: $N_{\beta_{i,m}}$.

L'objectif principal de notre stratégie est de calculer les biais optimaux (coefficients de réduction) permettant d'optimiser la COF (4.19). Pour ce faire, on définit pour chaque UE k, une fonction d'utilité totale à maximiser. Dans les réseaux cellulaires sans fil, les fonctions d'utilités et de coûts ont été largement utilisées dans la conception d'algorithmes d'allocation

de puissance et de ressources. Cependant, selon les recherches qu'on a effectuées, le concept de fonction d'utilité n'a pas encore été exploité dans l'extension de la couverture cellulaire des HetNets. De plus, la maximisation de la fonction d'utilité permet à chaque BS de sélectionner son biais approprié afin de réduire la congestion au niveau des cellules ainsi que l'interférence reçue oar l'UE, permettant ainsi l'amélioration de la QoS de l'UE (SINR) ainsi que son débit. Par conséquent, on utilise la définition standard de la fonction d'utilité pour les BSs, qui est composée par la fonction d'utilité $U_{m,k}$, représentant le degré de satisfaction des UEs connectés à la macrocellule i, et une fonction coût C_k, représentant le coût de calcul engagé. La fonction d'utilité totale $U_{Net,k}$résultante à maximiser pour chaque macrocellule est alors exprimée comme suit :

$$U_{Net,k}\left(F_{m,k}\right)=U_{m,k}\left(F_{m,k}\right)-C_k\left(F_{m,k}\right) \tag{4.25}$$

On définit la fonction d'utilité pour chaque MUE $k \in U(m)$ afin de refléter son degré de satisfaction en termes de QoS, comme suit :

$$U_{m,k}\left(F_{m,k}\right)=\frac{1}{1+\exp\left(-\alpha_{i,m}F_{m,k}\right)} \tag{4.26}$$

L'équation (4.26) est une fonction sigmoïde proposée dans (Xiao, 2003) utilisée dans la conception d'un algorithme distribué de contrôle de puissance pour un réseau cellulaire conventionnel. Dans notre travail, nous utilisons une telle fonction d'utilité à la macrocellule afin d'obtenir son biais optimal pour optimiser l'association d'utilisateurs. La fonction coût est par la suite introduite pour représenter le coût de calcul encouru par une valeur de biais plus précise avec des erreurs d'implémentation minimisées. Cependant, nous ne pouvons pas mettre en œuvre des biais parfaits dans la pratique sans induire une charge informatique (de calcul) accrue. Nous définissons la même fonction coût suivante pour chaque UE k, $\forall k \in \mathcal{U}$ associée à la macrocellule:

$$C_k\left(F_{m,k}\right)=\delta_{i,m}F_{m,k} \tag{4.27}$$

Visiblement, en maximisant la fonction d'utilité $U_{m,k}$ dans (4.25), l'UE de la macrocellule est de plus en plus satisfait par la QoS qu'il reçoit. Cependant, la fonction coût C_k augmente. La fonction d'utilité $U_{Net,k}$ résultante est obtenue par les équations (4.8) à (4.27) et donnent :

$$U_{Net,k}\left(F_{m,k}\right)=\frac{1}{1+\exp\left(-\alpha_{i,m}F_{m,k}\right)}-\delta_{i,m}F_{m,k} \tag{4.28}$$

Dans le but de déterminer les valeurs optimales des biais macrocellulaire $\hat{w}_{i,m}$ nous devons calculer la fonction coût optimale $\hat{F}_{m,k}$, qui maximise la fonction totale d'utilité $U_{Net,k}$ dans (4.28). Par conséquent, on utilise l'expression de la fonction coût dans (4.27) et on prend la dérivée de (4.25) en respectant la variable $F_{m,k}$ comme suit :

$$U_k^{'}\left(\hat{F}_{m,k}\right)-\delta=0 \Leftrightarrow \hat{F}_{m,k}=U_k^{'-1} \tag{4.29}$$

On peut exprimer la COF dans (4.8) comme suit :

$$F_{m,k}=w_{i(m)}\ln O_{m,k} \tag{4.30}$$

Avec :

$$O_{m,k}=\frac{N_{\beta_{i,m(p)}}}{N_{\Gamma_k}+N_{I_{\max}^k}} \tag{4.31}$$

4.3.4.7 Calcul optimal du biais d'extension de la macrocellule

Par conséquent, à partir des équations (4.8) à (4.31), on peut exprimer le REO optimal de la macrocellule comme suit:

$$\hat{w}_{i,m}=\frac{U_k^{'-1}}{\ln\left(O_{m,k}\right)} \tag{4.32}$$

En manipulant (4.28) et (4.32), la valeur de $\hat{w}_{i,m}$ peut être déduite telle que :

$$\hat{w}_{i,m}=\frac{\left[\ln\left(\frac{\alpha_{i,m}}{\delta_{i,m}}-1-\sqrt{\left(\frac{\alpha_{i,m}}{\delta_{i,m}}-1\right)^2-1}\right)\right]}{\alpha_{i,m}\ln\left(O_{m,k}\right)} \tag{4.33}$$

Dans (4.33), $\delta_{i,m}$et $\alpha_{i,m}$ sont respectivement, le paramètre de tarification de l'utilisateur de la macrocellule (dite MUE, de l'anglais Macrocell User Equipment) et le paramètre de contrôle dans la fonction d'utilité (4.26), qui doivent être déterminés. Cependant, nous devons vérifier si $\alpha_{i,m}\ln O_{m,k}\geq 0$. Cette condition est respectée aussi longtemps que $O_{m,k}\geq 1$ et $\delta_{m,k}\geq 0$. On suppose que $\alpha_{i,m}>\delta_{i,m}$, où :

la valeur de $\theta_{i,m}$est fixée à:

$$\theta_{i,m} = \frac{\overline{w}_{i,m} \ln\left(F_{m,k}\right)}{2} \tag{4.34}$$

- $\overline{w}_{i,m}$ est le biais maximal permis pour la macrocellule et sa valeur sera déterminée plus tard dans ce chapitre.

4.3.4.8 Conception de la fonction d'utilité de l'utilisateur de la picocellule

Après avoir determiné le biais macrocellulaire $\widehat{w}_{i,m}$, la fonction d'utilité ci-dessous est determinée afin de calcucler le REO $\widehat{w}_{i,p}$ optimal pour chaque picocellule. Puisque nous tentons de trouver les valeurs optimales des biais picocellulaires :

- la notation de la COF dans (4.8) devient $F_{p,k}$;
- le poids de la fonction coût: $w_{i,p}$;
- la charge de la picocellule: $N_{\beta_{i,p}}$

Similaire à MUE, pour PUE $k \in U(p)$, on définit la fonction d'utilité suivante :

$$U_{p,k}\left(F_{p,k}\right) = F_{p,k} = w_{i,p} \ln\left(\frac{N_{\beta_{i(p)}}}{N_{\Gamma_k} + N_{I^k_{\max}}}\right) \tag{4.35}$$

Cette fonction d'utilité capte directemment la COF (4.19) pour les utilisateurs de la picocellule. Étant donné que la QoS exigée par les PUEs est plus difficile à atteindre dû à l'interférence provenant des macrocellules, l'utilisation de (4.19) comme utilité permet d'augmenter leur satisfaction en améliorant leur SINR et leur débit par l'atténuation de l'interférence mesurée. La fonction d'utilité totale $U_{Net,k}$ résultante à maximizer à chaque picocellule $i \in p$ est exprimée comme suit:

$$U_{Net,k}\left(F_{p,k}\right) = F^x_{p,k} - \delta_{i,p} F_{p,k} = \left(w_{i,p} \ln\left(\frac{N_{\beta_{i(p)}}}{N_{\Gamma_k} + N_{I^{\max}_k}}\right)\right)^x - \delta_{i,p} F_{p,k} \tag{4.36}$$

Où $F^x_{p,k}$, défini dans (4.36), est la fonction d'utilité représentant le degré de satisfaction de l'UE et $\delta_i F_{p,k}$ est la fonction coût représentant le coût de calcul engendré, la même définition

que celle utilisée dans la section précédente est utilisée ici. La valeur souhaitée du paramètre spécial non-négatif x est défini comme $0 \leq x \leq \frac{1}{2}$ et $\delta_{i,p}$est le paramètre de tarification δ de l'UE de la picocellule à déterminer. La maximization de $U_{Net,k}$ permet une amelioration du débit du PUE tout en tenant compte du coût de calcul engendré.

4.3.4.9 Calcul optimal du biais d'extension de la picocellule

Par la suite, nous prenons la première dérivée de la fonction d'utilité totale de l'UE de la picocellule dans (4.36) en respectant la variable $F_{p,k}$. Ainsi, on peut obtenir la meilleure réponse $\hat{F}_{p,k}$ en réglant la première dérivée de (4.36) à 0. Après quelques manipulations, la meilleure réponse reliée à la fonction d'utilité totale $U_{Net,k}(F_{p,k})$ peut être obtenue comme suit :

$$\hat{F}_{p,k} = \frac{\delta_{i,p}^{1/x-1}}{x} \tag{4.37}$$

Finalement, après quelques manipulations et en utilisant la même expression que (4.32), on obtient la valeur optimale de REO de la picocellule $\hat{w}_{i,p}$ ci-dessous :

$$\hat{w}_{i,p} = \frac{\delta_{i,p}^{1/x-1}}{x \ln\left(O_{p,k}\right)} \tag{4.38}$$

$O_{p,k}$ dans (4.38) est défini comme:

$$O_{p,k} = \frac{N_{\beta_{i(p)}}}{N_{\Gamma_k} + N_{I_{\max}^k}} \tag{4.39}$$

Dans (4.39), on doit verifier que le dénominateur $\ln(O_{p,k})$, cette condition est remplie si $O_{p,k} \geq 1$.

4.3.5 Nouvelle approche de planification à débit maximal

L'approche CCREMM proposée utilise un mécanisme de planification basé sur le débit qui est la technique de planification du débit maximal (MTS) de (Schwarz, 2010) pour planifier chaque UE pour chaque RB disponible. Dans la technique MTS, l'association de

Rapport-Gratuit.com

l'information mutuelle du SINR effectif (de l'anglais, Mutual Information Effective SNR Mapping) est utilisée pour calculer une valeur moyenne de l'indicateur de qualité de canal pour toutes les ressources de l'UE. Cela permet une augmentation de débit tout en garantissant une contrainte sur le taux d'erreur de bloc imposé. La planification est définie comme un problème de maximisation de la somme du débit formulé dans (4.39). Ensuite, à chaque RB r, un UE k est sélectionné afin d'être programmé pour le bloc de ressource (dite RB, de l'anglais Resource Block) r selon le critère de planification suivant:

$$\{r_1,\ldots,r_U\} = \underset{\{r_1,\ldots,r_U\}}{\operatorname{argmax}} \sum_{k=1}^{U} T_k \tag{4.40}$$

$$r_j^T . r_i = 0 \quad \forall i \neq j \tag{4.41}$$

$$r_k(n) \in \{0,1\} \quad \forall n, k \tag{4.42}$$

Où T_k représente le debit de l'UE k en $bits/s$ et $r_k(n) \in \{0,1\}$ est un vecteur binaire indiquant quels RBs sont alloués à l'UE k. Puisque la formulation ci-dessus est un problème entier binaire non-linéaire, il n'existe aucune solution efficace jusqu'à présent. Ainsi, le problème a été simplifié pour former un modèle linéarisé qui approche le problème d'optimisation non-linéaire.

4.3.6 Simulation et résultats

Dans cette partie, nous étudions la performance de notre stratégie d'extension de la couverture cellulaire. En effet, nous montrons l'impact des fonctions d'utilités (4.26) et (4.35) qui ont servi, respectivement, aux calculs des biais macrocellulaires (4.33) et des biais picocellulaires (4.38) sur des métriques de performance généralement utilisés pour les réseaux cellulaires (tels que, le débit de l'UE/du réseau, équité de l'allocation de ressources, charge cellulaire, SINR). Rappellons que les équations pour le calcul des biais engendrent des paramètres clés à déterminer adéquatement afin de garantir l'optimalité des biais. Dans la COF (4.19), en l'occurrence l'UF (4.35), le facteur relié à la charge (équilibrage de la charge) est à optimiser. Pareillement, dans l'UF (4.35), le facteur relié au SINR de l'UE est aussi à optimiser (c'est-à-dire atteindre la QoS de l'UE), d'où la nécessité de l'introduction du paramètre de limitation d'interférence dans l'UF. Nous notons également que la performance

de notre stratégie d'extension de couverture cellulaire via les biais macrocellulaires (4.26) et picocellulaires (4.38) dépend principalement du réglage des paramètres de tarification et de contrôle α et δ. Ainsi, dans une première partie, nous traçons les gains de débit, de SINR et de coût (impact sur la COF 4.19) pour différentes valeurs de α et δ. À travers ces comparaisons, nous obtenons la meilleure combinaison de paramètres nous permettant d'obtenir les biais macrocellulaires et picocellulaires optimaux. Dans une deuxième partie des simulations, nous utilisons la meilleure combinaison des paramètres α et δ (c'est-à-dire les biais optimaux) obtenue précédement afin de tracer les gains en débit et en SINR de l'UE, en équilibrage de la charge ainsi qu'en allocation de ressources aux UEs.

La Figure 4.8 est une illustration d'un réseau hexagonal *wrap-around* comportant des cellules sectorisées avec les orientations de chaque secteur. C'est la configuration de HetNet utilisée dans les simulations au niveau système. Rappelons qu'à l'intérieur de chaque secteur macrocellulaire, une picocellule est placée aléatoirement et les UEs sont distribués aléatoirement et uniformément à l'intérieur de chaque macrocellule et picocellule.

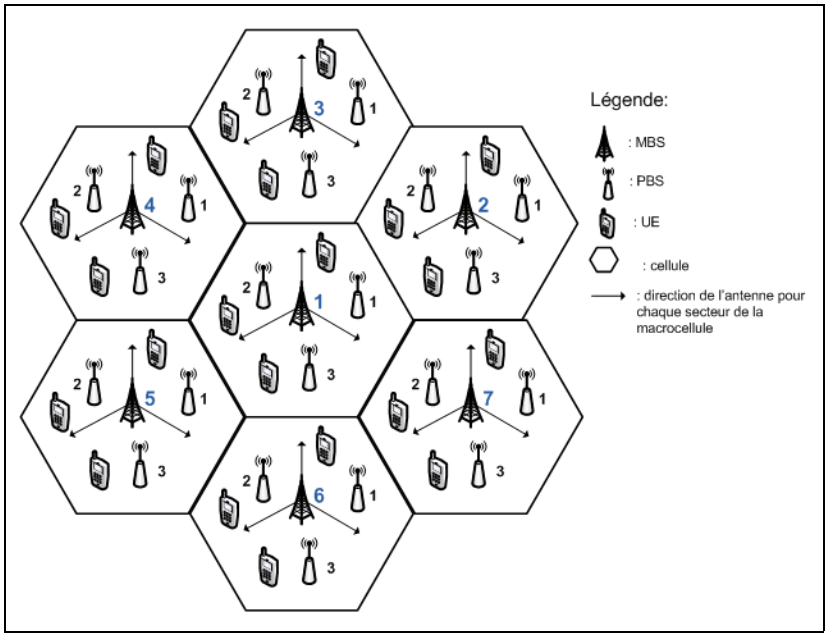

Figure 4.8 Illustration d'un réseau hexagonal *wrap-around*

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

4.3.6.1 Scenario de simulation

Afin de valider le modèle, nous effectuons des simulations informatiques au niveau système et donnons des résultats dans cette section. Le scénario HetNet utilisé dans les simulations au niveau du système, ainsi que la distribution UE et BS, sont basés sur la configuration 4b dans (3GPP, 2010). Chaque zone macrocellulaire comporte deux hotspots d'un rayon de 40m, avec chaque hotspot servi par une picocellule. Dans les simulations, nous considérons sept macrocellules hexagonales dans lesquelles une macrocellule se compose de trois secteurs. Une picocellule est répartie au hasard dans chaque secteur macrocellulaire. Ainsi, au total, notre HetNets est composé de 42 cellules avec 21 macrocellules et 21 picocellules.

Nous suppopsons deux couches d'UEs dans le système avec un total de 30 UEs dans chaque macrocellule:

- 1/3 des UEs, c'est-à-dire 10 UEs sont distribués de façon aléatoire dans la zone de couverture de chaque macrocellule;
- les 2/3 restants d'UEs sont placés aléatoirement et uniformément dans un rayon de 40m de chaque picocellule.

Tous les UEs générés disposent d'une antenne omnidirectionnelle avec un gain d'antenne 0 dBi. D'autres paramètres de simulation sont résumés dans le Tableau 4.2.

4.3.6.2 Paramètres de simulation

Tableau 4.2 Simulation du CCRE

Paramètres	**Macrocellule**	**Picocellule**
Fréquence porteuse	2 GHz	
Bande passante	10 MHz	
Durée de sous-trame	1 ms	
Modèle de trafic	Mémoire tampon complète (trafic continu)	
Politiques de planification	Équité proportionnelle, Débit maximal	
Mode de transmission	Diversité de transmission	

Paramètres	**Macrocellule**	**Picocellule**
Niveau du bruit thermique	-174 dBm/Hz	
Nombre d'UEs initial	30 UEs par macrocellule	
Ombrage log-normal	10 dB/8 dB – Évanouissement rapide	
Disposition des cellules	Grille hexagonale de 7 cellules, 3 secteurs par cellules	Cellule circulaire, un secteur par cellule
Puissance de transmission	46 dBm	30 dBm
N	50 RBs (12 sous-porteuses par RB)	
Modèle de perte de trajet	128.1 + 37.6 log10 (R) Rayon en km	140.7 + 37.6 log10 (R) Rayon en km
Rayon de distribution d'UEs	289 m	40m
Gain d'antenne	14 dBi	5 dbi
Moyenne de vitesse de l'UE	3 km/h	
Temps de simulation en TTIs	1000	
TTT	480ms	
Paramètres de la stratégie CCREMM	$\delta_{i,m} = \{2,4,6,8,10\}$ $\alpha_{i,m} > \theta_{i,m}\delta_{i,m}$ $\theta_{i,m} = \frac{\overline{w}_{i,m}\ln(F_{m,k})}{2}$ $\overline{w}_{i,m} = 10dB$	$\delta_{i,p} = \{2,4,6,8,10\}$ $0 \leq x \leq \frac{1}{2}$.

Les UEs des macrocellules ou MUEs sont déployés aléatoirement à l'intérieur de chaque secteur de la macrocellule. D'un autre côté, les UEs des femtocellules ou FUEs sont initialement associés à la femtocellule. Cependant, durant la simulation, chaque UE peut effectuer une demande de transfert vers la meilleure BS (c'est-à-dire, la BS offrant à l'UE la meilleure qualité de signal) en suivant l'algorithme d'association et de transfert proposé. Toutefois, les études sur la performance du transfert obtenue par notre méthode (CCREMM) sont couvertes dans le chapitre 5 de ce mémoire. Néanmoins, nous montrons dans cette section, les résultats en termes d'association UE-BS en respectant les critères de QoS posés.

4.3.6.3 Complexité de calcul du CCREMM

La stratégie CCREMM proposée dans ce travail nécessite un nombre limité d'échanges de rapports de mesure. En fait, l'UE et sa BS de service coopèrent pour dresser et mettre à jour la liste des cellules voisines et estiment la perte de trajet entre celle-ci et ses cellules voisines. Le récepteur UE peut ensuite estimer les gains de canal par l'exploitation des canaux pilotes reçus de ces cellules et calculer la puissance reçue à partir de celles-ci. À partir des simulations, l'efficacité du CCREMM sera discutée. Cependant, le processus coordonné devient de plus en plus complexe lors du choix d'un plus grand nombre de paramètres de contrôle $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$. En effet, le nombre de possibilités résultant d'un grand ensemble de $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ augmentera la complexité d'implémentation du CCREMM proposé dans un réseau en temps réel. Pour limiter davantage l'augmentation du coût de calcul dans les fonctions d'utilité proposées, nous sélectionnons habilement certaines de ces combinaisons de paramètres (c'est-à-dire $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$) qui minimisent le COF dans (4.19) et comparons leur comportement. Le temps de calcul du REO de la macrocellule pour chaque valeur de $\delta_{i,m}$ est d'environ 0,25s. D'un autre côté, le calcul du REO de la picocellule pour chaque valeur de $\delta_{i,p}$ est d'environ 0,084s si le nombre des nœuds à faible puissance (dite nLPNs, de l'anglais *Number of Low Power Nodes*) est égal à 1 par secteur de macrocellule. Pour nLPNs = 2, le temps de fonctionnement est de 0,085s et pour nLPNs= 4, il est de 0,086s. Nous observons d'abord que l'augmentation de nLPNs n'améliore pas forcément le temps de calcul du REO. Deuxièmement, il existe une différence considérable entre le temps de de calcul du REO de la macrocellule et de la picocellule. Cela s'explique par le fait que l'équation de $\widehat{w}_{i,m}$ dans (4.33) est plus lourde que celle de $\widehat{w}_{i,p}$ dans (4.38) puisque (4.33) implique plus de paramètres d'ajustement à optimiser que (4.38). Le temps total de simulation dans un HetNet lors de l'application de la stratégie CCREMM et incluant l'échange de rapports de mesure est de 4mn 3s pour 10 intervalles de temps de transmission (dite TTI, de l'anglais *Transmission Time Interval*) ayant une durée de 1ms chacun. Le temps total de simulation dans un HetNet sans CCREMM est d'environ 4mn19s. Par conséquent, nous pouvons déduire que notre mécanisme CCREMM pourrait être implémenté dans un réseau en temps réel en considérant un nombre raisonnable de paramètres à optimiser.

4.3.6.4 Évaluation de la performance du CCREMM pour différentes valeurs de $\alpha_{i,m}$ et $\alpha_{i,p}$

Dans cette section, nous montrons par différents résultats de simulation, les différentes performances de la technique coordonnée que nous proposons. Dans cette première partie de la simulation, nous utilisons des métriques de performance tels que la fonction de distribution cumulative (dite CDF, de l'anglais *Cumulative Distribution Function*) du débit et du SINR de l'UE pour différentes valeurs de paramètres coûts ($\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$) et la fluctuation de la COF pour chaque cellule (et pour différentes valeurs de $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$). L'intérêt de simuler la méthode pour différentes combinaisons des paramètres coûts est de vraiment sélectionner les paramètres les plus adéquats pour la configuration de réseau utilisée ainsi que pour l'environnement de simulation (représenté par le Tableau 4.2). Notons qu'une approche robuste et efficace de la gestion de la mobilité doit non seulement améliorer la performance du réseau en termes de débit de SINR de l'UE, mais aussi de garantir une performance en termes de transfert (intercellulaire dans notre cas). Nous utilisons un TTT standard de valeur $TTT = 480ms$ (3GPP, 2011; 3GPP, 2012) et nous obtenons des résultats sur le débit et le SINR de l'UE. Toutefois, nous omettons les résultats sur l'échec du transfert et les probabilités de ping-pong dans ce document, mais nous les inclurons dans un autre article en fonction de plusieurs valeurs TTT.

La performance de notre stratégie CCREMM proposée dépend du réglage des paramètres, principalement les paramètres de contrôle $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$. Pour obtenir le biais optimal des macrocellules et des picocellules, $\widehat{w}_{i,m}$ dans (4.33) et $\widehat{w}_{i,p}$ dans (4.38), nous devons ajuster dynamiquement les paramètres de coûts non-négatifs $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ des macrocellules et picocellules, respectivement. Nous rappelons que pour une macrocellule, $\alpha_{i,m} > \theta_{i,m}\delta_{i,m}$ et le paramètre de contrôle non négatif $\theta_{i,m}$ est donné par (4.34) ($\overline{w}_{i,m}$ étant la limite supérieure du biais de macrocellules maximal autorisé, $\overline{w}_{i,m} = 10dB$). Ensuite, nous présentons quelques résultats concernant la variation de performance en termes de débit de l'utilisateur et la fonction de distribution cumulative SINR (CDF) pour la stratégie CCREMM avec MTS. Pour obtenir ces résultats, nous appliquons différentes valeurs des paramètres

$\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ macrocellaires et picocellulaires, tels que $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{2,4,6,8,10\}$. De plus, la variation de notre fonction objective combinée $F_{m(p),k}$ dans (4.8) est représentée pour divers $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ et le coût de sélection d'une valeur de paramètre donnée est représenté. Cependant, trouver les meilleures valeurs dans les ensembles $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ devient rapidement complexe si l'on suppose que ce sont des matrices ayant une taille considérable de m × n. Ainsi, le vecteur $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\}$ pourrait impliquer des combinaisons de paramètres très larges. Pour le vecteur donné ci-dessus, le nombre d'essais est équivalent à $n[\delta_{i,m}, \delta_{i,p}] = 25$. Cependant, tester et simuler toutes les possibilités prend beaucoup de temps et, en même temps, augmentera la complexité de l'algorithme. Comme nous l'avons mentionné plus-haut, nous sélectionnons de façon appropriée certains des paramètres qui minimisent le COF dans (4.19). En réalité, les résultats pour $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{2,2\}$; $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$; $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{8,8\}$ et $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{10,6\}$ sont représentés ci-dessous. Nous supposons que $\mathrm{nLPNs} = 1$.

La Figure 4.9 représente la performance sur le CDF du débit d'UE pour différentes valeurs de $\delta_{i,m}$et $\delta_{i,p}$. Ici, la performance est environ 15% plus significative pour $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{2,2\}$; $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{8,8\}$ et $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{10,6\}$ comparée à $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ sur certains points. D'une manière générale, cependant, tous les résultats de ces combinaisons montrent un débit d'utilisateur acceptable qui est dû à l'utilisation du planificateur MTS permettant d'atteindre un débit supérieur à celui d'autres planificateurs standards. En effet, MTS est une stratégie de planification basée sur MIESM qui d'après plusieurs références, permet d'obtenir des performances proches de l'optimal, en termes de débit tout en remplissant une contrainte imposée sur le taux d'erreur de bloc (dite BLER, de l'anglais *Block Error Rate*) maximal autorisé (3GPP, 2010).

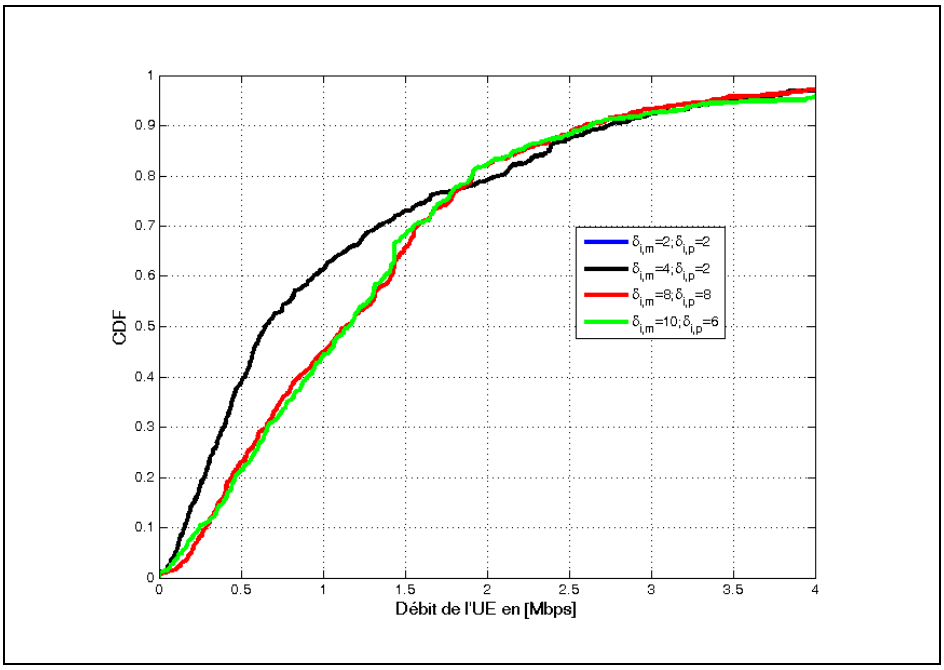

Figure 4.9 Distribution de débit d'UE en Mbits/s pour différentes valeurs de paramètres coûts $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$

À la Figure 4.10, la variation de performance en fonction du CDF du SINR de l'UE est représentée pour diverses valeurs de de $\delta_{i,m}$et $\delta_{i,p}$ (qui minimisent le COF). Nous observons que l'on obtient presque le même gain de SINR pour $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ and $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{8,8\}$, où la satisfaction de QoS de l'utilisateur en termes de SINR cible est près de 40% supérieure comparée à $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{2,2\}$ and $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{10,6\}$ qui donnent des performances moins attrayantes pour la métrique actuelle. Dans ce même résultat, la réalisation du SINR cible de l'UE résulte de l'intégration du critère d'annulation d'interférence dans le COF qui atténue partiellement l'ICI reçue par l'UE associé à la CEC.

La Figure 4.11 représente le coût encouru en sélectionnant des combinaisons spécifiques de $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$. En effet, $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{2,2\}$ donne le coût le plus bas alors que $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{8,8\}$ et $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{10,6\}$ induisent le coût le plus élevé, comme on peut le voir sur la figure. Une autre observation de la Figure 4.11 est que le coût de l'objectif varie considérablement lorsque $\sum \delta$ augmente. Cependant, nous exigeons une fluctuation minimale des coûts encourus par la fonction objective. En outre, nous avons besoin du coût de la

fonction objective le moins cher (c'est-à-dire le coût minimal du COF), car cela pourrait être plus favorable à la stratégie du CCREMM.

Comme indiqué dans la section précédente 4.3.4, la fonction objective combinée du CCREMM vise à réduire l'interférence résultante de la CCE sur les UEs, à améliorer l'équilibrage de la charge du réseau et à satisfaire la QoS des UEs en termes de SINR cible. Par conséquent, nous devons sélectionner l'ensemble de $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ qui donne le coût le plus bas mais qui ne dégrade pas le débit de l'UE ou le SINR. Pourtant, atteindre tous ces objectifs simultanément est pratiquement impossible, en raison des compromis qui existent entre ces mesures de performance. Ainsi, nous devons définir lequel est le plus important pour atteindre la satisfaction de l'utilisateur. À partir des informations présentées dans les Figure 4.9 à Figure 4.11, et en supposant qu'il existe des compromis entre les métriques de performance citées, le meilleur choix est $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$, puisqu'il présente un compromis intéressant entre le débit de l'utilisateur et le SINR, ainsi que le coût de la fonction objective.

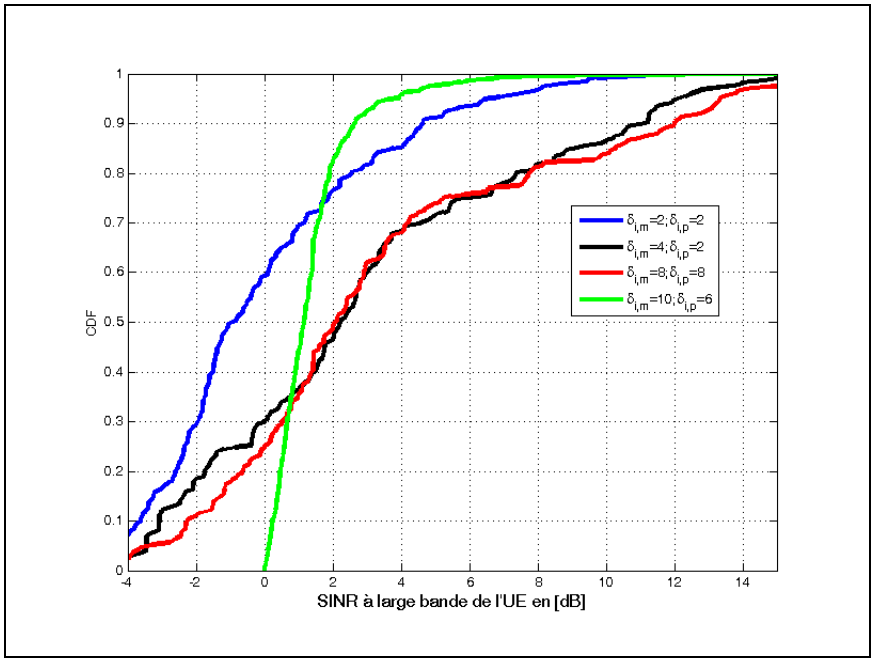

Figure 4.10 SINR à large bande de l'UE pour différentes valeurs de paramètres coûts $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$

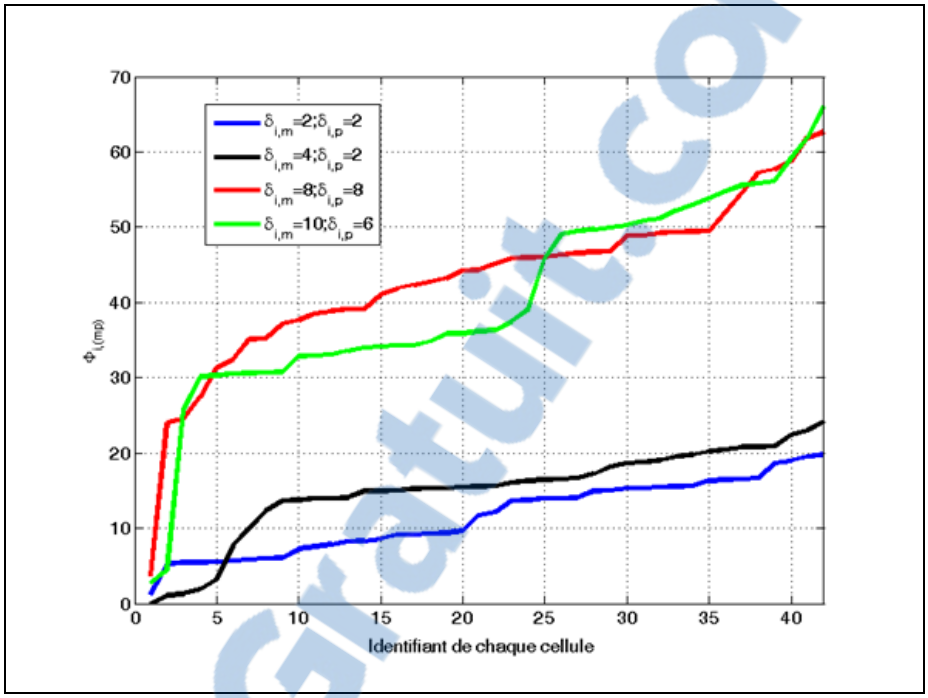

Figure 4.11 Variation du coût de la COF $F_{m(p),k}$ dans HetNets

4.3.6.5 Évaluation de la performance du CCREMM vs plusieurs solutions de CRE proposées dans littérature

Nous continuons notre évaluation, en comparant CCREMM avec plusieurs références. Les meilleurs résultats obtenus (par l'intermédiaire des paramètres sélectionnés) dans la première partie sont repris et comparés aux références existantes. Pour ce faire, les métriques telles que la distribution d'UEs, l'indice d'équilibrage de la charge, la distribution du SINR et du débit sont utilisées. De plus, le débit de l'UE se situant au bord de la cellule et l'équité de l'allocation de ressources sont montrées. Finalement, les techniques sont simulées en variant le nombre de picocellules deployées dans le réseau (plus précisément, dans chaque macrocellule). Ici, nous considérons différentes références utilisées dans la littérature afin d'évaluer la performance obtenue par notre technique CCREMM. Nous notons que toutes les références citées ci-dessous visent à équilibrer la charge du réseau en exploitant la puissance de la technique CCE. Comme première référence, nous utiliserons la technique non-

Rapport-Gratuit.com

coordonnée d'extension fixe des cellules (dite FNCCRE, de l'anglais *Fixed Non-Coordinated Cell Range Expansion*) dans (Andrews, 2014), pour une évaluation de la performance. La FNCCRE-10 est la technique régulière d'extension de la couverture des picocellules qui applique une valeur fixe de biaisage de puissance pour étendre la zone de couverture picocellulaire, qui est dans ce cas $w_{i,p} = 10$ dB.

La deuxième référence utilisée est la technique proposée dans (Siomina, 2012) que nous avons appelée méthode dynamique non-coordonnée d'expansion de la couverture de cellules (dite DNCCRE, de l'anglais *Dynamic Non-Coordinated Cell Range Expansion*). Les auteurs utilisent le concept de couplage cellule-charge. Premièrement, ils supposent que dans HetNets, la charge de chaque cellule dépend de la charge des autres cellules, d'une manière non linéaire, en raison du couplage mutuel des interférences observées. Ensuite, pour un vecteur de biais prédéfini, une approche de conception statistique d'expériences (DOE) est appliquée afin de trouver les biais optimaux hétérogènes des picocellules. La dernière référence utilisée dans la comparaison des performances est la méthode conventionnelle de CCE, qui est utilisée comme méthode d'évaluation dans (Lopez-Perez, 2012), où $w_{i,p} = 6\,dB$. Comme dans la première référence mentionnée ci-dessus, la couverture des picocellules est étendue en ajoutant un biais virtuel à la puissance reçue.

En général, dans FNCCRE-10 et FNCCRE-6, les valeurs sont obtenues par une technique de recherche *greedy* et sont homogènes pour toutes les picocellules. Cependant, l'application de ces biais picocellulaires homogènes n'assure pas toujours une efficacité de performance en termes d'équilibrage de charge ou de débit, puisqu'un biais excessif surchargera la picocellule et un biais insuffisant ne résoudra pas les problèmes de déséquilibre et d'iniquité de charge dans HetNets. Dans les deux cas, la performance globale du réseau n'est pas nettement améliorée grâce à l'utilisation d'une technique d'expansion de couverture fixe non coordonnée. La différence entre ces trois références est que la première et la troisième technique sont homogènes et la seconde est hétérogène. Cependant, ce sont toutes des stratégies non coordonnées c'est-à-dire, il n'y a aucun échange d'informations entre les cellules. Pour les comparaisons restantes dans ce chapitre 4, les paramètres non négatifs

macrocellaires et picocellulaires sont fixés à $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$, respectivement, et nLPNs = 1. De plus, le planificateur MTS est utilisé conjointement avec CCREMM, et un planificateur PF est utilisé pour FNCCRE-6, FNCCRE-10 et DNCCRE. Rappelons que $\delta_{i,m}$ et $\delta_{i,p}$ sont les paramètres les plus importants utilisés pour ajuster notre stratégie CCREMM pour calculer le REO optimal $w_{i,m}$ et $w_{i,p}$ afin de maximiser le profit.

La Figure 4.12 représente la distribution des utilisateurs parmi les cellules dans HetNets pour diverses méthodes, y compris notre méthode CCREMM. Pour les techniques FNCCRE-10, FNCCRE-6 et DNCCRE, certaines picocellules servent un nombre plus important d'utilisateurs par rapport au CCREMM. De plus, la disponibilité des ressources dans les petites cellules 22 à 42 est maintenue avec notre technique, ce qui n'est pas le cas pour les autres méthodes. Puisque les petites cellules ont des ressources limitées, les ressources (ex : débit) ne seraient pas suffisantes si un trop grand nombre d'utilisateurs est déchargé vers des picocellules.

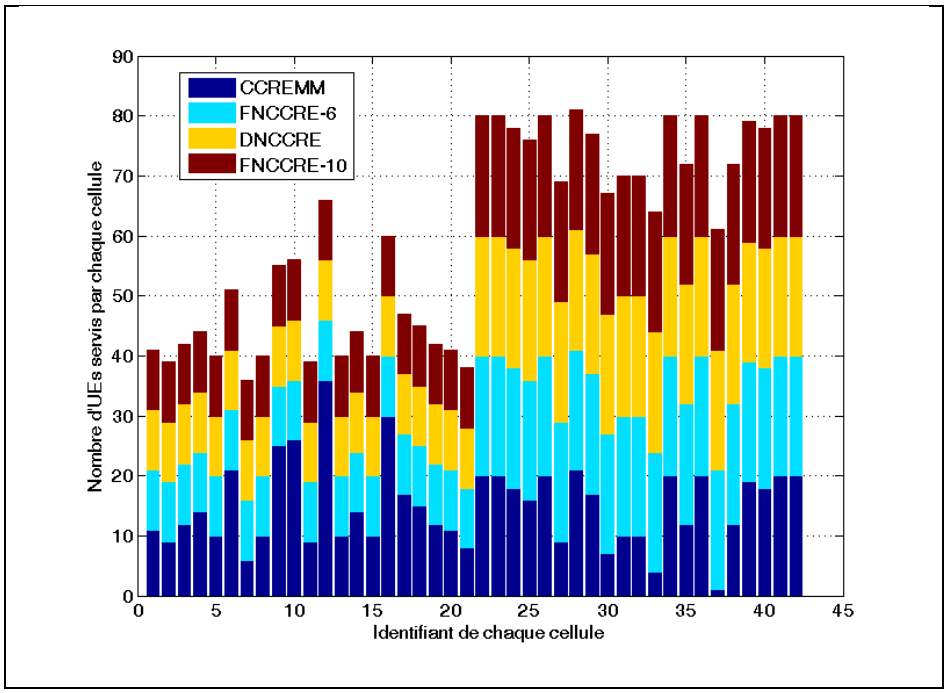

Figure 4.12 Distribution d'UEs dans HetNets pour les techniques d'UA statiques et dynamiques vs CCREMM $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Par conséquent, les UEs déchargés issus des FNCCRE-10, FNCCRE-6 et DNCCRE peuvent ne pas atteindre leurs exigences de QoS. Parallèlement, CCREMM permet de décharger les UEs vers des picocellules moins chargées tout en maintenant un certain nombre d'UEs associés aux macrocellules, ce qui garantit la satisfaction des UEs en termes de QoS. Pour CCREMM, le nombre d'UEs déchargés n'est pas spécifiquement grand. Pour clarifier l'observation ci-dessus, nous nous concentrons sur quelques exemples de distribution d'UEs parmi plusieurs BSs dans la Figure 4.13. Cette illustration est montrée à la Figure 4.13. Aux macrocellules 9, 10, 12 et 16, le nombre d'utilisateurs (nUEs) résultants du CCREMM peut susciter notre intérêt puisque ces macrocellules servent un nombre significatif de nUEs par rapport aux BSs restantes et ils servent un grand nombre d'UEs par rapport à FNCCRE-6, DNCCRE et FNCCRE-10. Ceci est dû au fait que le nombre de ressources disponibles est largement grand dans les macrocellules 9, 10, 12 et 16, et le maintien de la connexion avec elles permet aux utilisateurs d'améliorer leur débit.

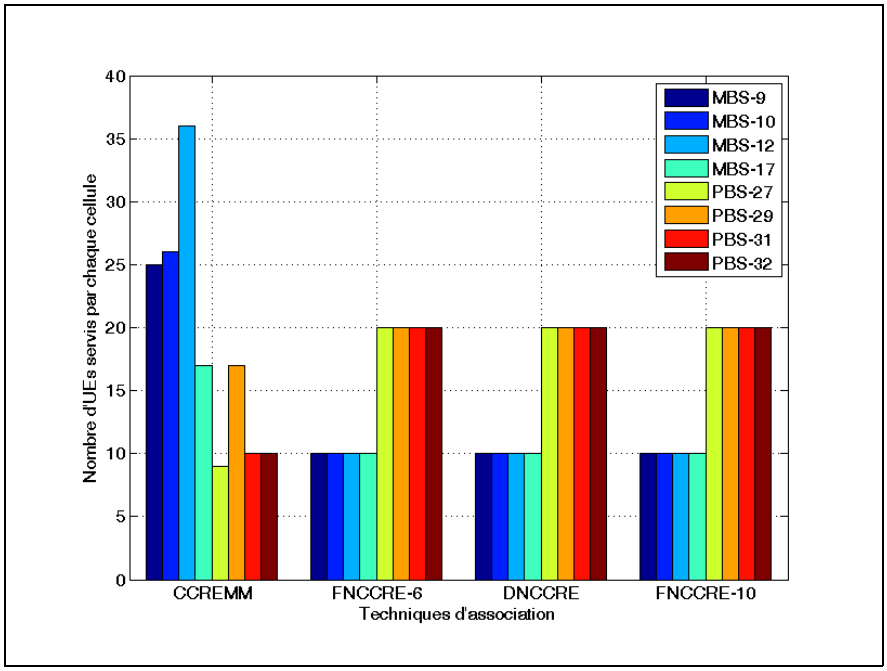

Figure 4.13 Distribution d'UEs dans HetNets en sélectionnant quelques BSs pour clarifier la figure 4.12

En revanche, les picocellules 27, 29, 31 et 32 subissent un déchargement plus faible pour CCREMM comparativement à FNCCRE-6, DNCCRE et FNCCRE-10. En effet, par le biaisage optimal, il y a un risque plus faible de surcharge des picocellules. Notre stratégie assure simultanément l'équilibrage de la charge cellulaire et un débit d'utilisateur favorable.

À la Figure 4.14, la charge cellulaire résultant de plusieurs techniques, telles que FNCCRE-6, FNCCRE-10, DNCCRE et CCREMM, est illustrée. Nous observons une plus grande équité en matière de charge cellulaire pour le CCREMM proposé par rapport aux références. À titre d'illustration, plusieurs BSs seront sélectionnées pour examiner leur performance résultante.

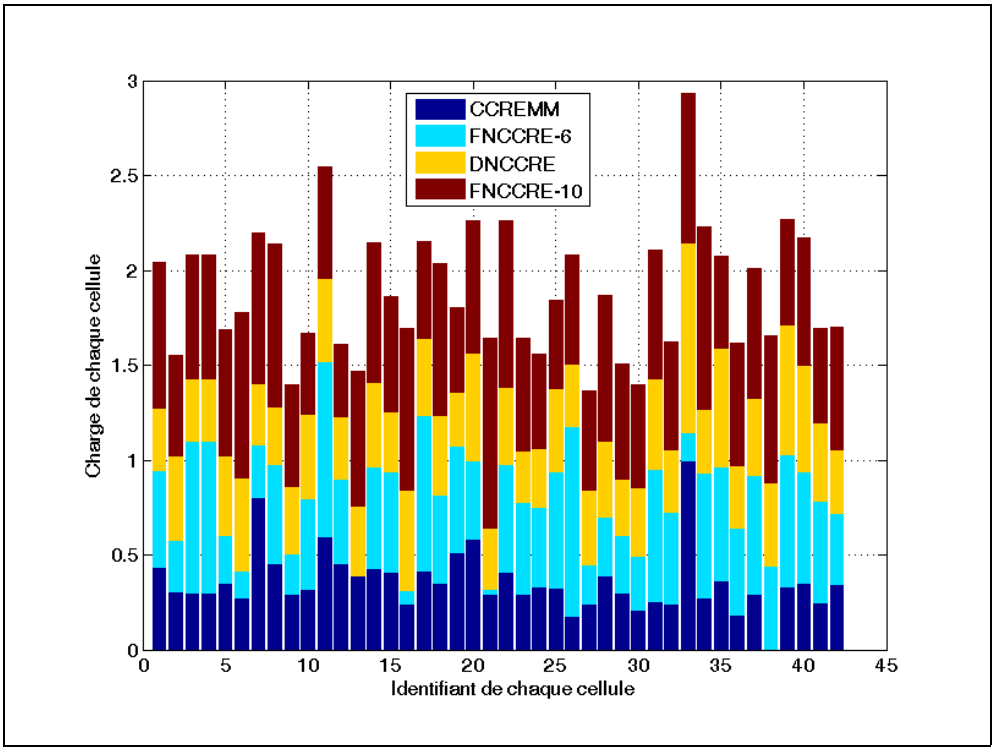

Figure 4.14 Charge normalisée des cellules dans HetNets pour les techniques d'UA statiques et dynamiques vs CCREMM $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$

Cette illustration est montrée à la Figure 4.15. Pour les macrocellules 1 à 15, un équilibrage de charge plus intéressant est observé pour CCREMM et DNCCRE par rapport aux techniques d'UA statiques. Ensuite, on observe que les macrocellules 16 et 21 sont les moins

chargées avec FNCCRE-6, et elles sont les plus chargées avec FNCCRE-10, par rapport aux autres techniques d'UA. Enfin, pour les picocellules 22 à 42, la charge cellulaire moyenne est presque égale pour toutes les picocellules lors de l'application du CCREMM; cela n'est pas observé dans les trois techniques de références. Ces comportements démontrent à nouveau l'efficacité de notre stratégie en termes d'équilibrage de charge. On observe que pour les autres méthodes, un résultat moins adéquat est obtenu avec les techniques statiques d'UA. Comme indiqué précédemment, la sélection des techniques d'association fixe est parfois risquée car un biais excessif surchargera les picocellules et un biais insuffisant ne résoudra pas les problèmes de déséquilibre et d'iniquité de la charge. Par conséquent, les biais de puissance doivent être réglés dynamiquement, en fonction des caractéristiques de chaque cellule.

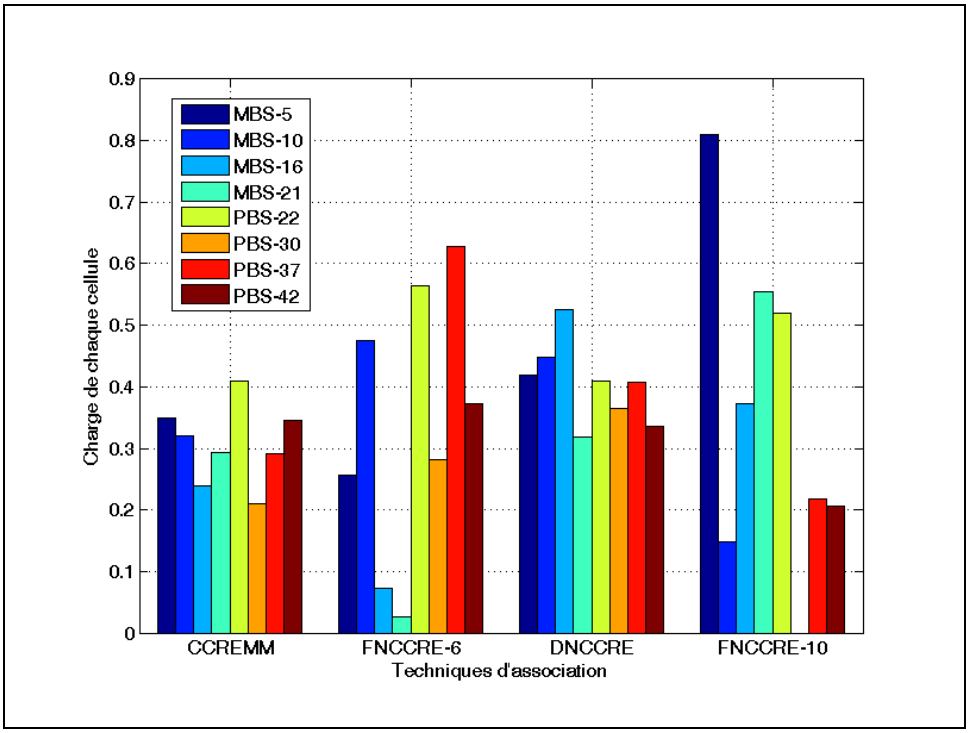

Figure 4.15 Charge des cellules dans HetNets en sélectionnant quelques BSs pour clarifier la figure 4.14

La Figure 4.16 illustre les résultats concernant le CDF du débit de l'UE. On obtient une performance d'environ 30% en utilisant conjointement le CCREMM et le planificateur MTS

par rapport aux méthodes FNCCRE-6, FNCCRE-10 et DNCCRE avec un planificateur PF classique. L'explication d'un tel résultat est que le CCREMM proposé vise à la fois à satisfaire le réseau en termes de débit et d'améliorer le débit cellulaire des UEs, ce qui est reflété par la figure ci-dessous. Cependant, à certains moments, nous pouvons voir que le FNCCRE-10 surpasse le CCREMM de 10% et que le rendement du CCREMM est égal à celui du FNCCRE-6 et du DNCCRE, c'est-à-dire que le CCREMM devient moins efficace. Nous pouvons interpréter cela à la lumière du fait que les UEs associés à une zone élargie picocellulaire sont sensibles à l'ICI car ils ne sont pas connectés à un BS qui leur fournit le plus fort RSS. Bien que la méthode proposée permette d'atténuer l'ICI en appliquant une limite supérieure I_k^{max} sur l'ICI maximum tolérable dans la région de la cellule étendue, une analyse approfondie devrait être effectuée pour en améliorer l'efficacité.

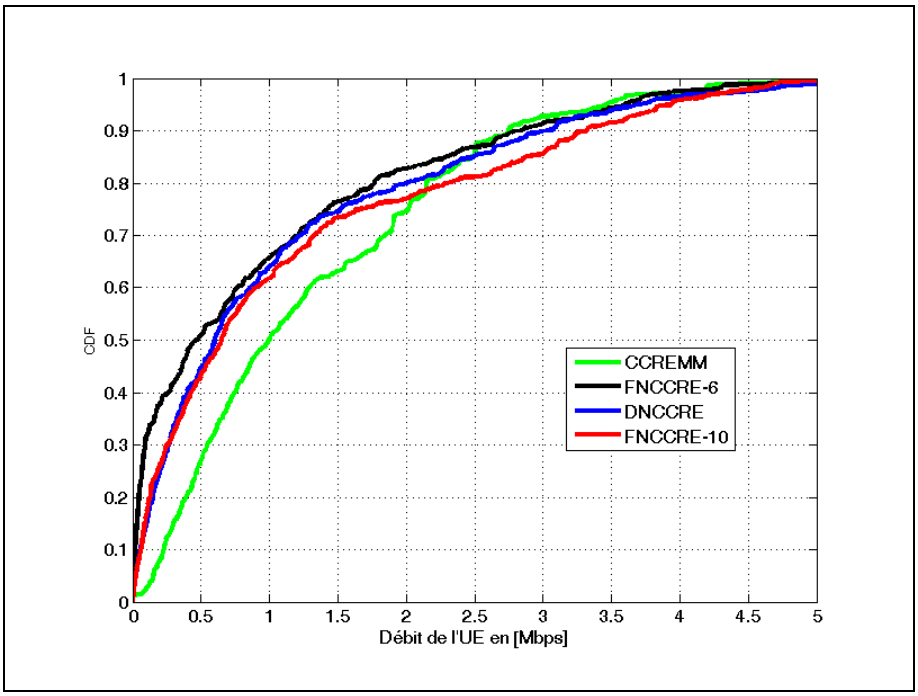

Figure 4.16 Débit de l'UE en Mbits/s, références vs CCREMM en assumant $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$

À la Figure 4.17, on présente un CDF du SINR de l'UE, et on note un gain de performance d'environ 95% pour le CCREMM par rapport à d'autres méthodes. On peut déduire de cette observation, qu'une majorité des UEs, si ce n'est pas tous les UEs, atteignent leur SINR cible,

c'est-à-dire leur satisfaction en termes de QoS. Ce résultat résulte de l'utilisation de la fonction objectif combinée $F_{m(p),k}$ qui prend en compte les exigences de QoS des UEs pour concevoir des fonctions d'utilité de macrocellules et de picocellules. Pris ensemble, cette information nous permet d'obtenir des valeurs optimales de $\widehat{w}_{i,m}$ et de $\widehat{w}_{i,p}$.

Les quatre derniers résultats (à partir de la Figure 4.18) ont été obtenus par la simulation des quatres techniques mentionnées précédemment puis nous comparons leurs performances en termes de débit d'utilisateurs et de cellules et d'équité. Nous faisons varier le nombre de picocellules dans chaque zone macrocellulaire à nLPNs = {1,2,4}, qui est une configuration utilisée dans (3GPP, 2010).

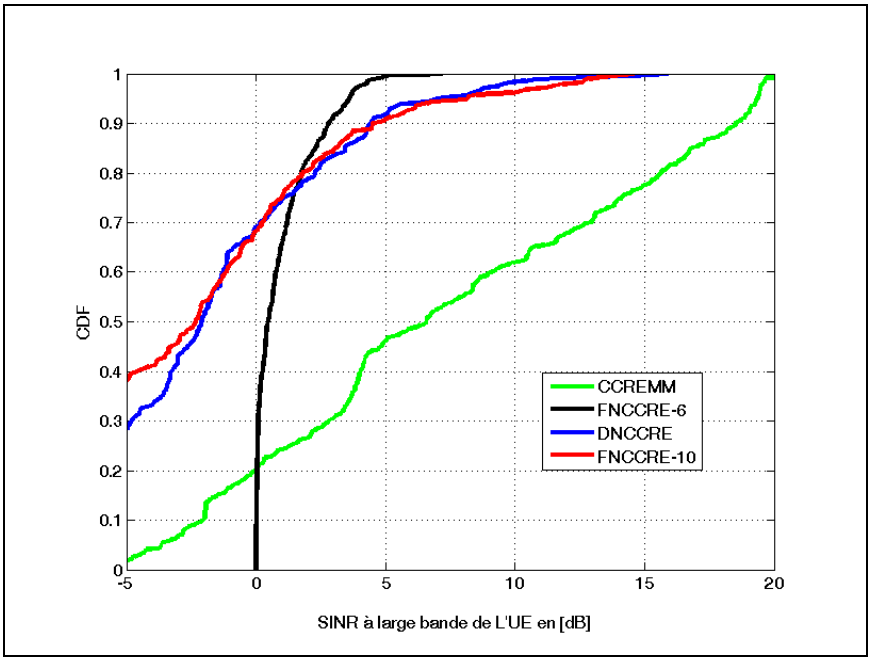

Figure 4.17 SINR large bande de l'UE en dB, techniques d'UA référentes vs CCREMM en assumant $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$

À la Figure 4.18, le débit moyen des cellules est illustré. Un débit moyen d'une cellule est l'agrégat du débit de données de tous les UEs associés à cette cellule. Pour chaque méthode comparative (FNCCRE-10, FNCCRE-6 et DNCCRE), la performance est approximativement égale lorsque nLPNs = {1,2,4}. Cependant, le débit obtenu dans le CCREMM proposé

dépasse de près de 25% celui des techniques référentes pour tous les nLPNs supposés. Un résultat pire est obtenu pour FNCCRE-6, et presque le même résultat est obtenu pour FNCCRE-10 et DNCCRE. À vrai dire, le CCREMM avec MTS offre le plus grand nombre de bits à un grand nombre d'UEs, ce qui est illustré par la performance en débit cellulaire montrée à la Figure 4.18.

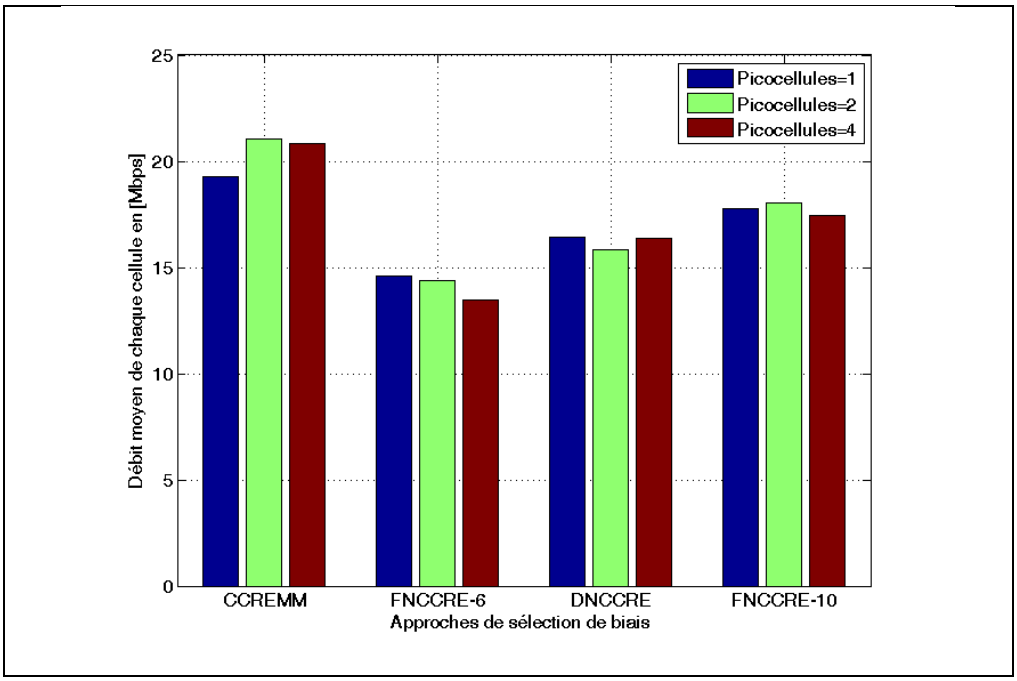

Figure 4.18 Débit moyen de la cellule en Mbits/s, références vs CCREMM avec $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ et $nLPNs = \{1,2,4\}$

La Figure 4.19 représente la performance en termes de débit d'UE de bord de la cellule pour les quatre techniques précitées. Le CCREMM, qui est adopté pour calculer $\widehat{w}_{i,m}$ et $\widehat{w}_{i,p}$optimaux, surpasse largement les autres stratégies d'association pour toutes les valeurs de nLPNs supposées (c'est-à-dire 1, 2 et 4). Le gain de débit de l'utilisateur de bord de cellule est d'environ 90% pour le CCREMM, comparé aux autres techniques lorsque nLPNs = 1. Lorsque nLPNs = 2, les gains augmentent et lorsque nLPNs = 4, le gain est environ 35% de plus que DNCCRE et FNCCRE-6 et 85% de plus que FNCCRE-10. Cette observation signifie qu'avec un biais picocellulaire faible, le nombre d'UEs déchargé vers les picocellules est faible et un large nUEs est transférés vers les macrocellules, ce qui entraîne une surcharge

des macrocellules et un débit faible pour de nombreux nUEs (c'est-à-dire lorsque le nombre d'UEs est très large). Cependant, lorsque le biais est augmenté, le débit de l'UE est également amélioré, car un plus grand nombre d'UEs sont servis par des picocellules.

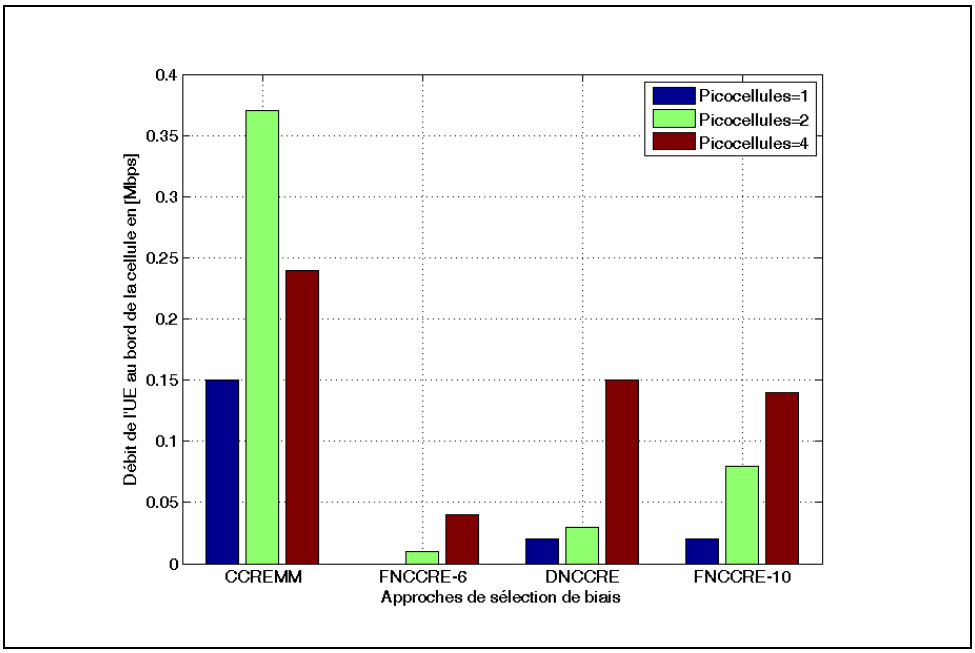

Figure 4.19 Débit de l'UE au bord de la cellule en Mbits/s, références vs CCREMM avec $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ et $nLPNs = \{1,2,4\}$

Le débit moyen de l'UE est représenté à la Figure 4.20. Cette figure montre que les performances de FNCCRE-10, FNCCRE-6 et DNCCRE pour nLPNs = 1 et nLPNs = 2 sont approximativement égales, bien qu'il y ait une légère amélioration entre 15 et 20% pour le CCREMM. En fait, une expansion agressive de la couverture n'améliorera pas le débit de l'UE, car un biais excessif permettra un déchargement excessif des utilisateurs vers les picocellules, ce qui réduira leur satisfaction en termes de QoS. D'autre part, le CCREMM surpasse les autres méthodes car il permet l'acquisition de biais dynamiques optimales sur macrocellules et picocellules par l'exploitation de divers paramètres dans une fonction objectif combinée. En conséquence, le débit de l'utilisateur est amélioré.

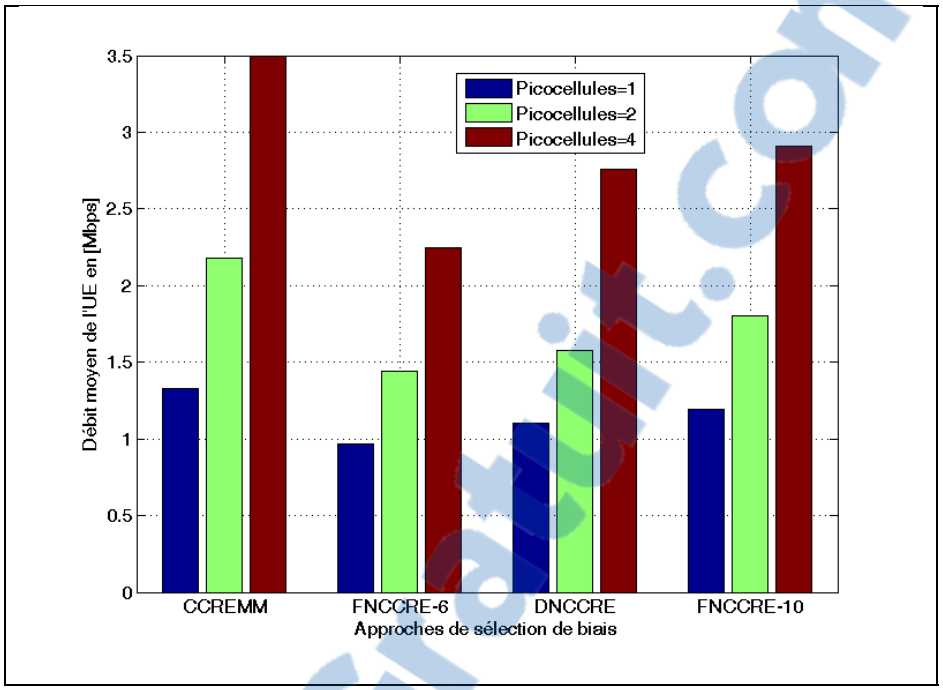

Figure 4.20 Débit moyen de l'UE en Mbits/s, références vs CCREMM avec $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ et $nLPNs = \{1,2,4\}$

À la Figure 4.21, la performance d'équité des UEs en termes d'allocation des ressources est illustré pour toutes les techniques comparatives en utilisant la même formulation que dans (Rakotomanana, 2015). Comparé au FNCCRE-6 et au DNCCRE, le CCREMM affiche une performance plus élevée surtout lorsque les nLPNs = 1 et nLPNs = 2. Comparé au FNCCRE-10, un bon résultat est toujours maintenu lorsque nLPNs = 1. Une augmentation entre 5 et 20% est observée lorsque nLPNs = 2. Cependant, lorsque nLPNs = 4, l'équité dans FNCCRE-10 dépasse celle du CCREMM. Cette différence peut s'expliquer par le fait que, lors de l'augmentation des nLPNs dans le réseau, le nombre d'UEs est aussi grandement augmenté. De plus, le CCREMM est une stratégie dynamique qui peut conduire à un CRE excessif à un moment donné. Dans un tel scénario, un nombre excessif d'UEs est déchargé vers les picocellules. Ainsi, la surcharge de certaines picocellules avec des ressources médiocres est inévitable. De plus, les utilisateurs servis par des macrocellules bénéficient de la disponibilité de ressources plus importantes.

Rapport-Gratuit.com

Finalement, ces effets créent une iniquité chez les utilisateurs de picocellules et de macrocellules.

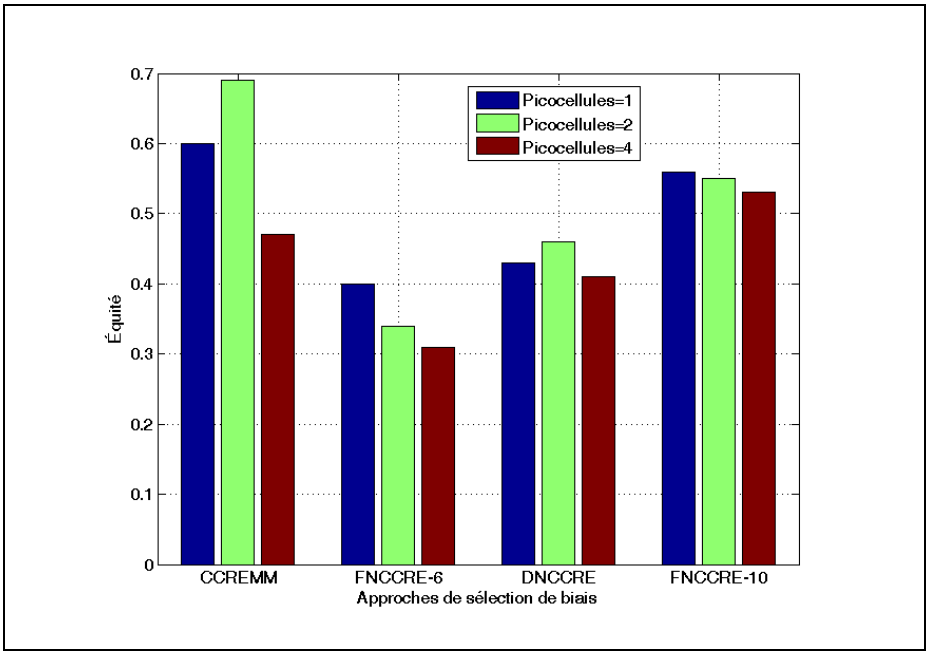

Figure 4.21 Niveau d'équité en termes d'allocation de ressources, références vs CCREMM avec $\{\delta_{i,m}, \delta_{i,p}\} = \{4,2\}$ et $nLPNs = \{1,2,4\}$

4.3.6.6 Avantages et limites du modèle propose

Le système proposé présente de nombreux avantages :

- nous obtenons des résultats analytiques robustes;
- les biais résultants des études analytiques sont optimaux;
- CCREMM couvre plusieurs aspects d'optimisation tels que l'association UA-BS optimale, l'assurance de l'équilibrage de la charge entre les cellules, la limitation de l'interférence perçue par les UEs associés aux cellules à région étendue (ERC-UEs).

Cependant, la méthode proposée représente certaines faiblesses comme toutes les méthodes proposées dans la littérature. En effet, notre modèle est assez complexe dû à l'interrelation entre les paramètres de coûts et entre les paramètres pris en compte dans la QoS. Néanmoins,

avec une bonne sélection de valeurs et un nombre raisonnable de BSs-UEs, cette complexité pourra diminuer remarquablement.

4.4 Conclusion

Dans le premier volet de ce chapitre, nous avons traité du problème d'équilibrage de charge dans HetNets d'une nouvelle perspective, en introduisant deux types de techniques d'association UE-BS. En premier lieu, nous formulons le problème d'association comme un problème d'optimisation objectif, puis analysons sa complexité et proposons des solutions heuristiques appelées DCRE et FGBLE en tenant compte de l'exigence en débit minimum de chaque UE. Par la suite, nous effectuons des simulations puis observons l'efficacité de ces heuristiques en termes de minimisation de la charge des cellules surchargées, d'égalisation de la charge globale du système ainsi que de débit équitable des UEs.

Dans le deuxième volet, nous avons proposé une stratégie basée sur le CCREMM pour l'association UEs-cellule et la gestion de la mobilité dans HetNets. Il permet l'équilibrage de la charge du réseau, l'équité entre les UEs, la satisfaction des UEs en termes de QoS et la limitation des interférences. La stratégie analytique proposée est basée sur de nouvelles fonctions d'utilité qui n'ont apparemment pas encore été exploitées pour un CCREMM dans HetNets. Ces fonctions d'utilité permettent de calculer des valeurs optimales de biais de la macrocellule et de la picocellule afin d'améliorer la performance de HetNets en tenant compte des critères cités. Ainsi, nous avons illustré par des simulations au niveau du système, que la stratégie CCREMM suggérée associée à la technique de planification MTS peut améliorer le débit de l'UE et du réseau, et il peut également améliorer les SINR large bande des utilisateurs. Les performances sont supérieures à celles obtenues grâce à des techniques d'extension dynamique non coordonnées. Enfin, la méthode proposée améliore sûrement les performances en termes de transfert, avec des simulations plus étendues.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CHAPITRE 5

APPROCHE INNOVATRICE DE TRANSFERT INTERCELLULAIRE: EXPLOITATION DE NOUVELLES FONCTIONS D'UTILITÉ

5.1 Introduction

Les HetNets ont attiré de nombreuses attentions ces dix dernières années et ce, en tant que solution prometteuse pour améliorer la capacité du réseau et la couverture intérieure. Dans ces réseaux émergents, les défis techniques demeurent principalement, la gestion de la mobilité des utilisateurs, définie par des politiques de décision de transfert. La gestion de mobilité comprend généralement trois phases: la découverte du réseau, la décision de transfert et l'exécution du transfert (Zhang, 2010). La phase de décision HO joue un rôle clé dans la réduction des interférences en présence de femtocellules. Dans ce travail, nous proposons un nouvel algorithme de transfert basé sur les fonctions d'utilités pour améliorer la performance de la gestion de la mobilité dans un réseau à deux niveaux, en supposant qu'un utilisateur mobile entre dans la couverture d'une femtocellule. L'approche consiste principalement à concevoir de nouvelles fonctions d'utilité qui sont utilisées pour calculer de manière optimale, le biais de transfert. Ce biais est utilisé pour modifier les calculs du SINR, ce qui entraine le déplacement approprié des UEs de la macrocellule vers la femtocellule. Ensuite, nous comparons les performances de cette approche de transfert par rapport aux approches proposées dans la littérature. À travers les différentes comparaisons, nous obtenons des résultats en termes de RSRP, de probabilités d'affectation à la macrocellule et à la femtocellule, de probabilité de transfert et de nombre de transferts résultants. Les résultats numériques montrent un gain considérable lié à la probabilité d'affectation de l'UE à la femtocellule tout en maintenant un nombre de transferts acceptable.

5.1.1 Motivation et travaux connexes

À ce jour, il existe de nombreuses recherches sur le développement d'algorithmes de transfert basés sur la puissance du signal reçu (RSS), pour les réseaux HetNets. De plus, la littérature actuelle explore diverses approches qui traitent les interférences dans les réseaux à deux niveaux, telles que le contrôle de puissance, la réutilisation de fréquence fractionnaire statique ou adaptative, les techniques spatiales, l'utilisation des antennes multiples, la régénération et l'annulation des interférences. En outre, il existe des techniques de réduction de l'interférence grâce à la gestion de la mobilité.

Toutes ces méthodes visent à trouver la meilleure association et réassociation UE-BS en conservant une performance de transfert et une QoS de l'UE satisfaisante. (Shirvani Moghaddam, 2000) propose une combinaison optimale d'hystérésis et de seuil pour améliorer la phase d'initiation du transfert. D'un autre côté (Lee, 2008) propose un algorithme adaptatif qui ajuste l'hystérésis selon la mobilité des UEs. (Zahran, 2006) proposent un algorithme de seuil du signal adaptif dans lequel les exigences de service de l'UE (incluant la RSS) sont prises en compte lors de la détermination du seuil. Dans (Moon, 2010), un autre algorithme de transfert hiérarchique est proposé, dont la combinaison des RSSs des macrocellules et des femtocellules est utilisée comme un nouveau critère de transfert. Cette technique vise à éviter l'effet de l'asymétrie de la puissance de transmission entre les deux types de cellules. Toutefois, la performance de l'algorithme se dégrade en raison de l'augmentation de la charge du calcul des stations mobiles engendrée par la recherche du paramètre relié à la combinaison des RSSs. Dans (Xu, 2011), un algorithme de transfert où la RSS et la perte de transmission sans fil constituent les nouveaux critères de transfert est proposé pour les réseaux hiérarchiques macrocellules/femtocellules. L'algorithme proposé améliore l'utilisation des femtocellules en doublant le nombre de transferts. De plus, en comparaison avec l'algorithme de transfert basé sur la combinaison des RSSs des macrocellules et femtocellules, l'approche basée sur la RSS et la perte de transmission réduit de 50%, le nombre de transferts redondants. Un autre algorithme de transfert basé sur la RSS qui tient compte de l'historique de mobilité et des modèles de mobilité de l'UE est étudié dans (Jeong,

2011). De plus, dans (Lopéz-Pérez, 2010; López-Pérez, 2010), des techniques qui diminuent les interférences *inter-tier* sont proposées. Les méthodes énoncées ci-dessus tentent de garantir une meilleure probabilité d'association à la femtocellule et un nombre inférieur de transferts de l'UE. Cependant, selon notre analyse, aucune de ces techniques n'utilise le principe des fonctions d'utilité pour trouver le biais de transfert optimal. De plus, ces techniques ne tiennent pas compte de la QoS de l'UE liée à la charge de la cellule servante, la puissance de l'interférence mesurée à partir de la cellule voisine et le SINR mesuré par l'UE à partir de sa cellule servante et de la cellule voisine.

5.1.2 Contribution principale et organisation

Le présent chapitre décrit une nouvelle politique de décision de transfert basée sur la RSS, pour un scénario de transfert où un UE entre dans une région femtocellulaire. La technique est présentée pour un HetNet à deux niveaux, afin de surmonter l'inconvénient de l'algorithme conventionnel. Pour ce faire, une fonction objective appropriée qui prend en compte la QoS de l'UE est conçue. Ensuite, en utilisant la fonction objective et en exploitant l'efficacité du principe des fonctions d'utilité, les biais optimaux de transferts peuvent être calculés. Finalement, les biais sont incorporés à la politique de décision de transfert. Les résultats numériques montrent que la nouvelle approche de décision de transfert offre des gains considérables liés à la probabilité d'affectation de l'UE à la femtocellule alors que le nombre de transferts reste acceptable.

Nous reprenons les mêmes fonctions d'utilités cellulaires (macrocellule et petites cellules) étudiées dans le chapitre précédent. Puis, nous utlisons les mêmes procédures de calcul des biais optimaux. Cependant, nous tentons d'optimiser une fonction objective combinée différente, qui est formée par la charge de la cellule de référence, la puissance de l'interférence mesurée par l'UE à partir de la cellule voisine et la différence entre le SINR mesuré par l'UE à partir de la cellule référente et la cellule voisine. De plus, contrairement au chapitre précédent où les biais sont utilisés dans l'association initiale des UEs aux cellules, ici, les biais sont utilisés pour améliorer la réassociation des utilisateurs aux femtocellules après une expérience de transfert, c'est-à-dire lorsque ces-derniers traversent une région

femtocellulaire et qu'ils sont forcés à changer leur BS de référence. Finalement, dans le chapitre précédent, les biais macrocellulaires et picocellulaires sont calculés indépendament et sont individuellement optimisés pour obtenir une association optimale des UEs aux BSs. Dans ce chapitre, les biais macrocellulaires et femtocellulaires sont entrelacés et combinés afin de former un biais de transfert optimal et injecté dans un nouveau règle de transfert.

En effet, ce chapitre est organisé comme suit. Dans la section 5.2, le modèle de système et des définitions sont données. Le problème rencontré par l'algorithme de transfert conventionnel est présenté et notre algorithme de transfert basé sur l'utilité est décrit dans la section 5.3. Dans la section 5.4, l'analyse de performance est fournie et les résultats numériques sont discutés. Le chapitre est conclu à la section 5.5.

5.2 Modèle du système

Dans cette section, nous décrivons le modèle du système et donnons plusieurs définitions ainsi que les notations utilisées dans le travail. La Figure 5.1 illustre la topologie du réseau utilisée pour simuler l'algorithme de transfert proposé et les algorithmes de comparaison.
Dans un réseau cellulaire, le transfert de l'UE peut se produire d'une femtocellule à une macrocellule, qui est un cas de transfert pouvant facilement être traité en adoptant les algorithmes conventionnels. D'un autre côté, on a le scénario d'un transfert de l'UE d'une macrocellule servante à une femtocellule, qui sera analysé et dans lequel nous nous concentrons dans ce chapitre. Les RSSs reçues par l'UE de la macrocellule et de la femtocellule à l'instant k, notés respectivement par $s_m(k)$ et $s_f(k)$, peuvent être exprimées comme dans (Moon, 2010; Xu, 2011), telles que:

$$\begin{aligned} s_m(k) &= P_{m,tx} - PL_m(k) - u_m(k) \\ s_f(k) &= P_{f,tx} - PL_f(k) - u_f(k) \end{aligned} \tag{5.1}$$

où $P_m(tx)$ et $P_f(tx)$ sont les valeurs de la puissance de transmission et $PL_m(k)$, $PL_f(k)$, les valeurs de la perte de trajet. Les fonctions $u_m(k)$ et $u_f(k)$ représentent l'ombrage log-normal avec une moyenne de zéro et des variances δ_m^2 et δ_f^2, respectivement. On assume que

$u_m(k)$et $u_f(k)$ sont indépendants l'un de l'autre et ont une fonction de corrélation avec une distance de corrélation d_0.

Une fonction fenêtre exponentielle qui est définie par $z(k) = (1/d_1)\exp(-kd_s/d_1)$ est appliquée sur $s_m(k)$ et $s_f(k)$ afin d'atténuer l'effet de la variation brusque des RSSs. d_s et d_1 représentent respectivement, les distances entre deux emplacements de mesures adjacents et la largeur de la fenêtre. Lorsque la fenêtre est appliquée aux RSSs dans (5.1), leurs expressions peuvent être redéfinies comme suit :

$$\begin{aligned} \bar{s}_m(k) &= z(k) * s_m(k) \\ \bar{s}_f(k) &= z(k) * s_f(k) \end{aligned} \tag{5.2}$$

En utilisant (Pollini, 1996; Xenakis, 2014), on exprime les variances de l'ombrage comme suit :

$$\begin{aligned} \sigma_{mw}^2 &= \left(d_0 \sigma_m^2\right)/\left(d_0 + d_1\right)) \\ \sigma_{fw}^2 &= \left(d_0 \sigma_f^2\right)/\left(d_0 + d_1\right) \end{aligned} \tag{5.3}$$

De plus, le coefficient de corrélation entre deux échantillons de RSSs est défini dans (Kumar, 1994; Moon, 2010; Xu, 2011; Zhang, 1996) tel que:

$$\rho_c = 1/d_0 - d_1 \left\{ d_0 \exp\left(\frac{-d_s}{d_0}\right) - d_1 \exp\left(\frac{-d_s}{d_1}\right) \right\} \tag{5.4}$$

5.3 Modèle proposé

5.3.1 Définition du problème rencontré dans le transfert intercellulaire

Le transfert intercellulaire consiste en une série de procédures de décision et de signalisations requises pour transférer en toute transparence, les connexions en cours d'un UE à partir de sa cellule de service actuelle vers une autre cellule. La partie décisionnelle d'un transfert est appelée phase de décision de transfert, tandis que la partie de signalisation est appelée phase d'exécution du transfert. Dans les réseaux cellulaires importants, la phase de décision de transfert est effectuée au niveau de la cellule de service et est basée sur des mesures de

qualité de signal fournies par l'UE (Sesia, 2009). La phase de décision de transfert est habituellement utilisée pour décharger des macrocellules hautement congestionnées et améliorer la qualité du signal reçu par les UEs mobiles. L'impact de la phase de décision du transfert est encore plus important en présence de femtocellules, en raison de la nature à courte portée des communications, de la disposition du réseau plus dense et de l'environnement radioélectrique à variation rapide.

Dans les réseaux homogènes classiques, les UEs utilisent généralement le même ensemble de paramètres de transfert, tels que, la marge d'hystérésis et le temps de déclenchement du transfert, dans l'ensemble du réseau. Cependant, pour les HetNets, l'utilisation du même ensemble de paramètres de transfert pour toutes les cellules et / ou pour tous les UEs peut dégrader les performances de mobilité (Xenakis, First Quarter 2014). Dans de tels cas, l'optimisation des paramètres de transfert spécifiques aux cellules est nécessaire dans HetNets.Dans cette section, nous décrivons les principales procédures de transfert pour les réseaux cellulaires et HetNets tels que définis dans le 3GPP.

5.3.1.1 Procédure conventionnelle de transfert dans un réseau cellulaire

La procédure conventionnelle de transfert de l'UE, d'une macrocellule vers une femtocellule dans un réseau cellulaire a été étudiée et défini dans (Pollini, 1996), tel que :

$$\begin{aligned} s_m(k) &< s_{m,th} \\ s_f(k) &> s_m(k) + \Delta \end{aligned} \tag{5.5}$$

Dans la condition ci-dessus, un UE, qui initialement est associé à une macrocellule, transfère sa connexion à une femtocellule voisine, lorsque la valeur de $s_m(k)$ baisse en-dessous d'un seuil et le signal reçu d'une femtocellule en lien descendant (c'est-à-dire, $s_f(k)$) est plus puissante que la valeur de $s_m(k)$ de la macrocellule plus une marge Δ, ou un biais, dans une intervalle temporelle définie ou temps de déclenchement (TTT). On définit Δ comme étant la marge d'hystérésis du transfert ou HHM de valeur positive, généralement utilisée pour l'atténuation de l'effet ping-pong du transfert. Due à la large asymétrie des puissances de transmission de la macrocellule et de la femtocellule, qui sont de $46\,\mathrm{dBm}$ et $23\,\mathrm{dBm}$, la

satisfaction de la condition (5.5) est plus complexe. Cette complexité survient plus particulièrement, lorsque la femtocellule est installée au centre ou dans la région interne de la macrocellule. Ainsi, la macrocellule a la première priorité en tant que BS cible de transfert bien que la dégradation du signal due aux murs soit considérée.

5.3.1.2 Procédure de transfert intercellulaire basée sur l'extension de la couverture cellulaire

La procédure de transfert CRE a été proposée dans (Xenakis, First Quarter 2014), où les conditions s'y reliant sont définies comme suit :

$$s_f(k) + w_f > s_m(k) + \Delta \tag{5.6}$$
$$s_m(k) > s_f(k) + w_f + \Delta$$

Les conditions (5.6) et (5.7) définissent respectivement, les procédures de déclenchement du transfert de l'UE, de la macrocellule vers la femtocellule, ainsi que de la femtocellule vers la macrocellule. Dans la méthode CRE, la couverture femtocellulaire est étendue, en ajoutant un biais virtuel w_f au signal pilote w_f reçu à partir de la femtocellule (en lien descendant). Néanmoins, w_f devrait être choisi adéquatement afin de profiter de l'efficacité de la technique d'extension de la couverture cellulaire. En effet, une valeur excessive du $w_f$accroîtra considérablement, l'interférence résultante au niveau des UEs des femtocellules à région étendue. De plus, une valeur non-considérable dew_f n'aura aucun, ou peu d'impact sur la performance globale, en termes d'équilibre de la charge et d'équité.

5.3.2 Conception de la fonction objective combinée (COF)

Tel qu'on l'a défini dans les contributions, nous concevons en premier lieu, une COF dénotée $F_{m(f)}$, qui nous permet de construire les fonctions d'utilité nécessaires pour le calcul des biais optimaux macrocellulaires et femtocellulaires. Nous supposons que $F_{m(f)}$ est formée par trois paramètres majeurs, tels que la charge de la cellule servante, la puissance de l'interférence mesurée à partir de la cellule voisine et le SINR mesuré par l'UE. La COF est décrite par l'équation ci-dessous :

Rapport-Gratuit.com

$$F_{m(f)} = w_{m(f)} \ln\left(\frac{\beta_{m,f}}{\Gamma + I_{m,f}}\right) \tag{5.7}$$

Où $\beta_{m(f)}$représente la charge de la macrocellule/femtocellule; $w_{m(f)}$est le poids de la COF qui sera exploité pour obtenir les biais; $I_{m,f}$représente la puissance de l'interférence et Γ est la différence entre le SINR mesuré de la macrocellule servante et de la femtocellule peut être définie par :

$$\Gamma = d_{mu}.y_m - d_{uf}.y_f \tag{5.8}$$

Où d_{mu} représente la distance séparant la macrocellule de l'UE; d_{uf}, la distance séparant l'UE de la femtocellule; y_m et y_f sont les SINRs mesurés par l'UE, respectivement, à partir de la macrocellule et la femtocellule. Notons que les définitions sur la charge, le SINR et les interférences sont données dans le chapitre précédent. Par la suite, en reprenant l'expression (5.8), nous concevons les fonctions d'utilité nous permettant de construire les équations pour calculer les biais macrocellulaires et femtocellulaires, qui sont par la suite introduit dans la politique de décision de transfert intercellulaire.

5.3.3 Fonction d'utilité de l'utilisateur de la macrocellule (MUE) et biais optimal $\hat{w}_m$ de la macrocellule

En reprenant et en manipulant les équations (4.24) à (4.30) du chapitre précédent, on peut obtenir le biais optimal de la macrocellule comme à l'équation (4.32), tel que :

$$\hat{w}_m = \frac{\left[\ln\left(\frac{\alpha_m}{\delta_m} - 1 - \sqrt{\left(\frac{\alpha_m}{\delta_m} - 1\right)^2 - 1}\right)\right]}{\alpha_m \ln(O_m)} \tag{5.9}$$

Où:

$$O_m = \frac{\beta_m}{\Gamma + I_m} \tag{5.10}$$

Dans (5.9), δ_m, α_m représentent respectivement, le paramètre de prix du MUE et le paramètre de contrôle de la fonction d'utilité totale à déterminer. Cependant, nous devons vérifier que $\alpha_m \ln(O_m) \geq 0$. Cette condition est respectée tant que le paramètre $\alpha_m \geq 0.3\delta_m$ et $O_m \geq 1$.

Pour ce faire, nous effectuons la simulation du système pour différentes valeurs de $\delta_m = \{2,3,4,5,6,7,8,9\}$. Par la suite, $\alpha_m \geq 0.3\delta_m$ est introduit dans (5.). Finalement, $\widehat{w}_m$ qui minimise la COF dans (5.7) est sélectionné.

5.3.4 Fonction d'utilité de l'utilisateur de la femtocellule (FUE) et biais optimal $\hat{w}_f$ de la femtocellule

Pareillement, en reprenant et en manipulant les équations (4.34) à (4.36) du chapitre précédent, on peut obtenir le biais optimal de la macrocellule comme à l'équation (4.37), tel que :

$$\hat{w}_f = \frac{\delta_f^{1/x-1}}{x \ln(O_f)} \tag{5.11}$$

Avec:

$$O_f = \frac{\beta_f}{\Gamma + I_f} \tag{5.12}$$

Dans (5.11), $\delta_f$représente le paramètre prix du FUE et x, le paramètre de contrôle de la fonction d'utilité totale à déterminer. Dans cette équation, nous devons vérifier que $ln(O_f) \geq 0$. Cette condition est remplie lorsque $O_f \geq 1$ et $\delta_f = \{2,4,6,8,10\}$, en supposant que $x = 0.7$. Ainsi, δ_f et x sont introduits dans (5.11). Finalement, $\widehat{w}_f$ qui minimise la COF dans (5.7) est sélectionné.

5.3.5 Description de l'algorithme de transfert intercellulaire proposé

L'idée principale du nouvel algorithme de décision de transfert basé sur l'utilité et la RSS, est d'ajouter des biais virtuels optimaux (à la macrocellule et à la femtocellule) à la politique standard de décision de transfert, à partir des équations (5.) et (5.). Pour ce faire, nous avons d'abord conçu notre fonction objective spéciale qui relève de trois paramètres majeurs liés à la QoS de l'UE, afin de maintenir la satisfaction de l'UE après une réassociation due à un transfert. Ensuite, la fonction objective combinée (COF) a été utilisée pour former des fonctions d'utilité pour les MUEs et les FUEs. Grâce à l'exploitation de ces fonctions d'utilité,

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

nous avons obtenu la valeur optimale des biais. L'incorporation des biais à la politique de transfert est énoncée par les équations ci-dessous:

$$\widehat{w}_f . s_f(k) > \widehat{w}_m . s_m(k) + \Delta \tag{5.13}$$

$$s_f(k) > \left(\frac{\widehat{w}_m}{\widehat{w}_f}\right) . s_m(k) + \Delta \tag{5.14}$$

$$s_f(k) > s_{opt}(k) . s_m(k) + \Delta \tag{5.15}$$

Où $s_{opt}(k) = \left(\frac{\widehat{w}_m}{\widehat{w}_f}\right) . s_m(k)$ et l'équation (5.15) est dérivée en exploitant (5.13) et (5.14).

Notre algorithme de décision sur le transfert est résumé dans le Algorithme 5.1 ci-dessous :

Algorithme 5.1 Algorithme de décision de transfert proposé

Si $s_f(k) > s_{f,th}$ et $s_f(k) > s_{f,opt} + \Delta$ Ou si $s_f(k) > s_{f,th}$ et $s_f(k) > s_m(k) + \Delta$ **UE se connecte à la femtocellule**
Si $s_f(k) > s_{f,th}$ et $s_f(k) < s_{opt}(k) + \Delta$ Ou si $s_f(k) < s_{f,th}$ et $s_f(k) < s_m(k) + \Delta$ **UE se connecte à la macrocellule**

5.3.6 Analyse de la performance de l'algorithme proposé

Dans cette section, l'analyse de la performance de notre algorithme de décision sur le transfert est effectuée et son efficacité est étudiée. Les métriques de performance utilisées pour l'analyse sont les probabilités d'assignation de l'UE à la macrocellule et à la femtocellule, dont les notations sont données respectivement par $P_m(k)$et $P_f(k)$. De plus, une métrique reliée à la probabilité de transfert, notée $P_h(k)$est utilisée. Les probabilités $P_m(k)$, $P_f(k)$ et $P_h(k)$ ont été analysées en détail dans (Kumar, 1994; Moon, 2010; Xu, 2011; Zhang, 1996) et ont été exprimées par les expressions ci-dessous :

$$
\begin{aligned}
P_m(k) &= P_m[k-1]\left(1-P_{f|m}[k]\right)+P_f[k-1]P_{m|f}[k] \\
P_f(k) &= P_m[k-1]P_{f|m}[k]+P_f[k-1]\left(1-P_{m|f}[k]\right) \\
P_h(k) &= P_m[k-1]P_{f|m}[k]+P_f[k-1]P_{m|f}[k]
\end{aligned}
\tag{5.16}
$$

où $P_{f|m}[k]$ et $P_{m|f}[k]$ représentent respectivement, la probabilité de transfert à partir d'une macrocellule vers une femtocellule et à partir d'une femtocellule vers une macrocellule. $P_{f|m}[k]$ et $P_{m|f}[k]$ peuvent être calculées en utilisant le concept de probabilité conditionnelle. Puis, les probabilités d'assignation $P_m(k)$ et $P_f(k)$ peuvent être déduites. Le nombre total de transferts est obtenu par la sommation de la probabilité de transfert de tous les UEs, il est dénoté par :

$$
N_h = \sum_k P_h(k) \tag{5.17}
$$

5.4 Résultats de simulation

5.4.1 Scénario de simulation

Afin d'évaluer l'algorithme proposé, la simulation est divisée en trois parties. En premier lieu, nous simulons notre méthode pour différentes valeurs de paramètres prix et contrôle $\delta_m \alpha_m$ (MUE, biais macrocellulaire) et δ_m, x (FUE, biais femtocellulaire) puis comparons les résultats à celui de l'algorithme conventionnel. Deuxièmement, les probabilités d'affectation à la macrocellule et la femtocellule seront validées. Finalement, le nombre de transferts dans différents cas est discuté sous certaines hypothèses. Les paramètres utilisés pour la simulation sont présentés dans le Tableau 5.1. En outre, un UE se déplace directement d'une macrocellule à une femtocellule avec une vitesse égale à $1\ \mathrm{m/s}$ et mesure la RSS qu'il reçoit de la macrocellule et de la femtocellule, à toutes les 1s. En fonction de la RSS mesurée, l'algorithme de transfert proposé (Algorithme 5.1) est déclenché.

Tableau 5.1 Simulation du nouvel algorithme de transfert

Paramètres	**Macrocellule**	**Femtocellule**
Période de filtrage	d0 = 20m	
Distance de corrélation	d1 = 30m	
Distance d'échantillonnage	ds = 1m	
HHM	$\Delta = 1.25$ dB	
Seuil du RSS	$s_{m,th} = 108$ dBm	$s_{f,th} = -72$ dBm
Puissance de transmission	$P_{m,tx} = 43$ dBm	$P_{f,tx} = 21$ dBm
Modèle de la perte du trajet	$PL_m = 28+35 \log_{10}(d)$	$PL_f = 38.5 + 20 \log_{10}(d)$
Ombrage	$\sigma_m = 8$ dB	$\sigma_f = 6$ dB

5.4.2 Résultats numériques

Dans cette section, nous apportons une comparaison de performance de notre nouvel algorithme de transfert par rapport aux algorithmes conventionnel et RSSs combinées présentés dans la littérature, en tenant compte des paramètres de performance mentionnés dans les sections précédentes (Tableau 5.1). La Figure 5.2 montre la valeur de la RSS de l'UE à partir de la femtocellule. UE est situé à une distance k de la femtocellule et la distance séparant la femtocellule et la macrocellule équivaut à 200 m. Ici, nous comparons la méthode proposée à la méthode conventionnelle où aucun biais n'est ajouté à la puissance reçue de la femtocellule. Pour la méthode proposée, nous prenons la valeur de $\widehat{w}_f$ dans (5.11) résultant des valeurs des paramètres $\delta_f = 2$ et $x = 0.7$ et $\delta_f = 10$ et $x = 0.7$.

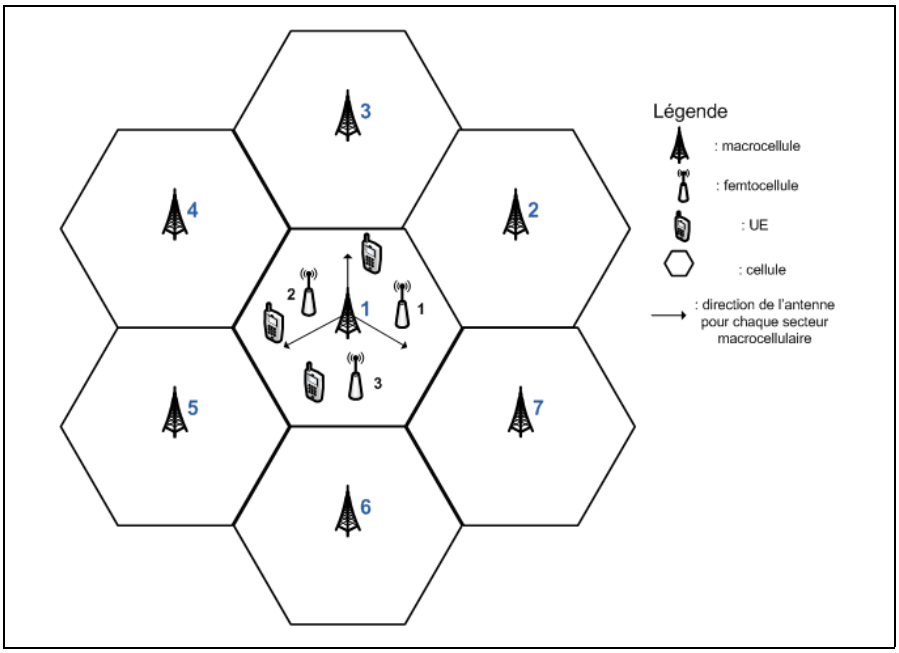

Figure 5.1 Illustration d'un réseau hexagonal wrap-around de cellules sectorisées avec l'orientation de chaque antenne du secteur

Comme on peut le voir sur la figure, pour la méthode conventionnelle, la RSS reçue de la femtocellule est inférieure à celle de la méthode proposée. Notre objectif est d'améliorer la RSS de l'UE à partir de la femtocellule, en ajoutant un biais, de manière à inciter l'UE à être déchargé vers la femtocellule voisine, bien que la RSS provenant de la macrocellule servante soit en réalité plus forte que celle de la femtocellule. Ensuite, en appliquant cette technique d'expansion de la couverture cellulaire, une amélioration significative de la RSS est obtenue pour la méthode proposée, en particulier lorsque les paramètres $\delta_f = 10$ et $x = 0.7$. Toutefois, ces paramètres d'ajustement (δ_f et x) doivent être choisis de manière appropriée pour éviter un déchargement excessif vers la femtocellule alors que l'exigence en QoS de l'UE peut ne pas être satisfaite. Ce problème est résolu partiellement par l'utilisation de notre COF dans (5.7) qui tient compte du critère de QoS de l'UE. De plus, (5.7) est minimisée lorsque $\delta_f = 10$, ce qui est aussi notre condition dans le choix de δ_f.

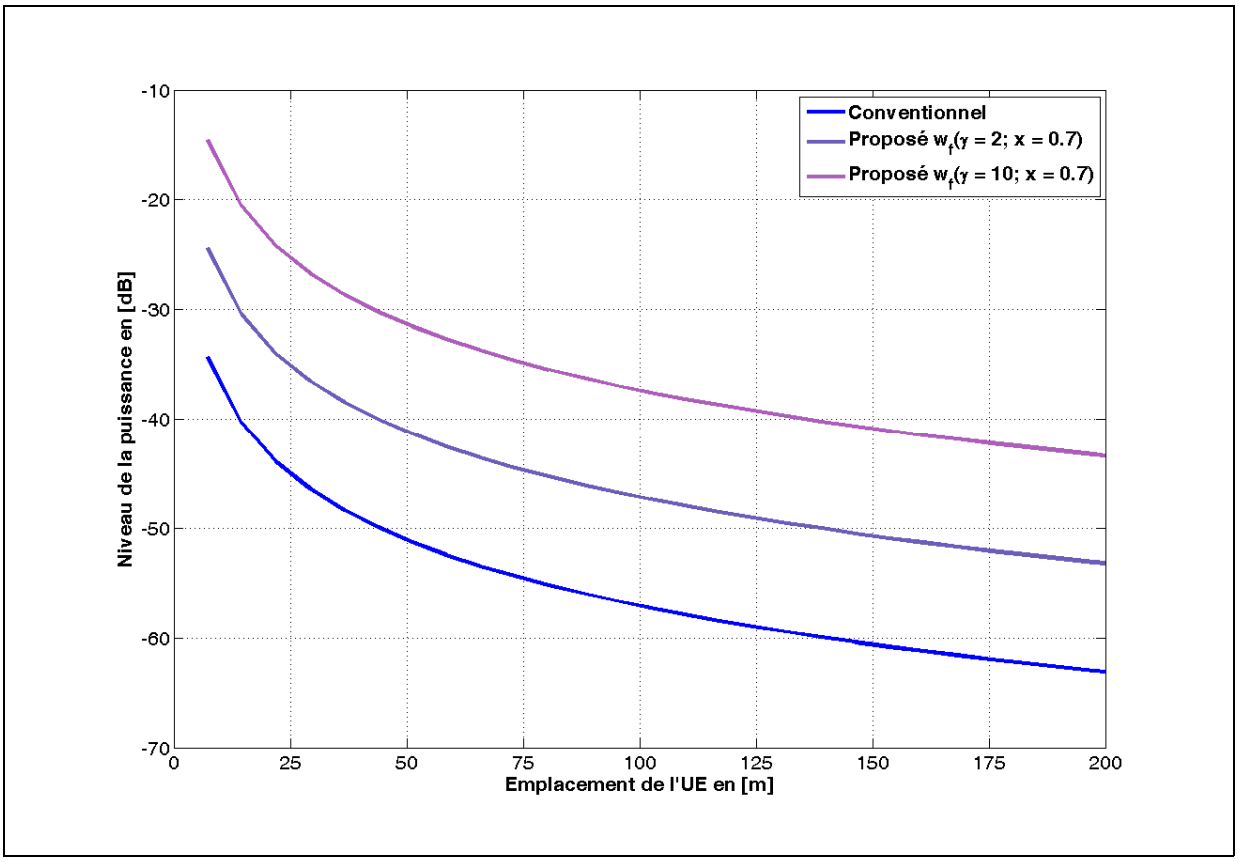

Figure 5.2 RSS à partir de la femtocellule vs. emplacement de l'UE

Dans la Figure 5.3, la valeur de la RSS mesurée par l'UE à partir de la macrocellule est montrée. UE est situé à une distance k de la macrocellule, la même distance femtocellule-macrocellule est conservée (c'est-à-dire, 200m) et la comparaison sur la RSS de l'UE obtenue par la méthode conventionnelle et par la méthode d'utilité (proposée) est étudiée. Pour notre méthode basée sur l'utilité, premièrement, nous supposons que les paramètres $\delta_m = 2$ et $\alpha_m \geq 0.3\delta_m$. Deuxièmement, $\delta_m = 9$ et $\alpha_m \geq 0.3\delta_m$. Contrairement à l'objectif précédent (Figure 5.2), nous voulons que l'UE reçoive une intensité de signal plus faible à partir de la macrocellule. Cela pourrait être obtenu en ajoutant un biais négatif à la RSS de l'UE, reçue à partir de la macrocellule. Le résultat le plus satisfaisant est obtenu pour $\delta_m = 2$ et lorsque$\alpha_m \geq 0.3\delta_m$. Ces valeurs de paramètres minimisent également le COF. Finalement, on observe sur les et, que la puissance du signal reçu de la BS de service diminue lorsque l'emplacement de l'UE par rapport à sa BS de service augmente.

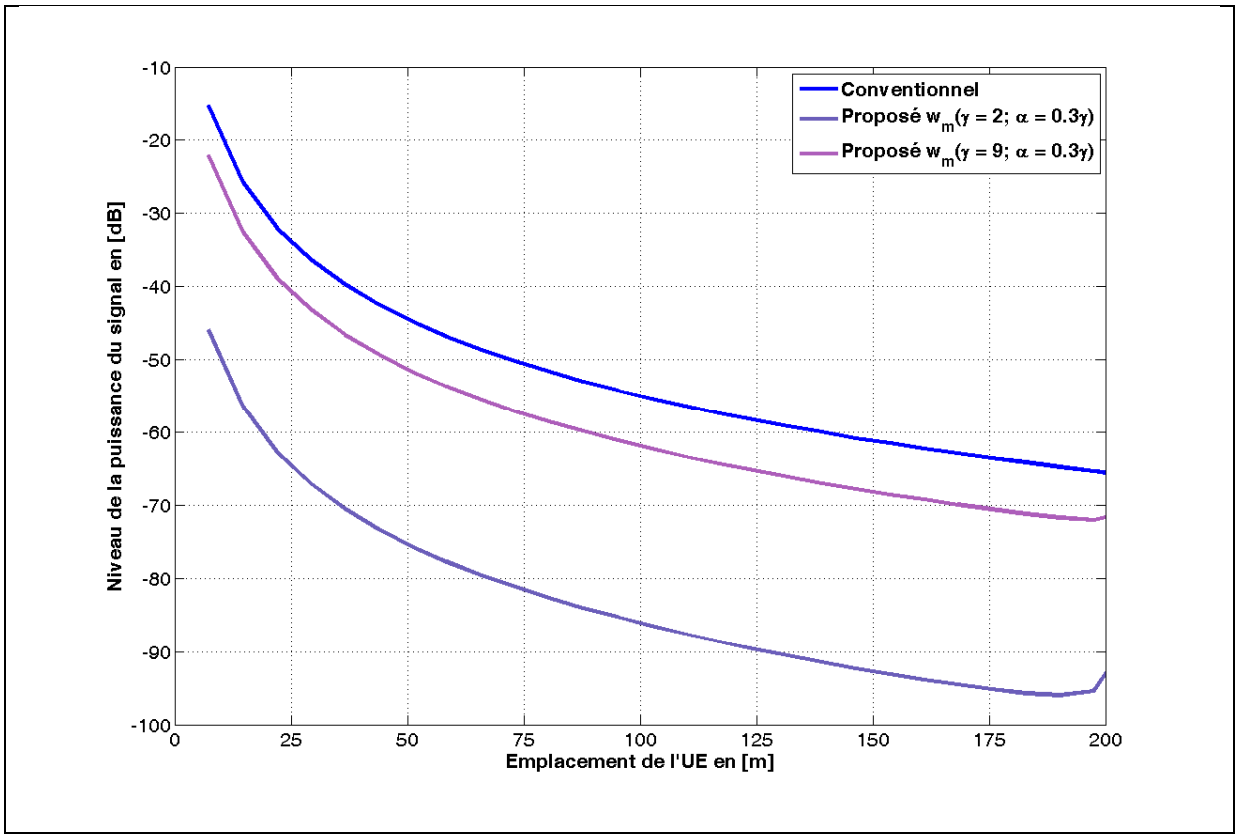

Figure 5.3 RSS à partir de la macrocellule vs. emplacement de l'UE

La Figure 5.4 montre la COF résultante pour chaque valeur de biais de la femtocellule obtenue à partir de la combinaison optimale de paramètres $\delta_f = \{2,4,6,8,10\}$ et $x = 0.7$. La distance entre la macrocellule et la femtocellule est supposée être de 200 m. Dans cette figure, nous voulons montrer l'effet d'un biais optimal $\widehat{w}_f$donné sur la valeur de l'utilité. Rappelons que $\widehat{w}_f$ est obtenu en introduisant $\delta_f$et x dans (5.11), l'utilité est obtenue en introduisant $\widehat{w}_f$dans (5.7). Comme nous pouvons le constater, l'objectif de minimiser la COF est obtenu avec $\widehat{w}_f = 9 - 10\ dB$, résultant de $\delta_f = 2$ et $x = 0.7$. La valeur de biais est $\widehat{w}_f = 19\ dB$ qui est lié à $\delta_f = 10$ et $x = 0.7$ ne minimise pas (5.7).

À la Figure 5.5, un résultat sur la COF résultante pour chaque valeur de biais $\widehat{w}_m$ de la macrocellule obtenu à partir d'une combinaison optimale de paramètres $\delta_m = \{2,3,4,5,6,7,8,9\}$ et $\alpha_m \geq 0.3\delta_m$ est présenté. Nous observons dans la figure, que la COF dans (5.7) est minimisé lorsque $\widehat{w}_m = -28\ dB$, qui est obtenu avec $\delta_m = 2$ et $\alpha_m \geq 0.3\delta_m$.

En réalité, en sélectionnant la valeur du biais résultant de la combinaison de δ_m et x et δ_m et α_m qui minimise (5.7), nous sommes certains que la décharge de l'UE ne surcharge pas la cellule cible. De plus, puisque la COF tient compte de l'interférence maximale tolérable par l'UE transféré, son SINR cible sera atteint.

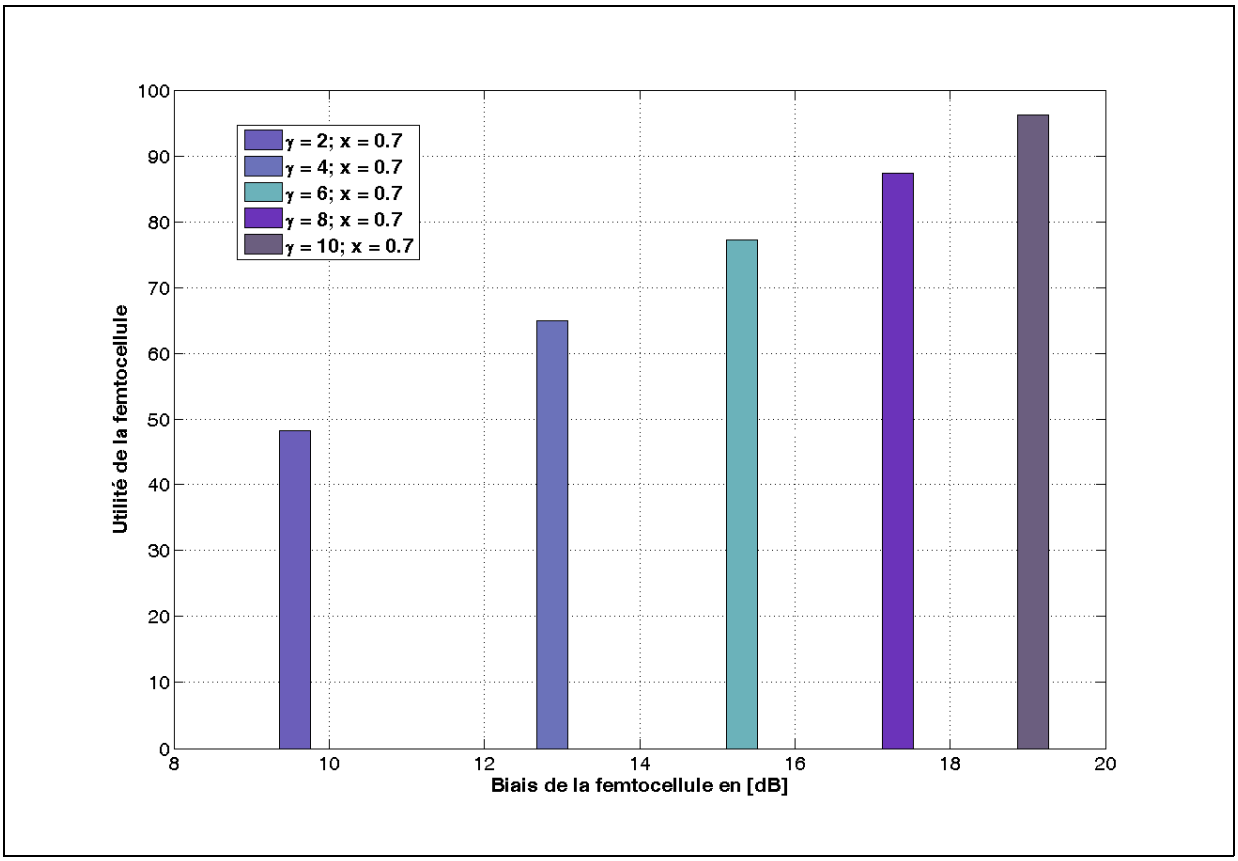

Figure 5.4 COF vs. biais des femtocellules

À partir de la Figure 5.6, nous supposons que $\widehat{w}_m = -28\,dB$ et $\widehat{w}_p = 9.5\,dB$ pour la méthode proposée. En outre, dans les résultats restants, nous proposons une comparaison de notre méthode avec les méthodes conventionnelle et RSSs combinées. La Figure 5.6 montre le résultat, en termes de probabilité d'affectation de l'UE à la femtocellule, en tenant compte de l'emplacement de l'UE par rapport à la macrocellule. La distance $d_{M-F} = 200m$ et HHM $\Delta = 0$. Pour la méthode conventionnelle, l'événement de transfert se produit à peine puisque la RSS reçue de la macrocellule est trop forte comparée à celle de la femtocellule.

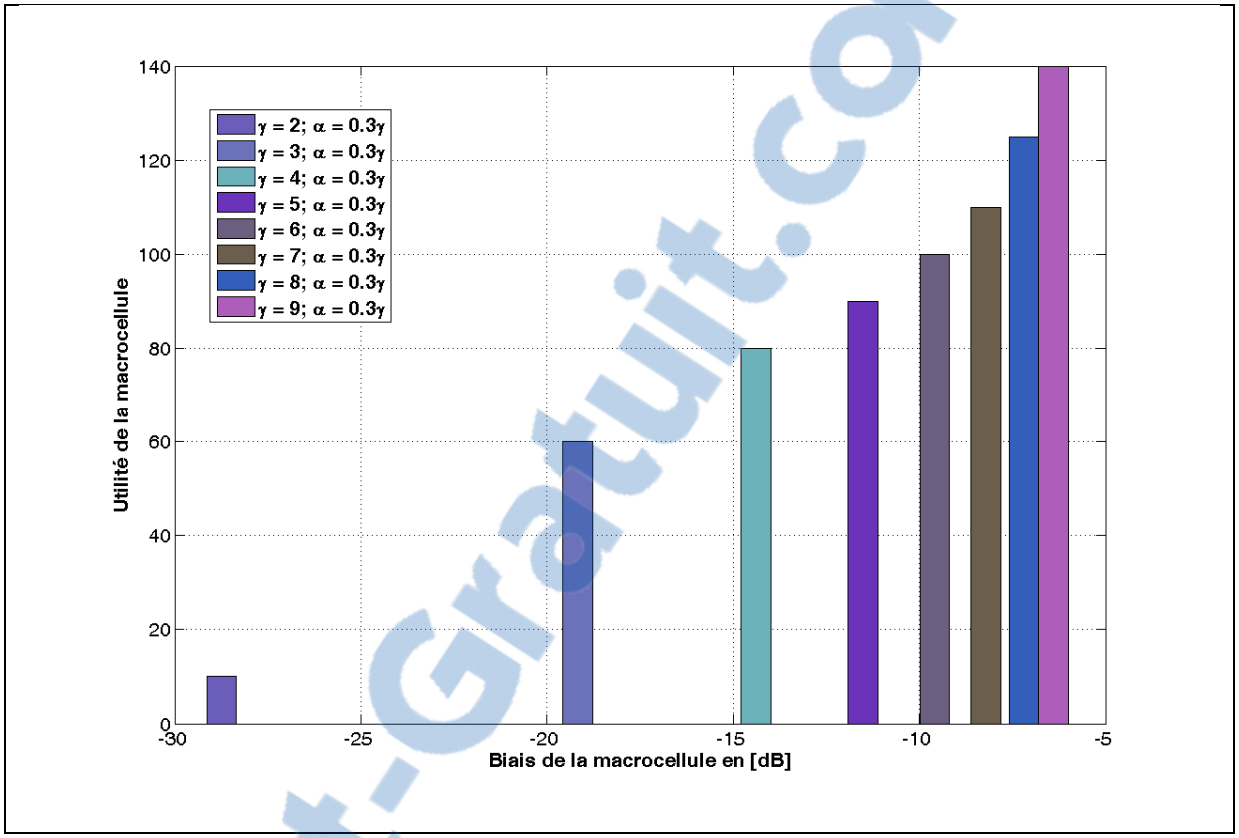

Figure 5.5 COF vs. biais des macrocellules

Ainsi, l'UE a tendance à maintenir sa connexion avec sa macrocellule de service et ne prévoit aucun transfert vers une autre BS. C'est un scénario qui se produit plus particulièrement lorsque la femtocellule est installée dans la zone centrale ou interne de la macrocellule. La probabilité d'affectation à la femtocellule dans le cas du conventionnel est vraiment faible lorsque l'UE est situé entre 0 et 125 m, $P_f(k)$ varie de 0 à 0,3. La valeur de $P_f(k)$ augmente lentement lorsque l'UE est à 150 m de la macrocellule, c'est-à-dire quand il se trouve à 50 m de la femtocellule, $P_f(k) = 0.5$. Une légère amélioration est observée pour la méthode RSSs combinées, avec un paramètre de combinaison égal à 0.9. Cependant, le meilleur résultat est obtenu avec notre algorithme. Comme on peut le voir sur la figure, $P_f(k)$augmente rapidement. Bien que l'UE soit situé près de la macrocellule, par exemple à 60 m, $P_f(k) = 0.6$. Puis $P_f(k) = 0.9$ lorsque l'UE se situe à 100 m de la macrocellule. Cette amélioration

Rapport-Gratuit.com

de la performance est due au biais spécial $\left(\frac{\widehat{w}_m}{\widehat{w}_f}\right)$ introduit dans (5.20), qui compense la grande asymétrie entre $P_{m,tx} = 43$ dBm et $P_{f,tx} = 23$ dBm. Ainsi, plus de déchargement vers la femtocellule est permis.

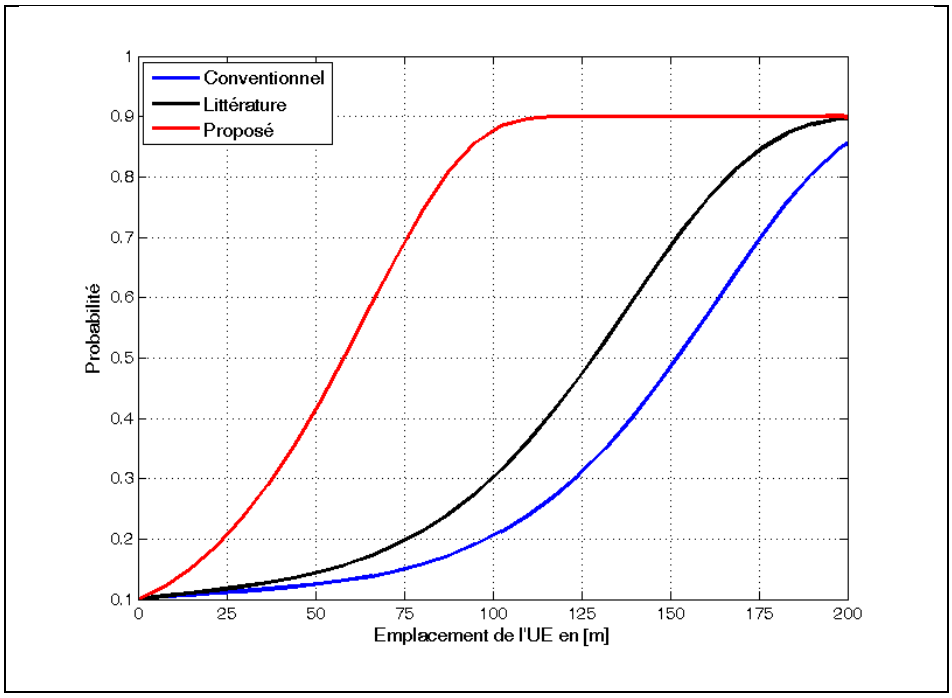

Figure 5.6 Probabilité d'assignation de l'UE à la femtocellule vs. emplacement de l'UE

À la Figure 5.7, la probabilité d'affectation de l'UE à la macrocellule par rapport à son emplacement à partir de la macrocellule est affichée. La distance $d_{M-F} = 200m$ et HHM $\Delta = 0$. Pour la méthode proposée, la probabilité d'association à la macrocellule est vraiment élevée lorsqu'UE est situé près de la macrocellule (de 0 à 50m), puis $P_m(k)$ baisse considérablement alors que l'UE approche la femtocellule (de 60m à 200m). Les méthodes conventionnelles et RSSs combinées ne présentent pas le même résultat que la méthode proposée. En effet, la procédure de transfert vers la macrocellule est facilement et est souvent déclenchée et $P_m(k)$ reste élevé même si la distance entre l'UE et la macrocellule augmente.

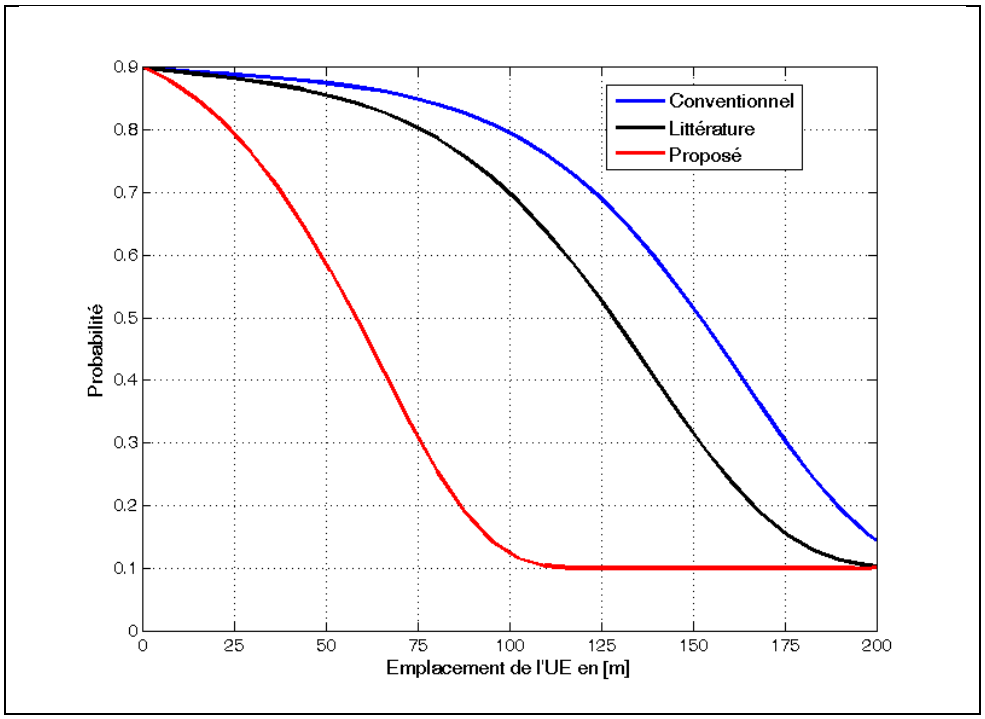

Figure 5.7 Probabilité d'assignation de l'UE à la macrocellule vs. emplacement de l'UE

Le dernier résultat indiqué à la Figure 5.8 présente le nombre attendu de transferts de l'UE de la macrocellule vers la femtocellule alors que d_{M-F} varie de 100m à 450m. En outre, HHM est supposé être $\Delta = 0/1.5\ dB$. Si nous faisons attention à la figure, on peut observer que la méthode conventionnelle avec $\Delta = 0$ présente un nombre inférieur de transferts par rapport aux méthodes de références. Cela s'explique par le fait que pratiquement aucun transfert ne se produit avec la méthode conventionnelle et la plupart du temps, UE a tendance à se connecter à la macrocellule. Pour la méthode RSSs combinées avec $\Delta = 0$, le nombre de transferts passe de 8 (à $d_{M-F} = 100m$) à 2 (à $d_{M-F} = 200m$). On a un nombre de transfert presque identique à celui obtenu par la méthode conventionnelle à partir de $d_{M-F} = 200m$. Ce comportement est dû au paramètre de combinaison de RSSs provenant des macrocellules et des femtocellules. Enfin, nous observons pour notre méthode avec $\Delta = 0$, que le transfert est déclenché plus régulièrement. Cependant, lors de l'ajout d'un HHM de $\Delta = 1.5\ dB$, le nombre de transferts diminue par rapport à celui obtenu avec $\Delta = 0$, tout en conservant les mêmes gains d'assignation. Le nombre de transferts est deux fois plus élevé comparé à la

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

méthode conventionnelle et à certains points, moins de transferts, comparé à la méthode RSSs combinées. De toute évidence, il existe un compromis entre la probabilité d'assignation à la femtocellule et le nombre de transferts.

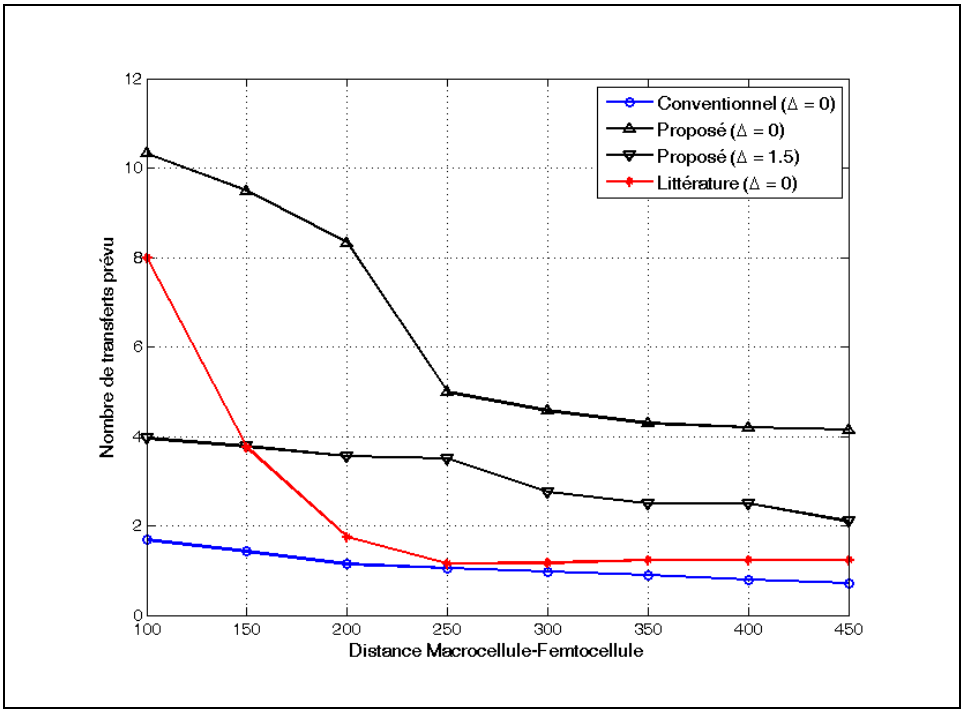

Figure 5.8 Nombre de transferts vs distance macrocellule-femtocellule

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une nouvelle politique de décision de transfert pour un HetNet à deux niveaux. La stratégie proposée est basée sur de nouvelles fonctions d'utilité qui, apparemment, n'ont pas encore été exploitées pour la conception d'un algorithme de décision de transfert dans HetNets. Ces fonctions d'utilité permettent le calcul des biais optimaux, du côté de la macrocellule et de la femtocellule, qui sont introduits dans la politique de décision de transfert afin de permettre une plus grande décharge des MUEs vers les femtocellules. Finalement, nous avons illustré par des simulations au niveau du système, que l'algorithme suggéré peut améliorer la probabilité d'affectation à la femtocellule tout en

maintenant un nombre satisfaisant de transferts par rapport aux méthodes conventionnelles étudiées dans la littérature.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au début de cet ouvrage, nous avons discuté des principales difficultés rencontrées dans les réseaux cellulaires d'aujourd'hui, notament la sélection optimale de la BS avec qui un utilisateur va s'associer et recevoir les services dont il demande. Selon plusieurs recherches et à partir de notre propre analyse, on constate que l'association d'utlisateurs devient de plus en plus complèxe avec l'exploitation de l'hétérogéneité du réseau. En effet, dans les HetNets, l'interférence perçue par les utilisateurs devient plus important lorsqu'ils sont connectés aux petites cellules puisqu'ils sont situés proches d'une forte source d'interférence. D'un autre côté, la disparité de la puissance de transmission entre les macrocellules et les petites cellules engendre un déséquilibrage de la charge considérable. Puis, avec la présence des femtocellules dans le réseau, le transfert ou la réassociation de l'UE devient plus élaboré lorsque ce-dernier traverse une région femtocellulaire. Ainsi, il est primordial de trouver des techniques adéquates d'association permettant l'amélioration des trois facteurs surmentionnés, ce qui est l'objectif principal de cette thèse.

Face au problème d'équilibrage de la charge engendré par la sélection cellulaire dans HetNets, nous proposons en premier lieu, une technique dynamique d'extension de la couverture picocellulaire. De plus une nouvelle technique d'association basée sur le gain en équité a été proposé dans le premier volet. Les algorithmes proposés étant des heuristiques, ils sont simples à concevoir et à implémenter et les résultats obtenus satisfont les contraintes qu'on a posés, toutefois, aucune optimalité n'a été garantie.

Nous avons par la suite développé dans le deuxième volet, une technique d'extension de couverture picocellulaire de façon à obtenir une extension coordonnée optimale où tous les types de cellules du HetNet calcule leur biais d'extension, via une fonction objective spéciale qui tient compte des paramètres reliés à la QoS de l'UE, la charge de la cellule et l'interférence mesurée par l'UE. Contrairement aux premières méthodes heuristiques, la deuxième méthode est analytique et optimisée. Ainsi, la complexité de conception et d'implémentation est plus importante. Cependant, la sélection appropriée des valeurs des

paramètres pourrait diminuer considérablement le coût de calcul engendré par les calculs des biais optimaux.

Dans le troisième volet, nous avons proposé une solution de transfert pour améliorer l'expérience de l'utilisateur lorsqu'il traverse une région femtocellulaire. La méthode est basée sur des fonctions d'utilités utilisées pour obtenir les biais de transferts et incorporées dans les politiques de décision de *handover*. Cette troisième méthode nous donne de résultats promettants, néanmoins nous considérons que l'utilisateur se déplace à une vitesse moyenne constante.

À la lumière des résultats obtenus dans ce travail, nous pouvons dire que notre objectif a été atteint si l'on se fie aux métriques dont nous voulions exhiber la performance. En effet, nous voulions montrer que nos techniques améliorent l'indice de l'égalisation de la charge des cellules, l'homogénéité de la distribution des utilisateurs dans le réseau, la distribution de SINR entre les utilisateurs, le débit réalisable de l'utilisateur et le nombre de transferts vers la femtocellule. Bien que nous soyons satisfaits de notre contribution, plusieurs améliorations peuvent être apportées à ce travail. Comme améliorations, nous pouvons par exemple, mettre à niveau notre technique de transfert pour supporter la haute mobilité des utilisateurs. De plus, nous pouvons étendre notre analyse de sélection cellulaire pour un réseau dense où les interférences *cross-tier* et *co-tier* seraient plus importantes.

Ainsi, nous étendons nos études d'association d'utilisateurs et d'équilibrage de la charge pour un réseau hétérogène où l'ultra-densification du réseau et le système d'antennes multiple (dit MIMO, de l'anglais *Multiple-Input Multiple-Output*) massif sont considérés. Ces deux points étant considérés comme des facteurs majeurs de la 5G car ils promettent d'énormes gains de capacité en exploitant les bénéfices de proximité, de spectre et de réutilisation spatiale (Liu, Second quarter 2016). Les deux approches, notament, l'ultra-densification du réseau et le MIMO massif sont basées sur l'augmentation du nombre d'éléments d'accès par utilisateur, soit en déployant plus de nœuds d'accès sur une zone, soit en augmentant le nombre d'éléments d'antenne par nœud d'accès. Du point de vue du réseau,

le problème du choix du meilleur nœud d'accès pour chaque utilisateur, généralement appelé association d'utilisateurs, est très complexe dans les réseaux ultra-denses (UDN) en raison du déploiement aléatoire de la topologie et des variations significatives nœuds d'accès. Le problème devient plus important quand un MIMO massif entre en jeu, puisque la présence d'éléments d'antenne excédentaires par nœud d'accès nécessite une exploitation optimale des degrés de liberté spatiaux disponibles.

Dans le domaine des réseaux ultra-denses, plusieurs travaux innovateurs ont été effectués. (Gupta, 2014) modélisent et analysent des réseaux HetNets avec plusieurs antennes BSs, qui peuvent différer en termes de puissance d'émission, de densité de déploiement, de nombre d'antennes d'émission, de nombre d'UEs desservis, de systèmes de transmission et d'exposant de perte de trajet. Ils montrent que les règles de sélection cellulaire dans les HetNets multi-antennes peuvent diverger considérablement des HetNets à antenne unique en raison des différences dans les systèmes de transmission multi-antennes à travers les différentes cellules. Ils montrent également que l'ajout d'un biais à la puissance reçue à partir d'une cellule donnée lors de la sélection cellulaire donne une approximation proche de l'optimal. Enfin, les auteurs concluent que les HetNets à antennes multiples peuvent équilibrer la charge de manière plus naturelle entre les cellules sous certains régimes par rapport aux HetNets à antenne unique. D'un autre côté, (Bethanabhotla, 2014) se concentre sur le problème d'équilibrage de la charge dans les réseaux multi-niveaux en présence de MIMO massif au niveau des BSs. Ils montrent que les propriétés distinctes du MIMO massif peuvent être exploitées et être utilisées pour concevoir des méthodes convenables d'équilibrage de charge et des algorithmes de planification de l'UE à chaque BS qui permettent d'atteindre des performances d'équilibrage de charge presque optimal dans tout le réseau.

Quant à (Xu, 2017), le problème de l'association d'UEs dans un HetNet avec des MIMO massifs et des petites cellules est étudié. Dans leur configuration, les BSs macrocellulaires sont équipées d'un MIMO massif et les BSs picocellulaires sont équipées de MIMO réguliers. Les auteurs développent des algorithmes optimaux centralisés d'association d'UEs en tenant compte de divers objectifs tels que la maximisation du débit, de l'équité proportionnelle, de

l'association d'UEs ainsi que de l'allocation des ressources. Ensuite, les auteurs modélisent le des algorithmes distribués d'association d'UEs sous forme de jeu répété avec une convergence prouvée à l'équilibre de Nash. Enfin, ils montrent l'efficacité de ces méthodes optimales par rapport à plusieurs algorithmes heuristiques, grâce à des simulations. (Gotsis, 2015) formule le problème d'association des UEs pour maximiser le débit sur un réseau MIMO massif ultra-dense. Les auteurs montrent que ce problème est intrinsèquement complexe pour un réseau de taille normale et proposent une reformulation exacte ayant une forme plausible qui permet d'obtenir une solution globale optimale avec une complexité raisonnable. Ils appliquent le modèle d'optimisation transformé pour acquérir les associations optimales et les niveaux de performances atteints pour une configuration de réseau considérée par le 3GPP. Enfin, les auteurs quantifient l'impact de la densification et de l'augmentation de la taille du MIMO massif dans les futurs réseaux. De plus, ils explorent la stratégie optimale pour le déploiement d'une quantité donnée d'éléments d'antennes à travers le réseau, à savoir, la concentration des éléments pour un nombre limité de nœuds d'accès ou la distribution des éléments à un plus grand nombre de nœuds d'accès.

Dans ce travail, notre objectif est de trouver une association optimale équilibrée entre un UE et un nœud d'antenne (AN) dans un réseau HetNet ultra-dense où les cellules diffèrent en termes de nombre d'antennes de transmission et de nombre d'UEs servis dans chaque bloc de ressources. Plus précisément, nous concevons de nouvelles techniques optimisées pour une association UE-AN exclusive dans un UDN. En outre, nous proposons une association fractionnée d'un UE à plusieurs ANs par le biais de nouvelles méthodes de regroupement d'Ans. Par la suite, une nouvelle technique de sélection du meilleur groupe d'ANs atteignant l'optimalité de Pareto est proposée en effectuant une optimisation à objectifs multiples. Les techniques d'association UE-AN exclusive et fractionnelle améliorent l'équilibrage de charge dans un UDN et augmentent la satisfaction de l'UE en termes de ressources allouées. En conséquence, il y aura une augmentation significative du débit de l'UE et du débit global du réseau par rapport aux méthodes proposées dans la littérature.

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

3GPP. (2010). Further advancements for E-ULTRA physical layer aspects (Vol. TR 36.814).

3GPP. (2011). Handover procedures (Vol. TS 23.009).

3GPP. (2012). Mobility enhancements in heterogeneous networks (Vol. TR 36.839).

36.214, T. (2011). *Physical layer; Measurements*. Retrieved from.

36.331, T. (2011). *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification*. Retrieved from.

36.331, T. (2011). *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification*. Retrieved from.

36.331, T. (2011). *Radio Resource Control; Protocol Specification*. Retrieved from.

36.839, T. (2012). *3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Mobility enhancements in heterogeneous networks* Retrieved from.

Ahinoda, A. A., & Yacoub, M. D. (1997). Combined techniques for channel allocation algorithms in mobile radio systems. *IEE Proceedings - Communications, 144*(3), 205-210. Retrieved from.

Anas, M., Calabrese, F. D., Ostling, P.-E., Pedersen, K. I., & Mogensen, P. E. (2007). *Performance Analysis of Handover Measurements and Layer 3 Filtering for Utran LTE*. Paper presented at the 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Athens, Greece.

Andrews, J., Singh, S., Ye, Q., Lin, X., & Dhillon, H. S. (2014). An Overview of Load Balancing in HetNets: Old Myths and Open Problems. *IEEE Wireless Communications, 21*(2), p.p. 18-25.

Andrews, J. G., Claussen, H., Dohler, M., Rangan, S., & Reed, M. C. (2012). Femtocells: Past, Present, and Future. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 30*(3), p.p. 497-508.

Araujo, L. P., & De Marca, J. R. B. (1998). *A comparative analysis of paging and location update strategies for PCS networks*. Paper presented at the IEEE International Conference on Communications (ICC), Atlanta, Georgia, USA.

Rapport-Gratuit.com

Aryafar, E., Keshavarz-Haddad, A., Wang, M., & Chiang, M. (2013). *RAT selection games in HetNets*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM), Turin, Italy.

Auer, P., Cesa-Bianchi, N., & Fischer, P. (20152). Finite time analysis for the multiarmed bandit problem. *Machine Learning, 47*, p.p. 235-256.

Badic, B., O'Farrrell, T., Loskot, P., & He, J. (2009). *Energy Efficient Radio Access Architectures for Green Radio: Large versus Small Cell Size Deployment*. Paper presented at the IEEE 70th Vehicular Technology Conference (VTC), Anchorage, Alaska, USA.

Barbera, S., Michaelsen, P. H., Saily, M., & Pedersen, K. (2012). *Mobility Performance of LTE Co-Channel Deployment of Macro and Pico Cells*. Paper presented at the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Shanghai, China.

Becvar, Z., & Mach, P. (2010). *Adaptive Hysteresis Margin for Handover in Femtocell Networks*. Paper presented at the IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Communications, Valencia, Spain.

Bejerano, Y., & Han, S. J. (2009). Cell breathing techniques for load balancing in wireless LANs. *IEEE Transactions on Mobile Computing, 8*(6), p.p. 735–749.

Bejerano, Y., Han, S.-J., & Li, L. (2007). Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Association Control. *IEEE/ACM Transactions On Networking, 15*(3), p.p. 560-573.

Bethanabhotla, D., Bursalioglu, O. Y., Papadopoulos, H. C., & Caire, G. (2014). *User Association and Load Balancing for Cellular Massive MIMO*. Paper presented at the IEEE Information Theory and Applications Workshop (ITA), San Diego, CA, USA.

Bou Saleh, A., Bulakci, Ö., Redana, S., Raaf, B., & Hämäläinen, J. (2010, 26-30 Sept. 2010). *Enhancing LTE-advanced relay deployments via Biasing in cell selection and handover decision.* Paper presented at the 21st Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Instanbul, Turkey.

Boyd, S. P., & Vandenberghe, L. (2004). *Convex optimization*.

Bu, T., Li, L., & Ramjee, R. (2006). *Generalized Proportional Fair Scheduling in Third Generation Wireless Data Networks*. Paper presented at the Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM), Barcelona, Spain.

Cavalcanti, D., Agrawal, D., & Cordeiro, C. (2005). Issues in integrating cellular networks WLANs, AND MANETs: a futuristic heterogeneous wireless network. *IEEE Wireless Communications, 12,* p.p. 1536-1284.

Chandrasekhar, V., Andrews, J. G., & Gatherer, A. (2008). Femtocell Networks: A Survey. *IEEE Communication Magazines, 46*(9), p.p. 59-67.

Chen, X., & Hu, R. Q. (2012). *Joint uplink and downlink optimal mobile association in a wireless heterogeneous network.* Paper presented at the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), California, USA.

Cho, S.-r., & Choi, W. (2013). Energy-Efficient Repulsive Cell Activation for Heterogeneous Cellular Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 31*(5), p.p. 870-882.

Chung, J. C., Po, C. H., & Tian, T. S. (1996). *A Channel Borrowing Scheme in a Cellular Radio System with Guard Channels and Finite Queues*. Paper presented at the IEEE International Conference on Communications Dallas, TX, USA.

Cimini, L. J., Foschini, G. J., I, C.-L., & Miljanic, Z. (1994). Call Blocking Performance of Distributed Algorithms for Dynamic Channel Allocation. *IEEE Transactions on Communications, 42*(8), p.p. 2600-2607.

Corroy, S., Falconetti, L., & Mathar, R. (2012). *Dynamic cell association for downlink sum rate maximization in multi-cell heterogeneous networks*. Paper presented at the IEEE International Conference in Communications, Ottawa, ON, Canada.

Damnjanovic, A., Montojo, J., Wei, Y., Ji, T., Luo, T., Vajapeyam, M., . . . Malladi, D. (2011). A survey on 3GPP heterogeneous networks. *IEEE Wireless Communications, 18*(3), p.p. 10-21.

Das, S., Viswanathan, H., & Rittenhouse, G. (2003). *Dynamic load balancing through coordinated scheduling in packet data systems*. Paper presented at the 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies San Francisco, CA, USA.

Das, S. K., Sen, S. K., & Jayaram, R. (1997). A dynamic load balancing strategy for channel assignment using selective borrowing in cellular mobile environment. *Wireless Networks, 3*(5), p.p. 333-347.

Das, S. K., Sen, S. K., & Jayaram, R. (1997). *A Structured Channel Borrowing Scheme for Dynamic Load Balancing in Cellular Networks*. Paper presented at the Proceedings of the 17th International Conference on Distributed Computing Systems, Baltimore, MD, USA, USA.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Dhillon, H. S., Ganti, R. K., Baccelli, F., & Andrews, J. G. (2012). Modeling and Analysis of K-Tier Downlink Heterogeneous Cellular Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 30*(3), p.p. 550-560.

E. Stevens-Navarro, Y. L., and V. Wong. (2008). An MDP-based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 57*(2), p.p. 1243-1254.

E., Y., & Tonguz, O. K. (2004). Dynamic load balancing and sharing performance of integrated wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 22*(5), p.p. 862-872.

Eklundh, B. (1986). Channel utilization and blocking probability in a cellular mobile telephone system with directed retry. *IEEE Transactions on Communications, 34*(4), p.p. 329-337.

Elayoubi, S., Altman, E., Haddad, M., & Altman, Z. (2010). *A hybrid decision approach for the association problem in heterogeneous networks*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), San Diego, CA, USA.

Ericsson. (2017). *Ericsson mobility report*. Retrieved from.

Fooladivanda, D., & Rosenberg, C. (2013). Joint resource allocation and user association for heterogeneous wireless cellular networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications, 12*(1), p.p. 248-257.

Gazis, V., Houssos, N., Alonistioti, N., & Merakos, L. (2003). *On the complexity of "Always Best Connected" in 4G mobile networks*. Paper presented at the IEEE 58th Vehicular Technology Conference (VTC), Orlando, Florida, USA.

Goldsmith, A. (2005). *Wireless communications* (Cambridge University Press. ed.).

Gotsis, A. G., Stefanatos, S., & Alexiou, A. (2015). *Optimal user association for Massive MIMO empowered ultra-dense wireless networks*. Paper presented at the IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW), London, UK.

Gupta, A. K., Dhillon, H. S., Viswanathan, H., & andrews, J. G. (2014). Downlink Multi-Antenna Heterogeneous Cellular Network With Load Balancing. *IEEE Transactions on Communications, 62*(11), p.p. 4052-4067.

Hande, P., Patil, S., & Myung, H. G. (2009, 5-8 April 2009). *Distributed Load-Balancing in a Multi-Carrier Wireless System.* Paper presented at the 2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference.

Ho, J. S. M., & Akyildiz, I. F. (1997). Dynamic Hierarchical Database Architecture for Location Management in PCS Networks. *IEEE/ACM Transactions On Networking, 5*(5), p.p. 646-660.

Hossain, E., Rasti, M., Tabassum, H., & Abdelnasser, A. (2014). Evolution toward 5G multi-tier cellular wireless networks: An interference management perspective. *IEEE Wireless Communications, 21*(3), p.p. 118-127.

Hwang, I., Song, B., & Soliman, S. (2013). A Holistic View on Hyper-Dense Heterogeneous and Small Cell Networks. *IEEE Communications Magazine, 51*(6), p.p. 20-27.

Ikuno, J. C., Wrulich, M., & Rupp, M. (2010, 16-19 May 2010). *System Level Simulation of LTE Networks.* Paper presented at the 2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC), Taipei, Taiwan.

Jannink, J., Lam, D., Shivakumar, N., Widom, J., & Cox, D. C. (1996). *Efficient and flexible location management techniques for wireless communication systems*. Paper presented at the Proceedings of the 2nd ACM International conference of mobile computing and networking.

Jeong, B., Shin, S., Jang, I., Sung, N. W., & Yoon, H. (2011). *A Smart Handover Decision Algorithm Using Location Prediction for Hierarchical Macro/Femto-Cell Networks*. Paper presented at the IEEE Vehicular Technology Conferene (VTC), San Francisco, USA.

Jiang, H., & Rappaport, S. S. (1994). CBWL: A new channel assignment and sharing method for cellular communication systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 43*(2), p.p. 313 - 322.

Jiang, H., & Rappaport, S. S. (1996). Prioritized Channel Borrowing Without Locking: A Channel Sharing Strategy for Cellular Communications. *IEEE/ACM Transactions On Networking, 4*(2), p.p. 163-172.

Kahwa, T., & Georganas, N. (1978). A Hybrid Channel Assignment Scheme in Large-Scale, Cellular-Structured Mobile Communication Systems. *IEEE Transactions on Communications, 26*(4), p.p. 432-438.

Karlsson, J., & Eklundh, B. (1989). A cellular mobile telephone system with load sharing – an enhancement of directed retry. *IEEE Transactions on Communications, 37*(5), p.p. 530 – 535.

Kassar, M., Kervella, B., & Pujolle, G. (2008). An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *ELSEVIER Computer Communications, 31*(10), p.p. 2607-2620.

Katzela, I., & Naghshineh, M. (2000). Channel Assignment Schemes for Cellular Mobile Telecommunication Systems: A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 3,* p.p. 10-31.

Kelly, F. P. (1997). Charging and rate control for elastic traffic. *European Transactions on Telecommunications, 8*, p.p. 33-37.

Khandekar, A., Bhushan, N., & Tingfang, J. (2010). *LTE-Advanced: Heterogeneous networks*. Paper presented at the IEEE European Wireless Conference (EW), Lucca, Italy.

Kim, H., De Veciana, G., Yang, X. Y., & M., V. (2012). Distributed alpha-optimal user association and cell load balancing in wireless networks. *IEEE/ACM Transactions On Networking, 20*(1), p.p. 177–190.

Knuth, D. E. (1974). Postcript about NP-Hard problems. *ACM SIGACT, 2*(6), p.p. 15-16.

Kudo, T., & Ohtsuki, T. (2013, 2-5 Sept. 2013). *Cell Range Expansion Using Distributed Q-Learning in Heterogeneous Networks.* Paper presented at the 2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall).

Kumar, P. S., & Holtzman, J. (1994, 27 Sep-1 Oct 1994). *Analysis of handoff algorithms using both bit error rate (BER) and relative signal strength.* Paper presented at the Proceedings of 1994 3rd IEEE International Conference on Universal Personal Communications, San Diego, CA, USA.

Larsson, E. G., Edfors, O., Tufvesson, F., & Marzetta, T. L. (2014). Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems. *IEEE Communication Magazines, 52*(2), p.p. 186-195.

Lee, D. W., Gil, G. T., & Kim, D. H. (2010). A Cost-Based Adaptive Handover Hysteresis Scheme to Minimize the Handover Failure Rate in 3GPP LTE System. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2010*(6), p.p. 1-7.

Lee, H., Kim, D., Chung, B., & Yoon, H. (2008). Adaptive Hysteresis Using Mobility Correlation for Fast Handover. *IEEE Communications Letters, 12*(2), p.p. 152-154.

Leem, H., Jin, H., & Sung, D. K. (2013). *Scaling Laws of Energy Efficiency Related Metrics for Varying Cell Radii in Downlink Cellular Systems*.

Leeuwen, J. v. (1998). *Handbook of theoretical computer science* (MIT Press paperback ed., 2. ed. Vol. A).

Li, J., Pan, Y., & Jia, X. (2002). Analysis of dynamic location management for PCS networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 51*(5), p.p. 1109-1119.

Li, L., Pal, M., & Yang, Y. R. (2008). *Proportional Fairness in Multi-Rate Wireless LANs*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE 27th Conference on Computer Communications (INFOCOM), Phoenix, AZ, USA.

Li, Q., Hu, R. Q., Wu, G., & Qian, Y. (2012). *On the optimal mobile association in heterogeneous wireless relay networks.* Paper presented at the 31st Annual IEEE International Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM), Orlando, FL, USA.

Liu, D., Wang, L., Chen, Y., Elkashlan, M., Wong, K. K., Schober, R., & Hanzo, L. (Second quarter 2016). User Association in 5G Networks: A Survey and an Outlook. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18*(2), p.p. 1018-1044.

Lopéz-Pérez, D., Chu, X., & Guvenc, İ. (2012). On the Expanded Region of Picocells in Heterogeneous Networks. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 6*(3), p.p. 281-294.

Lopéz-Pérez, D., Guvenc, I., & Chu, X. (2012). Mobility Management Challenges in 3GPP Heterogeneous Networks. *IEEE Communications Magazine 50,* p.p. 70-78.

López-Pérez, D., Güvenç, İ., & Chu, X. (2012, 1-1 April 2012). *Mobility enhancements for heterogeneous networks through interference coordination.* Paper presented at the 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW).

Lopez-Perez, D., Guvenc, I., & De la Roche, G. (2011). Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks. *18*(3), p.p. 22-30.

López-Pérez, D., Valcarce, A., Ladányi, Á., de la Roche, G., & Zhang, J. (2010). Intracell Handover for Interference and Handover Mitigation in OFDMA Two-Tier Macrocell-Femtocell Networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2010*(1), 142629.

Madan, R., Borran, J., Sampath, A., Bhushan, N., Khandekar, A., & Ji, T. (2010). Cell association and interference coordination in heterogeneous LTE-A cellular networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 28*(9), p.p. 1479–1489.

Mcnair, J., & Zhu, F. (2004). Vertical handoffs in fourth-generation multinetwork environments. *IEEE Wireless Communications, 11*(3), p.p. 8-15.

Mingbo, X., Shroff, N. B., & Chong, E. K. P. (2003). A utility-based power-control scheme in wireless cellular systems. *IEEE/ACM Transactions On Networking, 11*(2), p.p. 210-221.

Moon, J., & Cho, D. (2009). Efficient handoff algorithm for inbound mobility in hierarchical macro/femto cell networks. *IEEE Communications Letters, 13,* p.p. 755-757.

Moon, J. M., & Cho, D. H. (2010). *Novel Handoff Decision Algorithm in Hierarchical Macro/Femto-Cell Networks*. Paper presented at the IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC), Sydney, Australia.

Muñoz, P., Barco, R., & De la Bandera, I. (2013). On the potential of handover parameter optimization for self-organizing networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 62*(5), p.p. 1895-1905.

Nasimi, M., Hashim, F., & Ng, C. K. (2012). *Characterizing energy efficiency for heterogeneous cellular networks*. Paper presented at the IEEE Student conference on research and development (SCOReD), Pulau Pinang, Malaysia.

Neumann, J. V., & Morgensten, O. (1953). Theory of games and economics behavior. *Princeton University Press*.

Niyato, D., & Hossain, E. (2009). Dynamics of Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks: An Evolutionary Game Approach. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 58*(4), p.p. 2008-2017.

Okino, K., Nakayama, T., Yamazaki, C., Sato, H., & Kusano, Y. (2011, 5-9 June 2011). *Pico Cell Range Expansion with Interference Mitigation toward LTE-Advanced Heterogeneous Networks.* Paper presented at the 2011 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), Kyoto, Japan.

Pacifico, D., Pacifico, M., Fischione, C., Hjalrmasson, H., & Johansson, K. H. (2009). *Improving TCP Performance During the Intra LTE Handover*. Paper presented at the IEEE Global Telecommunications Conference, Honolulu, HI, USA.

Pandya, R., Grillo, D., Lycksell, E., Mieybegue, P., Okinaka, H., & Yabusaki, M. (1997). IMT-2000 standards: network aspects. *IEEE Personal Communications, 4*(4), p.p. 20-29.

Pedersen, K. I., Michaelsen, P. H., & Rosa, C. (2013). Mobility enhancements for LTE-advanced multilayer networks with inter-site carrier aggregation. *IEEE Communications Magazine, 51,* p.p. 64-71.

Pierre, S. (Avril 2003). *Réseaux et Systèmes Informatiques Mobiles: Fondements, Architectures et Applications.* (P. i. Polytechnique Ed.). Montréal, QC, Canada.

Pollini, G. P. (1996). Trends in handover design. *IEEE Communications Magazine, 34,* p.p. 82-90.

Quek, T. Q. S., De la Roche, G., Guvenc, I., & Kountouris, M. (2013). Small cell networks: deployment, PHY techniques, and resource allocation. *Cambridge University Press*.

Rakotomanana, E., & Gagnon, F. (2015, 4-7 Oct. 2015). *Fair Load Balancing in Heterogeneous Cellular Networks.* Paper presented at the 2015 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB), Montréal, Canada.

Rakotomanana, E., & Gagnon, F. (2016). Optimum Biasing for Cell Load Balancing Under QoS and Interference Management in HetNets. *IEEE Access, 4*, p.p. 5196-5208.

Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice* (Vol. 2nd ed.).

Reguiga, K. S. B., Mhiri, F., & Bouallegue, R. (2011). Handoff Management in Green Femtocell Network. *International Journal of Computer Applications, 27*(4), p.p. 1-7.

Richter, F., Fehske, A. J., & Fettweis, G. P. (2009). *Energy Efficiency Aspects of Base Station Deployment Strategies for Cellular Networks*. Paper presented at the IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall, Anchorage, Alaska, USA.

Ryan, R. D. (1999). *Roaming between heterogeneous 3rd generation wireless networks*. Paper presented at the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), New Orleans, Louisiana, USA.

Saleh, A. B., Ö, B., Redana, S., Raaf, B., & Hämäläinen, J. (2010, 26-30 Sept. 2010). *Enhancing LTE-advanced relay deployments via Biasing in cell selection and handover decision.* Paper presented at the 21st Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications.

Sang, A., Wang, X. D., Madihian, M., & Gitlin, R. D. (2004). *A load-aware handoff and cell-site selection scheme in multi-cell packet data systems*. Paper presented at the IEEE Global Telecommunications Conference, Dallas, TX, USA

Saunders, R., & Lopes, L. (1994). *Performance Comparison of Global and Distributed Dynamic Channel Allocation Algorithms*. Paper presented at the IEEE 44th Vehicular Technology Conference (VTC), Stockholm, Sweden.

Schwarz, S., Mehlführer, C., & Rupp, M. (2010, 7-10 Nov. 2010). *Low complexity approximate maximum throughput scheduling for LTE.* Paper presented at the 2010 Conference Record of the Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers.

Sesia, S., Toufik, I., & Bakar, M. (Eds.). (2010). *LTE-The UMTS Long term evolution: from theory to practice*.

Shaohong, W., Xin, Z., Ruiming, Z., Zhiwei, Y., Yinglong, F., & Dacheng, Y. (2009). *Handover Study Concerning Mobility in the Two-Hierarchy Network*. Paper presented at the IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC), Barcelona, Spain

Shen, W., & Zeing, Q.-A. (2007). *Cost-Function-Based Network Selection Strategy in Integrated Wireless and Mobile Networks.* Paper presented at the Proceedings of the 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Niagara Falls, Ont., Canada.

Shinoda, A. A., & Yacoub, M. D. (1997). Combined techniques for channel allocation algorithms in mobile radio systems. *IEE Proceedings - Communications, 144*(3), p.p. 205-210. Retrieved from

Shirvani Moghaddam, S., Tabataba Vakili, V., & Falahati, A. (2000, 2000). *New handoff initiation algorithm (optimum combination of hysteresis and threshold based methods).* Paper presented at the IEEE 52nd Vehicular Technology Conference (VTC), Boston, MA, USA.

Simsek, M., Bennis, M., & Guvenc, I. (2015). Mobility management in HetNets: a learning-based perspective. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015*(26), p.p. 1-13.

Singh, D. (2014). Heterogeneous Network (HetNet): A paradigm shift in cellular networks. Retrieved from http://fr.slideshare.net/dev464898/ppt-het-net

Singh, S., & Andrews, J. G. (2014). Joint Resource Partitioning and Offloading in Heterogeneous Cellular Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications, 13*(2), p.p. 888-901.

Singh, S., Dhillon, H. S., & Andrews, J. G. (2013). Offloading in heterogeneous networks: Modeling, analysis, and design Insights. *IEEE Transactions on Wireless Communications, 12*(5), p.p. 2484-2497.

Siomina, I., & Yuan, D. (2012). *Load balancing in heterogeneous lte: Range optimization via cell offset and load-coupling characterization*. Paper presented at the IEEE International Conference on Communications (ICC), Ottawa, ON, Canada.

Son, K., Chong, S., & Veciana, G. (2009). Dynamic association for load balancing and interference avoidance in multi-cell networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications, 8*(7), p.p. 3566–3576.

Stevens-Navarro, E., Lin, Y., & Wong, V. (2008). An MDP-based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 57*(2), p.p. 1243-1254.

Stolyar, A. L. (2005). On the Asymptotic Optimality of the Gradient Scheduling Algorithm for Multiuser Throughput Allocation. *Journal Operations Research, 53*(1), p.p. 12-25.

T. Q. S. Quek, G. d. l. R., I. Guvenc, M. Kountouris. (2013). Small cell networks: deployment, PHY techniques, and resource allocation. *Cambridge University Press*.

Tai, P. C., & Rappaport, S. S. (1994). Generalized fixed channel assignment in microcellular communication systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 43*(3), p.p. 713-721.

Tang, H., Peng, J., Hong, P., & Xue, K. (2013). Offloading Performance of Range Expansion in Picocell Networks: A Stochastic Geometry Analysis. *IEEE Wireless Communications Letters, 2*(5), p.p. 511-514.

Tassiulas, L., & Ephremides, A. (1992). Stability properties of constrained queueing systems and scheduling policies for maximum throughput in multihop radio networks. *IEEE Transactions On Automatic Control, 37*(12), p.p. 1936-1948.

Tombaz, S., Usman, M., & Zander, J. (2011). *Energy Efficiency Improvements Through Heterogeneous Networks in Diverse Traffic Distribution Scenarios*. Paper presented at the IEEE 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China (Chinacom11), Harbin, China.

Ulvan, A., Bestak, R., & Ulvan, M. (2010). *The study of handover procedure in LTE-based femtocell network*. Paper presented at the IEEE 3rd Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), Budapest, Hungary.

Wang, H. J., Katz, R. H., & Giese, J. (1999). *Policy-enabled handoffs across heterogeneous wireless networks.* Paper presented at the Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile computing systems and applications (WMCSA).

Wang, J., Liu, J., Wang, D., Pang, J., & Shen, G. (2011). *Optimized Fairness Cell Selection for 3GPP LTE-A Macro-Pico HetNets*. Paper presented at the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), San Francisco, CA, USA

Wang, W., & Akyildiz, I. F. (2000). *Intersystem location update and paging schemes for multitier wireless networks.* Paper presented at the Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, Boston, Massachusetts, USA.

Wu, H., Qiao, C., De, S., & Tonguz, O. K. (2001). Integrated cellular and ad-hoc relay systems: iCAR. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 19*(10), p.p. 2105-2115.

Rapport-Gratuit.com

Wu, S. j., & Lo, S. K. C. (2011). Handover Scheme in LTE-based Networks with Hybrid Access Mode Femtocells *Journal of Convergence Information Technology, 6*(7), p.p. 68-78.

Wu, X., Mukherjee, B., & Chan, S. H. G. (2000). *MACA-an efficient channel allocation scheme in cellular networks*. Paper presented at the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), San Francisco, CA, USA.

Xenakis, D., Passas, N., & Merakos, L. (First Quarter 2014). Mobility Management for Femtocells in LTE-Advanced: Key Aspects and Survey of Handover Decision Algorithms. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 16*(1), p.p. 64-91.

Xenakis, D., Passas, N., & Verikoukis, C. (2012). An energy-centric handover decision algorithm for the integrated LTE macrocell-femtocell network. *ELSEVIER Computer Communications, 35*(14), p.p. 1684-1694.

Xenakis, D., Passas, N., & Verikoukis, C. (2012). *A Novel Handover Decision Policy for Reducing Power Transmissions in the two-tier LTE network*. Paper presented at the IEEE International Conference on Communications (ICC), Ottawa. Canada.

Xiao, M., Shroff, N. B., & Chong, E. K. P. (2003). A utility-based power-control scheme in wireless cellular systems. *IEEE/ACM Transactions On Networking, 11*(2), p.p. 210-221.

Xu, P., Fang, X., He, R., & Xiang, Z. (2011). An efficient handoff algorithm based on received signal strength and wireless transmission loss in hierarchical cell networks. *Telecommunication Systems, 52*(1), p.p. 317-325.

Xu, P., Fang, X., Yang, J., & Cui, Y. (2010). *A User's State and SINR-Based Handoff Algorithm in Hierarchical Cell Networks*. Paper presented at the IEEE 6th International Conference on Wireless Communication Networking and Mobile Computing (WiCOM) Chengdu, China.

Xu, Y., & Mao, S. (2017). User Association in Massive MIMO HetNets. *IEEE Systems Journal, 11*(1), p.p. 7-19.

Yanmaz, E., Tonguz, O. K., & IEEE Journal on Sel. Areas in Communications, v., pp. 862–872, June 2004. (2004). Dynamic load balancing and sharing performance of integrated wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 22*(5), p.p. 862-872.

Ye, Q., Al-Shalash, M., Caramanis, C., & Andrews, J. G. (2013). *On/off macrocells and load balancing in heterogeneous cellular networks*. Paper presented at the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Atlanta, GA, USA.

Ye, Q. Y., Rong, B. Y., Chen, Y. D., Al-Shalash, M., Caramanis, C., & Andrews, J. (2013). User association for load balancing in heterogeneous cellular networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications, 12*(6), p.p. 2706-2716.

Zahir, T., Arshad, K., Nakata, A., & Moessner, K. (First quarter 2013). Interference management in femtocells. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 15*(1), p.p. 293-311.

Zahran, A. H., Liang, B., & Saleh, A. (2006). Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks. *Mobile Networks and Applications, 11*(4), p.p 625-640.

Zhang, H., Ma, W., Li, W., Zheng, W., Wen, X., & Jiang, C. (2011). *Signalling Cost Evaluation of Handover Management Schemes in LTE-Advanced Femtocell*. Paper presented at the IEEE 73rd Vehicular Technology Conference, Budapest, Hungary.

Zhang, H., Wen, X., Wang, B., Zheng, W., & Sun, Y. (2010). *A Novel Handover Mechanism Between Femtocell and Macrocell for LTE Based Networks*. Paper presented at the IEEE 2nd Internaitonal Conference on Communication Software and Networks (ICCSN) Singapore, Singapore

Zhang, J., & De la Roche, G. (2010). *Femtocells : technologies and deployment*.

Zhang, N., & Holtzman, J. M. (1996). Analysis of handoff algorithms using both absolute and relative measurements. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 45*(1), p.p. 174-179.

Zheng, K., Wang, Y., Wang, W., Dohler, M., & Wang, J. (2011). Energy-efficient wireless in-home: the need for interference-controlled femtocells. *IEEE Wireless Communications, 18*(6), p.p. 36-44.

Zhou, T., Huang, Y., Huang, W., Li, S., Sun, Y., & Yang, L. (2014). *QoS-Aware User Association for Load Balancing in Heterogeneous Cellular Networks*. Paper presented at the IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC), Vancouver, BC,Canada.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES