

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES

ECOLE DOCTORALE DE MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE

Année : 2015-2016

N°d'ordre :

THÈSE DE DOCTORAT UNIQUE

Mention : Mathématiques et Modélisation
Spécialité : Analyse, Statistique et Applications

Présentée par

DETHIE DIONE

TITRE

Optimisation des performances d'un système hétérogène de réseaux sans fil et mobiles.

Soutenue le xx/xx/2016 devant le jury composé de :

<u>Président</u> :	Mamadou Sangharé,	Professeur, UCAD
<u>Rapporteurs</u> :	Abdoulaye Séné Oumar Niang Ibrahima Faye	Maitre de conférences, UCAD Maitre de conférences, Université de Thiès Maitre de conférences, UADB
<u>Examineurs</u> :	Youssou Gningue Hamidou Dathe Mamadou Barry Sérigne Aliou Lo	Professeur, Laurentia Canada Professeur, UCAD Professeur, UCAD Maitre de conférences, UCAD
<u>Directeur de thèse</u> :	Mme Salimata Gueye Diagne	Maitre de conférences, UCAD (Sénégal)

Optimisation des performances d'un système
hétérogène de réseaux sans fil et mobiles

DETHIE DIONE

Remerciements

Cette thèse est faite au sein du laboratoire de Mathématiques Appliquées du Département de Mathématiques et Informatique de l'université Cheikh Anta Diop avec l'équipe de recherche de Mathématique de la Décision sous la direction du Prof. Salimata GUEYE DIAGNE.

J'exprime, tout d'abord, ma très sincère et profonde reconnaissance à ma directrice de thèse. Mes chaleureux remerciements vont à l'endroit du Professeur Salimata GUEYE DIAGNE, pour son soutien constant, le temps important qu'elle m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques et sa sympathie. Sachant répondre à toutes mes interrogations, ses conseils et ses commentaires tant précieux m'ont permis de surmonter les difficultés et étaient déterminants pour la bonne réussite de ces travaux de thèse.

J'adresse également toute ma gratitude au Professeur Youssou GNINGUE de l'université Laurentia au Canada pour l'attention particulière qu'il a porté sur mes travaux, pour ses importants conseils avisés et son sens de l'écoute, sans occulter son énorme qualité humaine.

J'adresse également mes sincères remerciements à l'ensemble des membres du jury, sans qui mes travaux de recherche n'auraient abouti à la soutenance de cette thèse. Je tiens à remercier M. Abdoulaye SENE, Professeur à l'université Cheikh Anta Diop de Dakar, M. Oumar NIANG, Professeur affilié à l'Ecole Polytechnique de Thiès et M. Ibrahima FAYE, Maître de conférence à l'université Alioune Diop de Bambey d'avoir accepté d'être

les rapporteurs de ce travail et de participer à mon jury soutenance. Je remercie aussi les membres examinateurs de ce jury : M. Youssou GNINGUE, Professeur à l'université Laurentia Canada, M. Hamidou DATHE, Professeur à l'université Cheikh Anta Diop, M. Mamadou BARRY, Professeur à l'université Cheikh Anta Diop, M. Sérigne Aliou LO, Maître de Conférence à l'université Cheikh Anta Diop et M. Mamadou SANGHARE président du jury, Professeur à l'université Cheikh Anta Diop et Directeur Général de l'Enseignement Supérieur, pour avoir accordé de leur temps et accepté d'examiner mon travail.

J'adresse un grand merci à l'ensemble des permanents et doctorants avec qui j'ai échangé durant ces trois années d'étude pour leur disponibilité et leur apport au quotidien, et je pense plus particulièrement, à Bakary KONE, Seydina Issa DIONE, Amadou KOU-LIBALY, Abdourahmane GUEYE, Youssouf HAMADA, Ange MAYOUMAT, Amadou Woury DIALLO, Allamaye LEVI, Paul PYTHON, Lédib MAMINE et Yatma MBODJI qui ont beaucoup contribué à nos journées de laboratoire.

Toute ma gratitude va à l'endroit de mes parents, mes enfants et mes proches pour m'avoir encouragé et soutenu tout au long de mes études et sans qui je n'en serais pas à ce niveau aujourd'hui. Une pensée particulière est destinée mon fils aîné Pape Babacar Mbaye (Mon Père), à sa soeur Ndeye Fatou (Ma Mère) et à leur cadet Mohamed-Amédine (Mon Prophète).

Tous mes remerciements vont également à l'endroit de tous les membres de ma famille qui m'ont accompagné sur le chemin de la vie, tant lors des moments heureux que lors des ceux difficiles et à qui je dédie aussi ce document de thèse.

Ces remerciements ne seraient pas complets sans une pensée pour des amis d'enfance, Paul Diatta DIAGNE, Badara POUYE, Moustapha, Fatou et Diouma. Un grand merci à Amadou DIONE et à sa femme Rokhaya DIOUF, des confidents très spéciaux, qui m'ont soutenu dès le début et m'ont aidé dans les périodes de doute.

Merci à toutes et à tous de m'avoir aidé et encouragé, et pour m'avoir éclairé les idées

quand j'en avais besoin.

Toutes mes excuses à ceux que j'aurais omis à cette liste de remerciements qui est loin, j'avoue, d'être exhaustive...

Dédicaces

A la mémoire de mon père MBAYE BABACAR DIONE

Résumé

Dans cette thèse, nous étudions et analysons les différentes méthodes de sélection de réseaux dans un cadre hétérogène afin d'optimiser les performances du système. En effet, dans la prochaine génération de réseaux sans fil et mobiles, les usagers vont se déplacer dans un système hétérogène en utilisant des terminaux équipés d'interfaces d'accès multiples. Les terminaux mobiles sont en mesure de choisir le meilleur lien d'accès parmi les options disponibles.

Dans notre étude, nous proposons une technique de sélection basée sur le SINR (Signal Interference Noise Rate) puis sur le débit binaire. Le système hétérogène est composé de deux types de réseau : 4G (Long Term Evolution :LTE) et Wi-Fi.

Dans ce contexte, les utilisateurs sélectionnent toujours le réseau présentant une qualité de signal (SINR) plus élevée ensuite un meilleur débit binaire afin d'effectuer leurs connexions. A l'aide d'une technique d'optimisation basée sur les chaînes de Markov, nous étudions d'abord, les performances optimales de réseaux hétérogènes basées sur le débit binaire, puis sur le SINR en termes de probabilités de blocage de demandes de connexion aux services, de probabilités de blocage de relève vertical ou horizontal.

Nous avons ainsi obtenu des résultats satisfaisants dans la mesure où les simulations opérées par le simulateur NS3 (Network Simulator 3) nous ont révélés une amélioration nette de la qualité du signal du système de réseaux hétérogènes. Elles nous ont aussi permis de déterminer la diminution de la probabilité des connexions bloquées et perdues, ainsi

qu'une gestion optimale de la bande passante dans des réseaux hétérogènes Wi-Fi et 4G. Les performances sont étudiées et analysées selon le modèle de mobilité Random Way-Point (RWP) qui est largement utilisé dans l'étude des réseaux sans fil et mobiles. Cela, nous a permis en même temps d'analyser l'influence de la mobilité des utilisateurs sur les performances du système hétérogène de réseaux.

Mots clés :

LTE, Wi-Fi, Random WayPoint, Handover, chaîne de Markov, SINR, Probabilité de blocage.

Abstract

In this thesis, we study and analyze the various methods of selection of networks in a heterogeneous networks system. So, in the next generation of wireless and mobile networks, the users have to move in a heterogeneous system of networks by using terminals equipped with interfaces of multiple accesses. In this context, the mobile terminals are available choosing the best link of access among the available options. In our study, we propose a technique of selection based on the estimated value of SINR (Signal Interference Noise and Ration) then the bit rate in a heterogeneous system compound of two chaps of network : LTE and Wi-Fi.

With this technique, the users always select the network presenting the highest quality of signal (SINR) or the best bit rate to make their connections. By means of a technique of optimization based on a Markov chain, we study at first, the performances of the strategy of selection based on the bit rate or the SINR in terms of probability of blocking of demands of connection for the services, probability of vertical or horizontal blocking of succession and quality of connection. We so obtained satisfying results allowing an optimal management of the bandwidth in heterogeneous networks.

The performances are studied and analyzed according to the model of mobility Random WayPoint(RWP) which is widely used in the study of the wireless and mobile networks. It's allowed us to analyze the influence of the mobility of the users on the performances of the heterogeneous networks system.

Keywords :

LTE, WiFi, Random WayPoint, Handover, Markov chain, SINR, blocking probability, heterogeneous network.

Table des matières

Remerciements	iv
Dédicaces	v
Résumé	vii
Abstract	ix
Abréviations et notations	xvi
Table des figures	xvi
Liste des tableaux	xviii
1 Introduction Générale	1
1.1 Définitions de quelques concepts de base	2
1.2 État de l'art	3
1.3 Objectifs	5
1.4 Problématique	6
1.5 Plan de la thèse	8

I	CADRE D'ÉTUDE	10
2	Généralités d'un système hétérogène de réseaux Wi-Fi et LTE	11
2.1	Introduction	11
2.2	Réseau LTE	12
2.3	Réseaux Wi-Fi	13
2.4	Intégration des réseaux Wi-Fi et LTE	14
2.4.1	Définition d'un système hétérogène de réseaux :	15
2.4.2	Modélisation de ce système hétérogène	15
2.5	Conclusion	18
3	Modélisation de la mobilité des utilisateurs : Le Random WayPoint(RWP)	19
3.1	Définition du Random WayPoint(RWP)	20
3.2	Handover(Relève)	21
3.2.1	Définition	21
3.2.2	Handover horizontal	21
3.2.3	Handover vertical	22
3.3	Modélisation du Random WayPoint(RWP)	22
3.3.1	Distribution stationnaire	22
3.3.2	Densité de probabilité	25
3.3.3	Le taux d'arrivée $\tau_a(C)$ d'un utilisateur dans une cellule C	26
3.3.4	Probabilité $\mathbb{P}(C)$ de trouver des utilisateurs dans une cellule C	26
3.4	Taux moyen $\lambda_{C_i}^{c(k)}$ de nouvelles demandes d'accès à un service dans une sous cellule C_i :	26
3.5	Taux moyen de demandes de handovers :	27
3.5.1	Horizontal	27
3.5.2	Vertical	27

3.6	Autres types de mobilité	28
3.7	Conclusion	28
4	Technique d'optimisation basée sur les chaînes de Markov	30
4.1	Introduction	30
4.2	Vocabulaire	31
4.2.1	Définitions et propriétés	31
4.2.2	Représentation graphique des chaînes de Markov	34
4.2.3	Chaînes réductibles et irréductibles	36
4.3	Comportement asymptotique des chaînes de Markov	36
4.4	Conclusion	39
 II APPROCHES ET MÉTHODES PROPOSÉES POUR L'OPTIMISATION DES PERFORMANCES DE RÉSEAUX HÉTÉROGÈNES		 40
5	Débit binaire optimal de réseaux hétérogènes sans fil Wi-Fi et mobile	
	LTE	41
5.1	Introduction	42
5.2	Calcul du débit	42
5.3	Modélisation du système hétérogène de réseaux	43
5.4	Technique de sélection d'un réseau	45
5.5	Modélisation basée sur une chaîne de Markov	46
5.5.1	Les différents étapes et états du système	46
5.5.2	Les différents taux de transition	49
5.5.2.1	Méthode de calcul :	49
5.5.2.2	Détermination des taux de transition :	51
5.6	Évaluations des performances optimales	53

5.6.1	Débit moyen du système dans une zone C_i	53
5.6.2	Probabilité de blocage et perte de connections dans une zone C_i . .	55
5.7	Tests numériques des résultats théoriques	55
5.8	Conclusion	60
6	Performances optimales de réseaux hétérogènes Wi-Fi et LTE basées sur le SINR	61
6.1	Introduction	62
6.2	Calcul du SINR	62
6.3	Modèle du système hétérogène	64
6.4	Technique de sélection d'un réseau	66
6.5	Modélisation basée sur une chaîne de Markov	66
6.5.1	Les différents Étapes et États du système :	67
6.5.2	Les taux de transition :	71
6.5.2.1	Proposition de méthode de calcul :	71
6.5.2.2	Calcul des taux de transition :	72
6.6	Métriques de performances	75
6.6.1	Le SINR du système dans une zone Z_i	75
6.6.2	Probabilité de blocage et perte de connexions dans une zone Z_i . .	77
6.7	Simulations et analyses critiques des résultats	77
6.8	Conclusion	81
7	Conclusion et Perspectives	83
7.1	Conclusion	84
7.2	Résumé des résultats	85
7.3	Limites	86
7.4	Perspectives	87
	Références	124

Annexe	124
---------------	------------

Glossaire	124
------------------	------------

Abréviations et notations

3GPP	Third Generation Partners Project.
ABC	Always Best Connected.
AP	Access Point.
BLER	Bloc Erreur Rate.
BS	Base Station.
C.M	Chaîne de Markov.
D.N	Distribution Normale.
D^{avg}	Débit Binaire Moyen.
D^{tot}	Débit Binaire Total.
C_1 et Z_1	Cellule couverte par le réseau LTE
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol.
LTE	LongTerm Evolution.
N	Entier naturel.
N_1 et W_1	Réseau LTE
NS3	Network Simulateur 3.
\mathbb{P}	Probabilité.

PDA	Personal Data Assistant.
PRB	Blocks de Ressources
4G	Quatrième génération.
Qos	Qualité de service.
\mathbb{R}	Corps des réels.
RWP	Random WayPoint.
$RSNS$	Puissance du signal reçu
SINR	Signal Interference Noise and Ration.
$SINR^{tot}$	Signal Interference Noise and Ration Total.
$SINR^{avg}$	Signal Interference Noise and Ration Moyen.
VRSS	Variation du signal reçu
$TBNS$	Bande passante disponible.
WiMax	World wide Interoperability for Microwave Access.
Wi-Fi	Wireless Fidelity.
\rightleftarrows	Connexion puis Déconnexion
■	Fin d'une demonstration ou d'une remarque.

Table des figures

2.1	Fonctionnalités d'un réseau Lte	12
2.2	Fonctionnalités d'un réseau Wi-Fi	13
2.3	Fonctionnalités d'un système hétérogène de réseaux	14
2.4	Modèle de réseaux Hétérogènes	17
3.1	Handover vertical et horizontal	21
3.2	Les paramètres du RWP	23
3.3	Application du RWP sur le disque unité	24
3.4	Les paramètres de la densité	25
4.1	Exemple 1 de représentation graphique d'une chaîne de Markov	35
4.2	Exemple 2 de représentation graphique d'une chaîne de Markov	36
5.1	Modèle du cluster de zones de service	43
5.2	Technique de sélection.	45
5.3	Débit binaire moyen du réseau N_1 dans la zone C_2 en fonction du BLER.	57
5.4	Débit binaire moyen du réseau N_1 dans la zone C_2 en fonction du taux de bande passante occupée.	58
5.5	Probabilité de blocage dans la zone C_2 en fonction du taux de bande passante occupée.	59

5.6	Probabilité de blocage dans la zone C_2 en fonction du taux de charge offerte.	59
6.1	Le modèle d'une zone de service	65
6.2	Technique de sélection d'un réseau	66
6.3	SINR moyen du réseau W_1 dans la zone Z_2 en fonction de l'interférence. . .	78
6.4	SINR moyen du réseau W_1 dans la zone Z_2 en fonction du taux de bande passante occupée.	79
6.5	Probabilité de blocage dans la zone Z_2 en fonction du taux de bande pas- sante occupée.	80
6.6	Probabilité de blocage dans la zone Z_2 en fonction du taux de charge offerte.	81

Liste des tableaux

5.1	Paramètres du réseau LTE	44
5.2	Paramètres des réseaux Wi-Fi	44
5.3	Définition des paramètres du système	46
5.4	Paramètres du réseau LTE	56
5.5	Paramètres du système de réseaux	56
6.1	Paramètres des réseaux LTE et Wi-Fi	65
6.2	Définition des paramètres du système	67
6.3	Notations des paramètres du système	68

Liste des codes

1	Code de calcul du SINR du réseau LTE en zone Z_i	90
2	Code de calcul du débit binaire du réseau LTE en zone Z_i	95
3	Code de calcul de la probabilité de blocage du réseau LTE en zone Z_i . . .	99

Introduction Générale

Sommaire

1.1 Définitions de quelques concepts de base	2
1.2 État de l'art	3
1.3 Objectifs	5
1.4 Problématique	6
1.5 Plan de la thèse	8

Les systèmes de communication sans fil et mobiles ont, récemment, connu d'importants progrès aussi bien sur le plan des infrastructures que sur celui des services offerts aux usagers. L'entrée en marché des réseaux mobiles de quatrième génération (4G) et l'apparition d'équipements mobiles hyper sophistiqués (PDA : Personal Data Assistant, ordinateurs portatifs, smartphones, etc.), ainsi que l'émergence des réseaux sans fil tels que : 802.11x, Bluetooth, WiMax, etc., reflète bien cette nouvelle tendance du marché. Chacun de ces réseaux est conçu pour une catégorie particulière d'utilisateurs et de services. Dès lors, notre paysage de communication est devenu de plus en plus hétérogène tout en offrant une visible complémentarité en termes de services, de couverture et de coût. Afin de tirer profit de cette diversité, de nouvelles approches d'interopérabilité s'avèrent nécessaires. C'est ainsi que s'impose la recherche dans un concept de réseaux hétérogènes sans fil et mobiles.

1.1 Définitions de quelques concepts de base

L'enjeu majeur de la complémentarité des réseaux sans fil et mobiles, communément désignée par réseaux hétérogènes, est d'offrir aux usagers mobiles de bonnes performances en termes de connectivité, de mobilité et de services. Plus précisément, les abonnés des réseaux hétérogènes auront la possibilité d'engager des services et d'exécuter des applications demandant des exigences élevées de Qos(Qualité de service). Autrement dit, les applications temps-réel prendront une place plus imposante dans la priorité des utilisateurs de ce système de réseaux hétérogènes.

Selon Akyildiz et al. (2005), deux principales stratégies peuvent être envisagées pour la conception des réseaux hétérogènes mobiles et sans fil. La première consiste à développer un nouveau système sans fil incluant un réseau coeur et un réseau d'accès. Cette option est loin d'être réaliste puisqu'elle requière le remplacement des systèmes actuels. La deuxième possibilité, plus réaliste, vise à intégrer de manière intelligente les systèmes sans fil existants et ceux mobiles de façon à ce que les usagers aient toujours accès au meilleur réseau disponible. En effet, dans ce dernier cas, les abonnés profiteront de la complémentarité des services offerts par chacun des réseaux intégrés. De plus, l'utilisation des infrastructures existantes permet de réduire considérablement les délais et les coûts de déploiement. Par ailleurs, l'usage universel du protocole internet (IP) renforce davantage l'approche d'intégration vu que celui-ci permettra l'interopérabilité des différents systèmes mobiles tout en masquant leur hétérogénéité.

Pratiquement, on s'attend à ce que le système hétérogène de réseaux mobiles et sans fil puisse tenir compte des points suivants :

- ✓ Garantir aux usagers une meilleure connectivité en tout temps (Always Best Connected : ABC) ;
- ✓ Utiliser des terminaux multi-interfaces ou multi-modes pour pouvoir se connecter à différentes technologies d'accès radio ;

- ✓ Être évolutive tout en maintenant en service les infrastructures existantes ;
- ✓ Assurer de bonnes conditions de sécurité ;
- ✓ Se déployer à coût minimal ;
- ✓ Supporter la mobilité à travers des technologies hétérogènes.

La mobilité réfère au fait de se procurer un service indépendamment de la localisation et du mouvement (Pierre, 2007). En d'autres termes, c'est la possibilité pour qu'un usager mobile puisse accéder à l'ensemble des services auxquels il est abonné sans se préoccuper de sa localisation ni de son mouvement. Quant à la gestion de mobilité, elle peut être divisée en : gestion de localisation et gestion de relève. La gestion de localisation vise à identifier la position courante du mobile au sein de son réseau d'attache. Cette opération est assurée par l'échange périodique d'informations de localisation (location update) entre le mobile et le réseau.

La qualité de service (Qos) est une notion qui peut prendre plusieurs significations dépendamment du contexte auquel on se réfère. D'une façon générale, elle est constituée de plusieurs métriques qui mesurent le degré de satisfaction d'un abonné ou d'un service. À titre d'exemple, les paramètres de Qos pour un mécanisme de mobilité peuvent être : la latence ou le délai de relève, le taux de perte de connections, la signalisation, la probabilité de blocage, etc. Quant au choix d'un réseau de destination, les critères de Qos peuvent inclure : la bande passante, le temps de résidence, la variation du signal reçu (VRSS), la charge du réseau, etc.

1.2 État de l'art

L'intégration des réseaux sans fil et mobiles tels que le LongTerm Evolution (LTE) et le Wi-Fi est de nos jours une nécessité pour la satisfaction des utilisateurs dont la demande est de plus en plus forte. La mobilité globale des services et des utilisateurs rendent diffi-

cile cette tâche. Cependant ces réseaux sont dotés de caractéristiques pour supporter des services et des utilisateurs différents et mobiles.

Le Random WayPoint est le modèle choisi pour la mobilité des utilisateurs dans ce système hétérogène. Il représente mieux les mouvements individuels avec des arrêts, des départs et autres actions liées à un déplacement individuel dans les lieux urbains. Ainsi de nouvelles méthodes de sauvegarde, de transmission et de partage de la bande passante s'imposent. Parmi celles-ci nous pouvons citer la technique de sélection de meilleur réseau basée sur le débit binaire ou sur le SINR (Signal Interference Noise and Ratio) dont les paramètres de sélection sont les probabilités de blocage et pertes de connections.

Nous avons noté dans la littérature les stratégies de sélection d'un réseau les plus utilisées. Dans leurs travaux [68], les auteurs ont pu analyser la puissance du signal reçu (RSNS) puis la bande passante disponible (TBNS) d'un système hétérogène de réseaux. Ils ont mis l'accent sur les paramètres de ce système tels que les probabilités de blocage et pertes de connections mais ils n'ont pas tenu compte de l'interférence dans les techniques de sélection qu'ils ont développées ce qui rend moins performant les résultats obtenus des probabilités de blocage et pertes de connections. Par ailleurs les auteurs dans [77], [5], [2] et [79] ont tenu en compte l'interférence dans les stratégies de sélection qu'ils ont adoptées, qui est celle basée sur le SINR, ce qui leur a permis d'amoindrir les probabilités de pertes de connections au cours d'un handover vertical. Mais ils n'ont pas abordé à travers leurs études les paramètres de blocages de connections. Par contre ceux-ci sont analysés par Jabban et al. [19] qui ont obtenu dans leurs travaux des résultats plus satisfaisants que ceux des auteurs qui les ont précédés. En outre, Vuong at al. [71] ont pris en compte la mobilité (terminal-controlled mobility management) des utilisateurs et d'autres aspects tels que le coût, la durée de vie de la batterie et la fréquence de handover.

Cependant à travers leurs études, tous ces auteurs n'ont pas pris en compte la contrainte liée au taux d'erreur bloc(BLER) dans une sous cellule donnée du cluster. La contribution dans nos travaux se repose sur notre modèle de connections et déconnections d'un

utilisateur. Lorsqu'il est connecté, le système quitte d'un état donné d'une étape bien définie vers un autre état de la même étape dans un intervalle de temps d'usage donné. Par ailleurs, contrairement aux autres travaux, nous avons pris le débit binaire comme une technique importante de sélection du meilleur réseau qui consiste à choisir celui dont le débit binaire est le plus grand.

1.3 Objectifs

L'objectif principal de cette thèse est de proposer des mécanismes de gestion de la bande passante, de la mobilité des utilisateurs et de l'intégration adaptées aux exigences des réseaux hétérogènes en termes de connectivité, de qualité de service et d'interopérabilité. Plus précisément, cette thèse vise les objectifs suivants :

- ✓ Analyser le modèle d'intégration des réseaux mobiles et sans fil, et les mécanismes de gestion de mobilité proposés dans la littérature afin d'en identifier les limites ;
- ✓ Proposer de nouveaux mécanismes pour la gestion de mobilité de bout-en-bout, incluant l'initiation des relèves et la sélection des réseaux de destination ;
- ✓ Concevoir une architecture d'intégration qui permet d'assurer l'itinérance globale tout en respectant les exigences des réseaux hétérogènes en ce qui a trait à la mobilité et la continuité des services ;
- ✓ Évaluer les performances des solutions proposées moyennant des techniques d'optimisation basées sur les chaînes de Markov et des simulations en se comparant aux travaux antérieurs qui abordent des problématiques similaires.

1.4 Problématique

Avec l'apparition des systèmes de télécommunications sans fil, la demande des utilisateurs en termes de qualité de service et de mobilité est en devenue de plus en plus grande. Dans le but de satisfaire une telle demande, plusieurs solutions pointues ont été ajoutées dans le système. Certaines de ces solutions ont comme objectif d'améliorer le débit et la connectivité tandis que d'autres misent sur la couverture, l'accessibilité des services et un faible coût de déploiement. Parmi tous ces efforts fournis, aucune solution ne semble satisfaire les exigences des utilisateurs. Ainsi, une intégration appropriée des réseaux mobiles et sans fil s'annonce comme une sérieuse alternative qui devra, d'avance, répondre massivement aux besoins des utilisateurs.

La mise sur place d'un réseau hétérogène sous forme d'un nouveau système communication est loin d'être réaliste vue tous les paramètres qui seraient en jeu. En conséquence, la conception et le déploiement d'un système hétérogène de réseaux mobiles et sans fil consistera en l'intégration, de manière efficace, des différents systèmes mobiles existants. A cet effet, on s'attend à un environnement mobile constitué de différentes technologies sans fil permettant l'interopérabilité et la complémentarité des services.

Par conséquent, pour qu'un tel concept de réseau puisse être exploité réellement, de nombreux paramètres doivent être pris en compte. Parmi ceux-ci, nous retenons, la gestion de la bande passante et de la mobilité, du modèle d'intégration, d'un débit binaire conséquent et la garantie de qualité de service.

Dans un environnement où cohabitent plusieurs réseaux, les utilisateurs mobiles auront souvent à exécuter des handovers (relèves) aussi bien horizontales (intra-technologie) que verticales (inter-technologie). Par conséquent, il est primordial d'assurer la continuité des services indépendamment du mouvement et du réseau connecté.

Par ailleurs, dans le cadre du système hétérogène de réseaux, les utilisateurs se déplaceront de manière libre entre les différents réseaux mobiles et sans fil. Ainsi, ils auront à

sélectionner un réseau à chaque fois qu'ils engagent une relève. Habituellement, le choix d'un réseau se base uniquement sur la qualité du signal reçu (RSS). Dans un environnement multi-accès et multi-technologies, cette stratégie n'est pas souvent appropriée car un réseau peut offrir une bonne qualité de signal cependant celle-ci peut être associée à une faible bande passante ou un coût élevé. Il est donc fondamental de disposer d'une technique de sélection adaptée aux circonstances d'un milieu hétérogène, aux exigences des utilisateurs et de la diversité des services offerts.

De plus, dans un contexte où les usagers mobiles engageront de plus en plus d'applications sensibles au délai, l'initiation des relèves demeure un enjeu prioritaire. En effet, afin d'éviter toute éventuelle dégradation de la Qos, le mobile doit être en mesure de décider quand et sous quelles conditions une relève devra être initiée. Toutefois, la définition de telles conditions nécessite un accès permanent aux informations de contexte relatives au réseau d'attache, et ce, pour détecter toutes anomalies relatives à la perturbation des services engagés.

La présence accrue des réseaux et d'opérateurs mobiles rendra difficile l'obtention des informations de contexte dans la mesure où ceux-ci expriment une forte réticence au partage de leurs bases de données. De ce fait, la préparation des relèves devra inclure une analyse de contexte efficace qui tiendra compte de la diversité des technologies d'accès et de la confidentialité des réseaux du voisinage.

Afin de tirer profit de la complémentarité des services et de l'itinérance globale, une architecture d'intégration s'avère nécessaire. Actuellement, les efforts d'intégration déployés se basent sur deux modèles d'intégration proposés dans le cadre de l'intégration Wi-Fi/4G. Les architectures d'intégration susmentionnées présentent de sérieuses faiblesses. Par conséquent, le trafic provenant du Wi-Fi doit transiter par le réseau coeur 4G, ce qui entraînera une saturation de ce dernier. De plus, Wi-Fi et 4G doivent appartenir au même opérateur.

En outre, les deux approches d'intégration citées plus haut, se restreignent seulement aux

réseaux Wi-Fi et 4G, ce qui laisse les réseaux émergents tels que les réseaux de capteurs loin des enjeux d'intégration envisagés par le système hétérogène de réseaux. Par ailleurs, une architecture d'intégration devra prendre en considération certaines exigences liées à la mobilité, au coût, à la facilité du déploiement et à la continuité des services offerts.

Nous avons noté dans la littérature (Akyildiz et al., 2005) que la façon la plus directe et la plus simple pour assurer une liberté de mouvement, à travers différents systèmes mobiles, consiste à avoir des accords de services et d'itinérance (service level agreement ou SLA) entre chaque paire de réseaux. Cependant, cette option est loin d'être pratique lorsque le nombre de réseaux est important. De plus, les opérateurs de téléphonie mobile et les réseaux privés sans fil sont très réticents à l'idée d'autoriser l'accès à leurs données internes même si ce genre d'accès est parfois nécessaire pour compléter des opérations d'authentification ou de facturation. Une architecture d'intégration devra donc assurer l'itinérance globale des usagers mobiles sans avoir à utiliser des accords bilatéraux directs entre les réseaux intégrés.

1.5 Plan de la thèse

Le reste de la présente étude est répartie comme suit : la partie I, en ses chapitres 2 et 3, définit un cadre d'étude des principaux enjeux d'un système hétérogène de réseaux sans fil et mobiles à savoir : l'intégration et la gestion de mobilité. Elle présente également au chapitre 4 les techniques d'optimisation basées sur les chaînes de Markov. Ensuite, les chapitres 5 et 6 contiennent les différentes publications relevant de cette thèse, ainsi qu'une discussion générale des résultats obtenus. Enfin, le chapitre 7 présente une récapitulation des travaux ainsi que des recommandations sur les recherches futures.

Plus précisément, le chapitre 2 est intitulé : *Généralités d'un système hétérogène de réseaux sans fil Wi-Fi et mobile LTE*. Nous y présentons en première section le réseau sans fil Wi-Fi puis en une seconde le réseau mobile LTE. Par la suite, nous avons aussi établi

une intégration des réseaux sans fil Wi-Fi et mobile LTE pour obtenir un réseau hétérogène.

Étant donné que le facteur de la mobilité des utilisateurs est très important dans l'atteinte de nos objectifs, nous avons jugé nécessaire de modéliser la mobilité des utilisateurs en utilisant un type de mobilité répondant au maximum possible à la nature du déplacement des utilisateurs. C'est ainsi que le chapitre 3 est intitulé : *Modélisation des utilisateurs : Le Random WayPoint*.

La principale méthode d'optimisation de la bande passante du système hétérogène de réseaux repose sur les chaînes de Markov, ainsi le chapitre 4 s'intitule : *Technique d'optimisation basée sur les chaînes de Markov*.

Le chapitre 5 intitulé : *Débit binaire optimal de réseaux hétérogènes sans fil Wi-Fi et mobile LTE* a fait l'objet d'un article publié à la revue académique canadienne "Journal of Mathematical Research". Dans cet article, nous proposons une stratégie de sélection de réseau qui a comme finalité d'assurer une meilleure connectivité de l'utilisateur. Plus spécifiquement, nous proposons une solution efficace à la problématique d'analyse de contexte dans un milieu hétérogène. De plus, un mécanisme de relève basé sur le débit binaire et un processus de sélection des réseaux de destination ont été également proposés.

Le chapitre 6 désigné par : *Performances optimales de réseaux hétérogènes Wi-fi et LTE basées sur le SINR* est un article accepté pour publication à la revue Mathematical Sciences (Springer). Dans ce chapitre, nous proposons de prendre en compte d'autres paramètres tels que le nombre d'utilisateurs occupant les unités de bande passante puis en basant notre étude sur le taux de la qualité du signal, de l'interférence et du bruit.

En conclusion et perspectives, le chapitre 7 dresse un bilan des travaux accomplis par rapport à nos objectifs de recherche. De plus, nous y rapportons les limites de nos contributions ainsi que les éventuelles extensions et recommandations pour les travaux futurs.

Première partie

CADRE D'ÉTUDE

Généralités d'un système hétérogène de réseaux Wi-Fi et LTE

Sommaire

2.1	Introduction	11
2.2	Réseau LTE	12
2.3	Réseaux Wi-Fi	13
2.4	Intégration des réseaux Wi-Fi et LTE	14
2.4.1	Définition d'un système hétérogène de réseaux :	15
2.4.2	Modélisation de ce système hétérogène	15
2.5	Conclusion	18

2.1 Introduction

Les communications par les réseaux sans fil et mobiles sont au coeur des interconnexions entre les utilisateurs, quels que soient les appareils dont ils disposent. Ce type de réseaux permet aux terminaux d'être connectés par une interface radio et de se déplacer dans une région déterminée en taille pour les réseaux sans fil ou à l'intérieur du réseau d'un opérateur pour le réseau mobile.

2.2 Réseau LTE

Avec le système LTE(LongTerm Evolution), des débits de données beaucoup plus élevés sont possible à l'aide de technologie de multiplexage et d'antennes. Le système cellulaire LTE est un exemple de système 4G développé par 3GPP release 8 pour fournir des débits de données de plus 100Mbps pour la liaison descendante et de plus de 50Mbps pour la liaison montante. Le réseau LTE offre de très hauts débits binaires dépassant les 100Mbps en plus de bande passante allant de 1.4 à 20MHz[35].



FIGURE 2.1 – Fonctionnalités d'un réseau Lte

2.3 Réseaux Wi-Fi

Le réseau Wi-Fi est un ensemble de protocoles de communication sans fil régis par les normes du groupe IEEE 802.11. Le réseau Wi-Fi est normalisé pour fournir une couverture à large bande passante dans les bâtiments (Indoor). Cette technologie est adoptée plus tard dans un environnement Outdoor pour fournir accès à haut débit dans les centres villes ainsi dans les zones rurales mal servies. Elle a connu beaucoup de succès dans le domaine des télécommunications du fait de sa facilité de déploiement et de son faible coût par rapport aux autres solutions.



FIGURE 2.2 – Fonctionnalités d'un réseau Wi-Fi

2.4 Intégration des réseaux Wi-Fi et LTE

L'infrastructure actuelle des réseaux de télécommunications converge totalement vers des systèmes hétérogènes où les utilisateurs peuvent être rattachés de manière transparente à différents réseaux au cours de leurs communications. Pour assurer une connexion active dans toute la zone de service, des mécanismes des commutations simples entre les différents réseaux sont nécessaires. De plus, un terminal mobile capable de fonctionner avec plusieurs technologies d'accès est alors indispensable. En conséquence, on peut classifier les exigences de réseaux hétérogènes en deux principaux groupes : le premier concerne les opérateurs pour assurer l'interfonctionnement ainsi que les processus de handover entre les différentes technologies d'accès. Le deuxième concerne les performances des terminaux des utilisateurs pour fonctionner et exploiter les services de réseaux.

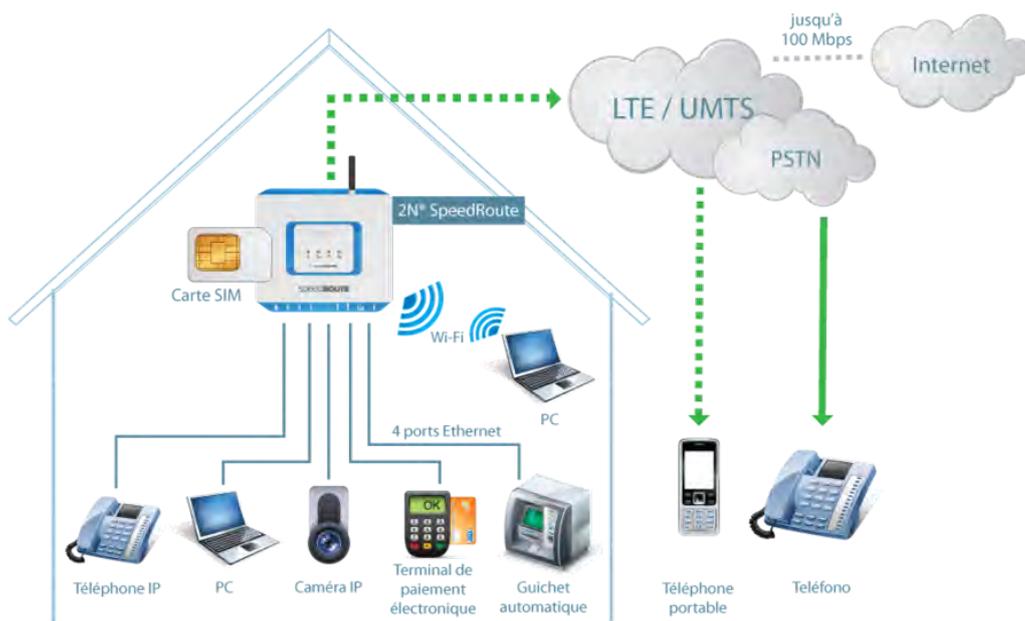


FIGURE 2.3 – Fonctionnalités d'un système hétérogène de réseaux

2.4.1 Définition d'un système hétérogène de réseaux :

Au cours de l'évolution de réseaux sans fil et mobile, nous pouvons remarquer que plusieurs technologies ont été développées. Chacune a été conçue indépendamment pour soutenir des différents types de données, de couverture ou de mobilité.

La figure 2.3 montre une architecture de système hétérogène composée d'un réseau cellulaire et plusieurs réseaux locaux sans fil. En général, les systèmes cellulaires sont envisagés pour fournir des services à faible bande passante, large couverture et mobilité élevée. En revanche, les technologies locales sans fil ont la capacité d'introduire des services à hauts débits de données avec moins de mobilité. Chacun de ces systèmes ont leurs avantages et leurs inconvénients. Aucune technologie ne pourrait offrir simultanément des services à une bande passante élevée, une grande mobilité, une large zone de service pour un grand nombre d'utilisateurs [37]. Ainsi, une approche d'interconnexion permet d'exploiter des avantages de toutes les technologies et de réduire leurs inconvénients. Le terme de réseaux hétérogènes vient de l'intégration des différentes technologies dans le but d'exploiter leurs caractéristiques complémentaires. Grâce aux réseaux hétérogènes, les utilisateurs peuvent transporter de la connexion entre plusieurs points d'accès de différents types, en profitant de meilleurs services personnels en fonction de leurs propres préférences. En outre, les réseaux hétérogènes représentent une solution importante pour diminuer la congestion des réseaux mobiles en partageant le trafic avec d'autres technologies d'accès à plus hauts débits.

2.4.2 Modélisation de ce système hétérogène

L'infrastructure actuelle des réseaux de télécommunications converge totalement vers des systèmes hétérogènes où les utilisateurs peuvent être rattachés de manière transparente à différents réseaux au cours de leurs communications. Pour assurer une connexion active dans toute la zone de service, des mécanismes de commutations simples entre les diffé-

rents réseaux sont nécessaires. De plus, un terminal mobile capable de fonctionner avec plusieurs technologies d'accès est alors indispensable. En conséquence, on peut classifier les exigences de réseaux hétérogènes en deux principaux niveaux : le premier concerne les opérateurs pour assurer l'interfonctionnement ainsi que les processus de handover entre les différentes technologies d'accès. Le deuxième concerne les performances des terminaux des utilisateurs pour fonctionner et exploiter les services de réseaux.

La figure 2.4 explique le modèle du système hétérogène pris en compte dans notre étude. Nous considérons une zone de service circulaire C_1 de rayon R_1 représentant un cluster dans un système cellulaire. Les utilisateurs mobiles se déplacent dans la zone de service selon le modèle de mobilité mentionné dans le chapitre suivant. Cette zone de service est supposée comprendre plusieurs cellules homogènes de type C_1 . Chacune de ces cellules est couverte par plusieurs types de réseaux. Afin de cerner l'analyse, nous nous focalisons sur le traitement d'une seule cellule C_1 couverte par m réseaux hétérogènes $N_i (1 \leq i \leq m)$. Chaque réseau $N_i (1 \leq i \leq m)$ est supposé avoir une zone de couverture de forme circulaire avec un rayon r_i . De plus, nous supposons que le réseau N_1 couvre totalement la cellule C_1 tandis que les réseaux $N_i (2 \leq i \leq m)$ couvrent certaines parties de cette cellule. Pour mieux aborder l'analyse, nous supposons également que les réseaux $N_i (2 \leq i \leq m)$ ne se chevauchent pas les uns avec les autres. Comme illustré par la figure 4.1, nous utilisons $C_i (2 \leq i \leq m)$ pour indiquer la partie de la cellule C_1 qui est couverte par les réseaux $N_i (2 \leq i \leq m)$ et C_0 pour indiquer la partie couverte par le réseau N_1 seulement ($C_0 = C_1 - \bigcup_{i=2}^m C_i$). Dans les zones de chevauchement $C_i (2 \leq i \leq m)$, les utilisateurs ont de nombreuses options de connexion. Lorsqu'un nouvel appel arrive dans ces zones, le terminal choisit un réseau parmi tous ceux disponibles. Basé sur une stratégie de sélection, le terminal choisit un meilleur réseau en terme de qualité de services pour effectuer sa connexion. En outre, nous supposons que le réseau N_1 fournit des services à faible bande passante tandis que les réseaux $N_{i(2 \leq i \leq m)}$ fournissent des services à bande passante plus large. C'est le cas par exemple avec une cellule couverte par un réseau cellulaire et

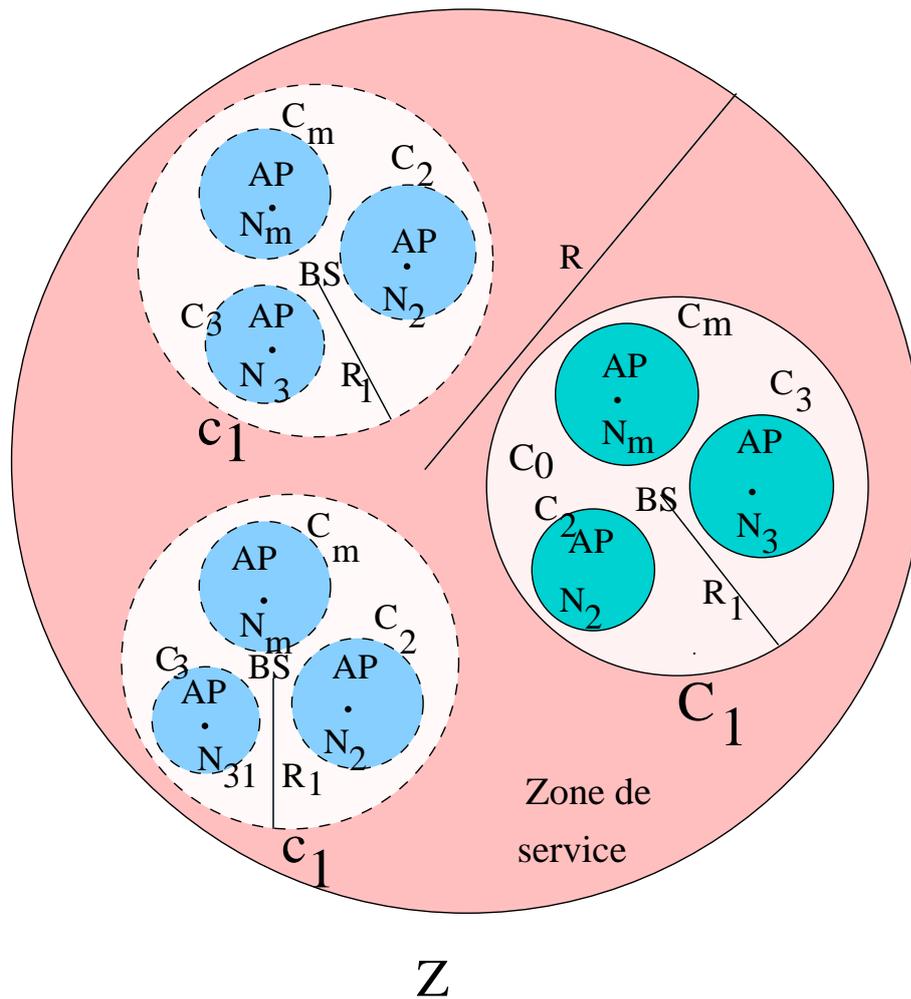


FIGURE 2.4 – Modèle de réseaux Hétérogènes

plusieurs réseaux sans fil. Dans notre travail, nous supposons que chaque réseau $N_{i(1 \leq i \leq m)}$ dispose B_j unités de bande passante. Ces unités peuvent être allouées aux utilisateurs pour offrir des services Unicast ou Multicast. Nous dénotons B_i^{mc} le nombre des unités du réseau $N_{i(1 \leq i \leq m)}$ qui sont réservées aux services Multicast et B_i^{uc} le nombre des unités qui sont disponibles pour des services Unicast. Nous considérons également Q sources d'interférence $I(q), q \in Q$ aléatoirement distribuées dans la cellule C_1 . Elles joueront un rôle central dans l'algorithme de sélection puisqu'elles affectent les signaux qui se propagent à la même fréquence.

2.5 Conclusion

Les nouveaux réseaux intégrés sans fil et mobiles permettent d'offrir une large gamme de services partout et à tout moment à travers des réseaux hétérogènes. Les nouveaux terminaux mobiles sont équipés des interfaces hétérogènes et peuvent fonctionner avec toutes les technologies d'accès disponibles pour fournir les services correspondants. Le concept Always Best Connected(ABC) assure aux utilisateurs situés dans un système hétérogène une meilleure connectivité n'importe où dans la zone de services et à tout moment.

Modélisation de la mobilité des utilisateurs : Le Random WayPoint(RWP)

Sommaire

3.1	Définition du Random WayPoint(RWP)	20
3.2	Handover(Relève)	21
3.2.1	Définition	21
3.2.2	Handover horizontal	21
3.2.3	Handover vertical	22
3.3	Modélisation du Random WayPoint(RWP)	22
3.3.1	Distribution stationnaire	22
3.3.2	Densité de probabilité	25
3.3.3	Le taux d'arrivée $\tau_a(C)$ d'un utilisateur dans une cellule C . . .	26
3.3.4	Probabilité $\mathbb{P}(C)$ de trouver des utilisateurs dans une cellule C	26
3.4	Taux moyen $\lambda_{C_i}^{c(k)}$ de nouvelles demandes d'accès à un service dans une sous cellule C_i :	26

3.5	Taux moyen de demandes de handovers :	27
3.5.1	Horizontal	27
3.5.2	Vertical	27
3.6	Autres types de mobilité	28
3.7	Conclusion	28

Le comportement de déplacement des terminaux mobiles joue un rôle important dans l'évaluation des performances des réseaux de télécommunication sans fil et mobiles. Ils simulent les mouvements des utilisateurs dans une zone de service donnée permettant le calcul des paramètres importants tels que le temps du traitement du canal, le taux de handover, la durée moyenne de séjour dans une cellule et la probabilité de choix d'un trajet de déplacement.

3.1 Définition du Random WayPoint(RWP)

Selon le modèle de mobilité RWP, chaque utilisateur choisit aléatoirement un point de destination et se dirige vers cette destination à une vitesse constante. Le déplacement d'un utilisateur d'un point de départ jusqu'à un point de destination est nommé «one movement epoch» [59]. La vitesse des utilisateurs à chaque période est une vitesse aléatoire et choisie à partir d'une distribution uniforme de la vitesse $[0, V_{max}]$, où V_{max} est la vitesse maximale admissible pour chaque utilisateur [55]. Dans le RWP, l'utilisateur peut attendre une période de temps appelée "temps de réflexion" avant son départ pour un autre point. Le déplacement d'un utilisateur est indépendant de son déplacement précédent et des déplacements des autres utilisateurs. Donc, à la fin de chaque période de mouvement, l'utilisateur s'arrête une durée du temps, puis choisit un autre point de destination et, éventuellement, une nouvelle vitesse, ensuite se déplace vers cette destination à une vitesse constante, ainsi de suite. RWP est l'un des modèles de mobilité largement utilisés dans l'analyse des performances des réseaux sans fil et mobiles. Il représente bien

les mouvements individuels qui comprennent l'arrêt, le démarrage et d'autres actions liées aux déplacements individuels dans les villes.

3.2 Handover(Relève)

3.2.1 Définition

Le processus de handover est l'ensemble des opérations mises en oeuvre afin de permettre à un terminal mobile de passer d'un réseau à un autre sans aucune interruption de la conversation en cours. Les scénarios de handover peuvent être classés d'horizontal et de vertical.

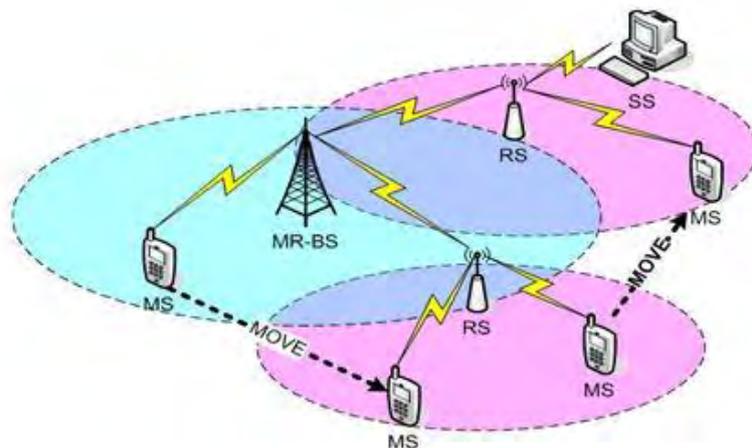


FIGURE 3.1 – Handover vertical et horizontal

3.2.2 Handover horizontal

Le handover horizontal est le processus de transfert d'un appel entre des cellules différentes d'un même réseau. Il est généralement réalisé dans les réseaux cellulaires homogènes lors de déplacement d'un utilisateur entre deux cellules de la même technologie d'accès. Ce processus est requis normalement à cause de la mobilité et de l'impossibilité de la

maintenance de la connexion avec la même station de base où l'accès au service devient indisponible.

Comme le cluster est couvert par plusieurs cellules homogènes de type C , nous supposons que l'utilisateur qui se déplace de la zone à l'extérieur de la cellule C , accède directement à un autre réseau similaire. Par conséquent, une demande de handover horizontal vers la nouvelle BS du réseau du même type est générée.

3.2.3 Handover vertical

En revanche, le handover vertical est le processus de transfert d'un appel entre deux technologies différentes d'accès. Ce processus est indispensable dans le domaine des réseaux hétérogènes et peut être utilisé pour des raisons de satisfaction des utilisateurs plutôt que des raisons de connectivité. Par exemple, le terminal mobile peut vouloir se connecter à un autre réseau pour une meilleure qualité de connexion même si la connexion avec l'ancien réseau est toujours possible.

3.3 Modélisation du Random WayPoint(RWP)

Le Random WayPoint est le meilleur modèle adapté aux déplacements individuels des utilisateurs. En effet, il prend en compte les attitudes individuelles des utilisateurs telles que leurs arrêts, départs et toutes autres actions relatives au mouvement individuel dans une zone donnée.

3.3.1 Distribution stationnaire

Dans le modèle Random WayPoint(RWP), on suppose qu'un utilisateur se déplace dans un espace convexe $C \subset \mathbb{R}^2$ le long d'un segment de droite venant d'un point quelconque vers un autre point. Les différents points parcourus par l'utilisateur sont notés par P_i . Ces points sont uniformément distribués dans C , en notant par P une variable aléatoire

prenant les valeurs $P_1, P_2, \dots, P_{i-1}, P_i \dots$ alors on a : $P \sim U(P_i)$. La transition de P_{i-1} à P_i correspond au $i^{\text{ème}}$ segment de droite, et la vitesse de l'utilisateur sur ce segment est définie comme une variable aléatoire v , $v \sim v_i$. Particulièrement, le modèle RWP assure que les variables P_i et v_i sont indépendantes. En se basant sur cette notation, le processus du RWP pour un utilisateur est défini par une séquence infinie de triplets,

$$\{(P_0, P_1, v_1), (P_1, P_2, v_2), (P_2, P_3, v_3), \dots\}$$

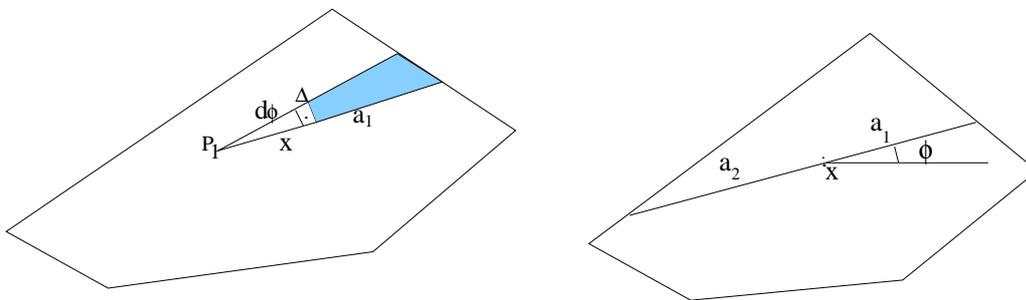


FIGURE 3.2 – Les paramètres du RWP

Nous pouvons noter que dans le processus du modèle RWP les segments consécutifs de déplacement sont non colinéaires et ils partagent un point en commun. Cependant, notons par hypothèse que ce processus est réversible dans le temps dans la mesure où tout chemin parcouru P_0, P_1, \dots, P_n est équivalent en temps au chemin inverse P_n, P_{n-1}, \dots, P_0 .

Nous notons par : $a_1 = a_1(x, \phi)$ la distance x effectuée par un utilisateur sous un angle ϕ dans un espace connexe. Pareillement, nous notons par : $a_2 = a_2(x, \phi) = a_1 = a_1(x, \phi + \pi)$ la distance de l'utilisateur au bord du domaine connexe dans la direction opposée.

La distribution stationnaire de la mobilité d'un utilisateur en fonction de a_1 et a_2 est alors formulée dans [15] par :

$$f(x) = \frac{1}{\bar{C}} \int_0^{2\pi} a_1 a_2 (a_1 + a_2) d\phi \quad (3.1)$$

Où \bar{C} est le paramètre de normalisation constant.

Exemple 3.1. *Le disque unité :*

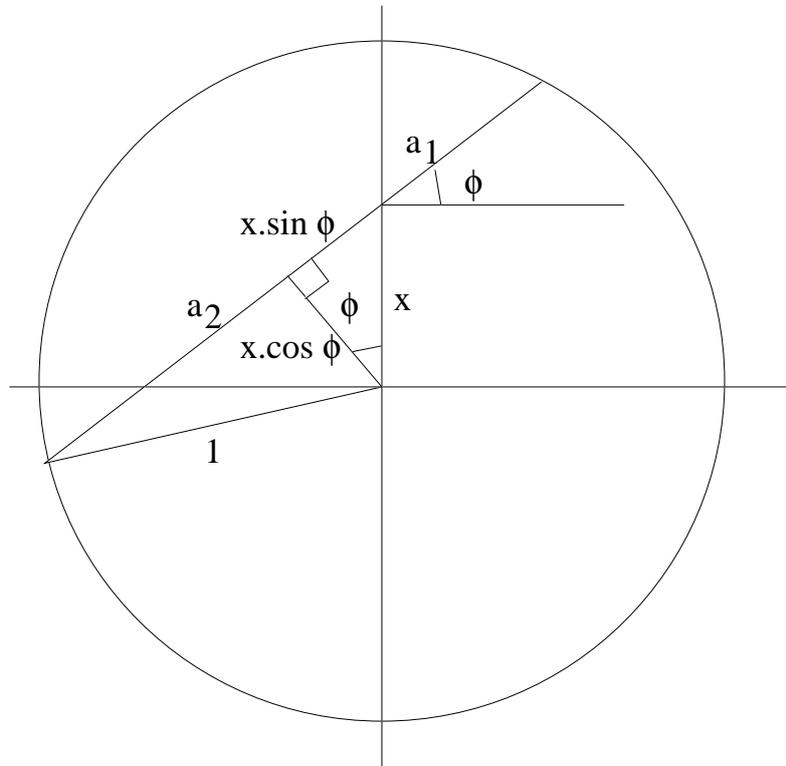


FIGURE 3.3 – Application du RWP sur le disque unité

Nous déterminons la distribution stationnaire de la mobilité d'un utilisateur dans un disque unité avec $\phi \in [0, 2\pi]$. Ainsi à l'aide de la figure 3.3 nous obtenons les résultats suivants :

$$a_1(x, \phi) = \sqrt{1 - x^2 \cdot \cos^2 \phi} - x \cdot \sin \phi$$

$$a_2(x, \phi) = \sqrt{1 - x^2 \cdot \cos^2 \phi} + x \cdot \sin \phi$$

Ainsi on a :

$$a_1 \cdot a_2 = 1 - x^2$$

$$a_1 + a_2 = 2\sqrt{1 - x^2 \cdot \cos^2 \phi}$$

Par conséquent la distribution stationnaire de la mobilité d'un utilisateur dans le disque unité est alors :

$$f(x) = \frac{1}{C} 2(1-x^2) \int_0^\pi \sqrt{1-x^2 \cos^2 \phi} d\phi \quad (3.2)$$

3.3.2 Densité de probabilité

La densité de probabilité de trouver un utilisateur situé à une distance x du centre du cluster convexe C et dans une cellule circulaire de rayon r placée à une distance d du centre de la zone de service est formulée par [15] :

$$h(x) = (1-x^2) \int_0^\pi \sqrt{1-x^2 \cos(\Phi + \alpha - \beta)} d\Phi \quad (3.3)$$

Avec

$$x = \sqrt{d^2 + 2dr \cos \alpha + r^2}$$

$$\beta = \arctan(d + r \cos \alpha; r \sin \alpha)$$

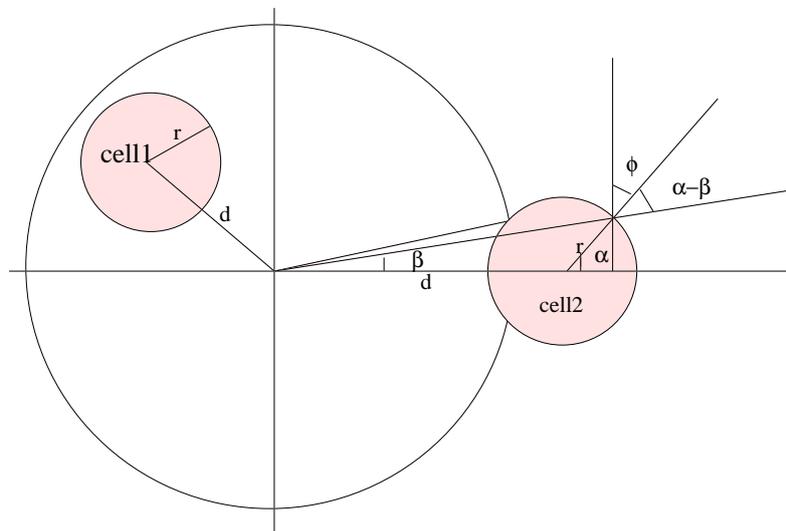


FIGURE 3.4 – Les paramètres de la densité

3.3.3 Le taux d'arrivée $\tau_a(C)$ d'un utilisateur dans une cellule C

A l'aide du modèle Random WayPoint et des résultats obtenus dans [70], nous avons donné que le taux moyen d'arrivée d'un utilisateur dans une cellule C de rayon r et située à une distance d du centre du cluster par l'équation :

$$\tau_a(C) = \frac{2}{C} \int_0^\pi \int_0^\pi r.h(x) \sin \Phi d\Phi d\alpha \quad (3.4)$$

3.3.4 Probabilité $\mathbb{P}(C)$ de trouver des utilisateurs dans une cellule C

La probabilité de trouver des utilisateurs dans une cellule C de rayon r située à une distance d du centre de la zone de service dépend directement de la mobilité des utilisateurs. Donc nous nous sommes référés au modèle Random WayPoint et des résultats des travaux des auteurs [7] pour donner cette probabilité suivant l'équation :

$$\mathbb{P}(C) = \int_0^R \int_0^\pi \int_0^{2\pi} r.h(x) d\Phi d\alpha dr \quad (3.5)$$

3.4 Taux moyen $\lambda_{C_i}^{c(k)}$ de nouvelles demandes d'accès à un service dans une sous cellule C_i :

Notons par $\lambda_C^{c(k)}$ le taux moyen de demande d'accès à un service k dans une cellule C . Ainsi le taux moyen de demande d'accès à un service k , $\lambda_{C_i}^{c(k)}$, se trouvant à une sous cellule C_i se formule par :

$$\lambda_{C_i}^{c(k)} = \mathbb{P}(C_i) \cdot \lambda_C^{c(k)} \quad (3.6)$$

3.5 Taux moyen de demandes de handovers :

Un utilisateur connecté puis en mobilité effectue indirectement des handovers dans le système hétérogène de réseaux. Ces handovers sont orthogonaux ou verticaux.

3.5.1 Horizontal

Soit $u_{C_1}^k$ le nombre moyen d'utilisateurs ayant accès au service k dans la cellule C_1 . Le taux moyen de demandes de handover horizontal $\tau_{C_2}^{H(k)}$ au réseau N_1 pour un service k est donné par la relation :

$$\tau_{C_2}^{H(k)} = u_{C_1}^k \cdot \eta_{C_1}^{C_2} \quad (3.7)$$

où $\eta_{C_1}^{C_2}$ est le flux de sortie des utilisateurs de la zone C_1 à l'extérieur de la cellule C_2 et est défini par :

$$\eta_{C_1}^{C_2} = \frac{\mathbb{P}(C_1)}{\Delta_{c(k)}}$$

Avec $\Delta_{c(k)}$ le temps de séjour moyen des utilisateurs dans une zone C_i .

3.5.2 Vertical

On note par $u_{C_1}^k$ le nombre moyen d'utilisateurs mobiles accédants au service k dans la cellule C_1 . Le taux moyen de demandes de handover vertical $\tau_{C_2}^{V(k)}$ au réseau N_1 des utilisateurs accédants au service k dans la zone C_1 et se déplaçant vers la cellule C_2 sans avoir fini leurs connections est donné par l'équation :

$$\tau_{C_2}^{V(k)} = u_{C_1}^k \cdot \eta_{C_1}^{C_2} \quad (3.8)$$

où $\eta_{C_1}^{C_2}$ est le flux de sortie des utilisateurs de la cellule C_1 vers celle C_2 et est donné par :

$$\eta_{C_1}^{C_2} = \frac{\mathbb{P}(C_1)}{\Delta_{c(k)}}$$

Avec $\Delta_{c(k)}$ le temps de séjour moyen des utilisateurs dans une zone C_2 .

3.6 Autres types de mobilité

Dans la littérature, nous avons noté différents modèles de mobilité [52]. En général, Ils peuvent être classés en deux catégories décrivant la mobilité individuelle et la mobilité en groupe [53].

Les modèles de mobilité individuelle décrivent la mobilité des utilisateurs mobiles dont les mouvements sont indépendants les uns des autres.

Les modèles de mobilité en groupe sont généralement une extension des modèles de mobilité individuelle, où le comportement de chaque groupe des utilisateurs est associé à un point de référence(chef de groupe).

D'autres classifications regroupent ces modèles selon la corrélation de déplacement actuel de chaque utilisateur avec les précédents déplacements. On peut signaler des modèles de mobilité aléatoires, des modèles de mobilité avec une dépendance temporelle et des modèles de mobilité avec une dépendance spatiale [54] [55]. D'autres modèles de mobilité prennent en compte les restrictions géographiques rencontrées lors du déplacement. Par exemple, les mouvements des véhicules dans une zone urbaine doivent être limités aux rues locales ou aux autoroutes. Ce type de modèle de mobilité est appelé modèle de mobilité avec restrictions géographiques [56]. Chacun de ces modèles représente des mobilités spécifiques qui peuvent être adoptées pour évaluer les performances.

3.7 Conclusion

Les modèles de mobilité sont des éléments importants en matière de simulation basés sur des études de performances des réseaux mobiles et sans fil. Les chercheurs dans ce domaine font des choix divers de modèles qui ont été développés pour les communications

sans fil et mobiles. Nous avons présenté dans ce chapitre les propriétés principales du modèle de mobilité RWP largement utilisé dans l'analyse des performances des réseaux sans fil et mobiles. Ce modèle est adopté pour simuler le comportement des utilisateurs dans le cluster.

Technique d'optimisation basée sur les chaînes de Markov

Sommaire

4.1	Introduction	30
4.2	Vocabulaire	31
4.2.1	Définitions et propriétés	31
4.2.2	Représentation graphique des chaînes de Markov	34
4.2.3	Chaînes réductibles et irréductibles	36
4.3	Comportement asymptotique des chaînes de Markov	36
4.4	Conclusion	39

4.1 Introduction

Les Processus Décisionnels de Markov s'appuient sur la théorie mathématique des chaînes de Markov, qui permettent de décrire l'évolution d'un processus stochastique sans mémoire du passé.

4.2 Vocabulaire

Comme l'indique la définition 4.1, une chaîne de Markov est une suite discrète d'états stochastiques, tels que la probabilité d'obtenir un état à un instant donné ne dépend que de l'état précédent de la chaîne. Ainsi, la dynamique du système n'intègre pas la mémoire de l'historique des états passés.

4.2.1 Définitions et propriétés

Définition 4.1. Soit \mathcal{E} un ensemble fini ou dénombrable d'états. Une suite de variables d'états aléatoires $(E_i)_{i \in \mathbb{N}}$ à valeurs dans \mathcal{E} telle que :

$$\mathbb{P}(E_{n+1} = j \mid E_0 = i_0, \dots, E_{n-1} = i_{n-1}, E_n = i_n) = \mathbb{P}(E_{n+1} = j \mid E_n = i_n) \quad (4.1)$$

est une chaîne de Markov.

Nous remarquons que, une chaîne de Markov est un processus de succession d'états dont la mémoire a 1 comme profondeur : L'état E_n dépend seulement de celui E_{n-1} .

Définition 4.2. $\mathbb{P}(E_{n+1} = j \mid E_n = i_n) = a_n(i, j)$ est le taux de transition de l'état i à l'état j lorsqu'on passe de l'étape n à l'étape $n+1$.

L'ensemble des taux de transition caractérise une chaîne de Markov.

On supposera dans la suite sauf indication contraire :

- i) $a_n(i, j)$ est indépendant de n , ainsi la chaîne de Markov est dite homogène.
- ii) L'espace d'états \mathcal{E} est de dimension finie, de cardinal noté m .

Les hypothèses i) et ii) nous permettent de définir la matrice de transition d'une chaîne de Markov.

Définition 4.3. Soit une chaîne de Markov homogène à états dénombrables, la matrice de transition T de cette chaîne est définie par : $T = a(i, j)$. Sa taille est $m \times m$.

Nous allons établir quelques propriétés de la matrice de transition.

Proposition 4.1. Pour toute étape n , notons par π_n la distribution de probabilité de l'état E_n .

i) $\sum_{j=1}^m \mathbb{P}(E_{n+1} = j \mid E_n = i) = 1$, pour toute ligne de T , la somme de tous les éléments est égale à 1 : La matrice T est dite alors stochastique.

ii) $\forall n \in \mathbb{N}, \pi_n = \pi_{n-1}T = \pi_0 T^n$.

iii) $\forall n \in \mathbb{N}^*, a_{i,j}^n = \mathbb{P}(E_{n+t} = j \mid E_t = i)$ où $a_{i,j}^n$ est l'élément de la matrice T^n en ligne i et en colonne j . Il s'agit des équations de Chapman-Kolmogorov.

Démonstration

i) Par définition de la matrice de transition T , la somme de tous les éléments d'une ligne est égale à 1.

ii) On définit la distribution π_n de l'état E_n par : $\pi_n = (\mathbb{P}(E_n = j), \mathbb{P}(E_n = i))$

Ainsi on calcule par la formule des probabilités totales :

$$\begin{aligned}
 \mathbb{P}(E_{n+1} = j) &= \mathbb{P}((E_{n+1} = j) \cap ((E_n = j) \cup (E_n = i))) \\
 &= \mathbb{P}(((E_{n+1} = j) \cap (E_n = j)) \cup ((E_{n+1} = j) \cap (E_n = i))) \\
 &= \mathbb{P}((E_{n+1} = j) \cap (E_n = j)) + \mathbb{P}((E_{n+1} = j) \cap (E_n = i)) \\
 &= \mathbb{P}((E_{n+1} = j) \mid (E_n = j)) \cdot \mathbb{P}(E_n = j) + \mathbb{P}((E_{n+1} = j) \mid (E_n = i)) \cdot \mathbb{P}(E_n = i)
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Par analogie on a :

$$\begin{aligned}
\mathbb{P}(E_{n+1} = i) &= \mathbb{P}((E_{n+1} = i) \cap ((E_n = i) \cup (E_n = j))) \\
&= \mathbb{P}(((E_{n+1} = i) \cap (E_n = i)) \cup ((E_{n+1} = i) \cap (E_n = j))) \\
&= \mathbb{P}((E_{n+1} = i) \cap (E_n = i)) + \mathbb{P}((E_{n+1} = i) \cap (E_n = j)) \\
&= \mathbb{P}((E_{n+1} = i)|(E_n = i)).\mathbb{P}(E_n = i) + \mathbb{P}((E_{n+1} = i)|(E_n = j)).\mathbb{P}(E_n = j)
\end{aligned} \tag{4.3}$$

Sous forme matricielle cela se résume en :

$$\pi_{n+1} = \pi_n.T$$

(remarquons qu'il s'agit du produit à gauche de T par la matrice ligne π_n) Par récurrence immédiate on peut écrire :

$$\forall n \in \mathbb{N}, \pi_n = \pi_0.T^n$$

. iii) La démonstration se fait par récurrence sur n, avec :

$$\begin{aligned}
a_{i,j}^{n+1} &= \sum_{k=1}^m a_{i,k} a_{k,j}^n \\
&= \sum_{k=1}^m \mathbb{P}((E_{t+1} = k|E_t = i). \mathbb{P}((E_{t'+n} = j|E_{t'} = k)) \\
&= \sum_{k=1}^m \mathbb{P}((E_1 = k|E_0 = i). \mathbb{P}((E_{n+1} = j|E_1 = k)) \\
&= \sum_{k=1}^m \mathbb{P}((E_1 = k|E_0 = i). \mathbb{P}((E_{n+1} = j|E_1 = k \cap E_0 = i)) \\
&= \sum_{k=1}^m \mathbb{P}((E_{n+1} = j \cap E_1 = k|E_0 = i)) \\
&= \sum_{k=1}^m \mathbb{P}((E_{n+1} = j|E_0 = i))
\end{aligned} \tag{4.4}$$

En effet, la chaîne de Markov étant homogène, on peut donner toute valeur à t et t' dans

ce qui précède (ligne 3), ensuite on utilise la propriété de Markov (définition 4.1) à la ligne 4, puis la formule des probabilités totales (ligne 5 et 6).

4.2.2 Représentation graphique des chaînes de Markov

Lorsque l'ensemble d'états est de dimension finie, il est possible de représenter une chaîne de Markov homogène d'ensemble d'états \mathcal{E} , en utilisant un graphe orienté valué G tel que :

- i) Les états de \mathcal{E} sont les sommets du graphe ;
- ii) Si $a_{i,j} > 0$ alors il y a un arc du sommet i vers le sommet j ;
- iii) La probabilité de transition $a_{i,j}$ est la valuation de l'arc (i,j) ;

Une chaîne de Markov peut alors être considérée comme un chemin aléatoire sur le graphe G : on tire aléatoirement x_0 réalisation de X_0 selon la loi π_0 , puis de x_0 on tire x_1 (réalisation de X_1) selon les probabilités de transition des arcs issus de x_0 , etc.

Exemple 4.1. *Considérons la chaîne de Markov à valeurs dans $\mathcal{E} = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, de matrice de transition :*

$$T = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

Elle est représentée par le graphe G suivant :

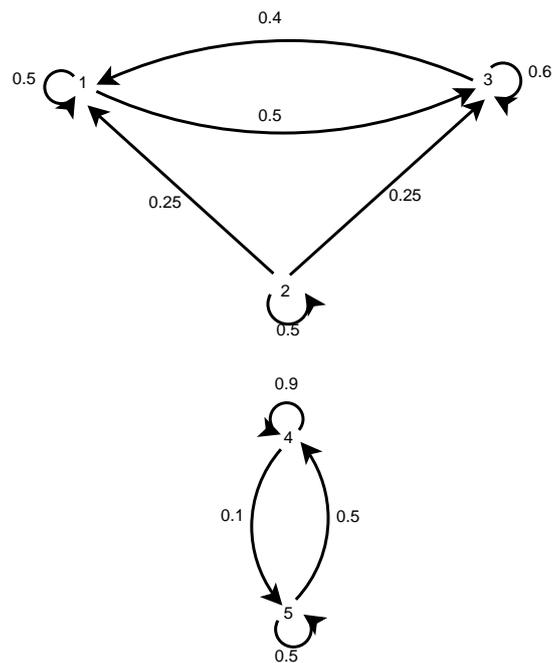


FIGURE 4.1 – Exemple 1 de représentation graphique d'une chaîne de Markov

Exemple 4.2. La chaîne de Markov prenant ses valeurs dans $\mathcal{E} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ et dont la matrice de transition est :

$$T = \begin{pmatrix} 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0.4 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0.25 \\ 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 \end{pmatrix}$$

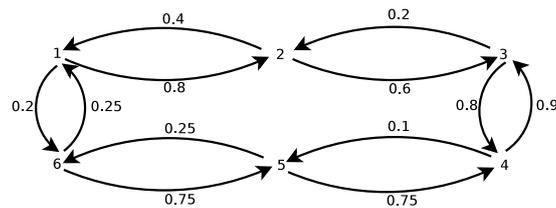


FIGURE 4.2 – Exemple 2 de représentation graphique d'une chaîne de Markov

4.2.3 Chaînes réductibles et irréductibles

Définition 4.4. Si chaque état d'une chaîne de Markov est accessible à partir de chaque autre état en un nombre fini d'étapes alors cette chaîne de Markov est dite irréductible.

Vue la proposition 4.1, cela se traduit par :

$$\forall (i, j) \in \mathcal{E}^2, \exists n \in \mathbb{N} : a_{i,j}^n > 0$$

La relation « l'état E_i est accessible à partir de E_j et l'état E_j est accessible à partir de E_i » définit une relation d'équivalence sur l'ensemble des états \mathcal{E} dont les classes d'équivalence sont les composantes fortement connexes du graphe orienté G .

Par définition, un graphe représentant une chaîne de Markov irréductible est fortement connexe, il ne présente qu'une seule classe d'équivalence.

Définition 4.5. Une chaîne de Markov est dite réductible si $\exists (i, j) \in \mathcal{E}^2, \forall n \in \mathbb{N} : a_{i,j}^n \leq 0$ et le graphe G admet plusieurs composantes fortement connexes. Une composante qui ne mène à aucune autre est dite finale, sinon les états qui la composent sont dits transitoires.

4.3 Comportement asymptotique des chaînes de Markov

Nous nous intéressons dans cette section aux propriétés asymptotiques de la distribution π_n de E_n lorsque $n \rightarrow +\infty$. En effet, au cours d'un processus de durée inconnue, il est

utile de connaître l'évolution asymptotique de la distribution de probabilité sur les états de la chaîne de Markov, connaissant un état de départ dans la chaîne.

A l'aide de la formule $\pi_{n+1} = \pi_n T$, on voit que si (π_n) est convergente alors elle converge vers un vecteur propre (à gauche) associé à la valeur propre 1 (à gauche).

Nous pouvons constater que 1 est valeur propre de T. En effet, comme :

$$T \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

(car P est une matrice stochastique) on se rend compte que 1 est valeur propre de T (à droite, i.e. au sens habituel). Comme la matrice T et sa transposée T^t ont les mêmes valeurs propres. En effet, les polynômes caractéristiques de T et T^t sont identiques : $\det(T - \lambda I) = \det(T - \lambda I)^T = \det(T^t - \lambda I)$, alors 1 est valeur propre (à droite) de T^t . On retient que le nombre 1 est bien valeur propre à gauche de P. Cependant, ce raisonnement n'assure pas que :

1. La suite (π_n) converge effectivement,
2. Le sous-espace propre associé à la valeur propre 1 a des vecteurs à composantes toutes positives (de manière à obtenir une distribution de probabilités en normalisant),
3. ni l'unicité de la limite éventuelle : si le sous-espace propre associé à la valeur propre (à gauche) 1 est de dimension strictement supérieure à 1, alors plusieurs limites sont possibles, selon la valeur de π_0 .

Nous allons voir que les chaînes irréductibles ont tout de même une unique distribution limite. Ce résultat sera obtenu à l'aide du théorème de Perron-Frobenius.

Proposition 4.2. *Une chaîne de Markov irréductible admet une unique distribution de probabilité π^* telle que : $\pi^* \cdot T = \pi^*$.*

Démonstration

La chaîne de Markov étant irréductible, pour tout couple d'états (i, j) il existe un chemin de longueur $n(i, j) \in \mathbb{N}$ entre i et j . Soit $n = \text{ppcm}(i, j)$; pour tout (i, j) il existe aussi un chemin de longueur n entre les états i et j (quitte à reprendre plusieurs fois le chemin de longueur $n(i, j)$).

Ainsi avec la proposition 4.1, on déduit :

$$\forall (i, j) \in \mathcal{E}^2, a_{i,j}^n > 0$$

(On dit que la matrice stochastique T ou la chaîne de Markov sont régulières.)

Maintenant en toute généralité, si M est une matrice stochastique, λ une valeur propre, $v = (v_i)$ un vecteur propre associé (composantes v_i), et k un indice tel que $v_k = \max |v_i|$; alors :

$$|\lambda v_i| = \left| \sum_j a_{k,j} v_j \right| \leq \sum_j a_{k,j} |v_j| \leq |v_k| \sum_j a_{k,j} = |v_k|$$

Donc toute valeur propre de M est inférieure ou égale à 1. Comme 1 est effectivement valeur propre d'après la remarque du début de section, on dit que le rayon spectral de M est inférieur ou égal à 1. Ainsi T^n a un rayon spectral inférieur ou égal à 1.

Comme T^n et sa transposée ont même spectre, il en est de même pour $(T^t)^n$.

Ainsi, $a^n(i, j)$ est strictement positif pour tout couple (i, j) d'états, et la matrice $(T^t)^n$ a un rayon spectral égal à 1.

Le théorème de Perron-Frobenius, nous permet de conclure que l'espace propre associé à la valeur propre 1 de T^t est de dimension 1, et qu'un vecteur propre associé à 1 est de composantes toutes strictement positives.

On conclut à l'existence de π^* en normalisant la somme des éléments à 1.

Définition 4.6. Une chaîne de Markov est dite ergodique si (π_n) converge, indépendamment de π_0 .

Proposition 4.3. La matrice de transition T d'une chaîne de Markov ergodique admet

pour distribution stationnaire π^* est telle que $(T)^n \rightarrow \Pi$, où Π est la matrice carrée formée de la concaténation de lignes identiques π^* .

Démonstration

Comme $\forall \pi_0, \forall n \geq 0, \pi_n = \pi_0.T^n$, T^n est une suite de matrices convergentes. Soit L sa limite : L est stochastique et comme (T^n) et (T^{n+1}) ont même limite : $L.T = L$. En particulier n'importe quelle ligne L_i de L vérifie : $L_i.P = L_i$.

La chaîne étant ergodique, elle est irréductible donc admet une unique distribution stationnaire π^* . Les lignes de L sont donc égales à π^* .

4.4 Conclusion

En fait, les chaînes de Markov sont des processus stochastiques dont l'évolution est régie par une équation de récurrence du type $X_{n+1} = f(X_n, Z_{n+1})$ où (Z_{n+1}) est une suite indépendante de la valeur initiale X_0 . Cette structure est extrêmement simple à générer une grande variété de comportements. C'est pour cela que les chaînes de Markov trouvent des applications dans beaucoup de domaines comme, par exemple, la biologie, la physique, la télécommunication, la recherche opérationnelle et les sciences de l'ingénieur où elles donnent des réponses aussi bien qualitatives que quantitatives aux problèmes posés.

Deuxième partie

**APPROCHES ET MÉTHODES
PROPOSÉES POUR
L'OPTIMISATION DES
PERFORMANCES DE RÉSEAUX
HÉTÉROGÈNES**

Débit binaire optimal de réseaux hétérogènes sans fil Wi-Fi et mobile LTE

Sommaire

5.1	Introduction	42
5.2	Calcul du débit	42
5.3	Modélisation du système hétérogène de réseaux	43
5.4	Technique de sélection d'un réseau	45
5.5	Modélisation basée sur une chaîne de Markov	46
5.5.1	Les différents étapes et états du système	46
5.5.2	Les différents taux de transition	49
5.6	Évaluations des performances optimales	53
5.6.1	Débit moyen du système dans une zone C_i	53
5.6.2	Probabilité de blocage et perte de connections dans une zone C_i	55
5.7	Tests numériques des résultats théoriques	55
5.8	Conclusion	60

5.1 Introduction

La complémentarité des réseaux LTE(4G) et Wi-Fi constitue un système hétérogène de réseaux sans fil et mobiles. Nous étudions et analysons les performances optimales de ce système hétérogène basées sur le débit binaire, les probabilités de blocage et perte de connexions des utilisateurs. Le Random WayPoint(RWP) est le modèle de mobilité des utilisateurs qui sont munis de terminaux équipés d'interfaces d'accès multiples. Nous avons utilisé une chaîne de Markov pour évaluer les performances obtenues du système de réseaux sans fil et mobiles, ce qui nous a permis de proposer une valeur moyenne du débit binaire dans une sous zone de ce système puis les probabilités moyennes de blocage des connexions des utilisateurs dans cette zone.

5.2 Calcul du débit

A l'aide des relations définies dans [?](Tarhini et al.) nous donnons le débit D . Nous notons que le débit d'une connexion est déterminé par les informations contenues dans la requête de demande de la bande passante à l'origine de cette connexion.

Le nombre de sous porteuses N assigné pour une connexion dans une zone C est alors donné en fonction de son débit demandé D , comme suit :

$$N = \frac{D}{K \times B \times E \times (1 - BLER)} \quad (5.1)$$

où K est le nombre de fréquences allouées à chaque sous porteuse de transmission de données, B est le débit en symbole mesurant le nombre de symboles par seconde, E est l'efficacité de modulation c'est-à-dire le nombre de bits par symbole, $BLER$ correspond au taux d'erreur bloc dans une zone. Ainsi le débit D est donné par :

$$D = N \times K \times B \times E \times (1 - BLER)$$

5.3 Modélisation du système hétérogène de réseaux

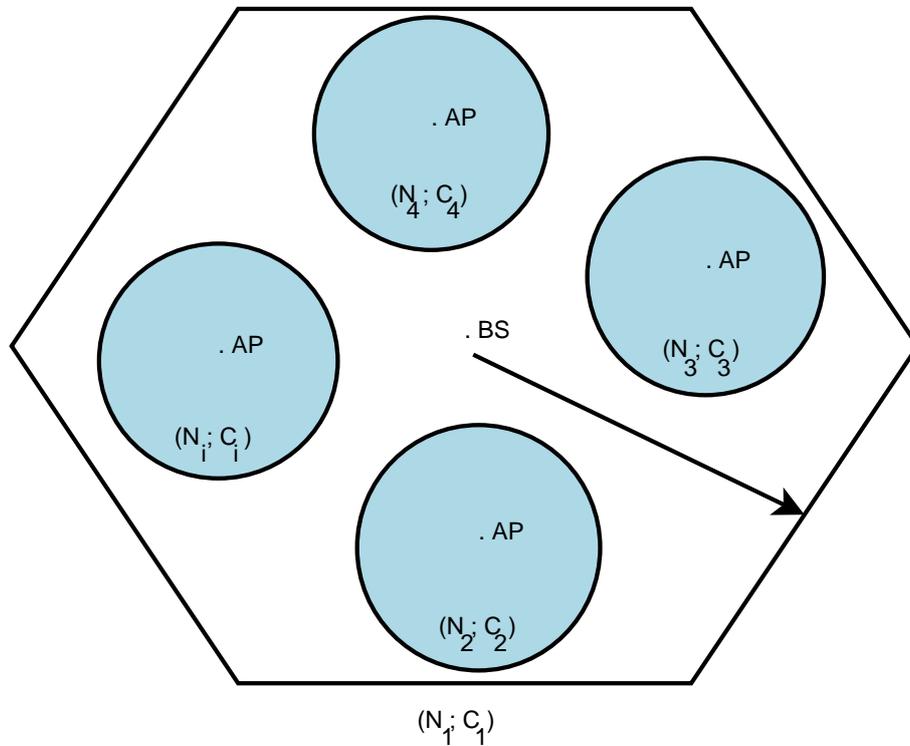


FIGURE 5.1 – Modèle du cluster de zones de service

Le modèle du système hétérogène de réseaux que nous étudions est représenté par la figure 5.1.

En effet, nous avons une zone de service hexagonale C_1 couverte intégralement par le réseau mobile LTE(4G). Dans cette zone de service figurent m sous-cellules circulaires homogènes $(C_j)_{2 \leq j \leq m}$ de rayon r_i dont chacune est couverte aussi par un réseau sans fil(Wi-Fi). Ainsi les deux réseaux mobile LTE et sans fil Wi-Fi se chevauchent dans les sous-cellules C_i et les réseaux Wi-Fi sont disjoints entre eux. Nous notons par C_0 la partie de la zone de service non couverte par un réseau Wi-Fi. D'où on a :

$$C_0 = C_1 \setminus \bigcup_{j=2}^m C_j \quad (5.2)$$

Comme les utilisateurs se dotent d'appareils à accès multiples alors ces derniers ont la possibilité de se connecter et déconnecter dans les cellules où les réseaux se chevauchent en choisissant automatiquement le réseau ayant le meilleur débit binaire. Dans notre étude, nous supposons que le réseau LTE fournit deux types de services : ceux Multicasts et Unicasts dont les nombres d'unités de bande passante sont respectivement B_1^{mc} et B_1^{uc} . Par ailleurs, le nombre d'unités de bande passante de chaque réseau Wi-Fi est B_i .

Dans la zone de service C_1 , nous supposons avoir Q sources d'interférences réparties suivant une distribution aléatoire normale : $\{I(q), q \in Q\}$.

La technique de sélection étant basée sur le débit binaire alors ces interférences jouent un rôle capital au niveau de cette stratégie permettant de sélectionner un réseau. Les différents paramètres du système hétérogène de réseaux sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 5.1 – Paramètres du réseau LTE

Paramètres	Réseau LTE N_1
Interférences	Q sources
Zone couverte	C_1
Qualité de service	Faible bande passante
Types de services	Multicast Unicast
Unités de bande passante	B_1^{mc} B_1^{uc}

Tableau 5.2 – Paramètres des réseaux Wi-Fi

Paramètres	Réseaux Wi-Fi $N_{j=2\dots m}$
Interférences	Q sources
Zones couvertes	$C_{j=2\dots m}$
Qualité de service	large bande passante
Types de services	Unicast
Unités de bande passante	B_i

5.4 Technique de sélection d'un réseau

Lorsqu'un utilisateur se trouve dans une cellule C_i alors il a la possibilité de se connecter soit nouvellement ou par handover au réseau LTE ou Wi-Fi. Si le nombre d'unités de bande passante libres est plus élevé pour le réseau LTE alors l'utilisateur s'y connecte sinon il est bloqué pour se connecter au réseau Wi-Fi comme l'indique la figure 5.2.

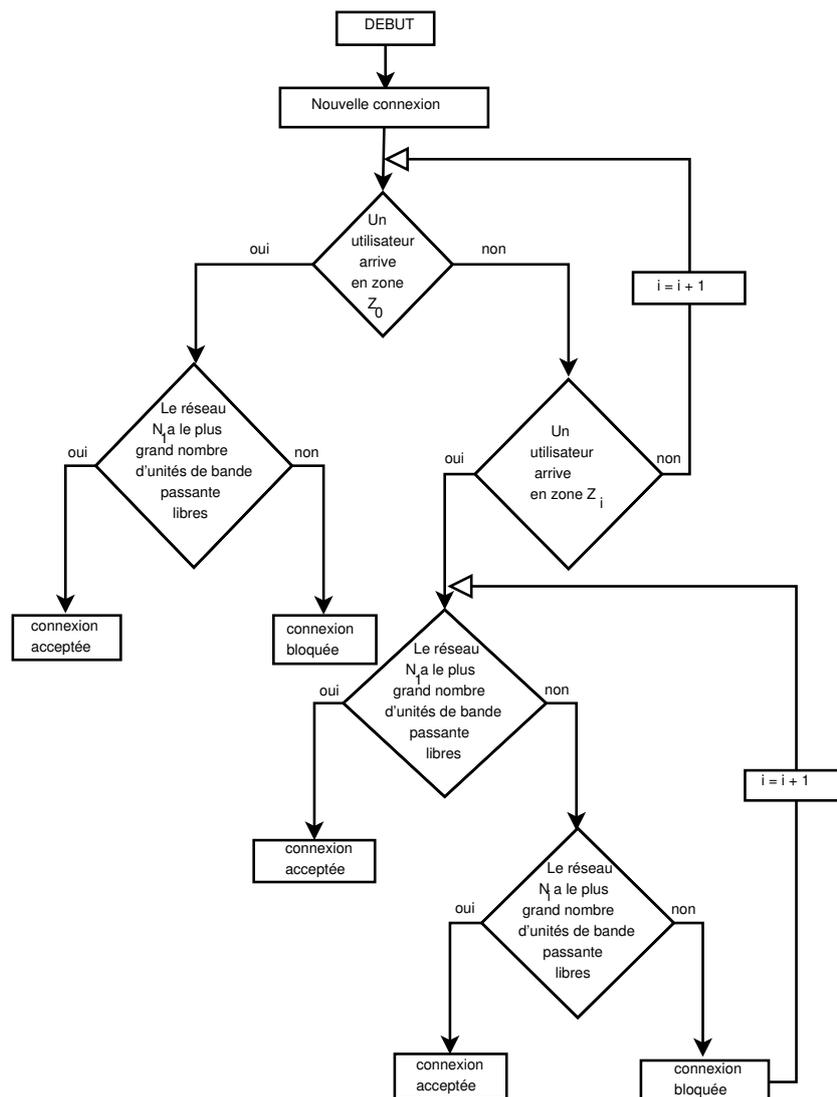


FIGURE 5.2 – Technique de sélection.

5.5 Modélisation basée sur une chaîne de Markov

A l'aide d'une chaîne de Markov nous avons modélisé les fluctuations dynamiques du système. Ceci nous a permis de définir toutes les étapes et états du système hétérogène de réseaux sans fils et mobiles.

En supposant que les ensembles de cellules de la zone de service et les services qui y sont présents sont notés respectivement M et S , alors la dimension de notre chaîne est égale à :

$$s.(2m + 1)$$

avec $|M| = m$ et $|S| = s$. En effet, nous avons m sous cellules où chevauchent les deux réseaux LTE et Wi-Fi ce qui justifie l'expression $2m$ dans la dimension de la chaîne. Si nous y ajoutons la zone C_0 alors nous obtenons l'expression $2m + 1$. Or nous avons s services dans chaque sous zone, donc la dimension est alors $s.(2m + 1)$.

5.5.1 Les différents étapes et états du système

Lorsque nous prenons le système à un instant donné, nous le considérons comme étant une étape de changement dynamique.

Tableau 5.3 – Définition des paramètres du système

Paramètres	Définitions
$b_{1,1}^k$	Unités de bande passante occupée du réseau LTE au service k en zone C_0
$b_{1,i}^k$	Unités de bande passante occupée du réseau LTE au service k en zone $(C_i)_{2 \leq i \leq m}$
b_i^k	Unités de bande passante occupée du réseau Wi-Fi au service k en zone C_i
N_{PRB}^k	Blocks de ressources demandés pour fournir un service k par le réseau LTE en zone C_i
$\sum_{k=1}^s b_{1,1}^k = b_{1,1}$	Unités de bande passante occupée du réseau LTE en zone C_0
$\sum_{k=1}^s b_{1,i}^k = b_{1,i}$	Unités de bande passante occupée du réseau LTE en zone C_i
$\sum_{k=1}^s b_i^k = b_i$	Unités de bande passante occupée du réseau Wi-Fi en zone C_i

En outre, les connexions et déconnexions d'un utilisateur dans un réseau déterminent les différents états du système dont l'espace d'états noté \mathcal{E} , est défini par :

$$\mathcal{E} = \{(b_{1,1}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,i}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k; \dots; b_m^k)\}$$

$$s.q/ \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^s (b_{1j}^k) \leq B_1^{uc} \\ \sum_{k=1}^s (b_i^k) \leq B_i \end{array} \right.$$

- Étape initiale 0 :

$$E_0 = (b_{1,1}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,i}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k; \dots; b_m^k)$$

- Étape 1 :

$$E_1 = (b_{1,1}^k + \mu N_{PRB}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_m^k)$$

$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{si un usager } u \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone } C_0 & \text{État}(E_{1,1}) \\ -1 & \text{si un usager } u \text{ se déconnecte du réseau LTE de la zone } C_0 & \text{État}(E_{1,2}) \\ 0 & \text{Sinon} & \text{État}(E_{1,3}) \end{cases}$$

- Étape 2 :

$$E_2 = (b_{1,1}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,i}^k + \mu N_{PRB}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_m^k)$$

$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{si un usager } u \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone } C_i & \text{État}(E_{2,1}) \\ -1 & \text{si un usager } u \text{ se déconnecte du réseau LTE de la zone } C_i & \text{État}(E_{2,2}) \\ 0 & \text{Sinon} & \text{État}(E_{2,3}) \end{cases}$$

- Étape 3 :

$$E_3 = (b_{1,1}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k + \mu; \dots; b_m^k)$$

$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{si un usager } u \text{ se connecte au réseau Wi-Fi dans la zone } C_i & \text{État}(E_{3,1}) \\ -1 & \text{si un usager } u \text{ se déconnecte du réseau Wi-Fi de la zone } C_i & \text{État}(E_{3,2}) \\ 0 & \text{Sinon} & \text{État}(E_{3,3}) \end{cases}$$

- Étape 4 :

$$E_4 = (b_{1,1}^k + \mu N_{PRB}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,i}^k + \mu' N_{PRB}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_m^k)$$

$$(\mu, \mu') = \begin{cases} (1, -1) & \text{si un usager } u \text{ se connecte au réseau LTE dans la} \\ & \text{zone } C_0 \text{ en se déconnectant du réseau LTE de la zone } C_i & \text{État}(E_{4,1}) \\ (-1, 1) & \text{si un usager } u \text{ se déconnecte du réseau LTE de la} \\ & \text{zone } C_0 \text{ en se connectant au réseau LTE dans la zone } C_i & \text{État}(E_{4,2}) \\ (0, 0) & \text{Sinon} & \text{État}(E_{4,3}) \end{cases}$$

- Étape 5 :

$$E_5 = (b_{1,1}^k + \mu N_{PRB}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k + \mu'; \dots; b_m^k)$$

$$(\mu, \mu') = \begin{cases} (1, -1) & \text{si un usager } u \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone} \\ & C_0 \text{ en se déconnectant du réseau Wi-Fi de la zone } C_i & \text{État}(E_{5,1}) \\ (-1, 1) & \text{si un usager } u \text{ se déconnecte du réseau LTE de la zone} \\ & C_0 \text{ en se connectant au réseau Wi-Fi dans la zone } C_i & \text{État}(E_{5,2}) \\ (0, 0) & \text{Sinon} & \text{État}(E_{5,3}) \end{cases}$$

- Étape 6 :

$$E_6 = (b_{1,1}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,i}^k + \mu N_{PRB}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k + \mu'; \dots; b_m^k)$$

$$(\mu, \mu') = \begin{cases} (1, -1) & \text{si un usager } u \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone} \\ & C_i \text{ en se déconnectant du réseau Wi-fi de la zone } C_i & \text{État}(E_{6,1}) \\ (-1, 1) & \text{si un usager } u \text{ se déconnecte du réseau LTE de la zone} \\ & C_i \text{ en se connectant au réseau Wi-Fi dans la zone } C_i & \text{État}(E_{6,2}) \\ (0, 0) & \text{Sinon} & \text{État}(E_{6,3}) \end{cases}$$

5.5.2 Les différents taux de transition

5.5.2.1 Méthode de calcul :

Proposition 5.1. *Considérons le système hétérogène de réseaux à une étape $(E_p)_{1 \leq p \leq 6}$. Le taux de transition vers l'étape E_p de l'état $E_{p,t}$ est établie par :*

(1) *Dans la zone C_0 du cluster :*

$$\tau_{(E_0 \Rightarrow E_{1,1})} = \tau_{1,1} = (\lambda_{C_0}^{C(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{C(k)}} + \eta_{C_1}^{\overline{C_1}} \right) \quad (5.3)$$

(2) *Dans une cellule C_i du cluster :*

$$\tau_{(E_1 \Rightarrow E_{2,1})} = \tau_{2,1} = (\lambda_{C_i}^{c(k)} + \lambda_{C_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(N_1 \rightarrow N_i)) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \quad (5.4)$$

(3) *De la zone C_0 à une cellule C_i du cluster :*

☑ *Par handover horizontal :*

$$\tau_{(E_3 \Rightarrow E_{4,1})} = \tau_{4,1} = \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} \right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{H(k)} \quad (5.5)$$

☑ *Par handover vertical :*

$$\tau_{(E_4 \Rightarrow E_{5,1})} = \tau_{5,1} = (b_i^k) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{V(k)} \quad (5.6)$$

Démonstration :

(1) Lorsque le nombre d'unités de bande passante occupée dans une sous zone C_0 du réseau N_1 (LTE) passe de b_{10} à $b_{11} + N_{PRB}^k$ alors le taux de variation des unités de

bande passante occupée est défini par :

$$\frac{b_{11} + N_{PRB}^k}{N_{PRB}^k} = \frac{b_{11}}{N_{PRB}^k} + 1$$

S'il y a variation des unités de bande occupées, c'est parce qu'un utilisateur est nouvellement connecté dans la sous zone C_0 avec un taux de demande d'accès $\lambda_{C_0}^{c(k)}$ ou a effectué un handover horizontal $\lambda_{N_1}^{H(k)}$ et le temps de séjour dans la sous zone C_0 est $\Delta_{c(k)}$ ou le flux de sortie $\eta_{C_1}^{\overline{C_1}}$ de la sous cellule C_1 vers $\overline{C_1}$. Le temps de séjour est inversement proportionnel au taux de transition et est directement proportionnel au flux de sortie de la zone C_0 vers C_1 . Le taux de transition vers l'état $E_{1,1}$ de l'étape E_1 est égal au produit de ces différents taux calculés précédemment. Ainsi le taux trouvé est :

$$(\lambda_{C_0}^{C(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{C(k)}} + \eta_{C_1}^{\overline{C_1}} \right)$$

- (2) Si un utilisateur u se connecte au réseau N_1 (LTE) dans une sous zone C_i alors le nombre d'unités de bande passante occupée dans cette sous zone passe de b_{1i} à $b_{1i} + N_{PRB}^k$. Ainsi le taux de variation des unités de bande passante occupée dans cette sous zone est calculé par :

$$\frac{b_{1i} + N_{PRB}^k}{N_{PRB}^k} = \frac{b_{1i}}{N_{PRB}^k} + 1$$

Cette variation du taux d'occupation des unités de bande passante est due au fait que lorsqu'un utilisateur est nouvellement connecté dans cette sous zone C_i avec un taux de demande d'accès $\lambda_{C_i}^{c(k)}$ ou se déconnecte du réseau N_i en se connectant au réseau N_1 avec une probabilité $\mathbb{P}(N_i \rightarrow N_1)$ appliquée au taux de demande d'accès $\lambda_{C_i}^{c(k)}$ dans cette sous zone. Le taux de transition vers l'état $E_{2,1}$ de l'étape E_2 étant inversement proportionnel au temps de séjour $\Delta_{c(k)}$ dans cette sous zone C_i alors il est trouvé en effectuant le produit des différents taux calculés précédemment. Ainsi

le taux $\tau_{(E_1 \rightleftharpoons E_{2,1})}$ trouvé est égal à :

$$(\lambda_{C_i}^{c(k)} + \lambda_{C_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(N_1 \rightarrow N_i)) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}}$$

- (3) Par ailleurs, si un utilisateur u se connecte au réseau N_1 (LTE) dans la sous zone C_0 en se déconnectant du même réseau N_1 mais d'une zone C_i alors le nombre d'unités de bande passante occupée dans la sous zone C_0 du réseau N_1 (LTE) passe de b_{11} à $b_{11} + N_{PRB}^k$ et de b_{1i} à $b_{1i} - N_{PRB}^k$ dans la sous zone C_i . Ainsi les taux de variation des unités de bande passante occupée dans les zones C_0 et C_i sont respectivement définis par :

$$\frac{b_{11} + N_{PRB}^k}{N_{PRB}^k} = \frac{b_{11}}{N_{PRB}^k} + 1$$

et

$$\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k}$$

Comme l'utilisateur effectue un handover horizontal (resp. vertical) de la zone C_i vers C_1 alors le taux de transition est directement proportionnel au taux de handover horizontal (resp. vertical) $\tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{H(k)}$ (resp. $\tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{V(k)}$). Ainsi le taux de transition de l'état $E_{4,1}$ à l'étape E_3 est égal au produit de ces taux calculés précédemment. Donc le taux trouvé est :

$$\left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} \right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{H(k)}$$

Respectivement :

$$\left(\left(\frac{b_i^k}{N_{PRB}^k} \right) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{V(k)} \right)$$

5.5.2.2 Détermination des taux de transition :

$$\checkmark \quad \tau_{(E_0 \rightleftharpoons E_{1,1})} = (\lambda_{C_0}^{C(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{C(k)}} + \eta_{C_1}^{\overline{C_1}} \right) \quad s.q / \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc}$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_0 \rightleftharpoons E_{1,2})} = (\lambda_{C_0}^{C(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{C(k)}} + \eta_{C_1}^{\overline{C_1}} \right) \quad s.q / b_{11}^k \geq N_{PRB}^k$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_1 \rightleftharpoons E_{2,1})} = (\lambda_{C_i}^{C(k)} + \lambda_{C_i}^{C(k)} \cdot \mathbb{P}(N_i \rightarrow N_1)) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{C(k)}} \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i = B_i \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_1 \rightleftharpoons E_{2,2})} = (\lambda_{C_i}^{c(k)} + \lambda_{C_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(N_i \rightarrow N_1)) \cdot \frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i = B_i \\ b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_2 \rightleftharpoons E_{3,1})} = (\lambda_{C_i}^{c(k)} + \lambda_{C_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(N_1 \rightarrow N_i)) \cdot (b_i^k + 1) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i \leq B_i \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) = B_1^{uc} \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_2 \rightleftharpoons E_{3,2})} = (\lambda_{C_i}^{c(k)} + \lambda_{C_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(N_1 \rightarrow N_i)) \cdot (b_i^k) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i \geq 1 \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) = B_1^{uc} \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_3 \rightleftharpoons E_{4,1})} = \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k}\right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{H(k)} \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i = B_i \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\ b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_3 \rightleftharpoons E_{4,2})} = \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k}\right) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \tau_{(C_0 \rightarrow C_i)}^{H(k)} \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i = B_i \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\ b_{11}^k \geq N_{PRB}^k \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_4 \rightleftharpoons E_{5,1})} = (b_i^k) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{V(k)} \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i \geq 1 \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_4 \rightleftharpoons E_{5,2})} = (b_i^k + 1) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} \right) \cdot \tau_{(C_0 \rightarrow C_i)}^{V(k)} \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i \leq B_i \\ b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_5 \rightleftharpoons E_{6,1})} = \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot (b_i^k) \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_i \geq 1 \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \end{array} \right.$$

$$\checkmark \quad \tau_{(E_5 \rightleftharpoons E_{6,2})} = \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} \right) \cdot (b_i^k + 1) \quad s.q/ \left\{ \begin{array}{l} b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \\ b_i \leq B_i \end{array} \right.$$

5.6 Évaluations des performances optimales

Nous évaluons les performances de la stratégie de sélection d'un réseau basée sur le débit binaire lié aux paramètres tels que les probabilités de blocage et de la qualité des connections.

5.6.1 Débit moyen du système dans une zone C_i

Le débit binaire reçu dans une zone C_i du réseau N_1 est en fonction du nombre d'unités de bande passante présentes dans les réseaux N_1 et N_i . En notant par $D_1^{avg}(E)$ la valeur moyenne du débit binaire reçu du réseau et $\mathbb{P}(E)$ la probabilité d'état d'équilibre du système alors la valeur moyenne totale du débit binaire reçu dans une zone C_i du réseau

N_1 est donnée par :

$$D_{N_1}^{tot} = \sum_{k=1}^s (\lambda_{C_i}^{c(k)} + \mathbb{P}(C_i \leftarrow C_1)) \cdot \mathbb{P}(E) \cdot D_1^{avg}(E) \quad (5.7)$$

$$s \cdot q / \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc}$$

Avec :

$$D_1^{avg}(E) = D_1^{avg} \cdot \left(1 - \Lambda \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (b_{1j} + b_j)}{B_1^{uc} + B_i}}\right)$$

où le débit instantané moyen $D_1^{avg}(E)$ est défini par le produit de la bande passante d'une sous-porteuse et de la modulation (nombres de sous-porteuses modulés) :

$$D_1^{avg} = B_{sp} \times N_{sub} \quad (5.8)$$

où $N_{sub} = K \times B \times E_i \times (1 - BLER_i)$ tels que :

- ★ K est le nombre de fréquences ;
- ★ B est le nombre de symboles par seconde ;
- ★ E_i est l'efficacité de la modulation ;
- ★ $BLER_i$ est le taux d'erreur bloc dans une zone C_i ;

Par conséquent on a :

$$\bar{D}_{C_{1i}} = \frac{D_{N_1}^{tot}}{\eta_{C_i}^{c(k)}} \quad (5.9)$$

5.6.2 Probabilité de blocage et perte de connections dans une zone C_i

Nous avons calculé les probabilités moyennes de blocage des connections dans une zone C_i en fonction de la probabilité d'état d'équilibre $\mathbb{P}(E)$ du système. En effet, nous avons additionné les probabilités des états du système où le nombre d'unités de bande passante occupées est plus grand que celui disponible dans le réseau N_1 par la formule :

$$\mathbb{P}_{N_1}^B = \sum_{k=1}^s (\lambda_{C_i}^{C(k)} + \mathbb{P}(C_i \leftarrow C_1)) \cdot \mathbb{P}(E) \cdot \mathbb{P}_1^B(E) \quad (5.10)$$

$$s \cdot q / \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) > B_1^{uc}$$

Avec

$$\mathbb{P}_1^B(E) = \mathbb{P}_1^B \cdot (1 - \Theta \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (b_{1j} + b_j)}{B_1^{uc} + B_i}})$$

$$\mathbb{P}_1^B = \frac{\frac{\rho_{C_i}^s}{s!}}{\sum_{k=1}^s \frac{\rho_{C_i}^k}{k!}} \quad (5.11)$$

où s est le nombre de services disponibles dans le cluster et

$$\rho_{C_i} = \sum_{k=1}^s \left(\frac{\lambda_{C_i}^{c(k)}}{\lambda_{C_1}^c} \right)$$

est la probabilité qu'un utilisateur soit bloqué dans la zone C_i .

5.7 Tests numériques des résultats théoriques

Pour simuler les résultats que nous avons obtenu, nous avons simplifié notre champ d'étude à une cellule de service C_1 couverte par le réseau N_1 (LTE) dans laquelle nous avons

implanté un réseau N_2 (Wi-Fi) dans une sous cellule C_2 de C_1 . A l'aide du simulateur NS3 et en travaillant avec les paramètres ci-dessous nous sommes arrivés à obtenir des résultats satisfaisants comme le montre les courbes obtenues.

Tableau 5.4 – Paramètres du réseau LTE

Paramètres	Données
Modulation	16 QAM
Symboles	6
Efficacité	1.4766
Nombre de sous porteuses	72
Bande Passante	1.4 MHz

Tableau 5.5 – Paramètres du système de réseaux

Paramètres	Données
Taux moyen d'accès à un service	70%
Taux moyen de handover	60%
Taux moyen d'État d'équilibre	80%
Unités de bande passante en LTE	60
Puissance bruit	-174 dBm/Hz
Puissance Signal	400 dBm
Nombre de services	2 services unicast
Rayon de zones	600m Z_1 , 200m Z_2
Distance entre les zones	300m

Nous avons calculé la valeur moyenne du débit binaire $D_{N_1}^{tot}$ reçu par un utilisateur u_0 au niveau du réseau N_1 dans la cellule C_2 . La stratégie de sélection étant basée sur le plus haut débit binaire, dans une sous cellule C_2 , l'utilisateur choisit les services unicasts des réseaux N_1 ou N_2 selon la technique de sélection établie. A travers les résultats obtenus, nous avons constaté qu'une petite modification du débit binaire se produit due à la saturation du réseau. Cette modification est représentée par un paramètre Λ qui indique une très grande sensibilité du débit binaire à cause de la congestion du réseau. Pour une légère modification du facteur de sensibilité Λ par exemple de 1 à 0.99 nous avons obtenu une nette chute du débit binaire comme illustré par la figure 5.3 en fonction du BLER dans

la sous cellule C_2 .

Cependant le changement du facteur Λ agit moins sur le débit binaire lorsqu'il est évalué en fonction du taux d'occupation de la bande passante en fixant le BLER comme indiqué par la figure 5.4.

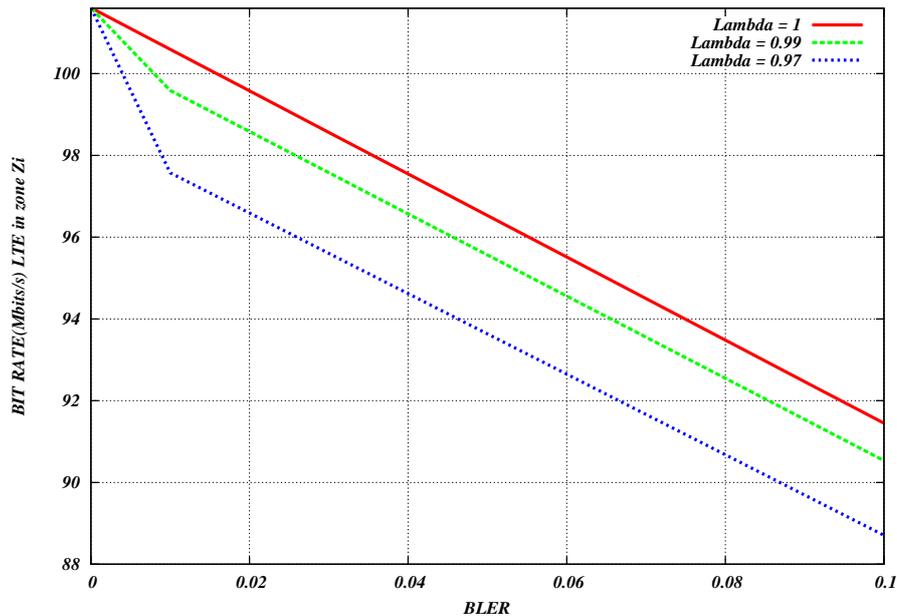


FIGURE 5.3 – Débit binaire moyen du réseau N_1 dans la zone C_2 en fonction du BLER.

Par ailleurs, nous avons évalué les performances du réseau liées aux probabilités moyennes de blocage et de pertes de connections aux services dans la sous cellule C_2 . Les résultats obtenus dépendent d'un facteur de sensibilité Θ comme représentés par les figures 5.5 et 5.6. Pour des paramètres de sensibilité $\Theta \in \{-1; -0.8; -0.5\}$ nous avons analysé les probabilités de blocage dans la sous cellule C_2 en fonction du taux de bande passante occupée (figure 5.5) puis en fonction de la charge offerte du trafic (figure 5.6). En effet, vue les résultats satisfaisants obtenus, on se rend compte que les probabilités de blocage ne dépassent pas la barre des 40% lorsqu'elles sont déterminées à l'aide du taux d'occupation de la bande passante. Elles n'atteignent pas non plus le niveau des 50% lorsqu'elles sont

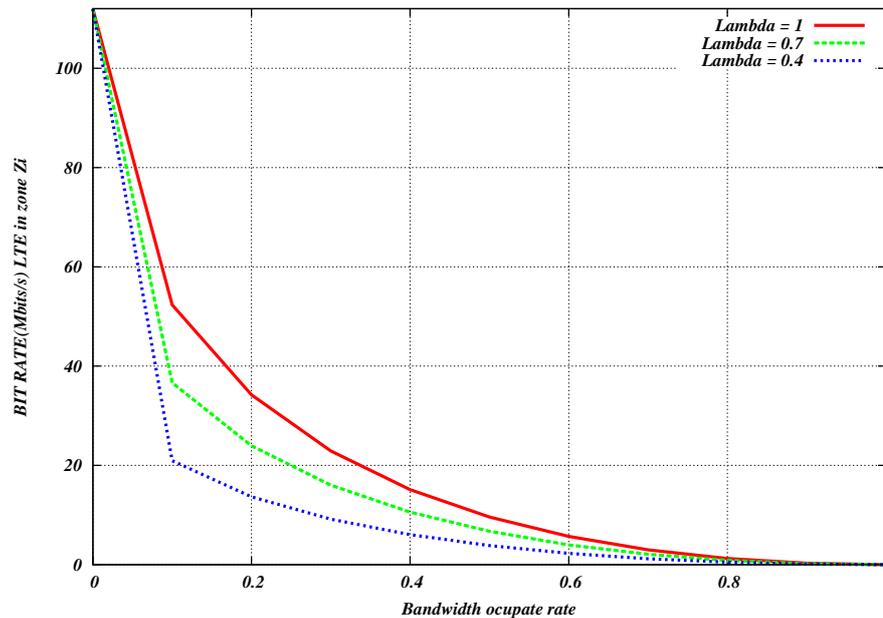


FIGURE 5.4 – Débit binaire moyen du réseau N_1 dans la zone C_2 en fonction du taux de bande passante occupée.

évaluées en fonction de la charge offerte du trafic quelque soit le facteur de sensibilité donnée.

Nous avons considéré une méthode de sélection de réseau basée sur le débit binaire le plus élevé reçu par un utilisateur dans une cellule C_i où chevauchent deux réseaux LTE et Wi-Fi.

Au terme de notre analyse sur les performances d'un système d'intégration de réseaux sans fils et mobiles de nouvelles générations, nous avons découvert un facteur qui reste très sensible aux variations du débit binaire reçu dans une sous cellule C_i lorsqu'il est calculé en fonction du BLER dans cette sous zone. En outre, ce facteur de sensibilité reste aussi déterminant pour le calcul des probabilités de blocage dans une sous zone C_i à l'aide du taux de bande passante occupée ou du taux de charge du trafic offert.

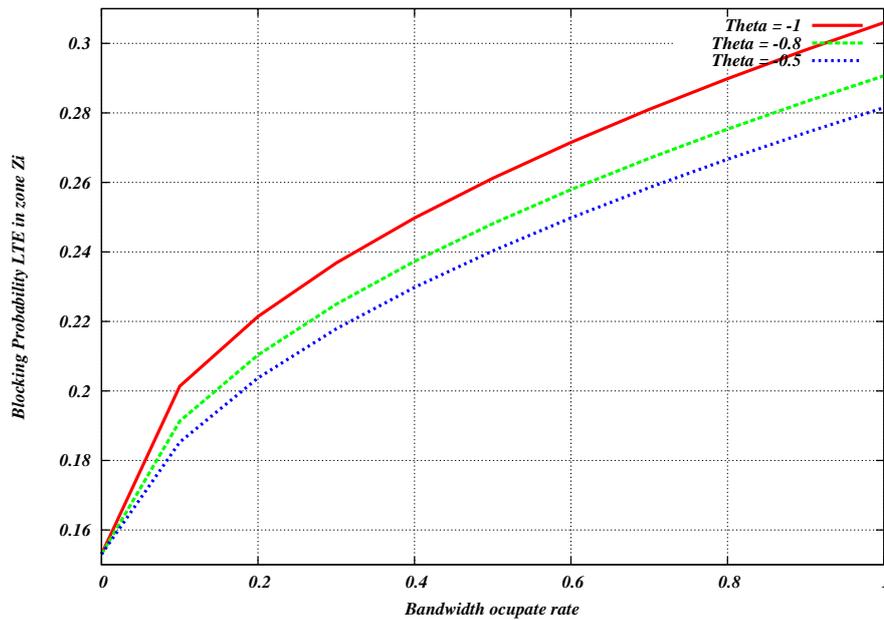


FIGURE 5.5 – Probabilité de blocage dans la zone C_2 en fonction du taux de bande passante occupée.

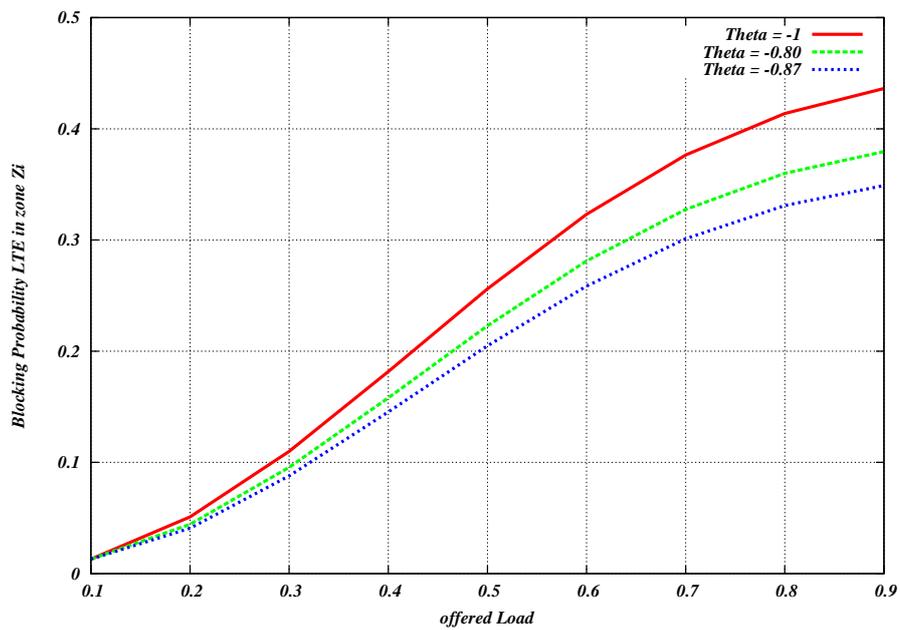


FIGURE 5.6 – Probabilité de blocage dans la zone C_2 en fonction du taux de charge offerte.

5.8 Conclusion

Les résultats satisfaisants obtenus sur les performances d'un système de réseaux sans fil et mobiles tels le LTE et le Wi-fi basées sur le débit binaire nous ont permis de découvrir les fluctuations dynamiques du débit. Les paramètres liés au débit binaire tels que les probabilités de blocage sont évalués avec des taux inférieurs la barre des 40%.

En perspective, nous envisageons de calculer ce meme facteur de sensibilité lorsque nous considérons les performances du système liées au SINR.

Performances optimales de réseaux hétérogènes Wi-Fi et LTE basées sur le SINR

Sommaire

6.1	Introduction	62
6.2	Calcul du SINR	62
6.3	Modèle du système hétérogène	64
6.4	Technique de sélection d'un réseau	66
6.5	Modélisation basée sur une chaîne de Markov	66
6.5.1	Les différents Étapes et États du système :	67
6.5.2	Les taux de transition :	71
6.6	Métriques de performances	75
6.6.1	Le SINR du système dans une zone Z_i	75
6.6.2	Probabilité de blocage et perte de connexions dans une zone Z_i	77
6.7	Simulations et analyses critiques des résultats	77
6.8	Conclusion	81

6.1 Introduction

L'intégration des nouvelles générations de réseaux sans fil et mobiles constitue un système hétérogène, c'est le cas des réseaux LTE et Wi-Fi. Dans ce chapitre nous étudions et analysons les performances optimales de ce système telles que le SINR (Signal-Plus-Noise Ratio), les probabilités de blocage et perte de communications des utilisateurs. La mobilité de ces derniers est représentée par le Random WayPoint (RWP) et leurs terminaux sont équipés d'interfaces d'accès multiples. Nous avons établi une chaîne de Markov pour évaluer et analyser les performances obtenues du système de réseaux sans fil et mobiles. Ainsi nous avons proposé une valeur moyenne de la qualité du signal de la puissance émise à voix descendante puis des probabilités moyennes de blocage de connections du système.

6.2 Calcul du SINR

La valeur de SINR est une quantité qui décrit la qualité du signal utile par rapport à l'interférence en provenance des stations voisines et du bruit thermique. La valeur reçue de SINR par un utilisateur n dans la voie descendante est modélisée par :

$$SINR_i^n = \frac{P_{r,i}^n}{P_I^n + \sigma^2}$$

Où $P_{r,i}^n$ est la puissance reçue par le terminal de l'utilisateur n du réseau N_i , σ puissance de bruit thermique et P_I^n est l'interférence reçue à partir des différentes sources d'interférence (principalement l'interférence inter(cellulaire) par l'utilisateur n). La puissance reçue par le MT (Mobile Terminal) de l'utilisateur n du réseau peut être donnée par :

$$P_{r,i}^n = P_i^m - P_a$$

où P_i^m est la puissance maximale transmise de la station de base (BS) ou le point d'accès (AP) du réseau $N_{j(1 \leq j \leq m)}$ et P_a est l'atténuation du canal en raison de l'affaiblissement sur le trajet entre l'utilisateur n et le BS (ou AP) du réseau $N_{j(1 \leq j \leq m)}$.

Dans notre travail, on suppose que le réseau cellulaire N_1 est de type LTE (Long Term Evolution). Dans ce cas, la puissance de la station de base est divisée entre les sous-porteuses de la technologie OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). En supposant que la puissance de station de base est également répartie entre les sous-porteuses, la puissance maximale transmise peut être calculée en divisant la puissance émise par la station de base par le nombre total de sous-porteuses modulées comme suit :

$$P_i^m = \frac{P_{BS}}{N_{sub}}$$

De la même manière, nous pouvons déterminer la puissance d'interférence reçue par un utilisateur n pour chaque source d'interférence $I(q)(q \in Q)$. Nous considérons Q sources d'interférences qui sont aléatoirement distribuées dans la cellule Z_1 . En outre, nous supposons que les signaux sont orthogonaux par cellule alors que l'interférence peut provenir des cellules voisines seulement. Par conséquent, la puissance totale reçue d'interférence, P_I^n , peut être modélisée comme suit :

$$P_I^n = \sum_{q \in Q} (P_{I(q)}^m - P_{q,a}^n(dB))$$

où $P_{I(q)}^m$ est la puissance maximale d'interférence transmise respectivement par $I(q)$ et $P_{q,a}^n$ est la perte d'atténuation du canal entre la source d'interférence $I(q)(q \in Q)$ et l'utilisateur n .

6.3 Modèle du système hétérogène

Le modèle d'un prototype de système hétérogène de réseaux est donné par la figure 6.1. En effet, nous avons une zone de service circulaire Z_1 de rayon R_1 couvert intégralement par le réseau mobile LTE(4G). Cette zone de service est répartie en plusieurs sous-zones circulaires homogènes $(Z_j)_{2 \leq j \leq m}$ de rayon r_i dont chacune est couverte par un réseau sans fil(Wi-Fi). Ainsi les réseaux LTE et Wi-Fi se chevauchent dans les sous-zones Z_i et les réseaux Wi-Fi sont disjoints entre eux. Nous notons par Z_0 la partie de la zone de service non couverte par un réseau Wi-Fi. D'où on a :

$$Z_0 = Z_1 \setminus \bigcup_{j=2}^m Z_j \quad (6.1)$$

Les utilisateurs se dotant d'appareil à accès multiples, ont la possibilité de changer de connections dans les zones où les réseaux se chevauchent en choisissant automatiquement le réseau ayant le SINR le plus élevé. Nous supposons que le réseau LTE fournit deux types de services : ceux Multicasts ou Unicasts dont les nombres d'unités de bande passante sont respectivement B_1^{mc} et B_1^{uc} . Le nombre d'utilisateurs occupant ces unités de bande passante sont respectivement N_1^{mc} et N_1^{uc} . Par ailleurs les nombres d'unités de bande passante et d'utilisateurs les occupant au niveau de chaque réseau wifi sont respectivement B_i et N_i . Dans la zone de service Z_1 , nous considérons Q sources d'interférences réparties suivant une distribution aléatoire normale : $\{I(q), q \in Q\}$.

La méthode de sélection étant basée sur le SINR alors ces interférences jouent un rôle capital au niveau de cette stratégie permettant de sélectionner un réseau. Les différents paramètres du système hétérogène de réseaux sont assignés dans le tableau suivant :

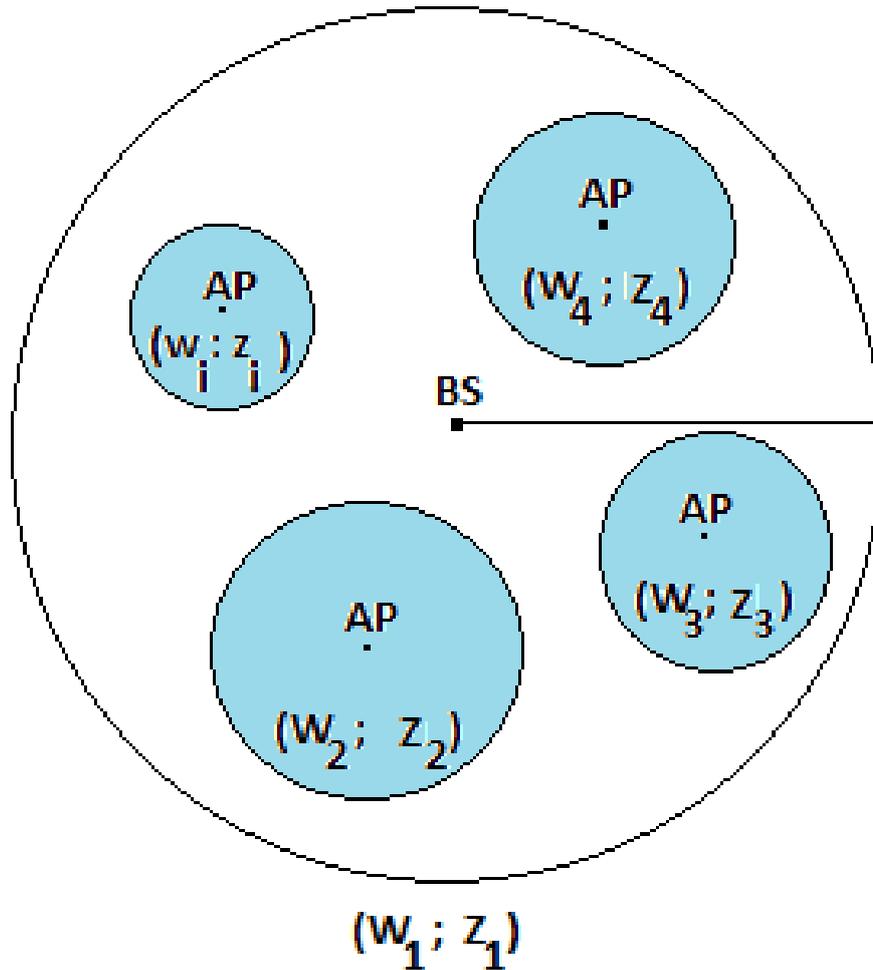


FIGURE 6.1 – Le modèle d’une zone de service

Tableau 6.1 – Paramètres des réseaux LTE et Wi-Fi

Paramètres	Réseau LTE W_1	Réseaux Wi-Fi $W_{j=2\dots m}$
Interférences	D.N de Q sources	D.N de Q sources
Zones couvertes	Z_1	$Z_{j=2\dots m}$
Qualité de service	faible bande passante	large bande passante
Types de services	Multicast Unicast	Unicast
Unités de bande passante	B_1^{mc} B_1^{uc}	B_i
Nombres d’utilisateurs	N_1^{mc} N_1^{uc}	N_i

6.4 Technique de sélection d'un réseau

Si un utilisateur se trouve dans une zone Z_i où coexistent les deux réseaux LTE et Wi-Fi alors il a la possibilité de se connecter soit nouvellement ou par handover au réseau LTE ou Wi-Fi. Si le SINR est élevé pour le réseau LTE alors l'utilisateur s'y connecte sinon il est bloqué pour se connecter au réseau Wi-Fi.

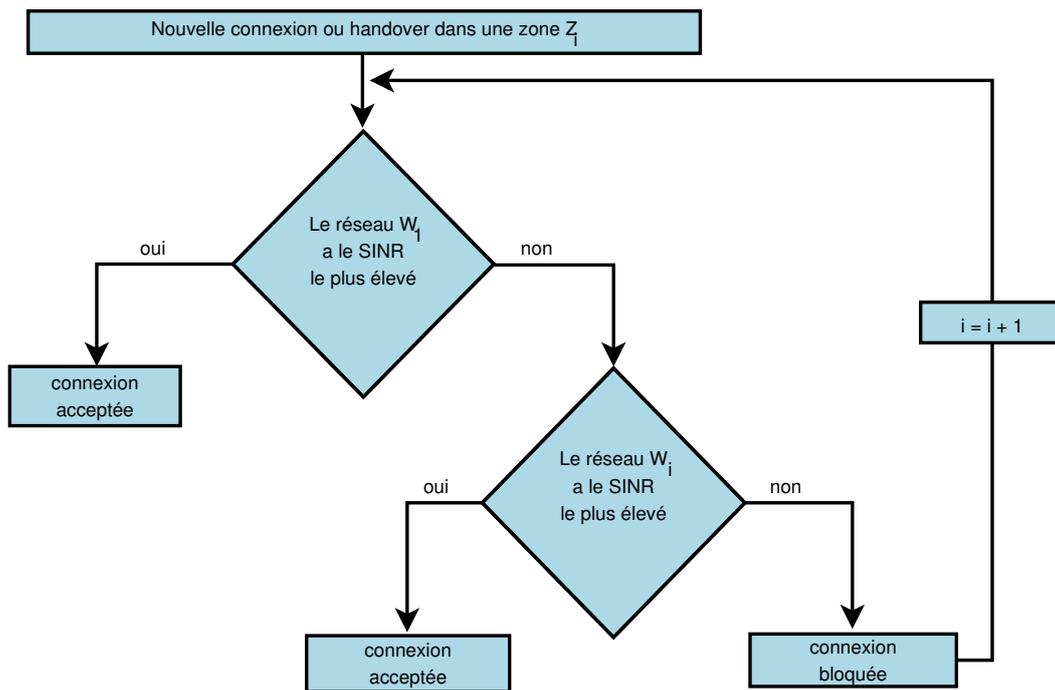


FIGURE 6.2 – Technique de sélection d'un réseau

6.5 Modélisation basée sur une chaîne de Markov

Nous avons établi une chaîne de Markov pour modéliser et définir toutes les étapes et états du système hétérogène de réseaux sans fils et mobiles en termes de nombre d'unités occupées de bande passante et de nombre d'utilisateurs occupant ces unités en temps

réel. En notant par M et S les ensembles des zones du cluster et les services qui y sont disponibles alors la dimension de notre chaîne de Markov est :

$$s.(2m + 1)$$

avec $|M| = m$ et $|S| = s$.

6.5.1 Les différents Étapes et États du système :

En prenant le système à un instant donné alors nous le définissons comme étant une Étape de changement dynamique.

Ensuite, les connexions et déconnexions d'un utilisateur dans le système définissent ses différents États dont l'espace est donné par :

Tableau 6.2 – Définition des paramètres du système

Paramètres	Définitions
$n_{1,1}^k$	Nombre d'utilisateurs connectés au réseau LTE au service k dans la zone Z_0
$n_{1,i}^k$	Nombre d'utilisateurs connectés au réseau LTE au service k dans la zone Z_i
n_i^k	Nombre d'utilisateurs connectés au réseau Wi-Fi au service k dans la zone Z_i
$b_{1,1}^k$	Unités de bande passante occupées du réseau LTE du service k dans la zone Z_0
$b_{1,i}^k$	Unités de bande passante occupées du réseau LTE du service k dans la zone Z_i
b_i^k	Unités de bande passante occupées du réseau Wi-Fi du service k dans la zone Z_i
N_{PBR}^k	Blocks de ressources demandés pour fournir un service k par le réseau LTE

$$\mathcal{E} = \{((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))\} \quad (6.2)$$

$$s.q/ \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^s (b_{1j}^k) \leq B_1^{uc} \\ \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^s (n_{1j}^k) \leq N_1^{uc} \\ \sum_{k=1}^s (b_i^k) \leq B_i \\ \sum_{k=1}^s (n_i^k) \leq N_i \end{array} \right.$$

Tableau 6.3 – Notations des paramètres du système

Notations	Définitions
$\sum_{k=1}^s n_{1,1}^k = n_{1,1}$	Nombre d'utilisateurs connectés au réseau LTE dans la zone Z_0
$\sum_{k=1}^s n_{1,i}^k = n_{1,i}$	Nombre d'utilisateurs connectés au réseau LTE dans la zone Z_i
$\sum_{k=1}^s n_i^k = n_i$	Nombre d'utilisateurs connectés au réseau Wi-Fi dans la zone Z_i
$\sum_{k=1}^s b_{1,1}^k = b_{1,1}$	Nombre d'unités de bande passante occupées du réseau LTE dans la zone Z_0
$\sum_{k=1}^s b_{1,i}^k = b_{1,i}$	Nombre d'unités de bande passante occupées du réseau LTE dans la zone Z_i
$\sum_{k=1}^s b_i^k = b_i$	Nombre d'unités de bande passante occupées du réseau Wi-Fi dans la zone Z_i

- Étape 0 :

$$E_0 = ((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

- Étape 1 :

$$E_1 = ((n_{1,1}^k + \gamma n^k; b_{1,1}^k + \gamma N_{PRB}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$\gamma = \begin{cases} 1 & \text{si un utilisateur } n \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone } Z_0 & \text{Etat}(E_{1,1}) \\ -1 & \text{si un utilisateur } n \text{ se déconnecte du réseau LTE dans la zone } Z_0 & \text{Etat}(E_{1,2}) \\ 0 & \text{Sinon} & \text{Etat}(E_{1,3}) \end{cases}$$

• Étape 2 :

$$E_2 = ((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k + \gamma n^k; b_{1,i}^k + \gamma N_{PRB}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$\gamma = \begin{cases} 1 & \text{si un utilisateur } n \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{2,1}) \\ -1 & \text{si un utilisateur } n \text{ se déconnecte du réseau LTE de la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{2,2}) \\ 0 & \text{Sinon} & \text{Etat}(E_{2,3}) \end{cases}$$

• Étape 3 :

$$E_3 = ((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k + \gamma n^k; b_i^k + \gamma); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$\gamma = \begin{cases} 1 & \text{si un utilisateur } n \text{ se connecte au réseau Wi-Fi dans la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{3,1}) \\ -1 & \text{si un utilisateur } n \text{ se déconnecte du réseau Wi-Fi de la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{3,2}) \\ 0 & \text{Sinon} & \text{Etat}(E_{3,3}) \end{cases}$$

• Étape 4 :

$$E_4 = ((n_{1,1}^k + \gamma n^k; b_{1,1}^k + \gamma N_{PRB}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k + \gamma' n^k; b_{1,i}^k + \gamma' N_{PRB}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$(\gamma, \gamma') = \begin{cases} (1, -1) & \text{si un utilisateur } n \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone } Z_0 \\ & \text{en se déconnectant du réseau LTE de la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{4,1}) \\ (-1, 1) & \text{si un utilisateur } n \text{ se déconnecte du réseau LTE de la zone } Z_0 \\ & \text{en se connectant au réseau LTE dans la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{4,2}) \\ (0, 0) & & \text{Sinon} & \text{Etat}(E_{4,3}) \end{cases}$$

• Étape 5 :

$$E_4 = ((n_{1,1}^k + \gamma n^k; b_{1,1}^k + \gamma N_{PRB}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k + \gamma' n^k; b_i^k + \gamma'); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$(\gamma, \gamma') = \begin{cases} (1, -1) & \text{si un utilisateur } n \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone } Z_0 \\ & \text{en se déconnectant du réseau Wi-Fi de la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{5,1}) \\ (-1, 1) & \text{si un utilisateur } n \text{ se déconnecte du réseau LTE de la zone } Z_0 \\ & \text{en se connectant au réseau Wi-Fi dans la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{5,2}) \\ (0, 0) & & \text{Sinon} & \text{Etat}(E_{5,3}) \end{cases}$$

• Étape 6 :

$$E_5 = ((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k + \gamma n^k; b_{1,i}^k + \gamma N_{PRB}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k + \gamma' n^k; b_i^k + \gamma'); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$(\gamma, \gamma') = \begin{cases} (1, -1) & \text{si un utilisateur } n \text{ se connecte au réseau LTE dans la zone } Z_i \\ & \text{en se déconnectant du réseau Wi-Fi de la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{6,1}) \\ (-1, 1) & \text{si un utilisateur } n \text{ se déconnecte du réseau LTE de la zone } Z_i \\ & \text{en se connectant au réseau Wi-Fi dans la zone } Z_i & \text{Etat}(E_{6,2}) \\ (0, 0) & \text{Sinon} & \text{Etat}(E_{6,3}) \end{cases}$$

6.5.2 Les taux de transition :

6.5.2.1 Proposition de méthode de calcul :

Proposition 6.1. *Considérons le système hétérogène de réseaux à un état $E_{j,t}$ de l'étape E_j . Le taux de transition de l'état $E_{j,t}$ à l'état $E_{j,t+1}$ est établie par :*

(1) *Dans la zone Z_0 du cluster :*

$$\tau_{(E_{j,0} \rightleftharpoons E_{j,1})} = (\lambda_{Z_0}^{c(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} + 1\right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{c(k)}} + \eta_{Z_0}^{Z_1}\right) \quad (6.3)$$

(2) *Dans une cellule Z_i du cluster :*

$$\tau_{(E_{j+1,1} \rightleftharpoons E_{j+1,2})} = (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 \leftarrow W_i)) \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \left(\frac{n_{1i}^k}{n^k} + 1\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \quad (6.4)$$

(3) *De la zone Z_0 à une cellule Z_i du cluster :*

☑ *Par handover horizontal :*

$$\tau_{(E_{j+2,2} \rightleftharpoons E_{j+2,3})} = \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} + 1\right) \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k}\right) \left(\frac{n_{1i}^k}{n^k}\right) \cdot \tau_{Z_0 \leftarrow Z_i}^{H(k)} \quad (6.5)$$

☑ Par handover vertical :

$$\tau_{(E_{j+3,3} \rightleftharpoons E_{j+3,4})} = (b_i^k) \left(\frac{n_i^k}{n^k} \right) \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} + 1 \right) \cdot \tau_{Z_0 \rightarrow Z_i}^{V(k)} \quad (6.6)$$

6.5.2.2 Calcul des taux de transition :

$$\begin{aligned} \checkmark \tau_{(E_0 \rightleftharpoons E_{1,1})} &= (\lambda_{Z_0}^{c(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{c(k)}} + \eta_{Z_0}^{Z_1} \right) s.q / \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) \leq N_1^{mc} \end{array} \right. \\ \checkmark \tau_{(E_0 \rightleftharpoons E_{1,2})} &= (\lambda_{Z_0}^{c(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} \right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{c(k)}} + \eta_{Z_0}^{Z_1} \right) s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_{11}^k \geq N_{PRB}^k \\ n_{11}^k \geq n^k \end{array} \right. \\ \checkmark \tau_{(E_1 \rightleftharpoons E_{2,1})} &= (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 \leftarrow W_i)) \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{n_{1i}^k}{n^k} + 1 \right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_i = B_i \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\ n_i = N_i \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) \leq N_1^{uc} \end{array} \right. \\ \checkmark \tau_{(E_1 \rightleftharpoons E_{2,2})} &= (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 \leftarrow W_i)) \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} \cdot \frac{n_{1i}^k}{n^k} \right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_i = B_i \\ b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \\ n_i = N_i \\ n_{1i}^k \geq n^k \end{array} \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\tau_{(E_2 \Rightarrow E_{3,1})}} &= (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 \rightarrow W_i)) (b_i^k + 1) \cdot \left(\frac{n_i^k}{n^k} + 1\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \text{ s.q./} \\
 \sqrt{\tau_{(E_2 \Rightarrow E_{3,2})}} &= (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 \rightarrow W_i)) (b_i^k) \cdot \left(\frac{n_i^k}{n^k}\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \text{ s.q./} \\
 \sqrt{\tau_{(E_3 \Rightarrow E_{4,1})}} &= \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} + 1\right) \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k}\right) \left(\frac{n_{1i}^k}{n^k}\right) \cdot \tau_{Z_0 \leftarrow Z_i}^{H(k)} \text{ s.q./}
 \end{aligned}
 \left\{ \begin{array}{l}
 b_i \leq B_i \\
 \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) = B_1^{uc} \\
 n_i \leq N_i \\
 \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) = N_1^{mc} \\
 b_i^k \geq 1 \\
 \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) = B_1^{uc} \\
 n_i^k \geq n^k \\
 \sum_{j=2}^m (n_{1j} + n^k) = N_1^{mc} \\
 b_i = B_i \\
 \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\
 b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \\
 n_i = N_i \\
 \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) \leq N_1^{mc} \\
 n_{1i}^k = n^k
 \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\tau_{(E_3 \Rightarrow E_{4,2})}} &= \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} \right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} \right) \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \left(\frac{n_{1i}^k}{n^k} + 1 \right) \cdot \tau_{Z_0 \rightarrow Z_i}^{H(k)} \text{ s.q/} \\
 \sqrt{\tau_{(E_4 \Rightarrow E_{5,1})}} &= \left(b_i^k \right) \left(\frac{n_i^k}{n^k} \right) \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} + 1 \right) \cdot \tau_{Z_0 \leftarrow Z_i}^{V(k)} \text{ s.q/} \\
 \sqrt{\tau_{(E_4 \Rightarrow E_{5,2})}} &= \left(b_i^k + 1 \right) \left(\frac{n_i^k}{n^k} + 1 \right) \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} \right) \left(\frac{n_{11}^k}{n^k} \right) \cdot \tau_{Z_0 \rightarrow Z_i}^{V(k)} \text{ s.q/}
 \end{aligned}
 \left\{ \begin{array}{l}
 b_i = B_i \\
 \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\
 b_{11}^k \geq N_{PRB}^k \\
 n_i = N_i \\
 \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) = N_1^{mc} \\
 n_{10}^k = n^k \\
 b_i^k \geq 1 \\
 \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\
 n_i^k \geq n^k \\
 \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) = N_1^{mc} \\
 b_i < B_i \\
 b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \\
 n_i < N_i \\
 n_{1i}^k \geq n^k
 \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\tau_{(E_5 \Rightarrow E_{6,1})}} &= \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \left(\frac{n_{1i}^k}{n^k} + 1 \right) (b_i^k) \left(\frac{n_i^k}{n^k} \right) s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_i^k \geq 1 \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\ n_i^k \geq n^k \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) \leq N_1^{mc} \\ b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \end{array} \right. \\
 \sqrt{\tau_{(E_5 \Rightarrow E_{6,2})}} &= \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} \right) \left(\frac{n_{1i}^k}{n^k} \right) (b_i^k + 1) \left(\frac{n_i^k}{n^k} + 1 \right) s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_i \leq B_i \\ n_{1i}^k \geq n^k \\ n_i \leq N_i \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

6.6 Métriques de performances

Nous calculons les performances de la technique de sélection d'un réseau basée sur le SINR en termes de probabilités de blocage et de la qualité de connections.

6.6.1 Le SINR du système dans une zone Z_i

La valeur de la qualité du signal SINR reçue dans une zone Z_i du réseau W_1 est en fonction du nombre d'unités de bande passante présentes dans les réseaux W_1 et W_i . En notant par $SINR_1^{avg}(E)$ la capacité moyenne du signal reçu du réseau et $\mathbb{P}(E)$ la probabilité d'état d'équilibre du système alors la valeur moyenne totale de SINR reçue dans une zone Z_i du

réseau W_1 est donné par :

$$SINR_{W_1}^{tot} = \sum_{k=1}^s (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \mathbb{P}(Z_i \leftarrow Z_1)) \cdot \mathbb{P}(E) SINR_1^{avg}(E) \quad (6.7)$$

$$s.q/ \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) \leq N_1^{mc} \end{array} \right.$$

où on a :

$$SINR_1^{avg}(E) = SINR_1^{avg} \cdot (1 - \Omega \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (b_{1j} + b_j)}{B_1^{uc} + B_i} \frac{\sum_{j=1}^m (n_{1j} + n_j)}{N_1^{mc} + N_i}})$$

Avec

$$SINR_1^{avg} = \frac{P_1^{max} g_1 \cdot |x|^{-\alpha_1}}{\sum_{j=1}^Q P_{I(j)}^{max} \cdot h_{nj} |Y_{nj}|^{-\alpha_j} + \sigma} \quad (6.8)$$

où

- ✓ $|x|$ est la distance de l'utilisateur au BS ;
- ✓ P_1^{max} est la puissance maximale transmise par BS ;
- ✓ g_1 est la distribution exponentielle de la puissance du canal en unité moyenne issue de BS ;
- ✓ α_1 est la perte de trajet du canal issu de BS ;
- ✓ $|Y_{nj}|$ est la distance de la source j à l'utilisateur n ;
- ✓ $P_{I(j)}^{max}$ est la puissance maximale issue de la source d'interférence ;
- ✓ h_{nj} est la distribution exponentielle de la puissance du canal en unité moyenne issue de la source d'interférence j ;
- ✓ α_j est la perte de trajet du canal issu de l'interférence j ;

Ainsi on a :

$$\overline{\text{SINR}}_{Z_{1i}} = \frac{\text{SINR}_{W_1}^{\text{tot}}}{\eta_{Z_i}^{c(k)}} \quad (6.9)$$

6.6.2 Probabilité de blocage et perte de connexions dans une zone Z_i

A l'aide des probabilités d'états d'équilibre du système $\mathbb{P}(E)$, nous avons déterminé les probabilités de blocage des connexions dans une zone Z_i . En effet, nous avons sommé les probabilités des états du système où le nombre d'unités de bande passante occupées dépassent celui disponible dans le réseau W_1 comme suit :

$$\mathbb{P}_{W_1}^B = \sum_{k=1}^s (\lambda_{W_i}^{c(k)} + \mathbb{P}(Z_i \leftarrow Z_1)) \cdot \mathbb{P}(E) \cdot \mathbb{P}_1^B(E) \quad (6.10)$$

$$s.q/ \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) > B_1^{uc} \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n^k) > N_1^k \end{array} \right.$$

Avec

$$\mathbb{P}_1^B(E) = \mathbb{P}_{Z_i}^B \cdot (1 - \Theta \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (b_{1j} + b_j)}{B_1^{uc} + B_i} \frac{\sum_{j=1}^m (n_{1j} + n_j)}{N_1^{mc} + N_i}})$$

où on a :

$$\mathbb{P}_{Z_i}^B = \sum_{k=1}^s \left(\frac{\lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}_{Z_i}^{B(k)}}{\lambda_{Z_i}^c} \right) \quad (6.11)$$

Avec $\mathbb{P}_{Z_i}^{B(k)}$ est la probabilité qu'un utilisateur soit bloqué à un service k dans la zone Z_i .

6.7 Simulations et analyses critiques des résultats

Pour tester nos résultats, nous avons réduit notre cadre d'étude à une cellule Z_1 couverte par le réseau W_1 (LTE) dans laquelle nous avons implanté un réseau W_2 (Wi-Fi) dans une

sous zone Z_2 de Z_1 .

Paramètres	Données
Taux moyen d'accès à un services	70%
Taux moyen de handover	60%
Taux moyen d'État d'équilibre du système	80%
Nombre unités de bande passante en Lte	60
Puissance bruit	-174 dBm/Hz
Puissance Signal	400 dBm
Nombre de services	2 services unicast
Rayon de zones	600m pour Z_1 et 200m pour Z_2
Distance entre les centres de zones	300m

Avec le simulateur NS3 et en se basant sur les paramètres ci-dessus nous sommes arrivés à obtenir des résultats satisfaisants comme l'atteste les courbes obtenues.

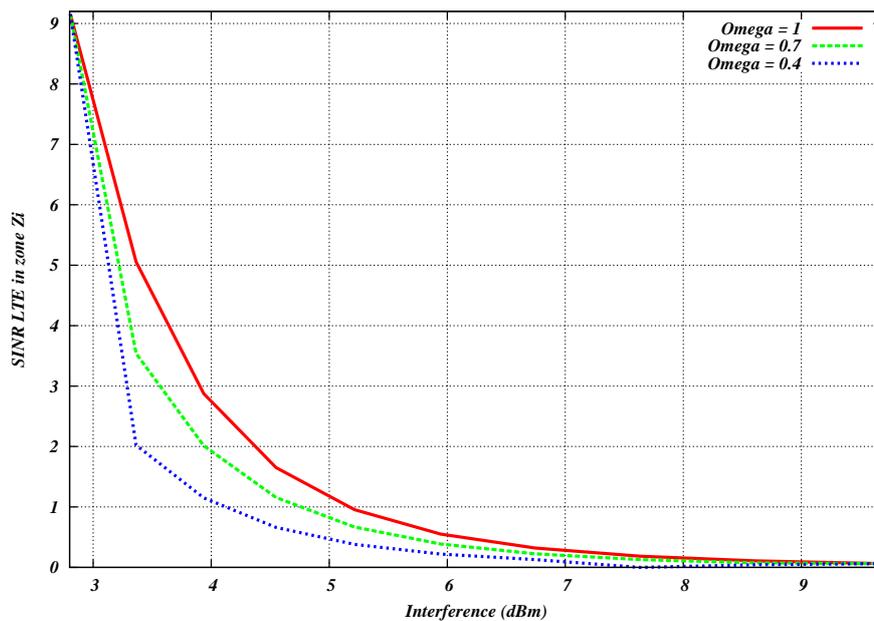


FIGURE 6.3 – SINR moyen du réseau W_1 dans la zone Z_2 en fonction de l'interférence.

Nous avons évalué la valeur moyenne du SINR $SINR_{W_1}^{tot}$ obtenu par un utilisateur n dans la sous zone Z_2 . Comme la technique de sélection d'un réseau est directement

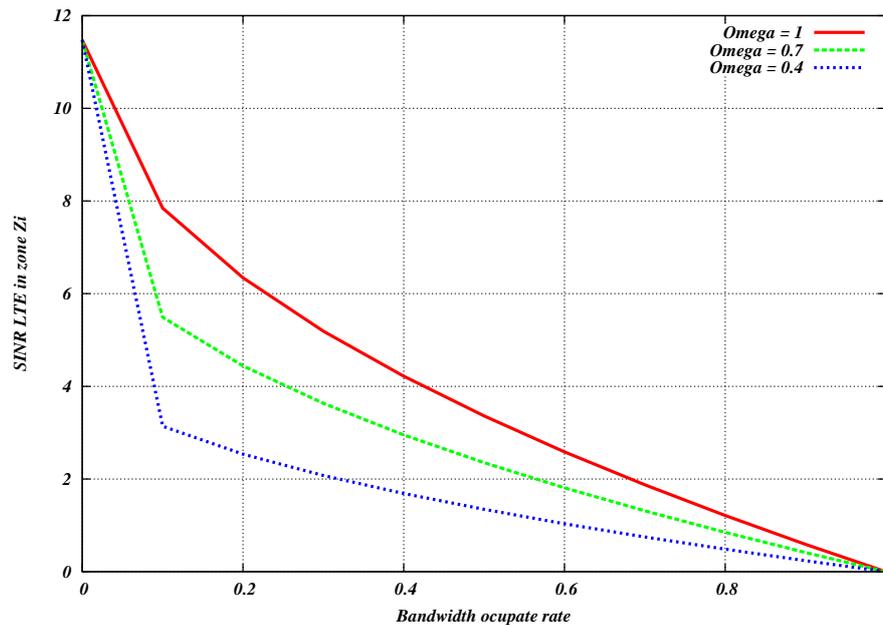


FIGURE 6.4 – SINR moyen du réseau W_1 dans la zone Z_2 en fonction du taux de bande passante occupée.

liée au meilleur SINR entre les réseaux W_1 et W_2 qui se chevauchent dans la sous zone Z_2 , alors l'utilisateur choisit celui qui a la meilleure qualité de service c'est-à-dire celui dont le SINR est le plus élevé. Les résultats que nous avons obtenus, ont montré qu'une légère modification de la qualité du signal se produit à cause de la congestion du réseau. Le facteur Ω matérialise ce changement comme nous l'indique la figure 6.3 quand le SINR est évalué en fonction de l'interférence. Ainsi plus nous augmentons les sources d'interférence plus la qualité du signal s'amointrit dans la sous zone Z_2 . Néanmoins nous avons calculé la qualité du signal en fonction du taux de bande passante occupée comme illustré par la figure 6.4. Elle dépend aussi du facteur de sensibilité Ω . Nous définissons par le taux de bande passante occupée comme étant le produit des rapports du nombre d'unités de bande passante occupée sur le nombre d'unités de bande passante disponible à l'initial du réseau et du nombre d'utilisateurs occupant ces unités de bande passante sur le nombre minimal d'utilisateurs pouvant occuper ces unités de bande passante à l'état initial.

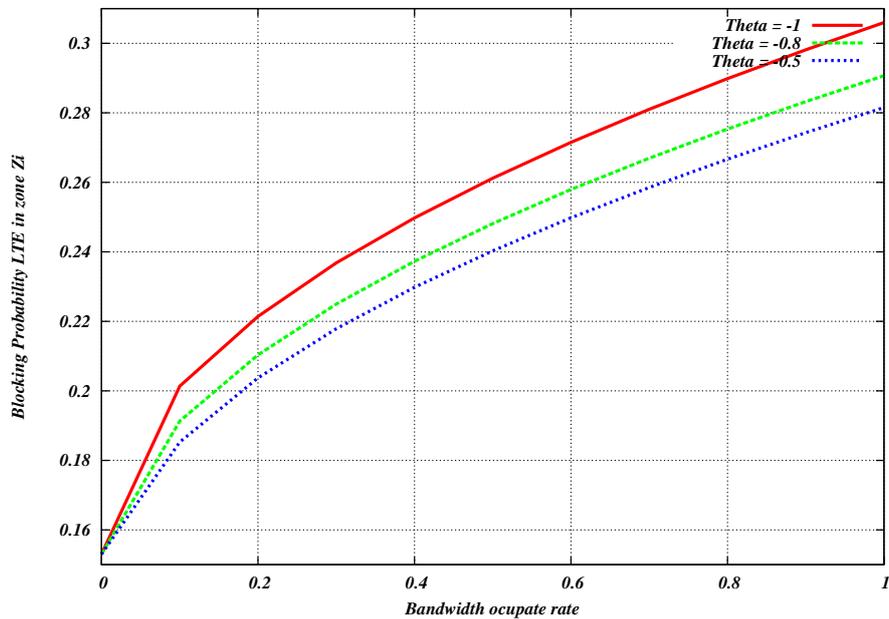


FIGURE 6.5 – Probabilité de blocage dans la zone Z_2 en fonction du taux de bande passante occupée.

D'autre part, nous avons calculé les performances basées sur les probabilités moyennes totales de blocage et de pertes de connections aux services dans la sous zone Z_2 . Le facteur de sensibilité Ω joue un rôle fondamental dans la congestion et la décongestion du réseau comme l'illustre les figures 6.4 et 6.5. Nous avons constaté, pour les facteurs de sensibilité $\Omega \in \{1; 0.7; 0.4\}$ les probabilités de blocage et de pertes de connections dans la zone Z_2 pour le réseau W_1 sont inférieures la barre des 40% lorsqu'elles sont déterminées en fonction du taux d'occupation de la bande passante comme l'indique la figure 6.4. Elles restent aussi inférieures à la barre des 50% dans la sous zone Z_2 lorsqu'on les évalue en fonction de la charge offerte du trafic pour tout facteur de sensibilité donné. Cette situation s'explique par une forte congestion du système hétérogène de réseaux.

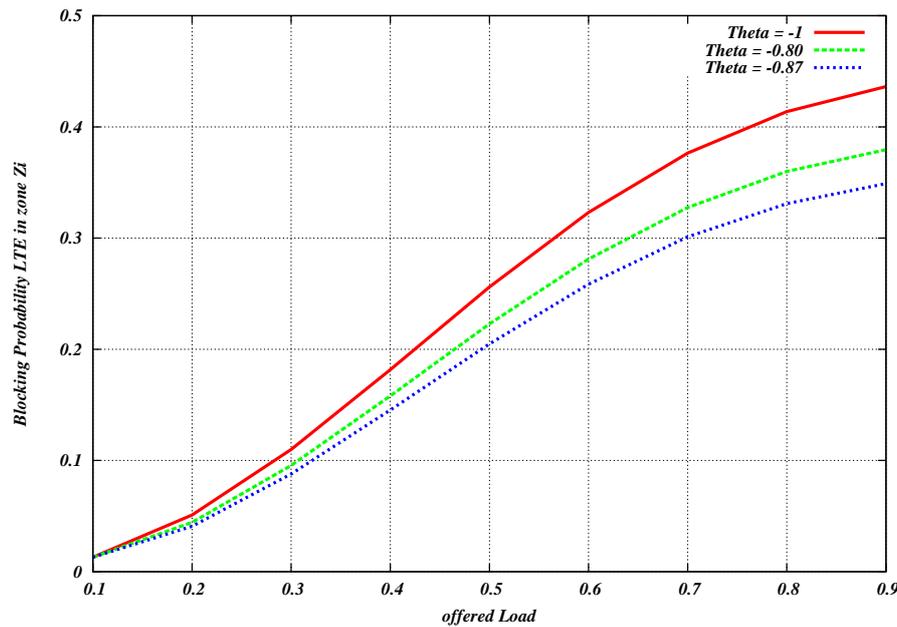


FIGURE 6.6 – Probabilité de blocage dans la zone Z_2 en fonction du taux de charge offerte.

6.8 Conclusion

Dans cet article, nous avons considéré une technique de sélection de réseau basée sur la valeur de SINR la plus élevée recue par un utilisateur dans un système composé de réseaux LTE et WIFI. Au terme de notre étude sur les performances optimales d'un système d'intégration de réseaux sans fils et mobiles de nouvelles générations, nous avons découvert un facteur qui reste très sensible aux variations du SINR calculé en fonction de l'interférence. En outre, ce facteur reste aussi déterminant pour le calcul des probabilités de blocage dans une sous zone Z_i à l'aide du taux de bande passante occupée ou du taux de charge du trafic offert. Les résultats satisfaisants obtenus sur les performances d'un système de réseaux sans fil et mobiles tels le LTE et le Wifi basées sur la qualité du signal de la puissance émise par voix descendante, nous ont permis de découvrir les évolutions dynamiques du système liées au SINR. Les paramètres liés au SINR tels que les probabi-

lités de blocage sont évalués avec des taux s'approchant la barre des 40%.

Nous comptons évaluer ce meme facteur de sensibilité lorsque nous considérons les performances du système liées au débit binaire.

Conclusion et Perspectives

Sommaire

7.1 Conclusion	84
7.2 Résumé des résultats	85
7.3 Limites	86
7.4 Perspectives	87

Le système hétérogène de réseaux mobiles et sans fil a pour objet de satisfaire les exigences des usagers mobiles en termes d'itinérance sans coupure, de garantie de qualité de service et de préférences des usagers. Pour ce faire, l'intégration et la convergence des systèmes mobiles existants et ceux à venir constituent la base de toute éventuelle coexistence entre technologies hétérogènes. De ce concept de réseaux mobiles, émane un nombre important de problématiques et de défis qui nécessitent des efforts laborieux pour faire en sorte que le concept des réseaux hétérogènes puisse sortir du cadre théorique à une exploitation réelle. Tout au long de cette thèse, nous avons abordé les éléments de problématique qui ont trait à la mobilité des usagers, à la décision de relève et à l'architecture d'intégration. Dans le présent chapitre, nous mettrons en évidence les principales contributions de cette thèse. Ensuite, nous spécifierons les limitations relatives à nos propositions. Enfin, nous proposerons des recommandations ainsi que les éventuelles extensions de ce travail.

7.1 Conclusion

Nous sommes passés dans le troisième chapitre aux réseaux hétérogènes. Au sein du système hétérogène, une large gamme de services est toujours disponible aux utilisateurs et plusieurs réseaux d'accès peuvent être exploités pour accéder à ces services. Dans ce contexte, les terminaux mobiles sont toujours en mesure de choisir le lien d'accès le plus approprié parmi les choix possibles. Nous avons présenté dans le chapitre 5 une étude détaillée sur les différents mécanismes de sélection introduisant les stratégies les plus récentes et intéressantes et mettant en évidence leurs caractéristiques et limitations principales. Ensuite, nous avons présenté et analysé un exemple d'une stratégie de sélection basée sur l'approche du débit binaire. Nous avons montré que la variation des préférences des utilisateurs pour chacun des critères de choix peut affecter les performances des systèmes hétérogènes. Les différents paramètres mesurés afin d'évaluer des performances d'un système hétérogène ont également été présentés dans ce chapitre.

Dans le chapitre 6, nous avons proposé une stratégie de sélection basée sur la valeur estimée de SINR dans un système hétérogène composé de deux types de réseaux : LTE et Wi-Fi. Les utilisateurs selon cette stratégie sélectionnent toujours le réseau ayant la valeur de SINR la plus élevée pour effectuer leurs communications. En se basant sur la méthode de Markov, nous avons analysé les performances de cette stratégie en termes de probabilités de blocage des demandes d'accès aux services, de probabilités de défaillance des demandes de handover vertical ou horizontal et de qualité de connexion des appels. Nos résultats numériques développés dans ce chapitre ont montré que la stratégie proposée a des performances moyennes en termes de probabilités de blocage et présente des meilleures performances en termes de la qualité de connexion .

Ensuite, nous avons analysé l'effet de la mobilité des utilisateurs au sein de la zone de service sur les performances de la stratégie proposée.

D'autre part, nous avons bien montré que l'augmentation des ressources allouées aux ser-

vices Unicast à faible QoS (débit de donnée) conduit à améliorer les performances du système en termes des probabilités de blocage et la qualité de connexion des appels au détriment du débit de donnée.

7.2 Résumé des résultats

Le principal objectif de cette thèse a été de concevoir et de proposer des solutions de gestion des performances et d'intégration des réseaux hétérogènes. Il a été atteint dans la mesure où cette thèse a donné lieu à plusieurs contributions qui touchent directement les requis majeurs du système hétérogène de réseaux. À titre de récapitulation, les contributions essentielles de la présente thèse se résument comme suit :

✓ Nous avons conçu un modèle d'intégration interopérable pour les réseaux tels que la 4G(LTE) et Wi-Fi. Ce modèle est ainsi un système hétérogène de réseaux, il est ouvert et peut supporter la mobilité des utilisateurs. Pour la particularité de ce modèle, nous y avons considéré le nombre d'utilisateurs occupés dans chaque sous zone.

✓ Nous avons montré l'influence de la mobilité des utilisateurs, munis de terminaux équipés d'interfaces d'accès multiples, dans le système hétérogène de réseaux en se basant sur le modèle Random WayPoint(RWP) qui est le mieux adapté dans ces circonstances.

✓ Nous avons utilisé une chaîne de Markov pour évaluer les performances obtenues du système hétérogène de réseaux LTE et Wi-Fi, afin de proposer d'abord une formule calculant la valeur moyenne du débit binaire ensuite une autre évaluant la qualité du signal(SINR) dans une sous zone de ce système. Comme le système dans lequel nous travaillons est dynamique, il est plus bénéfique de le modéliser avec les chaînes de Markov. en effet, elles nous permettent de déterminer les états de congestion et de décongestion

du système.

✓ Nous avons étudié et analysé les performances optimales de ce système hétérogène basées sur le débit binaire et sur le SINR en termes de probabilités de blocage et perte de connexions des utilisateurs afin de mieux contrôler la gestion de la bande passante. En effet, en s'appuyant sur les résultats obtenus de la simulation, on se rend compte que les probabilités de blocage ne dépassent pas la barre des 40% lorsqu'elles sont évaluées à l'aide du taux d'occupation de la bande passante. Elles n'atteignent pas non plus le niveau des 50% lorsqu'elles sont calculées en fonction de la charge offerte du trafic quelque soit le facteur de sensibilité donné.

7.3 Limites

La problématique d'intégration des réseaux mobiles demeure ouverte et beaucoup de solutions proposées jusqu'ici ne font pas l'unanimité dans la communauté scientifique. En conséquence, notre contribution, dans le cadre de cette thèse, a apporté des éléments de solutions à certaines des problématiques abordées. Toutefois, notre travail comporte quelques limitations dues à la nature du sujet traité, à la solution proposée et aux plateformes de simulation utilisées.

Une première limitation est due à la nature du sujet abordé où il est difficile de mener une étude globale sur toutes les problématiques émanant de l'intégration tels que : la mobilité, la sécurité, l'interopérabilité, la garantie de qualité de service, la facturation, l'adaptabilité des terminaux mobiles, etc.

De plus, avec les énormes progrès que connaissent les infrastructures de télécommunication, il est évident que ces paramètres seront dotés de bonnes capacités de calculs et de traitements. En conséquence, les limitations dues au trafic seront peu influentes devant la

puissance des infrastructures utilisées.

Une autre limitation est liée, cette fois, au simulateur utilisé (Network simulateur 3 : NS3). En effet, celui-ci n'offre pas certains modules et fonctionnalités désirés, ce qui nous a obligé à implémenter nos propres modules. Ceci pourrait avoir un impact sur la validation à grande échelle.

De plus, nous aurions bien aimé faire des applications avec les réseaux des opérateurs de télécommunication qui interviennent au Sénégal, mais ce genre de validation demeure onéreux et l'accès aux données réelles est loin d'être facile à cause de la réticence des opérateurs à l'idée divulguer leurs données privées. Cependant nous nous sommes contentés d'un certain nombre de données générées au hasard et de celles relatives aux réalités des réseaux LTE et Wi-Fi.

7.4 Perspectives

Les perspectives de cette thèse sont nombreuses et peuvent être annoncées par la suite : Dans cette étude, nous avons supposé que la stratégie de sélection choisit le réseau désiré suivant la valeur du SINR calculé lors de la décision. Comme un futur travail, cette stratégie pourrait être améliorée pour analyser la fluctuation de la valeur SINR au cours de la période de communication et la compensation du manque de ressources accompagné. Une autre extension pourrait être la combinaison des préférences des utilisateurs aux autres métriques de choix ainsi que le type d'applications dans la stratégie de sélection.

Les performances du système hétérogène sont analysées en termes des différentes probabilités de blocage ainsi que la qualité de connexion des appels. Comme perspectives, les performances de système pourraient être évaluées en termes d'autres paramètres tels que le taux d'erreurs binaires.

Les résultats obtenus au cours de cette thèse sont analysés et comparés en considérant le modèle de mobilité RWP où les déplacements sont totalement aléatoires et indépendants.

D'autres types de mobilité tels que les modèles qui prennent en compte les restrictions géographiques rencontrées lors du déplacement [56] pourraient être également testés et comparés.

Concernant l'allocation de ressources aux différents services fournis, et particulièrement dans le contexte multicast, une étude approfondie est nécessaire pour comprendre comment mettre en oeuvre un tel système et assurant une allocation optimale des ressources pour améliorer les performances de système et réduire les probabilités de blocage.

Nous comptons dans le temps vérifier les même performances au niveau de la 5G car l'accès internet à haut débit depuis un mobile ainsi qu'une augmentation du nombre d'appareils à un prix abordable conduisent à une croissance exceptionnelle du volume de données. La connexion à la 5G fournira des réseaux dont la capacité est plus élevée, ce qui facilitera les chargements et réduira la latence pendant la transmission du signal. Les abonnés pourront faire l'expérience d'une vitesse mobile plus grande lorsque le nouveau standard sera disponible(en profitant, par exemple, de vidéos en streaming, sans devoir attendre pour le chargement).

Appendices

Annexe A

Codes Network Simulator 3(NS3)

Codes 1 – Code de calcul du SINR du réseau LTE en zone Z_i

```
/* Mode: C++; c-file-style: "gnu"; indent-tabs-mode: nil; */  
/*  
 * Copyright (c) 2010 The Boeing Company  
 *  
 * This program is free software; you can redistribute it  
 * and/or modify it under the terms of the GNU General  
 * Public License version 2 as published by the Free  
 * Software Foundation;  
 * This program is distributed in the hope that it will  
 * be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even  
 * the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS  
 * FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the  
 * GNU General Public License for more details.  
 *  
 * You should have received a copy of the GNU General  
 * Public License along with this program; if not, write
```

```
* to the Free Software Foundation, Inc., 59 Temple Place,
* Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA
*
* Author: DIONE Déthié <dethie.dione@edu.ucad.sn>
*/
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/gnuplot.h"
#include <fstream>
#include <vector>
#include <cmath>

using namespace ns3;
using namespace std;

int main (int argc, char *argv [])
{
    double PuissanceNoise = 20;
    double PuissanceSignal = 450;
    double TauxAccesServices = 0.9;
    double ProbabilityHandover = 0.8;
    double ProbabilityState = 0.9;

    std::ofstream sinrfile ("sinr-interference-mobility.plt");
    std::ofstream sinrbpfile ("sinr-offered-traffic-load.plt");
    std::vector <std::string> modes;

    modes.push_back ("Omega = 1");
```

```

modes.push_back ("Omega = 0.8");
modes.push_back ("Omega = 0.5");

CommandLine cmd;
cmd.AddValue (" PuissanceNoise ", "dBm/Hz", PuissanceNoise);
cmd.AddValue (" PuissanceSignal ", "dBm", PuissanceSignal);
cmd.AddValue (" TauxAccesServices ", "%", TauxAccesServices);
cmd.AddValue (" ProbabilityHandover ", "[0 1]", ProbabilityHandover);
cmd.AddValue (" ProbabilityState ", "[0 1]", ProbabilityState );
cmd.Parse (argc, argv);

Gnuplot sinrplot = Gnuplot ("sinr-interference-mobility.eps");
Gnuplot sinrbpplot = Gnuplot ("sinr-offered-traffic-load.eps");

    double in;
    double sinr;
    double bp;
    double som;
    double PuissanceInterference;
for (uint32_t i = 0; i < modes.size (); i++)
{
    std::cout << modes[i] << std::endl;
    Gnuplot2dDataset sinrdataset (modes[i]);
    Gnuplot2dDataset sinrbpdataset (modes[i]);

    PuissanceInterference = 20;

```

```

double x;
    for (x = 1, som=1; x <= 10; x += 1)
        {

in = PuissanceInterference*0.1*exp(0.1*(x + 1) + 0.2*log(abs(x + 1)));

        bp = 0.001;
sinr = ((modes[i]), (TauxAccesServices + ProbabilityHandover)*
ProbabilityState*(1 - 0.001*sqrt(bp))*PuissanceSignal*0.5*
exp(-0.5*x - 0.1*log(x)))/(som+=in + PuissanceNoise));

                sinrdataset.Add (in , sinr);

        }

    for(bp = 0; bp <= 1.0; bp += 0.1)
        {
            in = 40;

sinr = ((modes[i]), (TauxAccesServices + ProbabilityHandover)*
ProbabilityState*(1 - sqrt(bp))*PuissanceSignal/(in + PuissanceNoise));
                sinrbpdataset.Add (bp, sinr);
        }

sinrplot.AddDataset (sinrdataset);
sinrbpplot.AddDataset (sinrbpdataset);

```

}

```
sinrplot.SetTerminal("postscript eps color enh \"Times-BoldItalic \");
sinrplot.SetLegend("Interference (dBm)", "SINR LTE in zone Zi");
sinrplot.SetExtra("set xrange [2.8:9.7]\n\
    set yrange [0:9.2]\n\
    set grid\n\
    set style line 1 linewidth 5\n\
    set style line 2 linewidth 5\n\
    set style line 3 linewidth 5\n\
    set style increment user "
);
sinrplot.GenerateOutput (sinrfile);
sinrfile.close ();

sinrbpplot.SetTerminal("postscript eps color enh \"Times-BoldItalic \");
sinrbpplot.SetLegend("Bandwidth ocupate rate", "SINR LTE in zone Zi");
sinrbpplot.SetExtra ("set xrange [0:1]\n\
    set yrange [0:12]\n\
    set grid\n\
    set style line 1 linewidth 5\n\
    set style line 2 linewidth 5\n\
    set style line 3 linewidth 5\n\
    set style increment user "
);
```

```
sinrbpplot.GenerateOutput (sinrbpfile);  
sinrbpfile.close ();  
}
```

Codes 2 – Code de calcul du débit binaire du réseau LTE en zone Z_i

```
/* Mode: C++; c-file-style: "gnu"; indent-tabs-mode:nil; */  
/*  
 * Copyright (c) 2010 The Boeing Company  
 *  
 * This program is free software; you can redistribute it  
 * and/or modify it under the terms of the GNU General  
 * Public License version 2 as published by the Free  
 * Software Foundation;  
 * This program is distributed in the hope that it will  
 * be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even  
 * the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS  
 * FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the  
 * GNU General Public License for more details.  
 *  
 * You should have received a copy of the GNU General  
 * Public License along with this program; if not, write  
 * to the Free Software Foundation, Inc., 59 Temple Place,  
 * Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA  
 *  
 * Author: DIONE Déthié <dethie.dione@edu.ucad.sn>  
 */
```

```
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/gnuplot.h"
#include <fstream>
#include <vector>
#include <cmath>

using namespace ns3;
using namespace std;

int main (int argc, char *argv [])
{
    double NumberFrequencies = 72;
    double NumberSymboles = 6;
    double TauxAccesServices = 0.8;
    double ProbabilityHandover = 0.8;
    double ProbabilityState = 0.9;

    std::ofstream bitratefile ("bit-rate-bler-mobility.plt");
    std::ofstream bitratebpfile ("bit-rate-offered-traffic-load.plt");
    std::vector <std::string> modes;

    modes.push_back ("Lambda = 1");
    modes.push_back ("Lambda = 0.7");
    modes.push_back ("Lambda = 0.5");

    CommandLine cmd;
    cmd.AddValue ("NumberFrequencies", "MHZ", NumberFrequencies);
```

```

cmd.AddValue ("NumberSymboles", "second", NumberSymboles);
cmd.AddValue ("TauxAccesServices", "%", TauxAccesServices);
cmd.AddValue ("ProbabilityHandover", "[0 1]", ProbabilityHandover);
cmd.AddValue ("ProbabilityState", "[0 1]", ProbabilityState);
cmd.Parse (argc, argv);

Gnuplot bitrateplot = Gnuplot ("bit-rate-bler-mobility.eps");
Gnuplot bitratebppplot = Gnuplot ("bit-rate-offered-traffic-load.eps");

    double bler;
    double bitrate;
    double bp;

for (uint32_t i = 0; i < modes.size (); i++)
{
    std::cout << modes[i] << std::endl;
    Gnuplot2dDataset bitratedataset (modes[i]);
    Gnuplot2dDataset bitratebppdataset (modes[i]);

    for (bler = 0; bler <= 0.1; bler += 0.01)
    {
        bp = 0.7;
        bitrate = ((modes[i]), (TauxAccesServices + ProbabilityHandover)*
        ProbabilityState*(1 - sqrt (bp))*NumberFrequencies*NumberSymboles*(1 - bler))

bitratedataset.Add (bler, bitrate);

```

```

    }
    for (bp = 0; bp <= 1.0; bp += 0.1)
    {
        bler = 0.8;
        bitrate = ((modes[i]), (TauxAccesServices + ProbabilityHandover)*
        ProbabilityState*(1 - sqrt(bp))*ProbabilityState*(1 - sqrt(bp))*
        NumberFrequences*NumberSymboles*(1 - bler));
        bitratebpdataset.Add (bp, bitrate);
    }

    bitrateplot.AddDataset (bitratedataset);
    bitratebpplot.AddDataset (bitratebpdataset);
}

bitrateplot.SetTerminal("postscript eps color enh \"Times-BoldItalic\");
bitrateplot.SetLegend("BLER", "BIT RATE(Mbits/s) LTE in zone Zi");
bitrateplot.SetExtra("set xrange [0:0.1]\n\
    set yrange [88:101.6]\n\
    set grid\n\
    set style line 1 linewidth 5\n\
    set style line 2 linewidth 5\n\
    set style line 3 linewidth 5\n\
    set style increment user"
);
bitrateplot.GenerateOutput (bitratefile);
bitratefile.close ();

```

```

bitratebplot.SetTerminal("postscript eps color enh \"Times-BoldItalic \");
bitratebplot.SetLegend("Bandwidth ocupate rate",
    "BIT RATE(Mbits/s) LTE in zone Zi");
bitratebplot.SetExtra ("set xrange [0:1]\n\
    set yrange [0:112]\n\
    set grid\n\
    set style line 1 linewidth 5\n\
    set style line 2 linewidth 5\n\
    set style line 3 linewidth 5\n\
    set style increment user"
);

bitratebplot.GenerateOutput (bitratebpfile);
bitratebpfile.close ();
}

```

Codes 3 – Code de calcul de la probabilité de blocage du réseau LTE en zone Z_i

```

/* Mode: C++; c-file-style: "gnu"; indent-tabs-mode:nil; */
/*
 * Copyright (c) 2010 The Boeing Company
 *
 * This program is free software; you can redistribute it
 * and/or modify it under the terms of the GNU General
 * Public License version 2 as published by the Free
 * Software Foundation;

```

```
* This program is distributed in the hope that it will
* be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even
* the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS
* FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
* GNU General Public License for more details.
*
* You should have received a copy of the GNU General
* Public License along with this program; if not, write
* to the Free Software Foundation, Inc., 59 Temple Place,
* Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA
*
* Author: DIONE Déthié <dethie.dione@edu.ucad.sn>
*/
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/gnuplot.h"
#include <fstream>
#include <vector>
#include <cmath>

using namespace ns3;
using namespace std;

double fact (double valeur)
{
double resultatFact = 1;
double t;
for( t = 1; t <= valeur; t++)
```

```
    {
        resultatFact *= t;
    }
    return resultatFact;
}
int main (int argc, char *argv [])
{

    double TauxAccesServices = 0.9;
    double ProbabilityHandover = 0.8;
    double ProbabilityState = 0.9;

std::ofstream pblockfile ("pblock-pblocking-service-mobility.plt");
std::ofstream pblockbpf ("pblock-offered-traffic-load.plt");
std::vector <std::string> modes;

modes.push_back ("Theta = -1");
modes.push_back ("Theta = -0.8");
modes.push_back ("Theta = -0.5");

CommandLine cmd;
cmd.AddValue ("TauxAccesServices", "%", TauxAccesServices);
cmd.AddValue ("ProbabilityHandover", "[0 1]", ProbabilityHandover);
cmd.AddValue ("ProbabilityState", "[0 1]", ProbabilityState);
cmd.Parse (argc, argv);

Gnuplot pblockplot = Gnuplot ("pblock-pblocking-service-mobility.eps");
```

```
Gnuplot pblockbplot = Gnuplot ("pblock-offered-traffic-load.eps");
```

```

    double n = 2;
    double l;
    double k;
    double som;
    double bp;
    double pblock;
    double m;
    double num;
for (uint32_t i = 0; i < modes.size (); i++)
{
    std::cout << modes[i] << std::endl;
    Gnuplot2dDataset pblockdataset (modes[i]);
    Gnuplot2dDataset pblockbdataset (modes[i]);

    for (l = 0.1, som=1; l <= 1; l += 0.1)
        {
            for(k = 1; k<=n; k++)
                {
                    num = pow(l, k)/fact(k);
                }
            bp = 0.5;
pblock = ((modes[i]), (TauxAccesServices + ProbabilityHandover)*
ProbabilityState*(1 + sqrt(bp))*(pow(l, n)/fact(n))/(som +=num));

```

```

pblockdataset.Add (1, pblock);

    }

        for (bp = 0; bp <= 1.0; bp += 0.1)
            {
                m = 0.1;
pblock = ((modes[i]), (TauxAccesServices + ProbabilityHandover)*
ProbabilityState*(1 + sqrt (bp))*m);
pblockbpdataset.Add (bp, pblock);

            }

pblockplot.AddDataset (pblockdataset);
pblockbpplot.AddDataset (pblockbpdataset);
    }

pblockplot.SetTerminal("postscript eps color enh \"Times-BoldItalic\");
pblockplot.SetLegend("offered Load",
    "Blocking Probability LTE in zone Zi");
pblockplot.SetExtra ("set xrange [0.1:0.9]\n\
set yrange [0:0.5]\n\
set grid\n\
set style line 1 linewidth 5\n\
set style line 2 linewidth 5\n\
set style line 3 linewidth 5\n\

```

```
        set style increment user "
    );
        pblockplot.GenerateOutput (pblockfile);
        pblockfile.close ();

pblockbplot.SetTerminal("postscript eps color enh \"Times-BoldItalic\");
pblockbplot.SetLegend ("Bandwidth ocupate rate",
    "Blocking Probability LTE in zone Zi");
pblockbplot.SetExtra ("set xrange [0:1]\n\
    set yrange [0.15:0.31]\n\
    set grid\n\
    set style line 1 linewidth 5\n\
    set style line 2 linewidth 5\n\
    set style line 3 linewidth 5\n\
    set style increment user "
);

pblockbplot.GenerateOutput (pblockbfile);
pblockbfile.close ();
}
```

Annexe B

ARTICLE 1

ARTICLE 2

(TSVP)

Optimization of heterogeneous network performances based on the Signal Interferences Noise Ration(SINR)

Déthié Dione¹, Salimata Gueye Diagne¹, Papa Ndiaga Ba¹, Youssou Gningue², Bakary Koné¹ & Samuel Ouya¹

¹ Departement of mathematics and computer science, Cheikh Anta Diop university

² University of Laurentia, Canada

Correspondence: Déthié Dione, Cheikh Anta Diop University, Dakar, Senegal. Tel: 00221-77-561-69-74. E-mail: dethiedione79@gmail.com

Received: June 13, 2015 Accepted: July 6, 2015 Online Published: August 14, 2015

doi:10.5539/jmr.v7n3p208 URL: <http://dx.doi.org/10.5539/jmr.v7n3p208>

Abstract

Integration of wireless and mobile networks to new generations constitutes a heterogeneous system, This is the case of LTE and WiFi networks. In this paper, we study and analyze the optimal performances of this system regarding the SINR(Signal Interference Noise Ration), the blocking probability and the user communication loss. The user mobility is represented by random wayPoint(RWP) model and users terminals equipped with multiple accesses interfaces. We have established a Markov chain to assess and analyze the performances obtained from the heterogeneous networks system. So we have proposed an average value of the signal power emitted in down-ling voice, the blocking probability of system connections.

Keywords: LTE, WiFi, Random WayPoint, Handover, Markov chain, SINR, blocking probability, heterogeneous network.

1. Introduction

Considering the current tendency of high demand and the presence communication almost everywhere, the global mobility of services and users, the use and the deployment of wireless access and mobiles become a necessity. As they have different characteristics, these networks can support various services. So, the ideal is to build several networks in the same place to satisfy the diversity user's choices; it is the case of the complementarity Lte (4G) and Wi-Fi networks available presently. The heterogeneousness of these networks must be accompanied by an adequate user mobility such as Random waypoint which better represent the individual movements with stops, departures and other actions were related to an individual movement in the urban places. New methods of saving, transmission and sharing of the bandwidth are imperative. Among these methods we targeted the selection technique of better network based on the SINR whose selection parameters are the blocking probability and connections losses.

In the literature, we have noted the most used selection techniques of a network. The authors (Shen & Zeng, 2008) analyzed the signal power received (RSNS) then the available bandwidth(TBNS) of a heterogeneous networks system. They exploited this system parameters such as the blocking probability and connections losses, but they did not take into account the interference in their selection strategies that they displayed which made less successful the results obtained from the blocking probability and connections losses. Besides the works of (Yang & al., 2007), (Ayyappan & al., 2009), (Al-Ghadi & al., 2011) and (Yang & al., 2007) took into account the interference in the selection techniques that they adopted which is the one based on the SINR, which allowed them to improve the connections losses probability during a vertical handover. However, they did not approach through their analyses the connections blocking parameters. These are studied on the other hand by (Jabban & al., 2012) who obtained more satisfactory results than those of the authors who precede them by taking into account the system performances related to the blocking probability or better connections quality. Besides, (Vuong & al., 2007) took into account the user mobility (terminal-controlled mobility management) and other aspects such as the cost, the battery life cycle and the handover frequency.

But through all these studies, authors did not take into account the constraint based on the number of users occupying these bandwidth units to decrease an available congestion of the system. The peculiarity of our model of connections and disconnections of a user is that if he is connected, the system leaves a given state and moves to an

other state before returning to this one in a well defined time interval.

The paper is organized as follows: section 2 introduces the model of studied heterogeneous system where all the parameters are established. The algorithm of the selection technique based on the SINR is studied at the level of the section 3. Through the section 4, we developed the users mobility model, which is Random Waypoint(RWP) which we consider more adequate to the individual users movement. The average access demand rate for a service is established in the section 5. The average demand rate of vertical and horizontal handover is calculated through section 6. In section 7, we established a Markov chain to analyze the numbers of units of busy bandwidth and those of the users having occupied these units. The performances system studied such as the SINR and the blocking probability and connections losses are estimated in section 8. The obtained results are simulated in section 9. We ended our study in section 10 by conclusion and future work.

2. Model of heterogeneous networks system

A prototype model of heterogeneous networks system is given by figure 1. Indeed, we have a circular service area Z_1 of radius R_1 covered entirely by the mobile network Lte (4 G). This service area is distributed in several homogeneous circular sub-zones $(Z_j)_{2 \leq j \leq m}$ of radius r_i among which each is covered by a wireless network (Wi-Fi). So Lte and Wi-Fi overlap in sub-zones Z_i and the Wi-Fi networks are separated between them. We denote by Z_0 the part of the service area not covered by a Wi-Fi network. Where from we have:

$$Z_0 = Z_1 - \sum_{j=1}^m Z_j \quad (1)$$

The users is equipped with devices to multiple accesses, have possibility of changing connections in the zones

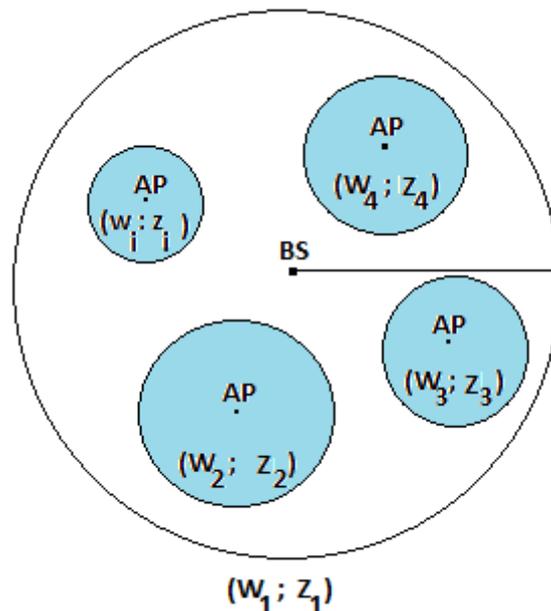


Figure 1: Model of service zone

where networks overlap by choosing automatically the network having the highest SINR. In our study, we suppose that the LTE network supplies two types of services: those Multicasts or Unicasts whose numbers of units of bandwidth are respectively B_1^{mc} and B_1^{uc} . The number of users occupying these units of bandwidth is respectively N_1^{mc} and N_1^{uc} . Besides the numbers of units of bandwidth and users occupying these units at the level of every Wi-Fi network are respectively B_i and N_i .

In the service area Z_1 , we consider Q interferences sources distributed following a normal random distribution: $Q = \{I(q), q = 1 \dots Q\}$.

The selection method is based on the SINR then these interferences play a major role at the level of this strategy allowing to select a network. The various parameters of the heterogeneous networks system are assigned in the following table:

Table 2: Definition parameters system

Notations	Definitions
$n_{1,1}^k$	Number of users connected to the Lte network to the service k in the zone Z_0
$n_{1,i}^k$	Number of users connected to the Lte network to the service k in the zone Z_i
n_i^k	Number of users connected to the Wi-Fi wireless to the service k in the zone Z_i
$b_{1,1}^k$	Number of units of busy bandwidth units of the Lte network of the service k in the zone Z_0
$b_{1,i}^k$	Number of units of busy bandwidth units of the Lte network of the service k in the zone Z_i
b_i^k	Number of units of busy bandwidth of the Wi-Fi wireless of the service k in the zone Z_i
N_{PBR}^k	Number of resources blocks needed to supply a service k by the network Lte

chain is: $s.(2m - 1)$
 with $|M| = m$ and $|S| = s$.

7.1 Various stages and states of the system:

When we consider the system at the given moment then we characterize it as being a stage of dynamic change. Besides, the users connections and disconnections of the system define the states space which is given by:

$$\mathcal{E} = \{(n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k)\} \quad (8)$$

$$s.q/ \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^s (b_{1,j}^k) \leq B_1^{uc} \\ \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^s (n_{1,j}^k) \leq N_1^{uc} \\ \sum_{k=1}^s (b_i^k) \leq B_i \\ \sum_{k=1}^s (n_i^k) \leq N_i \end{array} \right.$$

Table 3: System parameters

Notations	Definitions
$\sum_{k=1}^s n_{1,1}^k = n_{1,1}$	Number of users connected to the network Lte in the zone Z_0
$\sum_{k=1}^s n_{1,i}^k = n_{1,i}$	Number of users connected to the network Lte in the zone Z_i
$\sum_{k=1}^s n_i^k = n_i$	Number of users connected to the Wi-Fi wireless in the zone Z_i
$\sum_{k=1}^s b_{1,1}^k = b_{1,1}$	Number of units of busy bandwidth of the network Lte in the zone Z_0
$\sum_{k=1}^s b_{1,i}^k = b_{1,i}$	Number of units of busy bandwidth of the network Lte in the zone Z_i
$\sum_{k=1}^s b_i^k = b_i$	Number of units of busy bandwidth of the wireless Wi-Fi in the zone Z_i

• Stage 0:

$$E_0 = ((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

• Stage I:

$$E_1 = ((n_{1,1}^k + \gamma n_0^k; b_{1,1}^k + \gamma N_{PBR}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$\gamma = \begin{cases} 1 & \text{If a user } n_0 \text{ connects to the network Lte in the zone: } Z_0 & \text{State}(E_{1,1}) \\ -1 & \text{If a user } n_0 \text{ disconnects from the network Lte in the zone } Z_0 & \text{State}(E_{1,2}) \\ 0 & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{1,3}) \end{cases}$$

• Stage 2:

$$E_2 = ((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k + \gamma n_0^k; b_{1,i}^k + \gamma N_{PRB}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$\gamma = \begin{cases} 1 & \text{If a user } n_0 \text{ connects to the network Lte in the zone } Z_i & \text{State}(E_{2,4}) \\ -1 & \text{If a user } n_0 \text{ disconnects from the network Lte of the zone } Z_i & \text{State}(E_{2,5}) \\ 0 & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{2,6}) \end{cases}$$

• Stage 3:

$$E_3 = ((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k + \gamma n_0^k; b_i^k + \gamma); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$\gamma = \begin{cases} 1 & \text{If a user } n_0 \text{ connects to the WiFi wireless in the zone } Z_i & \text{State}(E_{3,7}) \\ -1 & \text{If a user } n_0 \text{ disconnects from the WiFi wireless of the zone } Z_i & \text{State}(E_{3,8}) \\ 0 & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{3,9}) \end{cases}$$

• Stage 4:

$$E_4 = ((n_{1,1}^k + \gamma n_0^k; b_{1,1}^k + \gamma N_{PRB}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k + \gamma' n_0^k; b_{1,i}^k + \gamma' N_{PRB}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k; b_i^k); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$(\gamma, \gamma') = \begin{cases} (1, -1) & \text{If a user } n_0 \text{ connects to the network Lte in the zone } Z_0 \\ & \text{by disconnecting from the network Lte of the zone } Z_i & \text{State}(E_{4,10}) \\ (-1, 1) & \text{If a user } n_0 \text{ disconnects from the network Lte of the zone } Z_0 \\ & \text{by connecting to the network Lte in the zone } Z_i & \text{State}(E_{4,11}) \\ (0, 0) & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{4,12}) \end{cases}$$

• Stage 5:

$$E_4 = ((n_{1,1}^k + \gamma n_0^k; b_{1,1}^k + \gamma N_{PRB}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k; b_{1,i}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k + \gamma' n_0^k; b_i^k + \gamma'); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$(\gamma, \gamma') = \begin{cases} (1, -1) & \text{If a user } n_0 \text{ connects to the network Lte in the zone } Z_0 \\ & \text{by disconnecting from the WiFi network of the zone } Z_i & \text{State}(E_{5,13}) \\ (-1, 1) & \text{If a user } n_0 \text{ disconnects from the network Lte of the zone } Z_0 \\ & \text{By connecting to the WiFi network in the zone } Z_i & \text{State}(E_{5,14}) \\ (0, 0) & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{5,15}) \end{cases}$$

• Stage 6:

$$E_5 = ((n_{1,1}^k; b_{1,1}^k); (n_{1,2}^k; b_{1,2}^k); \dots; (n_{1,i}^k + \gamma n_0^k; b_{1,i}^k + \gamma N_{PRB}^k); \dots; (n_{1,m}^k; b_{1,m}^k); (n_2^k; b_2^k); \dots; (n_i^k + \gamma' n_0^k; b_i^k + \gamma'); \dots; (n_m^k; b_m^k))$$

$$(\gamma, \gamma') = \begin{cases} (1, -1) & \text{If a user } n_0 \text{ connects to the network Lte in the zone } Z_i \\ & \text{by disconnecting from the WiFi wireless of the zone } Z_i \quad \text{State}(E_{6,16}) \\ (-1, 1) & \text{If a user } n_0 \text{ disconnects from the network Lte of the zone } Z_i \\ & \text{en se connectant au r\u00e9seau Wifi dans la zone } Z_i \quad \text{State}(E_{6,17}) \\ (0, 0) & \text{Otherwise} \quad \text{State}(E_{6,18}) \end{cases}$$

7.2 Their transition rate:

$$\begin{aligned} \checkmark \tau_{(E_0 \Rightarrow E_{1,1})} &= (\lambda_{Z_0}^{c(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \left(\frac{n_{11}^k}{n_0^k} + 1\right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{c(k)}} + \eta_{Z_0}^{Z_1}\right) \cdot s.q / \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n_0^k) \leq N_1^{mc} \end{array} \right. \\ \checkmark \tau_{(E_0 \Rightarrow E_{1,2})} &= (\lambda_{Z_0}^{c(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k}\right) \left(\frac{n_{11}^k}{n_0^k}\right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{c(k)}} + \eta_{Z_0}^{Z_1}\right) \cdot s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_{11}^k \geq N_{PRB}^k \\ n_{11}^k \geq n_0^k \end{array} \right. \\ \checkmark \tau_{(E_1 \Rightarrow E_{2,4})} &= (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 > W_i)) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \left(\frac{n_{1i}^k}{n_0^k} + 1\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \cdot s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_i = B_i \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc} \\ n_i = N_i \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n_0^k) \leq N_1^{mc} \end{array} \right. \\ \checkmark \tau_{(E_1 \Rightarrow E_{2,5})} &= (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 > W_i)) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} \cdot \frac{n_{1i}^k}{n_0^k}\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \cdot s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_i = B_i \\ b_{1i}^k \geq N_{PRB}^k \\ n_i = N_i \\ n_{1i}^k \geq n_0^k \end{array} \right. \\ \checkmark \tau_{(E_2 \Rightarrow E_{3,7})} &= (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 > W_i)) \cdot (b_i^k + 1) \cdot \left(\frac{n_i^k}{n_0^k} + 1\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \cdot s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_i \leq B_i \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) = B_1^{uc} \\ n_i \leq N_i \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n_0^k) = N_1^{mc} \end{array} \right. \\ \checkmark \tau_{(E_2 \Rightarrow E_{3,8})} &= (\lambda_{Z_i}^{c(k)} + \lambda_{Z_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(W_1 > W_i)) \cdot (b_i^k) \cdot \left(\frac{n_i^k}{n_0^k}\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \cdot s.q / \left\{ \begin{array}{l} b_i^k \geq 1 \\ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) = B_1^{uc} \\ n_i^k \geq n_0^k \\ \sum_{j=1}^m (n_{1j} + n_0^k) = N_1^{mc} \end{array} \right. \end{aligned}$$

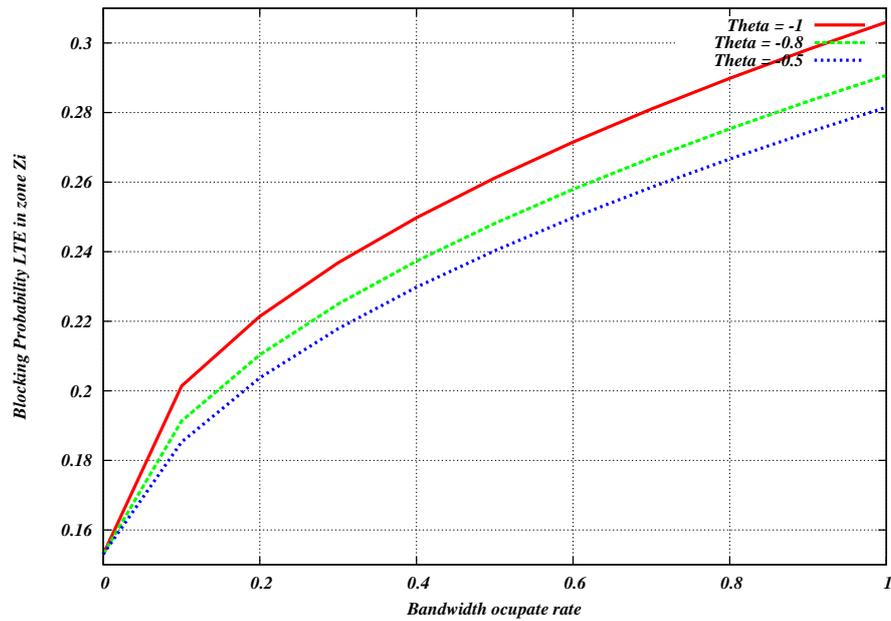


Figure 5: Blocking probability in the zone Z_2 in function of the busy bandwidth rate.

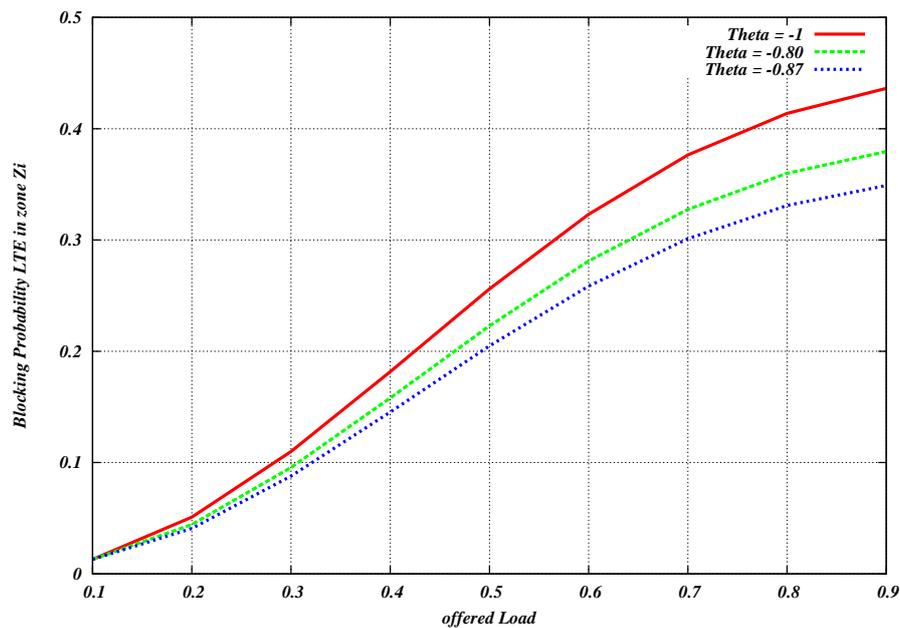


Figure 6: Blocking probability in the zone Z_2 in function of the offered load rate.

10. Conclusion

In this paper, we considered a network selection technique based on the value of the highest SINR received by a user in a system compound of networks LTE and WIFI. At the end of our study on the optimal performances of integration system of wireless and new generations mobile networks, we discovered a factor which remains very sensitive to the variations of the SINR calculated in function of the interference. Besides, this factor remains so determining for the blocking probability theory in a sub-zone Z_i by means of the rate of busy bandwidth or the rate of offered load traffic. The satisfactory results obtained on the performances of a system of wireless and

mobile networks such the LTE and the Wi-Fi based on the signal power emitted by down-ling voice, allowed us to discover the dynamic evolutions of the system related to the SINR. The parameters related to the SINR such as the blocking probability are estimated with rates approaching the 40% bar. As future works, we plan to estimate the same sensitivity factor when we consider the performances of the system related to the bit rate.

Acknowledgements

We are solemnly anxious to thank professor Youssou Gningue of Laurentia's university in Canada for his availability and his advice for the realization of this study which was not obvious. We also thank Mrs Salimata Gueye Diagne lecturer at Cheikh Anta Diop of Dakar university for his important contribution for the fulfillment of these works.

References

- Al-Ghadi, M., Ababneh, I., & Mardini, W. (2011), *Performance study of SINR scheme for Vertical Handoff in wireless networks*, in proceeding,of International conference on Information and Communication Systems(ICICS), pp. 1-3.
- Ayyappan, K., Narasimman, K. & Dananjavan, P. (2009), *SINR Based Vertical Handoff Scheme for Qos in Heterogeneous Wireless Networks*, in Proceeding of International Conference on Future Computer and Communication(ICFCC), pp.117-121.
- Bettstetter, C., & Wagner, C. (March 2002), *The spacial node distribution of the random waypoint mobility model*, in proceedings of German Workshop on mobile ad hoc networks(WMAN),(Ulm, Germany).
- Hyytia, E., & Virtamo, J. (October 2007), *Random waypoint mobility model in cellular Networks*, Springer, wireless Networks, vol.13, no.2.
- Hyytia, E., Lassila, P., & Virtamo, J. (June 2006), *Spacial node distribution of the random waypoint mobility model with applications*, IEEE Transaction on Mobile Computing, vol.5, no.6, pp.680-694.
- Jabban, A., Nasser, Y., & Helard, M. (April 2012), *SINR based network selection strategy in integrated heterogeneous networks*, in proceeding of International conference on Telecommunication(ICT2012), p.1-6.
- NS3 CONSORTIUM(Georgia Institute of Technology, ICSI Center for Internet Research and 'Planète' INRIA Sophia-Antipolis)(2006), *Website of the Research Educational Network on Development and Application*, <http://www.nsnam.org/docs/doxygen>.
- Shen, W. & Zeng, Q. A. (2008), *Cost-function-based network selection strategy in integrated wireless and mobile networks*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 57, no. 6.
- Vuong,Q. N., Agoulmine, N. & Doudane, Y. G. (April 2007), *Terminal-controlled mobility management in heterogeneous wireless networks*, IEEE Communications Magazine,vol.45, pp.122-129.
- Yang, K., Gondal, I., Qiu, B., & Dooley, L. S. (2007), *Combined SINR Based Vertical Handoff Algorithm for Next Generation Heterogeneous Wireless Networks*, in proceeding of IEEE Global Telecommunication Conferences(GLOBECOM '07), pp.4483-4487.
- Yang, K., Gondal, I., Qiu, B., & Dooley, L. S. (June 2007), *Multi-Dimensional Adaptive SINR Based Vertical Handoff for Heterogeneous Wireless Networks*, IEEE communications letters, vol.12, no.6, pp.4483-4487.

Notes

Note 1. This is an example.

Note 2. This is an example for note 2.

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).

Optimal performance of heterogeneous networks based on the bit rate

Déthié Dione¹ · Salimata Gueye Diagne¹ · Bakary Koné¹ · Youssou Gningue²

Received: 22 July 2015 / Accepted: 14 December 2015
© The Author(s) 2016. This article is published with open access at Springerlink.com

Abstract Networks LTE(4G) and Wi-Fi complementarity establish a heterogeneous system of wireless and mobile networks. We study and analyze the optimal performances of this heterogeneous system based on the bit rate, the blocking probability and user connection loss. Random Waypoint is the user mobility model. User's provided mobile terminal equipped with multiple accesses interfaces. We have developed a Markov chain to estimate the performances obtained from the heterogeneous networks system, which allowed us to propose an average bit rate value in a sub-zone of this system then the average blocking probability user connection in this zone. We have also proposed a sensitivity factor of maximal decrease of these selection network parameters. This factor informs about the heterogeneous networks congestion and dis-congestion system.

Keywords LTE · Wi-Fi · Random waypoint · Handover · Markov chain · BLER · Bit rate · Blocking probability

Introduction

The integration of wireless and mobile networks such as longterm evolution (LTE) and Wi-Fi is nowadays a necessity for the satisfaction of user request which is stronger and stronger. The global services and user mobility makes this task difficult. However these networks are provided with characteristics to support services and user mobility.

The Random waypoint (RWP) is model chosen for users mobility in this heterogeneous networks system. The RWP model corresponds to the ideal behavior of a user in an urban area because according to the model of mobility RWP, every user chooses randomly a place of destination and goes to this one in a constant velocity. The user movement starting up from a point to a destination is named "one movement epoch". The users velocity in every epoch is random variable and is chosen from a uniform distribution of the velocity $[0, V_{max}]$, where V_{max} is the eligible maximal velocity for user. In the RWP, the user can wait for a period of time called "time of reflection" before his departure for another point. The browsed path of a user is independent from its previous path and from other users path. Thus, at the end of every time of movement, the user stops a duration of the time and then chooses another destination place and, possibly, new velocity, and moves towards this destination in a constant velocity, and so on. RWP is one of the mobility models widely used in the performances analysis of the wireless and mobile networks. It represents well the individual movements which include the stop, the starting up and the other actions bound to the individual movements in cities.

So new methods for saving, transmission and sharing of bandwidth are imperative. Among these we can mention the selection technique of best network based on the bit rate which the selection parameters of which are the blocking probability and connections losses.

We noted in the literature the most used selection strategies of network. In their works [10], we were able to analyze the signal power received (RSNS) and then the available bandwidth (TBNS) of a heterogeneous networks system. They emphasized the parameters of this system such as the blocking probability and connections losses but they did not take into account the interference in the selection techniques

✉ Déthié Dione
dethiedione79@gmail.com

¹ Department of Mathematic and Computer Science,
University of Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal

² University of Laurentia, Sudbury, Canada

that they developed which made less successful results obtained from the blocking probability and connections losses. Besides the authors [1, 2, 12, 13] considered the interference in the selection strategies they adopted which is the one based on the SINR, which allowed them to decrease the probability connections losses during a vertical handover. But through their studies, they did not approach the parameters connections blocking. On the other hand, these are analyzed by [7] who in their works obtained results more satisfactory than those who are preceded them. Besides, [11] took into account the users mobility (terminal-controlled mobility management) and other aspects such as the cost, the battery life cycle and the handover frequency.

However, through their studies, none of these authors took into account the constraint related to the block error rate (BLER) in a sub-cell given by the cluster. The contribution in our works bases on our model users connected and disconnected. When he is connected, the system quits a well-defined state and moves to an other state before returning to this first one in a given time interval. Besides, unlike the other works, we took the bit rate as an important selection technique of the best network which consists in choosing the biggest bit rate value.

The paper is organized as follows: “Model of heterogeneous networks system” section introduces the model of the studied heterogeneous networks where all the parameters of the system are defined. The selection method algorithm based on the bit rate is established at the level of “Selection method” section. In “User mobility model” section, we have developed the users mobility model, it is Random Waypoint (RWP) which we consider more adequate to the individual users movements. The average access demand rate for a service is given in “Average new access demand rate $\lambda_{C_i}^{C(k)}$ for a service” section. The average rate demand of vertical and horizontal handover is calculated in “Average demand rate of handovers” section. In “Modeling approach based on a Markov chain” section, we have used a Markov chain to analyze the number busy bandwidth units. The system studied performances such as the bit rate and the blocking probability and connection losses are estimated in “Evaluations of optimal performances” section. The results obtained are simulated in “Numerical tests” section. We finished our study in “Conclusion” section by conclusion and future work.

Model of heterogeneous networks system

The model of heterogeneous networks system which we study is represented by Fig. 1.

Indeed, we have an hexagonal area of service C_1 covered entirely by the mobile network LTE (4G). In this

service area are present several homogeneous circular sub-cells $(C_j)_{2 \leq j \leq m}$ of radius r_i among which each is also covered by a Wi-Fi wireless. So both mobile network LTE and Wi-Fi wireless overlap in cells C_i and the Wi-Fi wireless are separated between them. We denote by C_0 the part of the service area not covered by a Wi-Fi wireless. Where from we have:

$$C_0 = C_1 - \bigcup_{j=2}^m C_j \tag{1}$$

As the users are equipped with devices of multiple accesses, they have the possibility to connect or disconnect from a network in the cells where networks overlap by choosing automatically the network which has the best bit rate. In our study, we suppose that the LTE network supplies two types of services: those Multicasts or Unicasts whose numbers of units of bandwidth are respectively B_1^{mc} et B_1^{uc} . Besides, the number of units of bandwidth for every Wi-Fi wireless is B_i .

In the service area C_1 , we suppose to have Q interferences sources distributed following a normal random distribution: $Q = \{I(q), q = 1, \dots, Q\}$.

The selection technique is based on the bit rate then these interferences play an important role at the level of

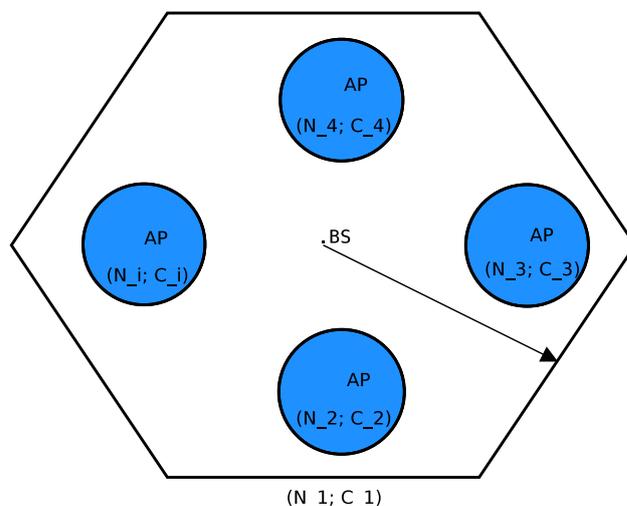


Fig. 1 Model cluster service zone

Table 1 LTE network parameters

Parameters	LTE networks N_1	
Interferences	Q sources	
Covered zone	C_1	
Service quality	Low bandwidth	
Types of services	Multicast	Unicast
Units of bandwidth	B_1^{mc}	B_1^{uc}

Table 3 Definition of system parameters

Parameters	Definitions
$b_{1,1}^k$	Number of units of busy bandwidth of LTE network to the service k in the cell C_0
$b_{1,i}^k$	Number of units of busy bandwidth of LTE network to the service k in the cell C_i
b_i^k	Number of units of busy bandwidth of LTE network to the service k in the cell C_i
N_{PRB}^k	Number of resources blocks asked to supply a service k by the LTE network in the cell C_i
$\sum_{k=1}^s b_{1,1}^k = b_{1,1}$	Number of units of busy bandwidth of LTE network in the cell C_0
$\sum_{k=1}^s b_{1,i}^k = b_{1,i}$	Number of units of busy bandwidth of LTE network in the cell C_i
$\sum_{k=1}^s b_i^k = b_i$	Number of units of busy bandwidth of Wifi wireless in the cell C_i

$$b_{11} \rightarrow b_{11} + N_{PRB}^k$$

Where b_{11} is the number of units of busy bandwidth in the zone C_1 by the network N_1 and the number of busy blocks resources by a user for a service k in the zone C_1 to the network N_1 .

- Stage 0: $E_0 = (b_{1,1}^k; \dots; b_{1,i}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k; \dots; b_m^k)$
- Stage 1: $E_1 = (b_{1,1}^k + \mu N_{prb}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_m^k)$

$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if a user } u_0 \text{ connects to the network LTE in the cell } C_0 & \text{State}(E_{1,1}) \\ -1 & \text{if a user } u_0 \text{ disconnects of the LTE from the cell } C_0 & \text{State}(E_{1,2}) \\ 0 & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{1,3}) \end{cases}$$

- Stage 2: $E_2 = (b_{1,1}^k; \dots; b_{1,i}^k + \mu N_{prb}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_m^k)$

$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if a user } u_0 \text{ connects to the network LTE in the cell } C_i & \text{State}(E_{2,1}) \\ -1 & \text{if a user } u_0 \text{ disconnects of the network LTE from the cell } C_i & \text{State}(E_{2,2}) \\ 0 & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{2,3}) \end{cases}$$

- Stage 3: $E_3 = (b_{1,1}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k + \mu; \dots; b_m^k)$

$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if a user } u_0 \text{ connects to the wireless Wi - Fi in the cell } C_i & \text{State}(E_{3,1}) \\ -1 & \text{if a user } u_0 \text{ disconnects of the wireless Wi - Fi from the cell } C_i & \text{State}(E_{3,1}) \\ 0 & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{3,1}) \end{cases}$$

- Stage 4: $E_4 = (b_{1,1}^k + \mu N_{PRB}^k; \dots; b_{1,i}^k + \mu' N_{PRB}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_m^k)$

$$(\mu, \mu') = \begin{cases} (1, -1) & \text{if a user } u_0 \text{ connects to the network LTE in the cell } C_0 \\ & \text{by disconnecting of network LTE from the cell } C_i & \text{State}(E_{4,1}) \\ (-1, 1) & \text{if a user } u_0 \text{ disconnects of the network LTE from the cell } C_0 \\ & \text{by connecting to the network LTE in the cell } C_i & \text{State}(E_{4,2}) \\ (0, 0) & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{4,3}) \end{cases}$$

- Stage 5: $E_4 = (b_{1,1}^k + \mu N_{PRB}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k + \mu'; \dots; b_m^k)$

$$(\mu, \mu') = \begin{cases} (1, -1) & \text{if a user } u_0 \text{ connects to network LTE in the cell } C_0 \text{ by} \\ & \text{disconnecting of the wireless } Wi - Fi \text{ from the cell } C_i & \text{State}(E_{5,1}) \\ (-1, 1) & \text{if a user } u_0 \text{ disconnects of the network LTE from the cell } C_0 \\ & \text{by connecting to the wireless } Wi - Fi \text{ in the cell } C_i & \text{State}(E_{5,2}) \\ (0, 0) & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{5,3}) \end{cases}$$

- Stage 6: $E_5 = (b_{1,1}^k; b_{1,2}^k; \dots; b_{1,i}^k + \mu N_{PRB}^k; \dots; b_{1,m}^k; b_2^k; \dots; b_i^k + \mu'; \dots; b_m^k)$

$$(\mu, \mu') = \begin{cases} (1, -1) & \text{if a user } u_0 \text{ connects to the network LTE in the cell } C_i \text{ by} \\ & \text{disconnecting of the wireless } Wi - Fi \text{ from the cell } C_i & \text{State}(E_{6,1}) \\ (-1, 1) & \text{if a user } u_0 \text{ disconnects of the network LTE from the cell } C_i \\ & \text{by connecting to the wireless } Wi - Fi \text{ in the cell } C_i & \text{State}(E_{6,2}) \\ (0, 0) & \text{Otherwise} & \text{State}(E_{6,3}) \end{cases}$$

Transition rate

Proposition 1 Let us consider the heterogeneous system of networks in a stage $(E_p)_{1 \leq p \leq 6}$. The transition rate towards the state $E_{p,t}$ of the stage E_p is established by:

$$\tau_{(E_0 \Rightarrow E_{1,1})} = \tau_{1,1} = (\lambda_{C_0}^{C(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{C(k)}} + \eta_{C_1}^{\bar{C}_1} \right) \tag{8}$$

(1) In the zone C_0 of the cluster:

(2) In the cell C_i of the cluster:

$$\tau_{(E_1 \Rightarrow E_{2,1})} = \tau_{2,1} = (\lambda_{C_i}^{c(k)} + \lambda_{C_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(N_1 \rightarrow N_i)) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}} \tag{9}$$

(3) From the zone C_0 to the cell C_i of cluster:

✓ By horizontal handover:

$$\tau_{(E_3 \Rightarrow E_{4,1})} = \tau_{4,1} = \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k}\right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{H(k)} \tag{10}$$

✓ By vertical handover:

$$\tau_{(E_4 \Rightarrow E_{5,1})} = \tau_{5,1} = (b_i^k) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{V(k)} \tag{11}$$

Proof

(1) When the number of units of busy bandwidth in one under zone C_1 of the network N_1 (LTE) crosses of b_{11} to $b_{11} + N_{PRB}^k$ then the variation rate of the units of busy bandwidth is defined by:

$$\frac{b_{11} + N_{PRB}^k}{N_{PRB}^k} = \frac{b_{11}}{N_{PRB}^k} + 1$$

If there is variation of units of busy bandwidth, it is because a user who is recently connected in it in sub-zone C_1 with a access demand rate $\lambda_{C_0}^{C(k)}$ or to make a horizontal handover $\lambda_{N_1}^{H(k)}$ and the residence time in this sub-zone C_1 is $\Delta_{C(k)}$ or the time of passage in this cell C_0 towards C_1 . The residence time is inversely proportional to the transition rate. The transition rate of the state E_0 to the state E_1 is equal to the product of these various rates calculated previously. So the found rate is:

$$(\lambda_{C_0}^{C(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{C(k)}} + \eta_{C_0}^{C_1}\right)$$

(2) If a user u connects to the network N_1 (LTE) in a sub-zone C_i then the number of bandwidth units occupied in this sub-zone passes to b_{1i} $b_{1i} + N_{PRB}^k$. So bandwidth units rate variation occupied in this sub-zone is calculated by:

$$\frac{b_{1i} + N_{PRB}^k}{N_{PRB}^k} = \frac{b_{1i}}{N_{PRB}^k} + 1$$

This variation of the bandwidth units occupation rate is due to the fact that when a user is recently connected in this sub-zone C_i with an access request

rate $\lambda_{C_i}^{c(k)}$ rr disconnects from the network N_i by connecting to the network N_1 with a probability $\mathbb{P}(N_i \rightarrow N_1)$ applied to an access request rate $\lambda_{C_i}^{c(k)}$ in this sub-zone. The transition rate to the state $E_{2,1}$ of the stage E_2 being inversely proportional of stay time $\Delta_{c(k)}$ in this su-zone C_i then it's found by making the product of the various rates calculated previously. So the rate $\tau_{(E_1 \Rightarrow E_{2,1})}$ found is equal to:

$$(\lambda_{C_i}^{c(k)} + \lambda_{C_i}^{c(k)} \cdot \mathbb{P}(N_1 \rightarrow N_i)) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \frac{1}{\Delta_{c(k)}}$$

(3) Besides, if a user u connects to the network N_1 (LTE) in sub-zone C_0 by disconnecting from the same network N_1 but in a zone C_i then the number of bandwidth units occupied in this sub-zone C_0 of the network N_1 (LTE) passes from b_{11} to $b_{11} + N_{PRB}^k$ and b_{1i} to $b_{1i} - N_{PRB}^k$ in sub-zone C_i . So the variation rate of the bandwidth units occupied in zones C_0 and C_i are respectively defined by:

$$\frac{b_{11} + N_{PRB}^k}{N_{PRB}^k} = \frac{b_{11}}{N_{PRB}^k} + 1$$

and

$$\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k}$$

As the user makes a horizontal handover (vertical resp.) of the zone C_i towards C_1 then the rate of transition is directly proportional at the horizontal handover rate (vertical resp.) $\tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{H(k)}$ (resp. $\tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{V(k)}$). So the transition rate of the state $E(4, 1)$ in the stage E_3 is equal to the product of these rates calculated previously. Thus the found rate is:

$$\left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \left(\frac{b_{1i}^k}{N_{PRB}^k}\right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{H(k)}$$

Respectively:

$$\left((b_i^k) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \tau_{(C_0 \leftarrow C_i)}^{V(k)}\right)$$

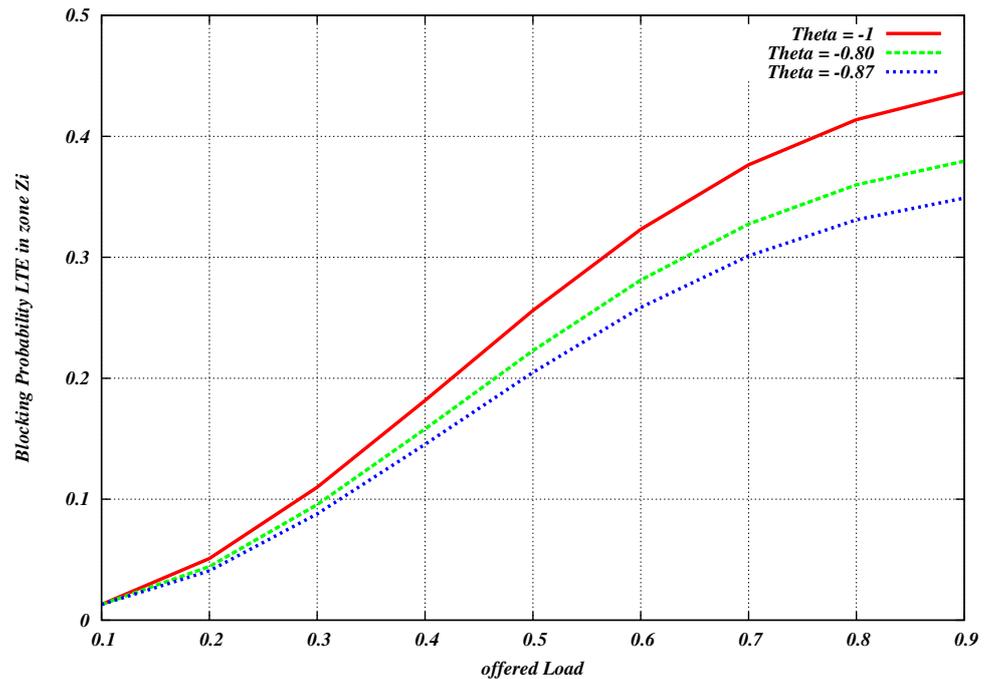
□

The various transitions:

$$\tau_{(E_0 \Rightarrow E_{1,1})} = (\lambda_{C_0}^{C(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k} + 1\right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{C(k)}} + \eta_{C_0}^{C_1}\right) \quad s.q/ \sum_{j=1}^m (b_{1j} + N_{PRB}^k) \leq B_1^{uc}$$

$$\tau_{(E_0 \Rightarrow E_{1,2})} = (\lambda_{C_0}^{C(k)} + \lambda_{N_1}^{H(k)}) \cdot \left(\frac{b_{11}^k}{N_{PRB}^k}\right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta_{C(k)}} + \eta_{C_0}^{C_1}\right) \quad s.q/ \quad b_{11}^k \geq N_{PRB}^k$$

Fig. 6 Blocking probability in the zone C_2 in function of the offered load rate



maximal decrease of the bit rate because of the network congestion.

However the change of the factor Λ acts less on the bit rate when it is estimated in function of the occupation bandwidth rate by fixing the BLER as indicated by Fig. 3; BLER is fixed to 50 %.

Besides, we have estimated the network performances related to the average blocking probability and connections losses to the services in the sub-cell C_2 . The obtained results depend on a sensitivity factor Θ as represented by Figs. 4 and 5. For sensitivity parameters $\Theta \in \{1; 0.8; 0.5\}$ we analyzed the blocking probability in the sub-cell C_2 in function of the busy bandwidth rate (Fig. 4) then to the offered load by the traffic (Fig. 5). Indeed, seen the satisfactory obtained results, we realize that the blocking probability do not pass 40 % when they are determined with the occupation bandwidth rate. They do not reach either the level 50 % when they are estimated in function of the offered load by the traffic whatever is the given sensitivity factor (Fig. 6).

Conclusion

At the end of our analysis on the system integration performances of new generation wireless and mobile networks, we found a factor which remains very sensitive to the variations of the bit rate received in a sub-cell C_i when it is calculated in function of the BLER in this sub-zone.

Besides, this sensitivity factor remains so determining for the blocking probability theory in a sub-zone C_i by means of the busy bandwidth rate or the offered load traffic rate. The satisfactory results obtained on the system performances of wireless and mobile networks such the LTE and the Wi-Fi based on the bit rate allowed us to discover the dynamic fluctuations system. The parameters related to the bit rate such as the blocking probability are estimated with lower rates the bar 40 %.

In our future works, we intend to calculate the same sensitivity factor when we consider the performances of the system related to the SINR. We planned also to take into account the number of users having consumed these numbers of busy bandwidth units. This will allow us to encircle better the congestion and dis-congestion rates of the heterogeneous networks.

Acknowledgments We are solemnly anxious to thank all the members of research team of mathematical decision of Cheikh Anta Diop University for their collaboration, their critic and their support to realize this project. We also thank all the mathematics teachers of the department of mathematics and computing at Cheikh Anta Diop university of Dakar for the realization of these scientific works.

Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.



References

1. Al-Ghadi, M., Ababneh, I., Mardini, W.: Performance study of SINR scheme for vertical handoff in wireless networks. In: Proceeding of International Conference on Information and Communication Systems (ICICS), pp. 1–3 (2011)
2. Ayyappan, K., Narasimman, K., Dananjavan, P.: SINR based vertical handoff scheme for Qos in heterogenous wireless networks. In: Proceeding of International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC), pp. 117–121 (2009)
3. Bettstetter, C., Wagner, C.: The spacial node distribution of the random waypoint mobility model. In: Proceedings of German Workshop on mobile ad hoc networks (WMAN), Ulm, Germany (2002)
4. Hyytia, E., Virtamo, J.: Random waypoint mobility model in cellular networks, Springer, Wireless Networks, vol. 13, no. 2 (2007)
5. Hyytia, E., Lassila, P., Virtamo, J.: Spacial node distribution of the random waypoint mobility model with applications. IEEE Transaction on Mobile Computing **5**(6), 680–694 (2006)
6. Jabban, A., Nasser, Y., Helard, M.: Performance analysis of heterogenous networks based on SINR selection strategy. In: Proceeding of International Conference on Telecommunication (ICT2013) (2013)
7. Jabban, A., Nasser, Y., Helard, M.: SINR based network selection strategy in integrated heterogenous networks. In: Proceeding of International Conference on Telecommunication (ICT2012), pp. 1–6 (2012)
8. Jabban, A.: Optimisation et analyse des réseaux intelligents et des réseaux hétérogènes. THESE INSA Rennes en Electronique et Télécommunications, Aout (2013)
9. NS3 CONSORTIUM (Georgia Institute of Technology, ICSI Center for Internet Research and 'Planète' INRIA Sophia-Antipolis), Website of the research educational network on development and application (2006). <http://www.nsnam.org/docs/doxygen>
10. Shen, W., Zeng, Q.A.: Cost-function-based network selection strategy in integrated wireless and mobile networks. IEEE Trans. Veh. Technol. **57**(6), 3778–3788 (2008)
11. Vuong, Q.N., Agoulmine, N., Doudane, Y.G.: Terminal-controlled mobility management in heterogeneous wireless networks. IEEE Commun. Mag. **45**, 122–129 (2007)
12. Yang, K., Gondal, I., Qiu, B., Dooley, L.S.: Combined SINR based vertical handoff algorithm for next generation heterogeneous wireless networks. In: Proceeding of IEEE Global Telecommunication Conferences (GLOBECOM '07), pp. 4483–4487 (2007)
13. Yang, K., Gondal, I., Qiu, B., Dooley, L.S.: Multi-dimensional adaptive SINR based vertical handoff for heterogeneous wireless networks. IEEE Commun. Lett. **12**(6), 4483–4487 (2007)

Annexe C

Publications et Communications

Publications Internationales

- Déthié Dione , S. Gueye Diagne , P. Ndiaga Ba, Y. Gningue, B. Kone and S. Ouya, " Optimization of Heterogeneous Network Performances Based on the Signal Interferences Noise Ration(SINR)", Vol. 7, No. 3 ; 2015 , pp.208-220, September 2015.
- Déthié Dione , S. Gueye Diagne , Y. Gningue and B. Kone, "Optimal Performances of Heterogeneous Network Based on the Bit Rate", Mathematical sciences, Springer, Vol. 10, No. 1, pp. 1-12, January 2016.
- Seydina I. Dione, Salimata G. Diagne, Déthié Dione and Youssou Gningue, "Dynamic Selection of Optimal Sub-portfolio - Application in the Regional Stock Exchange of Securities in West Africa (BRVM)", Vol. 7, No. 3 ; 2015 , pp.198-207, September 2015.

Communications

- Déthié Dione, Salimata G. Diagne and Youssou Gningue, "Localisation optimale des controleurs de BTS dans un réseau GSM(Global System Mobile)", in workshop des mathématiques appliquées, Senegal(Dakar), Ocobre 2013.

- Déthié Dione, Salimata G. Diagne and Youssou Gningue, "Performances optimales d'un système hétérogène de réseaux sans fil et mobiles, in Conférences de l'optimisation et des mathématiques de la décision, Senegal(AIMS Mbour), Janvier 2014.

Annexe D

Glossaire

Bande passante	Intervalle de fréquences pour lesquelles un système de transmission est fiable.
Débit binaire	Paramètre permettant de définir la vitesse d'un transfert de données numériques. Son unité est généralement un nombre de bit par seconde.
Interférence	Phénomène résultant de la superposition d'au moins deux oscillations ou ondes cohérentes de même nature et de fréquences égales ou voisines.
Démodulation	Conservation des signaux analogiques en données numériques.
Modulation	Conservation des données numériques en signaux analogiques.
Efficacité	Nombre de symboles par seconde.
Multiplexage	Action d'assembler des signaux indépendants en un seul signal composite à partir duquel ils peuvent être restitués.
Multicast	Transmission simultanée de signal d'un terminal vers plusieurs terminaux d'un réseau.

Porteuse	Signal e fréquence constante qui, par différentes techniques de modulation, sert de support à la transmission des données.
Unicast	Connexion réseau point à point, transfert d'un hote vers un autre hote.
Handover	Ensemble des opérations mises en oeuvre afin de permettre à un terminal mobile de passer d'un réseau à un autre sans aucune interruption de la conversation en cours.
Intenet	Réseau de télécommunication international reliant des terminaux(Ordinateurs, téléphone, PDA, tablette...) à l'aide du protocole IP. Il sert de support à la transmission de nombreuses données, notamment des pages web, des courriels et des fichiers informatiques.
Réseau	Ensemble des moyens servant à relier des terminaux de télécommunication à un commutateur du réseau d'infrastructure.
Cluster	Agglomérat d'un certains nombres d'objets.
Symbol	Nombre de syombole par seconde.
Trame	Paquet d'information véhiculé au travers d'un support physique.

Références

- [1] Ahmed, T., Kyamakya, K., Ludwig, M., 2006, "A contexte-aware vertical handover decision algorithm for multimode mobile terminals and its performance". Proceeding of the IEEE/ACM Euro American Conference on Telematics and Information System (EATIS 2006), pp. 19-28.
- [2] M. Al-Ghadi I. Ababneh and W. Mardini, Performance study of SINR scheme for Vertical Handoff in wireless networks, *in proceeding,of International conference on Information and Communication Systems(ICICS)*, pp. 1-3, (2011).
- [3] Atallah, J. G. and Ismail, M., "Future 4G front-ends enabling smooth vertical handovers", IEEE circuits and Device Magazine, Vol. 22, No. 1, 2006, pp. 6-15.
- [4] H. Attaullah, F. Iqbal and M.Y. Javed, « Intelligent vertical handover decision model to improve QoS », in proceeding of Third International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2008), pp.119,124, November 2008.
- [5] K. Ayyappan K. Narasimman and P. Dananjavan, SINR Based Vertical Handoff Scheme for Qos in Heterogenous Wireless Networks, *in Proceeding of International Conference on Future Computer and Communication(ICFCC)*, pp.117-121, (2009).
- [6] Balasubramaniam, S., Indulska, J., 2004, "Vertical handover supporting pervasive computing in future wireless networks", Computer Communications, Vol. 27, No. 8, pp. 708-719.

-
- [7] C. Bettstetter and C. Wagner, The spacial node distribution of the random way-point mobility model, *in proceedings of German Workshop on mobile ad hoc networks(WMAN)*,(Ulm, Germany), March 2002.
- [8] C. Bettstetter, « Mobility modeling in wireless networks : Categorization, smooth movement, and border effects », *Mobile Computing and Communications Review (ACM)*, vol. 5, no. 3, pp.55(67, July 2001.
- [9] G. Cao, D. Yang, X. Zhu and X. Zhang, « A joint resource allocation and power control algorithm for heterogeneous network », in *Proceeding of the International Conference on Telecommunication (ICT2012)*, (Jounieh, Lebanon), April 2012.
- [10] S. Choi, K. Jun, Y. Shin, S. Kang, and B. Choi, « MAC scheduling scheme for VoIP traffic service in 3G LTE », in *Proceedings of 66th IEEE Vehicular Technology Conference Fall (VTC'07 Fall)*, (Baltimore, U.S.A), pp. 1441-1446, Sept./Oct. 2007.
- [11] B. Clerckx, A. Lozano, S. Sesia, C. van Rensburg and C. Papadias, « 3GPP LTE and LTE(Advanced », *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Special issue on 3gpp LTE and LTE Advanced, November 2009.
- [12] Chen, W., Liu, J., Huang, H., 2004, "An Adaptive Scheme for Vertical Handoff in Wireless Overlay Networks", *Proceedings on the 10 th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, pp. 541-548.
- [13] J. Fan, Q. Yin, G.Y. Li, B. Peng and X. Zhu, « Adaptive block(level resource allocation in OFDMA networks », *IEEE transactions on Wireless Communications*, vol. 10, PP. 3966-3972, November 2011.
- [14] Q. Guo, J. Zhu and X. Xu, « An adaptive multi(criteria vertical handoff decision algorithm for radio heterogeneous network », in *IEEE International Conference on Communications (ICC 2005)*, vol. 4, pp. 2769 ?2773, May 2005.

- [15] E. Hyytia P. Lassila and J. Virtamo, Spatial node distribution of the random waypoint mobility model with applications, *IEEE Transaction on Mobile Computing*, vol.5, no.6, pp.680-694, June(2006)
- [16] J. C. Ikuno, M. Wrulich, and M. Rupp, « System level simulation of LTE networks », », in Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1-5, May 2010.
- [17] Jabban, A.; Nasser, Y. and Helard, M. SINR based network selection strategy in integrated heterogenous networks, *in proceeding of International conference on Telecommunication(ICT2012)*, **April 2012**, p.1-6.
- [18] Jabban, A.; Nasser, Y. and Helard, M. Performance Analysis of heterogenous networks based on SINR selection strategy in , *in proceeding of International conference on Telecommunication(ICT2013)*, **May 2013**.
- [19] A. Jabban Y. Nasser and M. Helard, SINR based network selection strategy in integrated heterogenous networks, *in proceeding of International conference on Telecommunication(ICT2012)*, p.1-6, April(2012).
- [20] A KYILDIZ , I. F., M OHANTY , S., X IE , J., 2005, "A Ubiquitous Mobile Communication Architecture for Next-Generation Heterogeneous Wireless Systems", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 43, No. 6, pp. 29-36.
- [21] NS3 CONSORTIUM(Georgia Institute of Technology, ICSI Center for Internet Research and 'Planète' INRIA Sophia-Antipolis), Website of the Research Educational Network on Development and Application, <http://www.nsnam.org/docs/doxygen>,(2006).
- [22] <http://images.google.fr/imgres?imgurl=http://Fimage.slidesharecdn.com/Ffr.slideshare.net>, <http://www.fr.slideshare.net>,(2012).

- [23] <http://images.google.fr/imgres?imgurl=http://www.2n.cz>, <http://www.2n.cz>, (2012).
- [24] E. M. Royer, P. M. Melliar-Smith, and L. E. Moser, « An analysis of the optimum node density for ad hoc mobile networks », in Proceeding of IEEE International Conference on Communication (ICC), (Helsinki, Finland), June 2001.
- [25] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) release 10, « LTE : E(UTRA ; physical layer procedures », TS 36.213 version 10.3.0, October 2011.
- [26] N. Nasser, S. Guizani and E. Al-Masri, « Middleware vertical handoff manager : a neural network-based solution », in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'07), (Glasgow, Scotland), pp. 5671-5676, June 2007.
- [27] K. Mahmud, M. Inoue, H. Murakami, M. Hasegawa and H. Morikawa, « Measurement and usage of power consumption parameters of wireless interfaces in energy-aware multi-service mobile terminals », in 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), vol.2, pp. 1090-1094, September 2004.
- [28] Ormond, O., Murphy, J., Muntean, G., 2006, "Utility-based intelligent network selection in beyond 3G systems", IEEE International Conference on Communications (ICC 2006), vol. 4, pp. 1831-1836.
- [29] Pahlavan, K., Krishnamurthy, P., Hatami, A., Ylianttila, M., Makela, J. P., Pichna, R., Vallström, J., 2000, "Handoff in hybrid mobile data networks", IEEE wireless communications, Vol. 7, No. 2, pp. 34-47.
- [30] 3GPP Release 6, « RF System Scenario », TR 25.942 V6.4.0, March 2005.
- [31] Juniper Research, « Mobile Data Offload Onload : Wifi Small Cell Strategies 2012(2016) », June 2012.

- [32] V. Gupta and M. K. Rohil, « Enhancing WiFi with IEEE802.11u for mobile data offloading », in *International Journal of Mobile Network Communications Telematics (IJMNCT)*, vol.2, no.4, August 2012.
- [33] J. McNair and F. Zhu, « Vertical handoffs in fourth(generation multi network environments », *IEEE Wireless Communications*, vol.11, no.3, pp.8)15, June 2004.
- [34] McNair, J., Zhu, F., 2004, "Vertical Handoffs in Fourth-Generation Multinetwork Environment", *IEEE Wireless Communications*, Vol. 11, No. 3, pp. 8-15.
- [35] Mishra, A., Shin, M., Arbaugh, W., 2003, "An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process", *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 33, No. 2, pp. 93-102.
- [36] Nasser, N., Hasswa, A., Hassanein, H., 2006, "Handoffs in Fourth Generation Heterogeneous Networks", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 44, No. 10, pp. 96-103.
- [37] Q.T. Nguyen(Vuong, Y. Ghamri(Doudane and N. Agoulmine, « On utility models for access network selection in wireless heterogeneous networks », in *Network Operations and Management Symposium (NOMS 2008)*, pp. 144(151, April 2008.
- [38] Q. He, « A novel vertical handoff decision algorithm in heterogeneous wireless networks », *IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS)*, pp.566(570, June 2010.
- [39] K. Pahlavan, P. Krishnamurthy, A. Hatami, M. Ylianttila, J.P. Makela, R. Pichna, and J. Vallstron, « Handoff in hybrid mobile data networks », *IEEE Personal Communications*, Vol.7, no.2, April 2000.
- [40] X. Hong, M. Gerla, G. Pei and C.C. Chiang, « A group mobility model for ad hoc wireless networks », in *Proc. ACM Intern. Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, August 1999.

- [41] K. Samouylov and A. Chukarin, « Tool for the Routing Planning in a Large scale Signaling Network », in Proceedings of the 7th International Conference on Telecommunications, (Zagreb, Croatia), pp 579(585, June 2003.
- [42] ITU(T : White Book, Recommendation Q.1211 : Introduction to intelligent network capability set 1, Geneva, March 1993.
- [43] C.W. Lee, L.M. Chen, M.C. Chen and Y.S. Sun, « A Framework of Handoffs in Wireless Overlay Networks Based on Mobile IPv6 », IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.23, no.11, pp. 2118(2128, November 2005.
- [44] M. Kassar, B. Kervella and G. Pujolle, « An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks », Computer Communications, pp.2607-2620, October 2008.
- [45] X. Yan, Y. A. Sekercioglu and S. Narayanan, « A survey of vertical handover decision algorithms in Fourth Generation heterogeneous wireless networks », Computer Networks, vol.54, no.11, pp. 1848(1863, August 2010.
- [46] A. Bhuvanewari and G.D.P. Raj, « An Overview of Vertical Handoff Decision Making Algorithms », International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS), vol.9, no.7, pp. 55(62, August 2012).
- [47] G.P. Pollini, « Trends in handover design », IEEE Communications Magazine, pp. 82-90, March 1996.
- [48] K. Pahlavan, P. Krishnamurthy, A. Hatami, M. Ylianttila, J. P Makela, R. Pichna and J. Vallström, « Handoff in Hybrid Mobile Data Networks », IEEE Personal Communications, Vol.7, no.2, April 2000.
- [49] M. Nam, N. Choi, Y. Seok, and Y. Choi, « WISE : Energy(efficient interface selection on vertical handoff between 3G networks and WLANs », in 15th IEEE International

- Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), vol.1, pp.692,698, September 2004.
- [50] F. Hadiji, F. Zarai and A. Kamoun, « Architecture of mobile node in heterogeneous networks », International Conference on Communications and Information Technology (ICCIT 2012), pp.260(264, June 2012).
- [51] R. Trestian, O. Ormond and G.(M. Muntean, « Power(Friendly Access Network Selection Strategy for Heterogeneous Wireless Multimedia Networks », IEEE International Symposium BMSB, pp. 1(5, Mar 2010.
- [52] C. Schindelbauer, « Mobility in Wireless Networks », in 32nd International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science, (Merin, Czech), January 2006.
- [53] V. Borrel, M.D. Amorim, and Serge Fdida, « On Natural Mobility Models », International Workshop on Autonomic Communication, (Athens, Greece), October 2005.
- [54] S. Panda and R. Mohapatra, « Implementation and Comparison of Mobility Models In Ns(2 », Department of Computer Science and Engineering National Institute of Technology, Rourkela, May 2009.
- [55] F. Bai and A. Helmy, « A Survey of Mobility Modeling and Analysis in Wireless Adhoc Networks », Book Chapter in the book "Wireless Ad Hoc and Sensor Networks", Springer, October 2006.
- [56] I. Khider, W. Furong, Y. W. Hua and Sacko, « A Survey of Geographic Restriction Mobility Models », Journal of Applied Sciences, vol. 7, no.3, pp. 442(450, January 2007).
- [57] V.A. Davies, Evaluating Mobility Models within an ad hoc networks, master's thesis, Colaroda School of Mines, 2000.

- [58] J. Cowling, Dynamic Location Management in Heterogeneous Cellular Networks. MIT Thesis, School of information technologies, university of Sydney, Australia, October 2004.
- [59] C. Bettstetter, H. Hartenstein and X. P. Costa, « Stochastic properties of the random waypoint mobility model », ACM/Kluwer Wireless Networks : Special Issue on Modeling and Analysis of Mobile Networks, September 2004.
- [60] C. Perkins and E. Royer, « Ad Hoc On(Demand Distance Vector Routing », in the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99), pp. 90(100, February 1999).
- [61] C. Bettstetter, « Smooth is Better than Sharp : a Random Mobility Model for Simulation of Wireless Networks », in MSWIM'01 : Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, ACM Press, pp.19-27, July 2001.
- [62] C. Perkins and E. Royer, « Ad Hoc On(Demand Distance Vector Routing », in the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99), pp. 90(100, February 1999).
- [63] D. Dione , S. Gueye Diagne , P. Ndiaga Ba, Y. Gningue, B. Kone and S. Ouya, « Optimization of Heterogeneous Network Performances Based on the Signal Interferences Noise Ration(SINR)», Vol. 7, No. 3 ; 2015 , pp.208-220, September 2015.
- [64] D. Dione , S. Gueye Diagne , Y. Gningue and B. Kone, « Optimal Performances of Heterogeneous Network Based on the Bit Rate », Journal of Mathematical Sciences, Springer, Vol. 10, accepted for publication, March 2016.
- [65] P. Lescuyer, T. Lucidarme, « Evolved Packet System (EPS) : The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS », Wiley. pp. 140(143, January 2008.

- [66] Calvagna, A., Di Modica, G., 2004, "A user-centric analysis of vertical handovers", Proceedings of the second ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots, pp. 137-146.
- [67] Cavalcanti, D., Agrawal, D., Cordeiro, C., Xie, B., Kumar, A., 2005, "Issues in Integrating Cellular Networks, WLAN, and MANETs : A Futuristic Heterogeneous Wireless Network", *IEEE Wireless Communication*, Vol. 12, No. 3, pp. 30-41.
- [68] W. Shen and Q. A. Zeng, Cost-function-based network selection strategy in integrated wireless and mobile networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 57, no. 6 (2008).
- [69] M. Stemm and R. H. Katz, « Vertical handoffs in wireless overlay networks », *Mobile Network Application*. ?Special Issue on Mobile Networking in the Internet, vol. 3, no. 4, pp. 335 ?350, January 1998.
- [70] E. Hyytia and J. Virtamo, Random waypoint mobility model in cellular Networks, *Springer, wireless Networks*, vol.13, no.2, October(2007)
- [71] Q. N. Vuong, N. Agoulmine and Y. G. Doudane, Terminal-controlled mobility management in heterogeneous wireless networks, *IEEE Communications Magazine*, vol.45, pp.122-129, April(2007).
- [72] Wang, W., Akyildiz, I. F., 2000, "Intersystem Location Update and Paging Schemes for Multitier Wireless Networks", *Proceeding of ACM MOBICOM*, pp. 99-109.
- [73] Wang, W., Akyildiz, I.F., 2001, "A New Signaling Protocol for Intersystem Roaming in Next- Generation Wireless Systems", *IEEE Journal on Selected Area in Communication (JSAC)*, Vol. 19, No. 10, pp. 2040-2052.

- [74] H. Wang, R. Katz and J. Giese, « Policy (enabled handoffs across heterogeneous wireless networks », in Second IEEE Workshop on Proceeding of Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99), pp.51(60, February 1999.
- [75] Wei, Q., Farkas, K., Prehofer, C., Mendes, P., Plattner, B., 2006, "Context-Aware Handover Using Active Network Technology", *Computer Networks*, Vol. 50, No. 15, pp. 2855-2872.
- [76] Wei, S. H., Huang, M. H., Long, W., 2005, "Research on the scheme supporting mobility of TCP application", *Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunication*, Vol. 17, No. 1, pp. 117-120.
- [77] K. Yang I. Gondal B. Qiu and and L. S. Dooley, Combined SINR Based Vertical Handoff Algorithm for Next Generation Heterogeneous Wireless Networks, *in proceeding of IEEE Global Telecommunication Conferences(GLOBECOM '07)*, pp.4483-4487, (2007).
- [78] Xiao, Y., Pan, Y., Li, J., 2004, "Design and Analysis of location Management for 3G Cellular Networks", *IEEE Transactions on parallel and distributed systems*, Vol. 15, No. 04, pp. 339-349.
- [79] K. Yang I. Gondal B. Qiu and and L. S. Dooley, Multi-Dimensional Adaptive SINR Based Vertical Handoff for Heterogeneous Wireless Networks, *IEEE communications letters* , vol.12, no.6, pp.4483-4487, June(2007).
- [80] E. Stevens(Navarro, V. Wong, « Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks », in Proceedings of IEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Vol. 2, pp. 947-951, May 2006.
- [81] F. Zdarsky and J. Schmitt, « Handover in mobile communication networks : who is in control anyway », in Proceedings of the 30th Euromicro Conference, pp. 205-212, Aug./Sept. 2004.

-
- [82] J. ZYREN and W. MCCOY, « Overview of the 3GPP long term evolution physical layer », Free scale Semiconductor, white paper, June 2007.