



HAL
open science

Modélisation et étude de performance de l'équilibrage de charge LTE par ajustement dynamique des paramètres du handover

Mohamed Escheikh, Bilel B. Abbas, Ahmed Ameer, Kamel Barkaoui, Hana Jouini

► To cite this version:

Mohamed Escheikh, Bilel B. Abbas, Ahmed Ameer, Kamel Barkaoui, Hana Jouini. Modélisation et étude de performance de l'équilibrage de charge LTE par ajustement dynamique des paramètres du handover. Modélisation des Systèmes Réactifs (MSR 2015), Nov 2015, Nancy, France. hal-01224225

HAL Id: hal-01224225

<https://inria.hal.science/hal-01224225>

Submitted on 4 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation et étude de performance de l'équilibrage de charge LTE par ajustement dynamique des paramètres du handover

Mohamed Escheikh¹, Bilel B. Abbas², Ahmed Ameer³
, Kamel Barkaoui⁴ and Hana Jouini⁵

¹ SYS'COM, ENIT, Tunis, Tunisia
mohamed.escheikh@enit.rnu.tn

² SYS'COM, ENIT, Tunis, Tunisia
bilel.acdm@gmail.com

³ SYS'COM, ENIT, Tunis, Tunisia
ahmed.4@gmail.com

⁴ CEDRIC, CNAM, Paris, France
kamel.barkaoui@cnam.fr

⁵ SYS'COM, ENIT, Tunis, Tunisia
hana.juini@gmail.com

Résumé

Nous nous proposons dans cet article d'implémenter par simulation à travers ns-3 [1] des fonctionnalités Self-Organizing Networks (SON) d'auto-optimisation se rapportant à l'équilibrage de charge pour les systèmes radio-cellulaires mobiles LTE. L'implémentation est réalisée au travers deux algorithmes ajustant dynamiquement les paramètres du handover (HO) en se basant sur les mesures de la puissance reçue du signal de référence (RSRP). Cet ajustement est effectué en fonction aussi bien de la charge de la cellule congestionnée que celle des cellules voisines moins chargées et disposées à coopérer pour une meilleure répartition de la charge.

Les résultats numériques obtenus par simulation concernant les deux algorithmes d'équilibrage de charge implémentés et un algorithme étalon de handover (déjà implémenté dans ns-3) basé sur l'évènement A3 [2] mettent en évidence les avantages que procure l'équilibrage de charge en termes de throughput global (dans l'ensemble du réseau), de taux de pertes et de nombre de handovers. Ils montrent aussi les compromis nécessaires entre ces différentes métriques pour aboutir à un équilibrage de charge performant.

Table des matières

1	Introduction	2
2	Architectures et fonctionnalités SON dans les réseaux LTE	4
2.1	Architectures SON	4
2.2	Fonctionnalités SON	6
2.3	Equilibrage de charge dans les réseaux mobiles (MLB) LTE par ajustement dynamique des paramètres du handover	7
3	Algorithmes d'équilibrage de charge proposés	8
4	Simulation et résultats numériques	11
4.1	Modèle de simulation	12
4.2	Résultats numériques	12
5	Conclusion	16

1 Introduction

Ces dernières années la demande en trafic dans les réseaux radio-cellulaires a évolué de manière vertigineuse. Pour faire face à cette demande, l'organisme de standardisation international 3rd Generation Partnership Project (3GPP) a introduit le nouveau système radio cellulaire Long Term Evolution (LTE). Ce dernier adopte une architecture simplifiée tout-IP et devrait fournir une efficacité spectrale qui est environ deux à trois fois plus élevée que celle du 3GPP version 6 [3]. LTE offrira aussi jusqu'à 100 Mbit/s de débit sur la liaison descendante (DL) avec une largeur de bande spectrale qui peut atteindre 20 MHz. Les systèmes LTE utilisent la technique de multiplexage et de codage des données Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) dans la transmission sur la liaison descendante de l'interface radio et la technique Single carrier Frequency Division Multiplexing Access (SC-FDMA) dans la transmission sur la liaison montante (UL). Pour ce type de réseau, les principaux défis concernent la réponse aux besoins utilisateurs en terme de throughput, délais de bout en bout et de qualité de service (QoS) exigée, surtout pour les trafics temps réel. Ces défis concernent aussi la satisfaction des exigences des opérateurs radio cellulaires en termes de gestion des ressources radio (RRM), de maîtrise et de rationalisation des dépenses opérationnelles, mais aussi en terme d'efficacité globale du réseau. Afin de relever ces défis, les technologies SON ont été introduites

dans les réseaux LTE à partir de la Release 9 des spécifications 3GPP [4]. Ces technologies visent à atteindre un haut niveau de performance opérationnelle via l'automatisation d'un certain nombre de tâches telles que la configuration, l'optimisation et la guérison (réparation) de manière à faire bénéficier les réseaux LTE des vertues de l'auto-organisation. L'automatisation concerne particulièrement l'ajustement dynamique des paramètres réseau en se basant sur des mesures radio. Ceci a pour objectif de déployer rapidement et de manière flexible les stations de base (ENodeBs) et d'éviter ainsi des ajustements manuels souvent coûteux, fastidieux, inefficaces et sources d'erreurs. Il s'agit aussi de réduire les dépenses d'investissement (CAPEX) et opérationnelles (OPEX) afin de faire face à la concurrence inter-opérateurs.

Nous nous focalisons dans cet article sur une composante clé des technologies SON à savoir l'auto-optimisation et plus particulièrement l'équilibrage de charge dans les réseaux radio mobiles LTE. Plusieurs travaux de recherche ont été proposés dans la littérature pour traiter le problème d'équilibrage de charge entre les cellules LTE et peuvent être classifiées selon deux catégories :

- Dans la première catégorie les cellules surchargées (hot-spot cells) tentent d'emprunter des ressources disponibles (des canaux radio) auprès des cellules voisines les moins chargées et disposer à coopérer [3]. Yao-Tien Wang et al. proposent dans [5] une méthode qui s'inscrit dans cette catégorie et qui se base sur les réseaux de neurones et la logique floue. La méthode proposée performe un certain nombre de capacités relatives à l'apprentissage, l'optimisation, la robustesse et la tolérance aux pannes. Elle vise à satisfaire de manière efficace les exigences en termes de qualité de service des trafics multimédia.

- Dans la deuxième catégorie les cellules surchargées tentent de transférer le trafic en excès vers les cellules voisines les moins chargées en ajustant dynamiquement les paramètres de handover (hystérésis, Time To Trigger (TTT),...) ou en utilisant la technique de cell breathing [6]. Le principe de cette dernière consiste à retrécir la couverture cellulaire au fur et à mesure que la charge augmente. Dans la littérature, plusieurs travaux de recherche ont traité ce sujet. Dans [7, 8], de nouveaux algorithmes de contrôle de puissance ont été proposés afin d'ajuster dynamiquement la portée aussi bien des cellules sur-exploitées que des cellules sous-exploitées. Les auteurs dans [16] ont proposé un algorithme pour améliorer les performances conjointes du HO et du load balancing (LB) en introduisant un facteur de co-satisfaction pondéré. Une approche de transfert classique pour implémenter l'équilibrage de charge est présentée dans [9]. Elle choisit pour cela comme cellule source celle ayant le taux d'utilisation le plus élevé des blocs de

ressources physiques (PRB) et la cellule voisine cible celle ayant le taux d'utilisation de PRB le plus bas. Dans [10], l'offset (décalage) spécifique de la cellule est ajustée automatiquement en fonction de la charge de la cellule source et de celle de la cellule voisine cible. Dans [11] les auteurs proposent une méthode d'estimation de la charge après réalisation du handover. Cette méthode est basée sur la prédiction du SINR et sur la mesure de la qualité du signal de l'utilisateur. La suite de ce document est organisé comme suit : dans la section 2 nous allons rappeler succinctement les architectures et les fonctionnalités SON dans les réseaux LTE. Nous détaillons dans cette même section l'équilibrage de charge par ajustement dynamique des paramètres du HO. Dans la section 3 nous détaillons les algorithmes de LB proposés. La section 4 sera consacrée aux résultats des simulations effectuées. La dernière section sera dédiée à la conclusion et les perspectives de ce travail.

2 Architectures et fonctionnalités SON dans les réseaux LTE

2.1 Architectures SON

On distingue trois types d'architectures SON dans les réseaux radio cellulaires [12] qui essayent, chacune d'elle, de trouver un compromis entre stabilité, scalabilité et agilité. Avant de détailler le principe de chaque architecture, nous nous proposons de rappeler les définitions relatives à stabilité, scalabilité et agilité [13] :

1. Scalabilité : la scalabilité d'une solution concerne sa capacité à réduire sa complexité et à maintenir ses fonctionnalités afin de fournir de bonnes performances même pour des systèmes à large échelle.
2. Stabilité : une solution est considérée comme stable si elle évite des oscillations (exemple d'instabilité : phénomène de ping-pong lors de l'exécution des handovers dans les réseaux radio cellulaires).
3. Agilité : l'agilité est aussi une caractéristique clé des systèmes auto-organisés qui traduit la capacité d'adaptation d'un système, dans son environnement opérationnel, aux changements. Ainsi, un algorithme agile ne doit pas réagir trop rapidement aux changements temporaires dans le système afin d'éviter des oscillations importantes entre ses états.

2.1.1 Architecture SON centralisée (C-SON)

Dans l'architecture SON centralisée (Figure 1.a) les algorithmes sont exécutés au niveau du système de gestion réseau (NMS). Le principal avantage de cette approche est que les algorithmes SON peuvent recueillir des informations de la part de toutes les entités du réseau en considération. Ceci signifie qu'il est possible d'optimiser conjointement les paramètres de toutes les fonctions SON centralisées. La finalité étant de fournir une optimisation globale procurant d'avantage de stabilité. Cette dernière est surtout efficace pour des réseaux ayant des caractéristiques qui varient relativement lentement. L'architecture SON centralisée permet aussi de faciliter la coordination entre les fonctions SON. En revanche, les inconvénients de C-SON se manifestent particulièrement par des temps de réponse lent, un trafic dorsal (backbone) important et un point d'échec singulier. La durée importante des temps de réponse et la manque d'agilité peut affecter le rythme d'adaptation du réseau est causée des problèmes d'instabilité.

2.1.2 Architecture SON distribuée (D-SON)

Dans les architectures SON distribuées (Figure 1.b) les algorithmes sont plutôt exécutés dans les noeuds du réseau. Ainsi les échanges des messages SON peuvent s'effectuer directement entre les ENodeBs du réseau LTE. Contrairement à l'architecture centralisée, l'architecture D-SON procure plus de dynamique pour les fonctionnalités SON et s'adapte plus rapidement aux changements dans le réseau (agilité). Autre avantage de la solution D-SON est sa capacité de passage à l'échelle (scalabilité). Néanmoins, les optimisations effectuées au niveau des cellules n'aboutiront pas forcément à des optimisations globales ce qui risque d'engendrer des instabilités indésirables.

2.1.3 Architecture SON hybride

L'architecture hybride (Figure 1.c) exécute les algorithmes SON aussi bien au niveau du système de gestion du réseau qu'au niveau des éléments réseau. Ce type d'architecture essaye de tirer les avantages des deux architectures précédentes sans en reconduire les inconvénients, ce qui n'est pas toujours facile à définir.

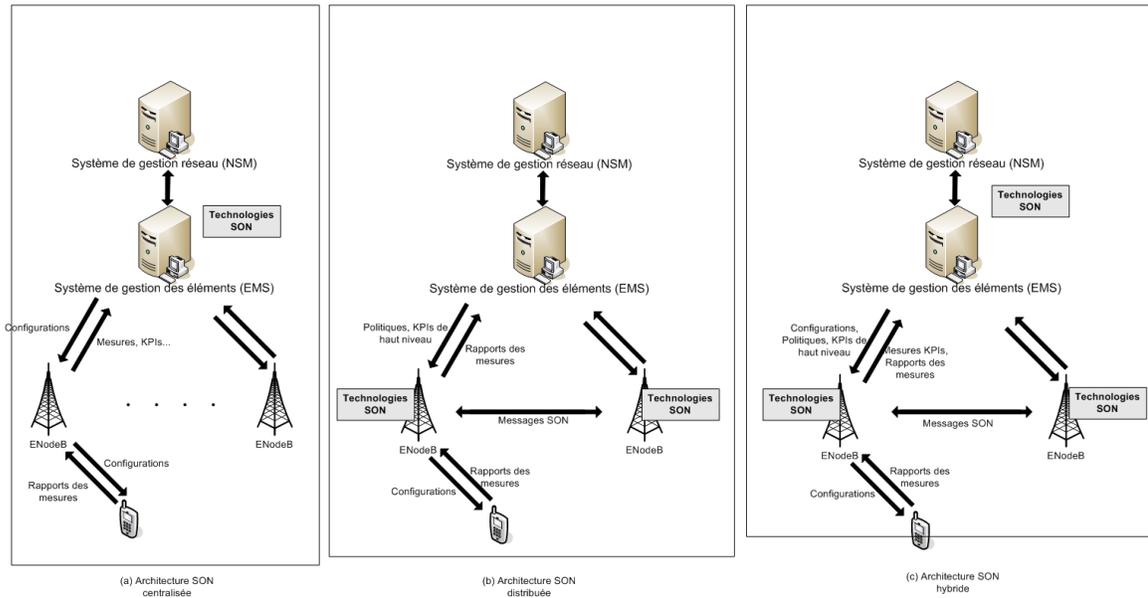


FIGURE 1 – Architectures SON pour les réseaux LTE

2.2 Fonctionnalités SON

Les Fonctionnalités SON dans LTE comprennent l'auto-configuration, l'auto-diagnostic, l'auto-guérison et l'auto-optimisation. Les technologies SON ont pour objectif l'ajustement automatique des paramètres réseau, en se basant sur des rapports de mesures des UEs et de l'ENodeB, afin de garantir une meilleure qualité de service du réseau et de performer de meilleures prestations de services pour l'UE.

2.2.1 Auto-optimisation SON

L'auto-optimisation est une collection d'algorithmes qui ont pour objectif de maintenir la qualité et les performances du réseau avec le minimum d'interventions humaines. Les fonctions d'auto-optimisation déclenchent automatiquement et dynamiquement, si nécessaire, des actions d'optimisation sur les éléments réseaux affectés. Parmi les fonctions les plus importantes de l'auto-optimisation on distingue l'optimisation de l'équilibrage de charge dans les réseaux mobiles (MLB) et l'optimisation de la robustesse de la mobilité (MRO). Cette dernière est utilisée conjointement avec le MLB pour assurer plus de stabilité et atténuer au mieux le phénomène du ping-pong. L'ajustement des paramètres du MLB et du MRO peuvent être sujet à des objectifs conflictuels souvent harmonisés à travers la recherche de compromis. Dans cet article nous nous

intéressons à l'équilibrage de charge MLB.

2.3 Equilibrage de charge dans les réseaux mobiles (MLB) LTE par ajustement dynamique des paramètres du handover

Avant de détailler le principe du MLB par ajustement dynamique des paramètres du handover, nous allons rappeler le principe du transfert inter-cellulaires dans les réseaux LTE.

2.3.1 Handover dans les réseaux LTE

Le handover est l'une des principales procédures clés des réseaux mobiles radio-cellulaires pour veiller à ce que les utilisateurs se déplacent librement à travers le réseau tout en maintenant la connectivité et l'accès continu aux services [14]. Comme le taux de réussite du handover est un indicateur clé de la performance du réseau, il est essentiel que cette procédure se passe aussi vite et aussi efficacement que possible. L'optimisation du handover visent à ajuster dynamiquement ses paramètres (offset, hystérésis,...). Dans les réseaux LTE, plusieurs événements de mesures peuvent déclenchés le [15]. Dans cette article, nous avons focalisé sur l'événement A3. Ce dernier stipule que la différence entre le niveau du signal reçu de la cellule courante et celui de la cellule voisine doit être supérieur à un seuil donné.

2.3.2 Equilibrage de charge dans les réseaux mobiles LTE

Dans les réseaux LTE, la demande de trafic de certaines cellules peut être beaucoup plus élevée que le niveau acceptable, tandis que d'autres cellules peuvent avoir assez de ressources pour servir plus d'utilisateurs, ce qui entraînerait un déséquilibre de charge et l'insatisfaction des utilisateurs.

Pour déclencher l'équilibrage de charge entre deux cellules (une cellule A surchargée (hot-spot) et une cellule B voisine moins chargée) (Figure 2), deux conditions doivent être vérifiées :

- le taux de charge de la cellule A source dépasse un seuil prédéfini (cas des hot-spots).
- la cellule B voisine possède suffisamment de ressources disponibles pour accepter de coopérer et prendre en charge l'excès de trafic de la cellule A.

Aussitôt ces conditions sont vérifiées, la cellule A sélectionne, dans un premier temps, les utilisateurs appropriés parmi ceux qui lui sont attachés pour basculer à la cellule B. Les utilisateurs ajusteront, dans un deuxième temps, leurs propres paramètres (handover, resélection, etc.) correspondant à la cellule B.

Dans la section suivante, nous allons décrire le principe des algorithmes de l'équilibrage de charge dans les réseaux mobiles (MLB) que nous avons proposés et implémentés dans ns-3.

3 Algorithmes d'équilibrage de charge proposés

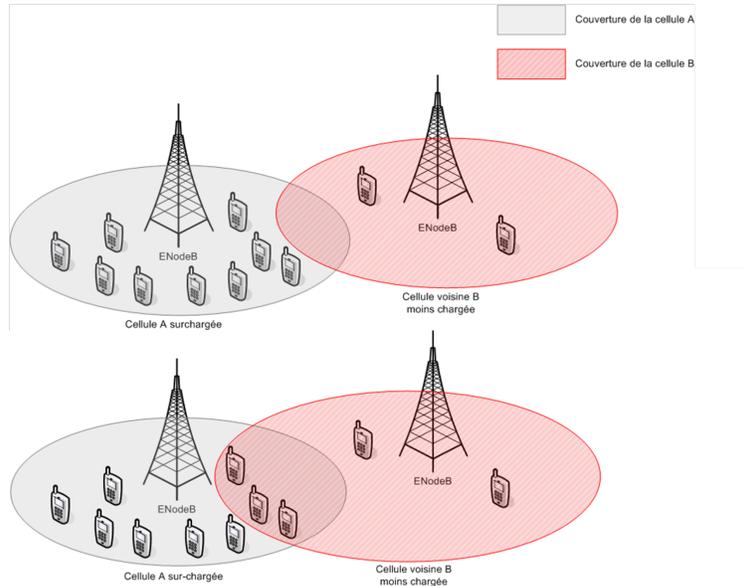


FIGURE 2 – Equilibrage de charge avec ajustement dynamique du handover

Les deux algorithmes de LB proposés (Alg_LB1 et Alg_LB2) reposent sur l'adaptation dynamique des paramètres du handover (valeur de l'hystérésis) (Figure 2). Le handover dû au LB concerne le passage de la cellule courante (cellule A surchargée) à une ou plusieurs cellules voisines (cellule B moins chargée) et disposées à coopérer. Les performances de ces deux algorithmes seront comparées à celles d'un algorithme étalon du handover sans LB (Alg_sans_LB).

Notons que les algorithmes aussi bien avec et sans LB sont basés sur la mesure de la puissance du signal reçu (RSRP) et utilisent l'événement A3 de la spécification 3GPP [2] pour déclencher le handover. L'origine du HO dans les réseaux implémentant le LB peuvent être de deux natures différentes. La première concerne la réalisation de l'événement A3, alors la deuxième se rapporte à une disparité de charge entre deux cellules voisines. Avant de détailler le principe des deux algorithmes de LB, nous allons dans ce qui suit définir quelques notations et seuils préliminaires qui seront utilisés communément dans la description des deux algorithmes Alg_LB1 et Alg_LB2.

Notations et seuils préliminaires :

Soient :

- $V_{AR}(i)$ (Available Resources) la quantité des ressources disponibles dans la $i^{\text{ème}}$ cellule.
- $V_{TR}(i)$ (Total Resources) la quantité des ressources totales dans la $i^{\text{ème}}$ cellule. Notons par convention que $i = 0$ est l'indice indiquant la cellule courante et $i > 0$ est l'indice d'une cellule voisine d'indice i .
- $V_{AR}(i)/V_{TR}(i)$ la quantité relative (en %) de ressources disponibles dans la cellule i .
- Th_{PreLB} le seuil prédéfini de la demande d'initiation du LB (Figure 3).
- Th_{postLB} le seuil de désactivation du LB.
- $Th_{AvailLB}$ le seuil d'acceptation de la demande du LB.

La cellule courante est surchargée si la condition suivante est remplie :

$$V_{AR}(0)/V_{TR}(0) < Th_{PreLB} \quad (\text{condition.1})$$

Si cette condition est vérifiée, la procédure de LB est déclenchée. La cellule surchargée configure dynamiquement les nouveaux seuils d'hystérésis de handover des différentes cellules voisines en fonction de leurs quantités relatives de ressources disponibles. Ces nouveaux seuils sont calculés à partir de l'équation suivante [16] :

$$Th_{Hys}(0, i) = \alpha_i Th_{Hys}(0), (0 \leq \alpha_i \leq 1) \quad (1)$$

avec :

$$\alpha_i = \begin{cases} 0, & \text{si } \frac{V_{AR}(i)}{V_{TR}(i)} > Th_{PostLB} \\ \beta_i, & \text{si } Th_{AvailLB} \leq \frac{V_{AR}(i)}{V_{TR}(i)} < Th_{PreLB} \\ 1, & \text{si } \frac{V_{AR}(i)}{V_{TR}(i)} < Th_{AvailLB} \end{cases}$$

et :

$$\beta_i = \begin{cases} 1 - \frac{Th_{AvailLB} - \frac{V_{AR}(i)}{V_{TR}(i)}}{Th_{AvailLB} - Th_{PostLB}}, & \text{pour Alg_LB1} \\ 0.5, & \text{pour Alg_LB2} \end{cases}$$

Avec $Th_{Hys}(0)$ le seuil d'hystérésis de handover de la cellule courante avant l'activation du LB. $Th_{Hys}(0, i)$ est le nouveau seuil d'hystérésis de handover de passage de la cellule courante (d'indice 0) vers la cellule voisine (d'indice i).

Tant que la condition de LB est vérifiée (Condition. 1)), la cellule courante met à jour dans un premier temps le seuil d'hystérésis de handover $Th_{Hys}(0, i)$ et l'envoie aux UEs actifs

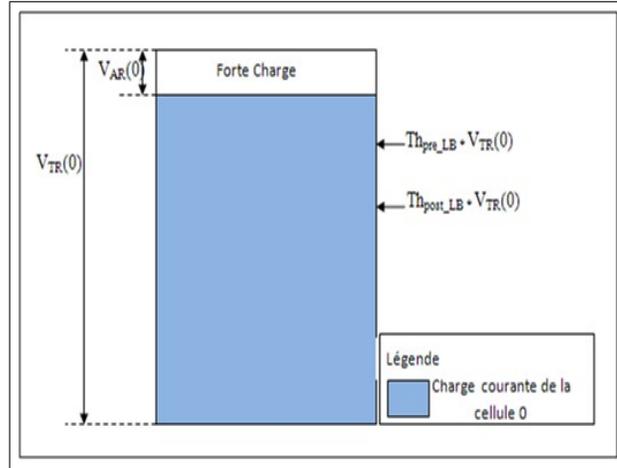


FIGURE 3 – Condition de déclenchement de l’algorithme de LB dans la cellule courante

(attachés à la dite cellule) via un message de contrôle de mesures. A leur tour, les UEs mettent à jour les nouveaux seuils d’hystérésis aussi longtemps que la condition sur l’événement A3 est vérifiée. D’autre part, aussitôt la condition. 2 est vérifiée, le LB est désactivé.

$$V_{AR}(0)/V_{TR}(0) > Th_{Post_{LB}} \quad (Condition.2)$$

A partir de la description précédente, on remarque que le LB n’est effectif que si les deux conditions (condition. 1 sur la cellule courante et condition. 3 sur la cellule voisine) sont vérifiées :

$$V_{AR}(i)/V_{TR}(i) \geq Th_{Avail_{LB}} \quad (Condition.3)$$

Ainsi, on peut distinguer une alternance entre des périodes sans LB et des périodes avec LB en fonction de l’évolution dans le temps de la charge relative aussi bien de la cellule courante que celle des cellules voisines.

Notons qu’une fois la condition de désactivation de la procédure de LB (Condition. 2) est vérifiée, la cellule courante devra restaurer la valeur originale d’hystérésis par l’envoi d’un autre message de contrôle de mesure aux UEs.

La Figure 4 décrit le principe des algorithmes de LB proposés.

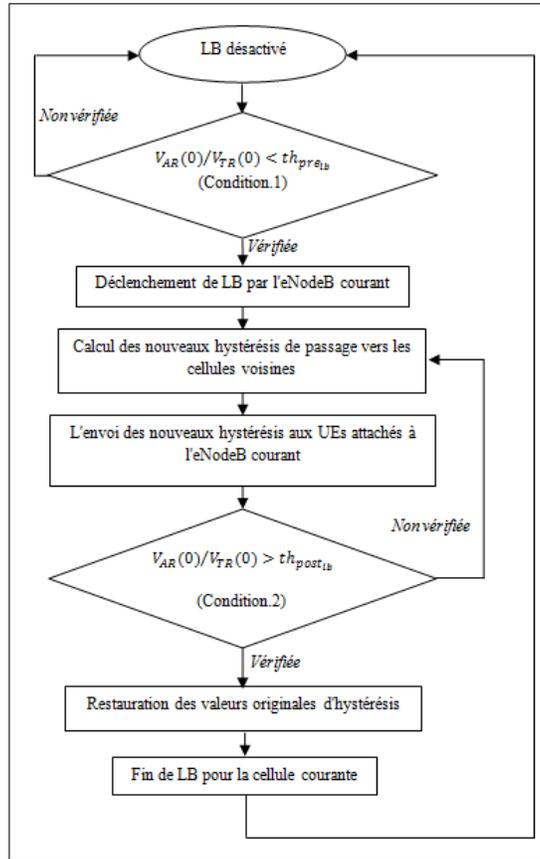


FIGURE 4 – Principe des algorithmes de LB implémentés dans ns-3

4 Simulation et résultats numériques

Pour mettre en évidence les performances des algorithmes de LB (Alg-LB1 et Alg-LB2), nous allons comparer leurs performances à celles de l’algorithme sans LB (Alg_sans_LB) pour différentes densités d’UEs (donc pour différentes charges globales du réseau). Alg_sans_LB implémente uniquement l’événement A3 de la spécification 3GPP et ne considère pas l’équilibrage de charge. Cet algorithme est utilisé dans notre cas d’étude comme un algorithme étalon. Alg-LB1 et Alg-LB2, associés à l’événement A3, ont pour objectif d’assurer une meilleure répartition de la charge globale et de réduire au mieux les pertes dans le réseau.

Étant donné que les algorithmes de LB sont implémentés au niveau des secteurs des eNodeBs, nous nous focalisons sur les performances du lien descendant (DL).

4.1 Modèle de simulation

Nous avons choisi un modèle de simulation constitué de trois eNodeBs équiespacées de distance égale à 500m. Chaque eNodeB inclut trois secteurs. Les algorithmes de LB sont implémentés de manière distribuée (D-SON) dans chaque secteur. Ces algorithmes ajustent dynamiquement les paramètres du handover (hystérésis et Time To Trigger (TTT)) en fonction de la charge. TTT est une temporisation utilisée dans la spécification 3GPP à fin de procurer d'une part plus de robustesse et d'atténuer au mieux d'autre part le phénomène de "Ping-Pong". Dans les scénarios de simulation étudiés, nous avons focalisé sur l'ajustement dynamique de l'hystérésis dans un intervalle variant entre 0 db à 3 db avec un pas de 0.5 db pour des valeurs fixes du TTT.

Le Tableau 1 récapitule la correspondance entre les schémas de modulation et de codage (MCS) (utilisés dans notre modèle de simulation) et la capacité totale d'une cellule en Mbps pour une bande passante égale à 5Mhz (25RBs).

MCS	Modulation	capacité totale d'une cellule (en Mbps)
[0..9]	QPSK	13.2
[10..16]	16QAM	26.4
[17..28]	64QAM	39.6

TABLE 1 – Correspondance entre le MCS et la capacité totale d'une cellule en Mbps pour une bande passante égale à 5Mhz (25RBs)

Le Tableau 2 récapitule les principaux paramètres de simulation utilisés dans notre étude de cas :

Dans le paragraphe suivant, nous allons présenter les résultats numériques relatifs à la simulation du scénario envisagé.

4.2 Résultats numériques

La Figure 5 montre que le throughput global moyen fourni par les algorithmes Alg_LB1 et Alg_LB2 est plus important que celui fourni par l'algorithme Alg_sans_LB pour différentes charges de trafic (37, 56, 75 UEs). Ceci se justifie par le principe même du LB qui favorise le transfert d'une partie de la charge des cellules congestionnées vers des cellules voisines moins chargées. Ainsi, le risque de perte du trafic en excès dans les cellules surchargées sera réduit,

Paramètre	Valeur
Durée de la simulation	100
Nombre d'eNodeB	3 (9 secteurs)
Distance entre les eNodeBs	500 m
Puissance transmise par un eNodeB en DL	46 dBm
Nature du trafic	TCP
Densité du UE (37/56/75 UEs)	2/6/8 * E-05
Vitesse minimale de déplacement de UE (60 Km/h)	16.6667 m/s
Vitesse maximale de déplacement de UE (60 Km/h)	16.6667 m/s
Bande passante dans UL et DL	5 MHz (25 RBs)
Time To Trigger	256
Valeur par défaut de l'hystérésis	3dB
Marge d'hystérésis avec LB	[0,3dB]
Th_{Pre-LB}	0.2
$Th_{Avail-LB}$	0.3
$Th_{Post-LB}$	0.4

TABLE 2 – Paramètres de la simulation

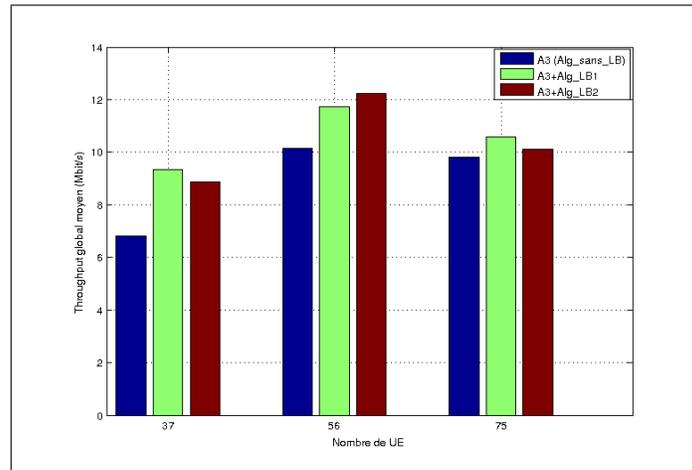


FIGURE 5 – Throughput global moyen en DL en fonction de nombre de UEs

et le cas échéant évité, en répartissant au mieux cet excès entre les cellules voisines les moins chargées. Une autre remarque intéressante qu'on peut faire à partir de la Figure 5 est que le LB

certes il améliore le throughput global pour différentes charge mais cette amélioration devient minime pour de forte charge. Ceci peut être interprété que pour une telle charge il y a de fortes chances que les cellules voisines d'une cellule surchargée, sollicitant leurs coopération pour un éventuel équilibrage de charge, soient elles même surchargées. Ceci correspond intuitivement à une condition 2 très probablement non vérifiée.

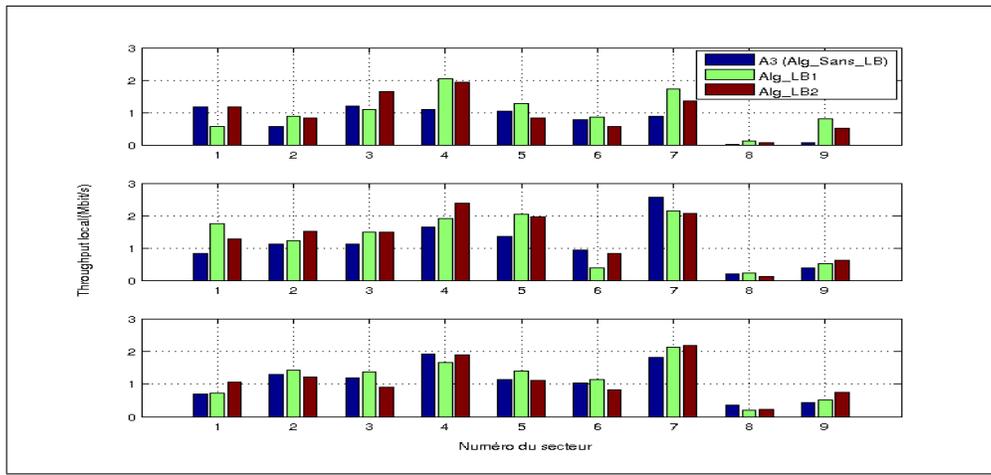


FIGURE 6 – Throughput moyen par secteur en DL

Nous avons aussi étudié la répartition du throughput moyen par secteur en DL pour différentes charges de trafic (37, 56 et 75 UEs). On remarque que l'implémentation du LB améliore le throughput de la plupart des secteurs (2, 4, 7, 8 et 9) (Figure 6). Les résultats relatifs aux secteurs 1, 3, 5 et 6 sont mitigés. On entend par mitigé que l'un des 2 algorithmes de LB présente un meilleur résultat que celui sans LB.

Grâce au LB le débordement dans les cellules surchargées est substantiellement diminué dans la mesure où la charge en excès est transférée vers les cellules voisines les moins chargées. Ceci a pour conséquence, la réduction significative du taux de perte par rapport au scénario sans LB (Figure 7).

D'après la Figure 7, le taux de perte est une fonction croissante de la charge du réseau. Avec le LB, les pertes peuvent survenir dans une cellule si cette dernière est relativement chargée et ne trouve pas de cellule voisine disposée à coopérer. Autrement dit le taux de perte dépend de la charge de la cellule courante et de celle des cellules voisines. Le LB minimise ainsi le taux de perte car on a une meilleure répartition de la charge.

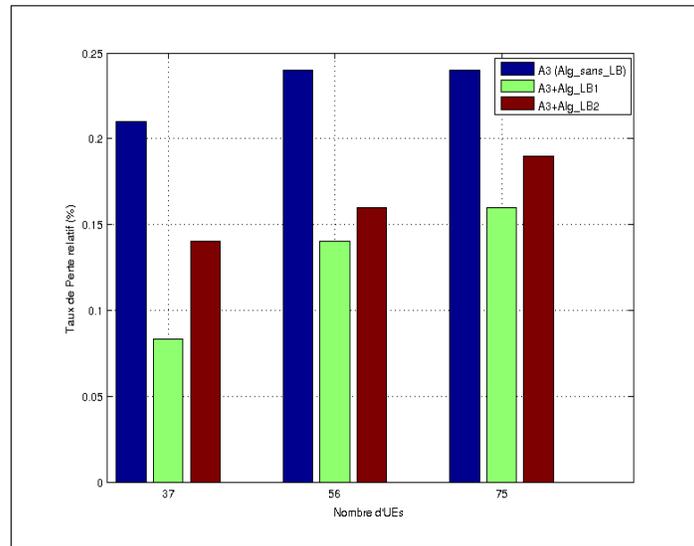


FIGURE 7 – Taux de perte relatif en fonction de la charge

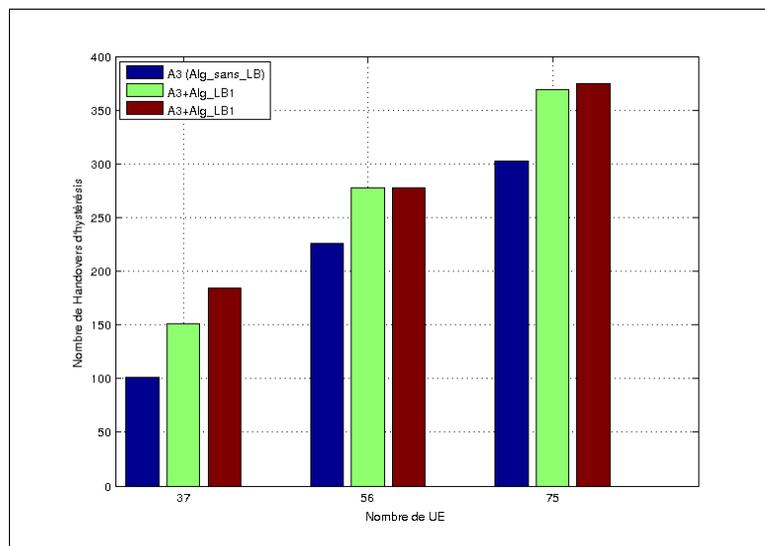


FIGURE 8 – Nombre de Handovers réussis en fonction de la charge du réseau

La Figure 8 montre l'évolution du nombre de handovers réussis en fonction de la charge pour les trois types d'algorithmes implémentés. La charge est quantifiée par le nombre de UEs actifs.

On remarque aussi à partir de la Figure 8 que le nombre de handovers est sensiblement plus important pour les deux algorithmes avec LB que pour l'algorithme sans LB. Ceci s'explique

par le fait que lors du déclenchement du LB, un transfert du trafic en excès dans la cellule surchargée vers les cellules voisines les moins chargées est effectué. Ce transfert de charge est réalisé grâce à l'ajustement de la valeur d'hystérésis qui favorise les handovers. On peut aussi mener à partir de la Figure 8 une comparaison entre les deux algorithmes utilisant le LB. On remarque surtout pour les charges relativement faibles que le nombre de handovers pour l'algorithme Alg_LB1 est notablement inférieur à celui pour l'algorithme Alg_LB2.

Dès que les ressources disponibles sont au delà du seuil Th_{Avail_LB} on remarque que :

- Pour Alg_LB1 : il y a une diminution progressive et de manière linéaire de la valeur d'hystérésis (et augmentation ainsi de la taille de la cellule voisine) aussitôt le déclenchement du LB est initié et la charge disponible au niveau de la cellule voisine est supérieure à Th_{Avail_LB} .
- Pour Alg_LB2 : la valeur de l'hystérésis de la cellule voisine diminue brusquement, ce qui favorise d'avantage le nombre de handovers par rapport à Alg_LB1.

La comparaison menée entre les deux algorithmes avec LB montre que l'algorithme Alg_LB1 fournit certes un taux de perte inférieur à celui pour Alg_LB2 mais cause en contre partie un nombre de handovers plus important.

5 Conclusion

Dans cet article nous avons implémenté dans ns-3 de nouveaux algorithmes d'équilibrage de charge au niveau des ENodeBs du réseau LTE. Nous avons aussi évalué les performances de ces algorithmes par simulation à événements discrets pour un scénario approprié au LB. L'évaluation des performances a porté particulièrement sur l'étude de l'impact du LB sur l'évolution du throughput global moyen, le throughput moyen par secteur, sur le taux de perte, le nombre de HO,... pour différentes charges de trafic. Les résultats obtenus ont permis de mener une étude comparative entre les résultats des simulations avec et sans LB. Cette étude nous a permis de mettre en évidence les vertus de chaque algorithme et les compromis considérés pour chacun d'eux en termes de throughput, taux de pertes et nombre de handovers. Comme perspectives, nous envisageons de mener des simulations plus exhaustives sur l'optimisation conjointe du MLB et du MRO. Ceci revient à chercher la valeur optimale du TTT pour une valeur d'hystérésis donnée correspondant à une charge donnée des cellules. Nous envisageons aussi de modéliser de LB en utilisant le processus de décision Markovien. Ceci permettra de trouver les valeurs optimales des différents seuils d'activation, d'acceptation et de désactivation de l'algorithme du LB en fonction de la charge. Notre principale contribution dans cet article

est l'implémentation d'algorithmes du LB sur ns-3. Notons que la version la plus récente sur laquelle nous avons travaillé n'implémente pas le LB dans le module LTE du simulateur.

Références

- [1] Network Simulator 3, *url* : <https://www.nsnam.org/>, last viewed : Mai 2015, 2011-2015.
- [2] *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification*, 3GPP TS 36.331 version 8.6.0 Release 8, France, European Telecommunications Standards Institute, 2009 RTS/TSGR-0236331v860.
- [3] *3GPP Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description*, 3GPP TS 36.300 version 10.4.0 Release 10, France, European Telecommunications Standards Institute, 2011 RTR/TSGR-0336902v931.
- [4] *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions*, 3GPP TR 36.902 version 9.3.1 Release 9, France, European Telecommunications Standards Institute, 2011 RTS/TSGR-0236331v860.
- [5] Y. T. Wang and J. P. Sheu, *Adaptive channel borrowing for quality of service in wireless cellular networks*, International Journal of Communication Systems 19.2, Pages 205-224, 2006.
- [6] Miaona Huang, Suili Feng, and Jun Chen, *A Practical Approach for Load Balancing in LTE Networks*, Journal of Communications Vol. 9, No. 6, Pages 490-497 June 2014.
- [7] Das S, Viswanathan H, Rittenhouse G, *Dynamic load balancing through coordinated scheduling in packet data systems*, In Proc. the 22nd INFOCOM, Pages 786-796, Mar. 30-Apr. 3, 2003.
- [8] Hanly S. V., *An algorithm for combined cell-site selection and power control to maximize cellular spread spectrum capacity*, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Pages 1332-1340, 1995.
- [9] M. Döttling and I. Viering, *Challenges in Mobile Network Operation : Towards Self-Optimizing Networks*, IEEE Int'l. Conf. Acoustics, Speech, and Sig. Processing, 2009.
- [10] Raymond Kwan, Rob Arnott, Robert Paterson, Riccardo Trivisonno, Mitsuhiro Kubota, *On Mobility Load Balancing for LTE Systems*, IEEE Vehicular Technology Conference Fall (VTC), 2010.
- [11] Andreas Lobinger, Szymon Stafanski, Thomas Jansen, and Irina Balan, *Load Balancing in Down-link LTE Self-Optimizing Network*, IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), 2010.
- [12] Østerbø, Olav, and Ole Grøndalen Andreas Lobinger, Szymon Stafanski, Thomas Jansen, and Irina Balan, *Benefits of Self-Organizing Networks (SON) for mobile operators*, Mobile Computing, Journal of Computer Networks and Communication, VOL. 2012, Pages 01-15, 2012.
- [13] ALIU, Osianoh Glenn, IMRAN, Ali, IMRAN, Muhammad Ali, et al., *A survey of self organisation*

in future cellular networks, Communications Surveys Tutorials, IEEE, vol. 15, no 1, Pages 336-361, 2015.

- [14] T. Jansen, I. Balan, I. Moerman, T.Kurner, *Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks*, COST 2100 TD(10)068, Joint Workshop COST 2100 SWG 3.1 FP7-ICT-SOCRATES, Athens, Greece, February 5, 2010.
- [15] *3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Radio Resource Control (RRC); Protocol specification*, 3GPP TS 36.331 Version 8.5.0 Release 8, France, European Telecommunications Standards Institute, 2009.
- [16] LI, Wen-Yu, ZHANG, Xiang, JIA, Shu-Cong, et al, *A novel dynamic adjusting algorithm for load balancing and handover co-optimization in LTE SON*, Journal of Computer Science and Technology, vol. 28, no 3, Pages 437-444, 2013.