HAL open science

Modèle de dimensionnement de liens dans les réseaux mobiles LTE

Alexandre Blogowski, Olivier Klopfenstein, Philippe Chrétienne, Fanny Pascual

To cite this version:

Alexandre Blogowski, Olivier Klopfenstein, Philippe Chrétienne, Fanny Pascual. Modèle de dimensionnement de liens dans les réseaux mobiles LTE. 13es Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques de Télécommunications (AlgoTel), May 2011, Cap Estérel, France. inria-00588339

HAL Id: inria-00588339

https://inria.hal.science/inria-00588339v1

Submitted on 23 Apr 2011

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.

Modèle de dimensionnement de liens dans les réseaux mobiles LTE

Alexandre Blogowski[1 †], Olivier Klopfenstein[1], Philippe Chrétienne[2] et Fanny Pascual[2]

[1] *Orange Labs, France Télécom, 38-40 rue du Général Leclerc, 92130 Issy-les-Moulineaux, France*
[2] *Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire Informatique de Paris 6, 2 Place Jussieu, 75005 Paris, France*

Les réseaux mobiles LTE de quatrième génération (Long Term Evolution) sont considérés comme la principale solution pour les télécommunications futures. Une des caractéristiques spécifiques de l'architecture de ces nouveaux réseaux réside dans le fait que deux stations de bases voisines sont directement reliées par un lien logique appelé "X2", lien permettant de transférer les données de l'utilisateur durant le processus de handover. D'un autre côté, chaque station de base est également reliée au réseau coœr via un lien appelé "S1". Le but de ce papier est de quantifier l'impact de la mobilité des utilisateurs sur le lien X2. Grâce à un modèle analytique, nous en déduisons alors des règles simples et robustes de dimensionnement. Par ailleurs, la relation entre les liens X2 et S1 sera étudiée, cette dernière ayant une importance pratique du point de vue des planificateurs du réseau.

Keywords: LTE, X2, mobilité des utilisateurs, handover, modèle stochastique, qualité de service

1 Introduction

Dans les réseaux mobiles LTE (de quatrième génération) [LL08], l'espace est partitionné en plusieurs parties appelées cellules, chacune d'entre elles étant reliée à une station de base et recevant le trafic depuis le réseau cœur via un lien appelé « S1 ». Au cours de sa communication, lorsqu'un utilisateur change de cellule (processus de handover), les données continuant d'arriver sont alors stockées dans le buffer de la station de base de départ. Une fois la liaison établie entre l'utilisateur mobile et la station de base cible, les données préalablement stockées sont alors envoyées vers la nouvelle station de base. Ce transfert s'effectue via un lien appelé « X2 » (voir figure 1). Afin de dimensionner au mieux ce lien X2 et de garantir une qualité de service cible en cas de handover, nous proposons un modèle stochastique simple de mobilité des utilisateurs.

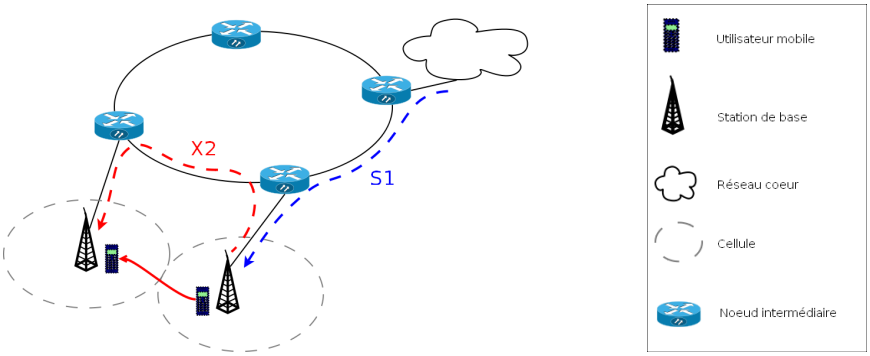

Figure 1: Les liens S1 et X2.

Le sujet de la mobilité est bien connu dans le milieu des télécommunications. Il existe de nombreux modèles de mobilité et de domaines d'application pour ceux-ci. L'article [Bet01] fournit une cartographie et une classification des différents modèles de mobilité qui trouvent leur application dans différents types de simulations et

† alexandre.blogowski@orange-ftgroup.com

études analytiques de systèmes sans fils. Dans [WR09], les auteurs proposent un modèle de mobilité plus complet que celui que nous présentons par la suite. Cependant, les conclusions apportées ne sont pas tout à fait celles que nous visons et quelques points ne sont pas abordés (cas du partage des ressources ou qualité expérimentée par l'utilisateur final). Par ailleurs, à notre connaissance, tous les autres travaux s'intéressant au problème de handover le font seulement dans le cas d'un seul utilisateur. Dans ce contexte, de nombreux modèles analytiques très fins sont proposés [HV07, Bet01] ou plusieurs simulateurs développés [Gué87], mais aucun de ces travaux ne traite d'une population d'utilisateurs et des phénomènes qui s'y attachent spécifiquement (nombre de sorties simultanées d'une cellule par exemple).

Le papier suivra le plan suivant. Dans la section 2, un modèle de mobilité et son impact sur le dimensionnement du lien X2 sera décrit pour un utilisateur isolé. Nous considérerons ensuite, dans la section 3, une population d'utilisateurs et l'impact de sorties simultanées. Puis la relation entre les liens S1 et X2 sera étudiée dans la section 4. Enfin, des résultats seront présentés section 5.

2 Analyse du cas d'un utilisateur isolé

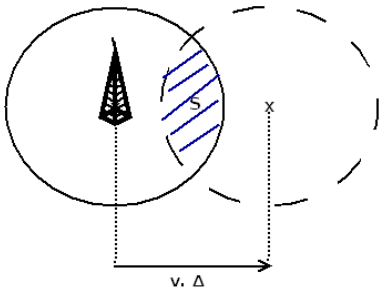

Figure 2: Pourcentage d'utilisateurs restants dans la cellule.

On s'intéresse tout d'abord exclusivement au cas d'un utilisateur unique dans une cellule radio donnée, supposée circulaire. Considérant que l'utilisateur mobile se déplace en ligne droite à une vitesse v constante et que la durée de sa communication Δ est connue, nous en déduisons la distance $v \cdot \Delta$ qu'il va parcourir. En fonction de sa position de départ au sein de la cellule circulaire, l'utilisateur peut donc sortir ou non de cette dernière. D'un point de vue géométrique, dans la figure 2 ci-contre, le cercle de gauche représente la zone de couverture de la station de base de départ tandis que celui de droite correspond à l'espace dans lequel se trouve l'utilisateur après son déplacement de $v \cdot \Delta$. La probabilité que l'utilisateur ne sorte pas de la cellule initiale est donc égale au rapport de l'aire hachurée S sur l'aire du cercle.

Basé sur ces considérations géométriques, nous proposons donc la formule 1 ci-dessous permettant de calculer la probabilité qu'un utilisateur reste dans la cellule en fonction de ses paramètres.

$$P_{reste} = \frac{Aire(S)}{\pi R^2} = \frac{1}{\pi}\left(2\arccos\left(\frac{v\cdot\Delta}{2R}\right) - \frac{v\cdot\Delta}{R}\sqrt{1-\left(\frac{v\cdot\Delta}{2R}\right)^2}\right) \tag{1}$$

On notera dans la suite : $P_{sort} = 1 - P_{reste}$.

Lors du handover, une interruption de transfert de données se produit. La station de base stocke alors dans un buffer les données continuant d'arriver depuis le réseau cœur pendant un laps de temps β déterminé (fixe pour tous les utilisateurs). Lorsque que la nouvelle liaison est établie, le contenu Q du buffer (différent selon le débit de l'utilisateur concerné) doit être transféré via le lien X2 sous une contrainte de délai δ fixée. Si l'utilisateur ne sort pas de la cellule, cela n'a aucun impact sur le lien X2. Autrement, un besoin de capacité $D_{X2} = \frac{Q}{\delta}$ est nécessaire. Si on note d le débit maximum de l'utilisateur et d' son débit effectif, alors $d' \leq d$, et on a :

$$D_{X2} = \frac{\beta d'}{\delta} \tag{2}$$

3 Cas de plusieurs utilisateurs

Nous nous intéressons dorénavant à la probabilité qu'il y ait, à un instant précis, exactement k sorties parmi une population N d'utilisateurs actifs. On supposera pour cela qu'ils possèdent tous les mêmes caractéristiques de mobilité et de trafic (même débit maximum), ainsi que la même durée de communication Δ. En outre, nous considérons également, qu'à tout moment, N est constant au sein de la cellule (hypothèse conservatrice).

3.1 Analyse du trafic instantané sur le lien X2

Considérant un utilisateur, si au cours de sa communication il est amené à sortir de la cellule dans laquelle il se trouve, une capacité D_{X2} devra lui être réservée sur le lien X2. Ce qui nous intéresse c'est la probabilité que l'utilisateur sorte et ce à un instant précis du temps. Pour ce faire, on discrétise le temps de la durée Δ de la communication en $\frac{\Delta}{\delta}$ segments de taille δ (slots de temps), δ étant la durée de la contrainte de délai qu'on se fixe. On prend comme hypothèse que l'utilisateur peut sortir à n'importe quel moment, de façon uniforme, sur l'intervalle $[1;\Delta]$. La probabilité qu'il sorte sur un slot s donné est donc : $P_{sort}\frac{\delta}{\Delta}$. De plus, selon l'hypothèse conservatrice prise au départ, le nombre d'utilisateurs présents dans la cellule sur le slot s considéré vaut N. La probabilité qu'il y ait exactement k sorties sur ce slot s est donc donnée par :

$$P_{(k,N)} = C_N^k \cdot \left(P_{sort}\frac{\delta}{\Delta}\right)^k \cdot \left(1 - P_{sort}\frac{\delta}{\Delta}\right)^{N-k} \tag{3}$$

Cependant, lorsque $P_{sort} = 1$, l'utilisateur est sûr de sortir de la cellule au cours de sa communication. La durée de la communication passée en dehors de la cellule ne devant pas intervenir dans les calculs, on réduit donc celle-ci au temps maximal passé à l'intérieur de la cellule, soit $\Delta = \frac{2R}{v}$.

3.2 Qualité perçue par l'utilisateur

On a caractérisé jusque-là la distribution du trafic entre deux cellules à un instant donné. On souhaite maintenant déterminer le dimensionnement du lien X2 entre deux cellules de manière à garantir une certaine qualité de service (QoS) cible pour tout utilisateur.
La durée d'une communication est Δ. C'est lors de ce laps de temps que l'utilisateur peut percevoir ou non la congestion du réseau. Supposons que le réseau ait été dimensionné pour faire face à k sortie(s) : l'utilisateur expérimentera de la congestion s'il sort en même temps (i.e. sur un même slot de temps) que k autres utilisateurs (ou plus). On note $P_c(kD_{X2})$ la probabilité de cet événement, et on a :

$$P_c(kD_{X2}) = \sum_{s\in\Delta}\left(\left(P_{sort}\frac{\delta}{\Delta}\right)\cdot\sum_{j=k}^{N-1}P_{(j,N-1)}\right) = \frac{\Delta}{\delta}\left(P_{sort}\frac{\delta}{\Delta}\right)\cdot\sum_{j=k}^{N-1}P_{(j,N-1)} = P_{sort}\cdot\sum_{j=k}^{N-1}P_{(j,N-1)} \tag{4}$$

(Par abus de notation, ci-dessus, Δ désigne à la fois la durée de la communication et l'ensemble des slots de temps qui la compose.)
On a ainsi caractérisé, pour un dimensionnement donné de X2, la qualité perçue par un utilisateur du réseau (probabilité de congestion). Inversement, on peut déduire le dimensionnement du lien X2 pour un niveau de qualité cible.

4 Ratio X2/S1

D'un point de vue opérationnel, il serait pertinent de caractériser la capacité requise sur X2 comme un pourcentage de celle prévue pour S1. Ceci permettrait un dimensionnement global aisé et cohérent du réseau, comme le préconisent d'ailleurs certains constructeurs.
Dans la suite de l'article, on notera X_2 la capacité du lien X2, et S_1 celle du lien S1.

4.1 Point de vue de l'utilisateur avec QoS fixée à p

On se consacre maintenant au point de vue de l'utilisateur et à une QoS cible. Le lien S1 supporte un trafic de Nd tout au long de la durée Δ de la communication et on se fixe une qualité de service de p sur le lien X2, c'est-à-dire que l'on veut que l'utilisateur n'expérimente une congestion liée à sa mobilité qu'avec une probabilité d'au plus $1-p$. Soit :

$$k^* := \min_k \text{ t.q } P_{sort}\cdot\sum_{j=k}^{N-1}P_{(j,N-1)} < 1-p \tag{5}$$

On a alors un trafic de k^*D_{X2}, où $D_{X2} = \frac{\beta d}{\delta}$ sur le lien X2. Le quotient du trafic qui passe sur X2 par celui qui passe sur S1 s'écrit alors :

$$\frac{X_2}{S_1} = \frac{k^*\beta}{\delta N} \tag{6}$$

4.2 Approximation poissonnienne

Le modèle décrit ci-dessus peut être approximé par une distribution de Poisson. En effet, l'équation (3), donnant la probabilité qu'il y ait exactement k sorties sur un slot s donné, suit une loi binomiale de paramètres N et $P_{sort}\delta/\Delta$. Toutefois, pour un N assez grand et un $P_{sort}\delta/\Delta$ assez petit, le produit $NP_{sort}\delta/\Delta = \lambda$ est approximativement constant et, par conséquent, l'équation (3) peut alors être approximée par un loi de Poisson de paramètre λ. Nous avons donc implémenté une approximation poissonnienne adaptée et l'avons comparé à notre modèle discret. Tout en maintenant une qualité de service perçue par l'utilisateur à 99,999%, l'approximation poissonnienne donne des résultats très similaires. Néanmoins, de légères différences apparaissent, et notre modèle discret est très légèrement sous dimensionné par moment.

5 Tests numériques et comparaison

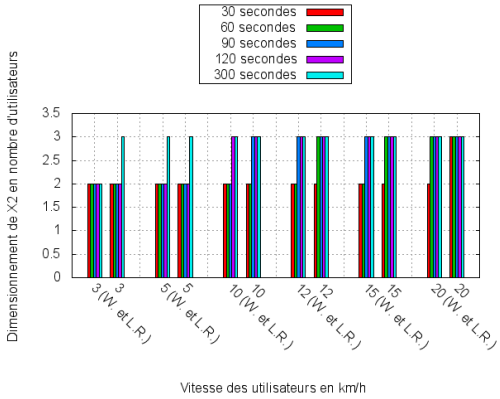

Figure 3: Dimensionnement du lien X2 en tenant compte de la vitesse et de la durée de la communication des utilisateurs avec une qualité de service cible fixée à 99.999%.

Dans l'article [WR09], les auteurs proposent un modèle de mobilité plus complet que notre étude. Basé sur des hypothèses de mobilité détaillées, et prenant notamment en compte l'aspect multi-services ou le cas de groupe d'utilisateurs, ils donnent le nombre d'utilisateurs sortant d'une cellule par unité de temps. Néanmoins, il est beaucoup plus difficile de trouver une relation reliant les liens X2 et S1. Cependant, nous l'avons implémenté dans le but de comparer ses résultats aux nôtres sur certaines valeurs cibles. Pour ce faire, nous avons dû adapter leur modèle à nos hypothèses et prendre en compte certaines de leurs caractéristiques telles qu'une densité de population dans la cellule ou encore un nombre moyen de communication par seconde. Au final, en plus de devoir gérer un nombre de paramètres important, l'écart trouvé entre les résultats de ces deux modèles s'est révélé minime (cf Figure 3). Dans la suite de nos travaux, en fixant tour à tour le nombre d'utilisateurs maximal présents dans la cellule, la qualité de service cible, et le nombre de sorties simultanées autorisées, des résultats sont présentés.

6 Conclusion et perspectives

Dans ce travail, nous nous sommes attachés à donner un modèle analytique simple qui permette de quantifier l'impact de la mobilité des utilisateurs sur le dimensionnement de la collecte d'un réseau mobile Lte. Basées sur des exigences de qualité de service, des règles de dimensionnement reliant explicitement la capacité du lien X2 à celle du lien S1 sont proposées. De plus, la simplicité de cette approche la rend facile à intégrer dans des outils de planification déjà existant.
La généralisation de ce travail à l'aspect multi-service est en cours, ainsi qu'une analyse plus approfondie de la sensibilité des résultats obtenus aux différents paramètres (vitesses, durées des communications, débits ...) grâce au développement d'un simulateur.

Références

[Bet01] Christian Bettsetter. Mobility modeling in wireless networks : Categorization, smooth movement, and border effects. *Mobile Computing and Communications Review*, 5(3) :55–66, 2001.

[Gué87] Roch A. Guérin. Channel occupancy time distribution in a cellular radio system. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, VT-35(3) :89–99, August 1987.

[HV07] Esa Hyytiä and Jorma Virtamo. Random waypoint mobility model in cellular networks. *Wireless Network*, 13 :177–188, 2007.

[LL08] Pierre Lescuyer and Thierry Lucidarme. *Evolved Packet System (EPS)*. 2008.

[WR09] Indra Widjaja and Humberto La Roche. Sizing x2 bandwidth for inter-connected enodebs. *IEEE Vehicular Technology Conference*, September 2009.