

# Gestion des ressources du réseau HSDPA en présence de la mobilité

## Sommaire

---

<b>4.1</b>	<b>Introduction</b>	97
<b>4.2</b>	<b>Formulation du problème</b>	99
4.2.1	Modulation et codage adaptatif (AMC)	99
4.2.2	Bande passante par type d'appel	100
4.2.3	Modélisation	102
<b>4.3</b>	<b>Mobilité intra cellule</b>	<b>102</b>
4.3.1	Sans mobilité	102
4.3.2	Avec intra mobilité	103
4.3.3	Calcul des taux de migration	105
<b>4.4</b>	<b>Mobilité inter cellules</b>	<b>106</b>
<b>4.5</b>	<b>Métriques des performances</b>	<b>107</b>
<b>4.6</b>	<b>Résultats numériques</b>	<b>109</b>
<b>4.7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>117</b>

---

## 4.1 Introduction

Dans la première partie de ce travail, nous avons analysé la capacité du lien montant du système WCDMA par deux approches : celle exacte (analyse spectrale), développée dans le chapitre 2 et celle approximative (perturbation singulière), développée dans le chapitre 3. Ces deux approches nous ont permis d'évaluer la capacité du système de manière exacte en fonction des paramètres du système (taux d'arrivée et de service d'appels ainsi que le nombre d'appels).

Or, pour mieux gérer la bande passante du système, il faut prendre en considération la variation de l'état du canal. Les utilisateurs qui sont proches de la station de base per-

çoivent généralement une bonne qualité du canal et donc une qualité de service satisfaisante. Par contre, ceux qui sont loin, leur qualité de service s'est vue dégradée. Puisque la technique WCDMA ne permet pas d'adapter la modulation selon la qualité du canal, nous nous intéressons dans ce chapitre à l'étude du problème de la variation de l'état du canal utilisant la technique HSDPA ; extension logicielle du système WCDMA. En effet, dans le réseau à haut débit HSDPA, le système adapte dynamiquement la qualité de service selon l'état du canal perçue par l'utilisateur. Cependant, quand la qualité du canal change de l'état bon vers l'état mauvais, l'utilisateur se trouve avec une qualité de service dégradée. Nous utilisons ainsi la technique de la modulation et du codage adaptatifs AMC (*Adaptive Modulation and Coding*). Ceci permet de maintenir un débit constant à l'utilisateur indépendamment de sa position et en tenant compte de sa mobilité.

Les auteurs dans (Li et Sampalli, 2007) développent un contrôle d'admission sur le lien descendant des réseaux à haut débit WiMAX et HSDPA en nous basant sur l'adaptation du lien radio de l'interface aire. Ils décomposent la cellule en nombre fini de régions prenant en compte un modèle simple de propagation opérant avec uniquement un *path loss* en fonction de la distance entre le mobile et la station de base. Ils considèrent dans leur étude une seule classe de service et modélisent le système par le réseau de file d'attente BCMP (Baskett et al., 1975; Chao et al., 2001) dont le nombre d'utilisateurs actifs est fixe. Les auteurs supposent que les taux d'arrivée d'appels dans chaque région dépendent uniquement du nombre moyen de mobiles qui se déplacent dans cette région, et que le temps moyen de service dépend seulement du temps que le mobile reste dans la région. Le travail de ces auteurs nous encourage à développer un nouveau mécanisme de contrôle d'admission qui prend en compte deux classes de service (temps réel et non temps réel), la mobilité intra et inter cellules. Aussi, considérons-nous le taux d'arrivée d'appels dans chaque région en fonction de la mobilité, du taux des nouvelles arrivées et de la durée moyenne de service. Le contrôle d'admission se base sur la subdivision de la cellule en un nombre fini de régions et chaque région possède une modulation différente. Il permet de garantir à chaque mobile son débit initial quelque soit sa position dans la cellule ou quand la qualité de son lien radio devient mauvaise. La décomposition de la cellule en régions a intéressé plusieurs chercheurs (Bonald et Proutière, 2003; Elayoubi et al., 2006). Pour évaluer les performances du système en termes de probabilité de blocage des nouveaux appels, de probabilité des pertes d'appels en cours et du débit moyen total, nous utilisons la théorie des files d'attentes de type BCMP (Baskett et al., 1975).

La différenciation de service entre les appels temps réel et non temps réel se fait en fonction du service demandé par l'utilisateur. La durée moyenne d'appels temps réel ne dépend pas des ressources consommées par le mobile et dépend uniquement de son comportement. Par contre, la durée moyenne de téléchargement de fichier pour les appels non temps réel dépend des ressources consommées par le mobile et de la taille moyenne de ces fichiers. La mobilité intra cellule est modélisée par le mouvement d'utilisateurs entre les régions (changement de la modulation au sein de la même station de base). La mobilité inter cellules est modélisée par le mouvement des utilisateurs entre les cellules (changement de la station de base). Nous avons constaté que la mobilité

inter cellules exige de notre mécanisme du CAC à prendre en compte les interférences inter cellules pour varier adaptativement la bande passante afin de maintenir un débit constant tout le temps. Donc le CAC assigne plus de bande passante pour chaque mobile et nous aurons moins d'appels dans le système, ce qui dégrade la capacité du système comme remarqué par (Viterbi et al., 1994). Ce mécanisme du CAC nous a permis de trouver un bon compromis entre la probabilité de perte d'un appel en cours et le blocage d'un nouveau appel, ainsi que le choix des ressources à réserver pour les appels en mobilité et une meilleure gestion des ressources libres.

## 4.2 Formulation du problème

### 4.2.1 Modulation et codage adaptatif (AMC)

Dans les réseaux mobiles, la qualité d'un signal reçu par un terminal dépend de plusieurs facteurs, comme la distance entre la station de base ou la perte de propagation due aux obstacles ou aux trajets multiples. Dans le but d'améliorer la performance d'un système, en termes de débit global et de fiabilité de la couverture radio, le signal transmis vers et par un utilisateur particulier est modifié de façon à prendre en compte les variations de la qualité du signal à travers un processus connu sous le nom d'adaptation au lien radio, ou de AMC (Modulation et Codage Adaptatif). L'AMC devient une approche standard dans les réseaux à haut débit comme HSDPA (Kwan et al., 2002; Nakamura et al., 2002). Comme indiqué dans (Qiu et al., 2002), l'idée derrière AMC est le changement dynamique de la modulation et du codage selon les conditions du canal radio. Si le rapport signal sur interférence plus le bruit (SNIR) est bon, le système peut affecter à l'utilisateur une forte modulation avec un taux de codage élevé (par exemple 64-QAM, 3/4 codage Turbo). Quand la qualité du canal se détériore, le système peut choisir une autre modulation plus faible avec un taux de codage faible sans perdre l'appel en cours, par exemple QPSK avec 1/2 codage Turbo. L'objectif du schéma de modulation et codage adaptatif (MCS) est de maintenir un taux d'erreur binaire (BER, *Bit Error Rate*) acceptable qui devrait être inférieur à un seuil donné  $BER_{th}$  pour tous les utilisateurs de la cellule. Soit  $\{M_1, \dots, M_r\}$  un ensemble de  $r$  schémas de modulations et de codages adaptatifs. Selon la valeur du SINR, chaque utilisateur reçoit une modulation et un taux de codage tel que  $BER \leq BER_{th}$ . Les points d'intersection entre les valeurs moyennes du SINR et la modulation sont considérés comme des valeurs seuils, comme,  $\{\gamma_r, \dots, \gamma_1, \gamma_0 = \infty\}$ . Ces valeurs nous permettent de partitionner le SINR en  $r$  intervalles (régions) :  $[\gamma_i, \gamma_{i-1})$ , pour  $i = 1, \dots, r$  (voir le tableau 4.1). Le  $k$  ème schéma MCS ( $M_k$ ), est affecté à la région  $[\gamma_k, \gamma_{k-1})$  si les conditions suivantes sont valides

$$BER(M_k, \gamma_k) \leq BER_{th} \text{ et } BER(M_k, \gamma_{k+1}) > BER_{th}.$$

Nous subdivisons la cellule en  $r$  régions concentriques de rayon  $R_i$ ,  $i = 1, \dots, r$ , et  $S_i$  représente la surface de la  $i$ -ème région. Chaque région correspond à une modulation spécifique comme le montre la figure 5.1. Nous supposons que tous les utilisateurs dans une région ont un même SINR moyen et donc une même modulation et un même taux de codage.

Valeur reçue du SINR (dB)	Rayon	Modulation	Taux de codage
$[\gamma_1, \gamma_0)$	$R_1$	64-QAM	3/4
$[\gamma_2, \gamma_1)$	$R_2$	16-QAM	3/4
$[\gamma_3, \gamma_2)$	$R_3$	QPSK	1/2
$[\gamma_4, \gamma_3)$	$R_4$	BPSK	1/2

TABLE 4.1 – Partitionnement du SINR avec AMC

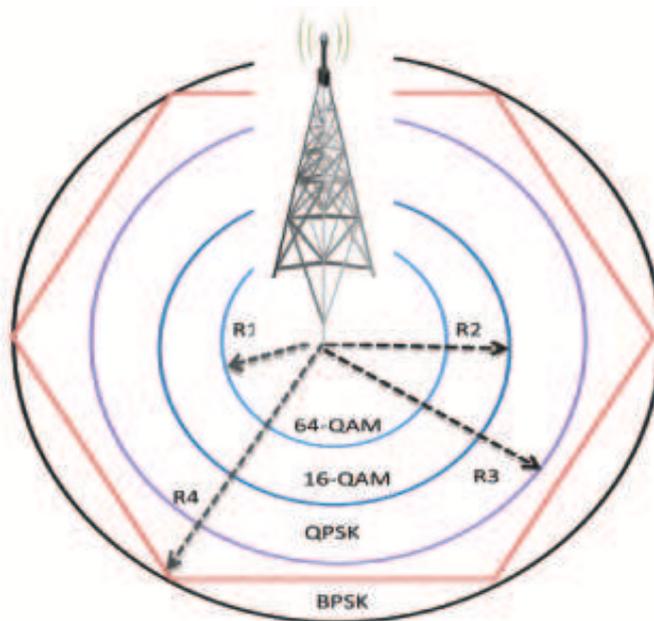


FIGURE 4.1 – La cellule HSDPA sectorisée en plusieurs régions avec AMC.

## 4.2.2 Bande passante par type d'appel

Nous supposons que tous les terminaux des utilisateurs supportent les modulations ci-dessus. Soit  $P_{i,c}$  la puissance transmise par la station de base du canal HS-DSCH vers l'utilisateur de la région  $i$ . Soit  $q_i$  la variation des conditions du canal due à la distance entre l'utilisateur de la région  $i$  et le Node-B, aux évanouissements rapides et lentes (Bonald et Proutière, 2003; Sartori et al., 2007). L'interférence sur un utilisateur dans la région  $i$  (intra cell interférence) est donné par

$$I_{intra,i} = \alpha \frac{P_{tot} - P_{i,c}}{q_i}, \quad (4.1)$$

où  $P_{tot}$  est la puissance totale transmise par la station de base HSDPA et  $\alpha$  est un facteur d'orthogonalité en lien descendant (Mehta et al., 2002). Soit  $R_c$  le débit binaire d'un appel de la classe- $c$  ( $c=RT, NRT$ ). Les utilisateurs demandant des services de la même classe dans la région  $i$  ont une même valeur moyenne du SINR dans  $[\gamma_i, \gamma_{i-1})$  et un même débit  $R_c$  quelques soit la position de ces utilisateurs. La relation entre le débit, le

SINR moyen de la région  $i$  et la modulation AMC est donné par

$$\frac{R_c}{(\log_2(M)\tau)_i} = \frac{W}{SF_{16}} \frac{SINR_{i,c}}{E_c/N_0}, \quad (4.2)$$

où  $E_c/N_0$  est l'énergie pour transmettre un bit de type ( $c = RT, NRT$ ) (Bonald et Proutière, 2003; Viterbi, 1995);  $W$  est le débit chip;  $\tau$  est le taux de codage;  $M$  est l'efficacité de modulation;  $SF_{16}$  est un facteur d'étalement (spreading factor of 16) pour le canal HS-PDSCH (*high speed-physical downlink shared channel*) et le  $SINR_{i,c}$  dans la région  $i$  est donné par

$$SINR_{i,c} = \frac{P_{i,c}/q_i}{I_{intra,i} + N_0}, \quad i = 1, \dots, r. \quad (4.3)$$

Pour que le mobile reçoive tout le temps un débit constant  $R_c$ , nous cherchons à trouver une bande passante dynamique qui dépend de l'efficacité de modulation de chaque région, notée  $\Delta_c^i$ . Utilisant les relations (4.1) et (4.3), nous obtenons

$$\frac{SINR_{i,c}}{1 + \alpha SINR_{i,c}} = \frac{P_{i,c}}{\alpha P_{tot} + q_i N_0}. \quad (4.4)$$

Soit  $M_c^i$  le nombre d'appels HSDPA de la class- $c$  dans la région  $i$ . Alors la puissance totale transmise par le Node-B est

$$P_{tot} = P_{CCH} + P_{SCCH} + \sum_{i,c} M_c^i P_{i,c}, \quad (4.5)$$

où  $P_{CCH}$  est la puissance du canal commun CCH (*Common Channel*) et  $P_{SCCH}$  est la puissance associée au canal de contrôle partagé SCCH (*Shared Control Channel*). Ces deux puissances représentent une fraction de la puissance  $P_{tot}$  et donc il existe une constante positive  $\psi \in (0, 1)$  telle que  $P_{CCH} + P_{SCCH} = \psi P_{tot}$ .

Posons  $\Lambda_c^i = \frac{P_{i,c}}{\alpha P_{tot} + q_i N_0}$ , déduisons la valeur de  $P_{i,c}$  qui remplacée dans (4.5), donne la forme suivante

$$P_{tot} = \frac{N_0 \sum_{i=1}^r (q_i M_{RT}^i \Lambda_{RT}^i + q_i M_{NRT}^i \Lambda_{NRT}^i)}{1 - \psi - \alpha \sum_{i=1}^r (M_{RT}^i \Lambda_{RT}^i + M_{NRT}^i \Lambda_{NRT}^i)}. \quad (4.6)$$

Maintenant, la bande passante nécessaire pour maintenir un débit constant pour un utilisateur demandant un service de classe- $c$  dans la région  $i$  est  $\Delta_c^i = \alpha \Lambda_c^i$ . D'où, à partir des relations (4.2) et (4.4) nous trouvons la forme

$$\Delta_c^i = \frac{R_c}{R_c + \frac{W}{SF_{16}} \frac{(\log_2(M)\tau)_i}{\alpha E_c/N_0}}, \quad i = 1, \dots, r. \quad (4.7)$$

On considère  $\Theta_\epsilon$  la capacité (bande passante) totale du système telle que  $\Theta_\epsilon = 1 - \psi - \epsilon$ , où  $\epsilon > 0$  est un nombre très petit strictement positif. Alors, nous avons la contrainte suivante sur cette bande passante totale

$$\sum_{i=1}^r (M_{RT}^i \Delta_{RT}^i + M_{NRT}^i \Delta_{NRT}^i) \leq \Theta_\epsilon.$$

### 4.2.3 Modélisation

Nous considérons que les processus des arrivées d'appels temps réel (RT) et non temps réel (NRT) sont indépendants et arrivent selon le processus de Poisson. Ainsi que, les temps de services sont indépendants et exponentiellement distribués. Soit  $\lambda_{0,c}^i$  le taux d'arrivée des nouveaux appels de classe- $c$  dans la région  $i$ . Soit  $1/\mu_{RT}$  la durée moyenne d'un appel temps réel. La durée d'appel non temps réel dépend de la taille moyenne du fichier à télécharger en bits  $E(Pay)$  (Downey, 2001), elle est donnée par

$$\frac{1}{\mu_{NRT}} = \frac{E(Pay)}{R_{NRT}}.$$

Nous rappelons que la cellule est décomposée en  $r$  régions et dans chacune d'elles nous avons deux bandes passantes différentes  $\Delta_{RT}^i$  et  $\Delta_{NRT}^i$ . Ce qui montre qu'il y a  $2r$  classes d'appels dans le système :  $r$  classes d'appels RT et  $r$  classes d'appels NRT. Nous considérons chaque région comme une file d'attente avec une infinité de serveurs. Alors, le système a  $r$  files d'attente et tous les appels d'une région restent dans une même file. Quand un utilisateur change sa file vers une autre avant qu'il ne termine son service, nous parlons de la mobilité intra cellule (entre les régions au sein de la même cellule).

## 4.3 Mobilité intra cellule

### 4.3.1 Sans mobilité

Nous considérons ici un contrôle d'admission qui gère les appels des deux classes sans la mobilité entre les régions des utilisateurs. Un nouveau appel est accepté s'il y a des ressources libres sinon il est bloqué. Les utilisateurs de chaque région restent dans celle-ci jusqu'à la fin de leur service. Dans ce cas, pas de changement de régions durant la durée de service d'un appel provenant de la région  $i$ . Ce scénario représente la non mobilité intra cellule, c'est à dire les utilisateurs localisés la première fois dans la région  $i$  avec une modulation de celle-ci, ne changent pas l'efficacité de modulation durant leur service. Soit  $n_c^i(t)$  le nombre d'appels de la classe- $c$  qui progressent dans la région  $i$  à l'instant  $t$ . L'état du système est défini par

$$\vec{n}(t) \triangleq (n_{RT}^1(t), \dots, n_{RT}^r(t), n_{NRT}^1(t), \dots, n_{NRT}^r(t)).$$

Alors, nous modélisons le processus  $\{\vec{n}(t), t > 0\}$  par une chaîne de Markov de dimension  $2r$ . Soit  $\pi(\vec{n})$  la distribution stationnaire du système à l'état  $\vec{n}$ , tel que

$$\vec{n} = (n_{RT}^1, \dots, n_{RT}^r, n_{NRT}^1, \dots, n_{NRT}^r).$$

Nous définissons un espace d'états qui représente toutes les configurations possibles en terme de nombre d'appels dans le système par

$$A_{\Theta_\epsilon} = \{ \vec{n} \in \mathbb{N}^{2r} \mid \sum_{i=1}^r (n_{RT}^i \Delta_{RT}^i + n_{NRT}^i \Delta_{NRT}^i) \leq \Theta_\epsilon \}.$$

La probabilité que le système soit dans l'état  $\vec{n}$  ( $\vec{n} \in A_{\Theta_\epsilon}$ ) est donné en appliquant le théorème BCMP (Baskett et al., 1975; Chao et al., 2001) pour les classes multiples

$$\pi(\vec{n}) = \frac{1}{G(\Theta_\epsilon)} \prod_{i=1}^r \frac{(\rho_{RT}^i)^{n_{RT}^i} (\rho_{NRT}^i)^{n_{NRT}^i}}{n_{RT}^i! n_{NRT}^i!}, \quad (4.8)$$

où  $\rho_c^i = \lambda_{0,c}^i / \mu_c$  et  $G(\Theta_\epsilon)$  est la constante de normalisation calculée par la relation

$$\sum_{\vec{n} \in A_{\Theta_\epsilon}} \pi(\vec{n}) = 1.$$

d'où

$$G(\Theta_\epsilon) = \sum_{\vec{n} \in A_{\Theta_\epsilon}} \prod_{i=1}^r \frac{(\rho_{RT}^i)^{n_{RT}^i} (\rho_{NRT}^i)^{n_{NRT}^i}}{n_{RT}^i! n_{NRT}^i!}.$$

Un nouveau appel de class- $c$  dans la région  $i$  demandant la bande passante  $\Delta_c^i$  est bloqué s'il ne la trouve pas. Alors la probabilité de blocage de cet appel dans la région  $i$  et

$$B_c^i = 1 - \sum_{\vec{n} \in A_{\Theta_\epsilon - \Delta_c^i}} \pi(\vec{n}) = 1 - \frac{G(\Theta_\epsilon - \Delta_c^i)}{G(\Theta_\epsilon)}, \quad (4.9)$$

où  $G(\Theta_\epsilon - \Delta_c^i)$  est la constante de normalisation calculée sur l'espace  $A_{\Theta_\epsilon - \Delta_c^i}$ .

### 4.3.2 Avec intra mobilité

Nous définissons le scénario de mobilité intra cellule quand les utilisateurs localisés dans une région donnée et connectés à la station de base ont la possibilité de changer cette région vers une autre. Ce changement pour le système signifie le changement d'efficacité de modulation d'un appel de classe- $c$  en cours vers une autre efficacité. Alors, le taux d'arrivée d'appels de classe- $c$  dans la région  $i$  est donné en distinguant deux cas :

1. un utilisateur peut se connecter au système la première fois dans la région  $i$  avec un taux  $\lambda_{0,c}^i$ ,
2. un utilisateur localisé dans la région  $i$  peut être arrivé d'une région  $j$  vers celle-ci avec un taux  $\lambda_c^{j,i}$  ( $i = 1, \dots, r, j \neq i$ ).

Notons que  $\lambda_c^{i,i} = \lambda_{0,c}^i$ . Un appel en cours de communication à cause de la mobilité de l'utilisateur entre les régions (intra cellule) a son efficacité de modulation qui change. Quand l'utilisateur s'éloigne de la station de base, plus de ressources (bande passante) sont nécessaires pour qu'il maintienne son débit initial. Pour cela, le système a besoin de garder des ressources supplémentaires qui vont servir uniquement les appels en cours de mobilité. Ce type de ressource est connu également sous le nom des canaux de garde (*guard channel*) (Hong et Rappaport, 1986), et notons par  $\Theta_m$  ces ressources.

En outre, la bande passante totale est  $\Theta_\epsilon = \Theta_0 + \Theta_m$ , où  $\Theta_0$  est une bande passante normale qui peut être utilisée par les appels en cours (en mobilité) et les nouveaux appels. Le problème est de connaître combien de ressources faut-il réserver pour gérer

les appels en mobilité sans pénaliser les nouveaux appels tout en gardons plus de ressource pour la mobilité. Cela nous amène à introduire un paramètre  $\delta$  tel que  $0 \leq \delta < 1$ . Le choix de ce paramètre dépend largement de la politique de gestion des ressources adoptée par le fournisseur de service (*Service Provider*). Ce choix varie en fonction des périodes où la mobilité des utilisateurs est forte ou faible dans la journée. Nous obtenons alors les relations suivantes

$$\Theta_m = \delta\Theta_\epsilon \text{ et } \Theta_0 = (1 - \delta)\Theta_\epsilon.$$

Le fournisseur de service peut utiliser le paramètre  $\delta$  ( $\Theta_m$ ) comme paramètre de contrôle pour déterminer la priorité d'appels en migration (mobilité) sur les nouveaux appels. Un nouvel appel de classe- $c$  dans la région  $i$  est bloqué dès que la bande passante normale  $\Theta_0$  est complètement utilisée. Par contre, un appel en cours (en mobilité) est rejeté si la bande passante totale  $\Theta_\epsilon$  du système est occupée. D'où, nous définissons le taux d'arrivée total d'appels de classe- $c$  dans la région  $i$  comme

$$\lambda_c^i(\vec{n}) = \begin{cases} \lambda_{0,c}^i + \sum_{j \neq i} \lambda_c^{j,i}, & \text{si } \vec{n} \in A_0; \\ \sum_{j \neq i} \lambda_c^{j,i}, & \text{si } \vec{n} \in A_\epsilon \setminus A_0, \end{cases} \quad (4.10)$$

où

$$A_0 = \{ \vec{n} \in \mathbb{N}^{2r} \mid \sum_{i=1}^r (n_{RT}^i \Delta_{RT}^i + n_{NRT}^i \Delta_{NRT}^i) \leq \Theta_0 \}, \quad (4.11)$$

$$A_\epsilon = \{ \vec{n} \in \mathbb{N}^{2r} \mid \sum_{i=1}^r (n_{RT}^i \Delta_{RT}^i + n_{NRT}^i \Delta_{NRT}^i) \leq \Theta_\epsilon \}. \quad (4.12)$$

Le temps moyen qu'un utilisateur reste dans la région  $i$  est noté  $1/\mu_i^m$ . Ce temps correspond au temps que passe un utilisateur en migration/mobilité dans une région avant qu'il ne termine son service. Ce temps dépend de plusieurs paramètres tels que sa vitesse, sa direction de mobilité, la forme et la taille géographique de sa région. Donc, le temps passé dans la région  $i$  est une variable aléatoire noté  $T_i$ . Pour simplifier, nous supposons qu'il est distribué selon la distribution exponentielle avec un moyen  $1/\mu_i^m$ . Ainsi, la durée totale d'un appel de classe- $c$  dans le système est une variable aléatoire notée par  $T_c$  et également distribuée selon la distribution exponentielle avec une moyenne  $1/\mu_c$ . Notons que ces variables sont indépendantes et identiquement distribuées. Soit  $X_c^i$  une variable aléatoire représentant le temps d'activité ([Jeon et Jeong, 2001](#)) que peut passer un utilisateur de classe- $c$  dans la région  $i$ . Cette variable est donnée par la relation  $X_c^i = \min(T_c, T_i)$  dont la distribution est exponentielle de paramètre  $\mu_c + \mu_i^m$ . La probabilité d'état du système dans l'équilibre est donnée en utilisant la théorie des files d'attente. En nous basant sur le théorème BCMP pour les classes multiples avec la possibilité de changement de classe ([Chao et al., 2001](#)), nous obtenons l'expression suivante

$$\pi(\vec{n}) = \frac{1}{G_\epsilon} \prod_{i=1}^r \frac{(\rho_{RT}^i)^{n_{RT}^i} (\rho_{NRT}^i)^{n_{NRT}^i}}{n_{RT}^i! n_{NRT}^i!}, \quad (4.13)$$

où  $\vec{n} \in A_c$ ,  $\rho_c^i = \frac{\lambda_c^i(\vec{n})}{\mu_c + \mu_i^m}$  et  $G_\epsilon$  est la constante de normalisation donnée par

$$G_\epsilon = \sum_{\vec{n} \in A_c} \prod_{i=1}^r \frac{(\rho_{RT}^i)^{n_{RT}^i}}{n_{RT}^i!} \frac{(\rho_{NRT}^i)^{n_{NRT}^i}}{n_{NRT}^i!}.$$

La distribution stationnaire dépend du taux d'arrivée d'appels de classe- $c$  en mobilité dans la région  $i$ ,  $\lambda_c^i$ , et inversement ce taux dépend du nombre d'appels dans la région  $i$  qui lui même est fonction de la distribution stationnaire.

### 4.3.3 Calcul des taux de migration

Le taux de migration d'appels de classe- $c$  dans la région  $i$  à partir de la région  $j$  dépend du nombre marginal moyen d'appels dans la région  $j$ . Soit  $p_{c,j}$  la probabilité qu'un utilisateur demandant un appel de classe- $c$  dans la région  $j$  se déplace vers la région  $i$  avant qu'il termine son service. Cette probabilité est donnée par

$$p_{c,j} = P(T_j < T_c) = \int_0^\infty (1 - e^{-\mu_j^m t}) \mu_c e^{-\mu_c t} dt = \frac{\mu_j^m}{\mu_j^m + \mu_c}.$$

Le taux que les mobiles de la région  $j$  tentent de migrer due à la mobilité des utilisateurs est

$$E[n_c^j(t)] p_{c,j} \mu_j^m,$$

où  $E(n_c^j(t))$  est le nombre marginal d'appels de classe- $c$  dans la région  $j$  tel que

$$E[n_c^j(t)] = \sum_{\vec{n} \in A_c} n_c^j \pi(\vec{n}). \quad (4.14)$$

En conséquence, le taux d'arrivée d'appels en migration dans la région  $i$  provenant de la région  $j$  est

$$\lambda_c^{j,i} = \phi_{j,i} E[n_c^j(t)] p_{c,j} \mu_j^m, \quad i, j = 1, \dots, r; j \neq i, \quad (4.15)$$

où  $\phi_{j,i}$  est la probabilité qu'un utilisateur dans la région  $j$  parte à cause de sa mobilité vers la région  $i$ . Cette probabilité dépend des paramètres de mobilité (vitesse du mobile, taille de la zone ou de la région, effets de dégradation de la qualité du signal, ...) telle que

$$\sum_{j=1, j \neq i}^r \phi_{j,i} = 1, \quad i = 1, \dots, r.$$

Afin de trouver le taux d'arrivée d'appels de classe- $c$  ( $\lambda_c^i(\vec{n})$ ) dans la région  $i$  en utilisant la relation (4.10), nous commençons d'abord par le calcul des taux de migration ( $\lambda_c^{j,i}, j \neq i$ ) via l'algorithme 2 :

---

**Algorithm 2** : Convergence des taux de migration

---

- 1: Initialiser les taux de migration dans l'équation (4.10) :  $\lambda_{c,old}^{j,i} = 0$ .
  - 2: Calculer la probabilité d'état d'équilibre  $\pi(\vec{n})$  dans (5.21).
  - 3: Calculer le nombre moyen marginal d'appels RT et NRT dans (4.14).
  - 4: Dédire les nouvelles valeurs des taux de migration dans (4.15), notés par  $\lambda_{c,new}^{j,i}$ .
  - 5: Vérifier la convergence entre les nouveaux et anciens taux de migration : si  $|\lambda_{c,new}^{j,i} - \lambda_{c,old}^{j,i}| < \xi$ , où  $\xi$  est un nombre très petit et strictement positif, alors les nouveaux taux de migration sont utilisés dans le calcul des performances du système. Sinon, passer à l'étape 2 avec ces nouvelles valeurs comme des valeurs initiales. Les itérations sont poursuivies jusqu'à atteindre la convergence.
- 

## 4.4 Mobilité inter cellules

L'objectif de cette partie est d'étudier l'impact des interférences inter cellules sur la bande passante effective par type d'appel et de calculer le taux d'appels en *handover*, c'est à dire les appels changeant la station de base. Nous considérons un réseau cellulaire composé de  $l + 1$  cellules et supposons que celles-ci sont toutes homogènes et statistiquement identiques. Alors l'interférence dans la région  $i$  est causée par les mobiles de la cellule (intra interférence) et aussi par les stations de bases des  $l$  cellules voisines (inter interférence) tel que

$$I_{inter,i} = \sum_{j=1}^l \frac{P_{tot,j}}{q_{i,j}}, \quad (4.16)$$

où  $P_{tot,j}$  est la puissance totale de transmission de la station de base  $j$  et  $q_{i,j}$  est le coefficient d'atténuation du signal d'un utilisateur dans la région  $i$  et la station de base  $j$ . En conséquence, la relation (4.3) devient

$$SINR_{i,c} = \frac{P_{i,c}/q_i}{I_{intra,i} + I_{inter,i} + N_0}, \quad i = 1, \dots, r. \quad (4.17)$$

Pour plus de simplicité, nous considérons que toutes les cellules ont une même puissance totale de transmission  $P_{tot}$ . Nous utilisons le facteur d'interférence (*F-factor*) dans la région  $i$  de la cellule centrale 0 tel que (Sipila et al.)

$$F_{i,0} = q_i \sum_{j=1}^l \frac{1}{q_{i,j}}$$

Nous remplaçons  $F_{i,0}$  pour toutes les régions ( $i = 1, \dots, r$ ) par la valeur moyenne de ce facteur et notons la par  $F$ . En général, la capacité des systèmes de communications sans fil comme CDMA/HSDPA est limitée par les interférences. En effet, dans (Viterbi et al., 1994), les auteurs montrent que les interférences inter cellules augmentent avec l'augmentation du facteur *F-factor*. Pour trouver la bande passante effective en fonction de ce dernier, nous utilisons la même méthode que celle utilisée pour obtenir  $\Delta_c^i$  dans (4.7).

Cette bande est

$$\nabla_c^i = \frac{(\alpha + F)R_c}{\alpha R_c + \frac{W}{5F_{16}} \frac{(\log_2(M)\tau)_i}{E_c/N_0}} = (1 + F/\alpha) \Delta_c^i, i = 1, \dots, r. \quad (4.18)$$

Maintenant, les espaces d'états  $A_0$  et  $A_\epsilon$  définis dans (4.11) et (4.12) seront obtenus en remplaçant l'ancienne bande passante  $\Delta_c^i$  par la nouvelle  $\nabla_c^i$ . L'état de la cellule 0 est également défini par  $\vec{n} = (n_{RT}^1, \dots, n_{RT}^r, n_{NRT}^1, \dots, n_{NRT}^r) \in \mathbb{N}^{2r}$ . Nous définissons le taux d'appels en *handover* comme taux d'appels de classe- $c$  dans la dernière région de la cellule qui se déplacent vers d'autres cellules. Donc, le taux d'arrivée d'appels dans la région  $r$  avec le taux de *handover* ( $\lambda_c^{ho}$ ) come défini dans (4.10) est

$$\lambda_c^r(\vec{n}) = \begin{cases} \lambda_{0,c}^r + \sum_{j=1}^{r-1} \lambda_c^{j,r} + \lambda_c^{ho}, & \text{si } \vec{n} \in A_0; \\ \sum_{j=1}^{r-1} \lambda_c^{j,r} + \lambda_c^{ho}, & \text{si } \vec{n} \in A_\epsilon \setminus A_0, \end{cases} \quad (4.19)$$

où  $\lambda_c^{j,r}$  est le taux de migration d'appels donné par l'algorithme 2 et le taux de *handover*  $\lambda_c^{ho}$  est l'objet de l'algorithme 3. Puisque les cellules sont supposées toutes identiques, le nombre moyen marginal d'appels de classe- $c$  dans la région  $r$  est le même. Il est donné par

$$E[n_c^r(t)] = \sum_{\vec{n} \in A_\epsilon} \pi(\vec{n}) n_c^r. \quad (4.20)$$

D'où, le taux d'appels en *handover* est donné par la relation

$$\lambda_c^{ho} = l\phi_l E[n_c^r(t)] p_{c,r} \mu_r^m, \quad (4.21)$$

où  $\phi_l$  est la probabilité qu'un utilisateur dans une cellule fait un *handover* vers la cellule centrale

---

### Algorithm 3 : Convergence des taux de handover

---

- 1: Initialiser le taux de *handover* dans l'équation (4.19) :  $\lambda_{c,old}^{ho} = \lambda_c^{ho} = 0$ .
  - 2: Calculer la probabilité d'état d'équilibre  $\pi(\vec{n})$  dans (5.21).
  - 3: Calculer le nombre moyen marginal d'appels RT et NRT dans (4.20).
  - 4: Dédurre la nouvelle valeur du taux de *handover* dans (4.26) :  $\lambda_{c,new}^{ho}$ .
  - 5: Vérifier la convergence entre la nouvelle et l'ancien valeur des taux de *handover*, si  $|\lambda_{c,new}^{ho} - \lambda_{c,old}^{ho}| < \xi$ , où  $\xi$  est un nombre très petit et strictement positif, alors le nouveau taux  $\lambda_c^{ho} = \lambda_{c,new}^{ho}$  est utilisé avec l'algorithme 2 pour le calcul des performances du système. Sinon, passer à l'étape 2 avec ce nouveau taux comme un taux initial. Les itérations sont poursuivies jusqu'à atteindre la convergence.
- 

## 4.5 Métriques des performances

**Probabilité de blocage des nouveaux appels :** Un nouvel appel de classe- $c$  dans la région  $i$  est bloqué par le contrôle d'admission si l'état du système avec cet appel est

un état bloquant. L'état du système avant l'arrivée de cet appel est  $\vec{n}$  tel que  $\vec{n} \in A_0$ . Alors l'appel est bloqué dans la région  $i$  si  $\vec{n} \in E_c^i$  tel que

$$E_c^i = \{ \vec{n} \in A_0 \mid \sum_{i=1}^r (n_{RT}^i \Delta_{RT}^i + n_{NRT}^i \Delta_{NRT}^i) + \Delta_c^i > \Theta_0 \}.$$

D'où, la probabilité de blocage des nouveaux appels dans la région  $i$  :

$$P_B^{i,c} = \sum_{\vec{n} \in E_c^i} \pi(\vec{n}), \quad i = 1, \dots, r. \quad (4.22)$$

**Probabilité de perte d'appels en cours :** La probabilité de perte d'une communication en cours est définie dans la littérature comme la probabilité de bloquer un appel en *handover* (Li et al., 2003). Cette définition est étendue vers le blocage d'appels en mobilité intra cellule (changement de modulation) dans (Elayoubi et Chahed, 2004). Dans ce travail, nous utilisons également la dernière définition. Nous rappelons que la perte d'appels en cours dépend directement de la politique de gestion de ressource adoptée par un fournisseur de service, c'est à dire le choix du paramètre  $\delta$  et donc la valeur à réserver  $\Theta_m$ . Un appel en migration de la région  $j$  (occupant  $\Delta_c^j$ ) vers la région  $i$  exige une bande passante  $\Delta_c^i$ . Pour maintenir sa communication sans interruption, il faut que le système l'affecte la bande passante suivante  $\Delta_c^{ij} = \Delta_c^i - \Delta_c^j$ . La communication n'est jamais perdue si l'utilisateur s'approche de la station de base. Néanmoins, si l'utilisateur s'éloigne de la station de base, notre mécanisme de contrôle d'admission vérifie la disponibilité des ressources. En outre, un appel de classe- $c$  en cours est perdu si  $\vec{n} \in A_{i,j}^c$ , avec

$$A_{i,j}^c = \{ \vec{n} \in A_\epsilon \mid \sum_{i=1}^r (n_{RT}^i \Delta_{RT}^i + n_{NRT}^i \Delta_{NRT}^i) + \Delta_c^{ij} > \Theta_\epsilon \}.$$

La probabilité de perte des communications en cours dans la région  $i$  est le rapport entre le taux d'appels en migration de la région  $i - 1$  vers la région  $i$  perdus et le taux total d'appels qui se déplacent vers cette région

$$P_D^{i,c} = \frac{\sum_{\vec{n} \in A_{i,i-1}^c} \mu_{i-1}^m n_c^{i-1} \pi(\vec{n})}{\sum_{\vec{n} \in A_\epsilon} n_c^{i-1} (\mu_{i-1}^m + \mu_c) \pi(\vec{n})}, \quad i = 2, \dots, r. \quad (4.23)$$

**Débit total et utilisation totale de la bande passante :** Deux autres métriques importantes qui mesurent les performances globales du système sont le débit total et l'utilisation totale de la bande passante. Dans l'état d'équilibre du système, nous calculons le débit global dans les deux cas de mobilité (intra et inter cellules) ( $\vec{n} \in A_\epsilon$ ,  $\vec{n} \in A_{\Theta_\epsilon}$ ) par

$$T_{cell}^{hsdpa} = \sum_{\vec{n}} \pi(\vec{n}) \sum_{i=1}^r (n_{RT}^i R_{RT} + n_{NRT}^i R_{NRT}). \quad (4.24)$$

Egalement, la bande passante totale occupée par les appels en cours est obtenue comme la valeur moyenne des bandes passantes exigées par les appels en cours sur la bande

passante totale,

$$U^{hsdpa} = \frac{\sum_{\vec{n}} \pi(\vec{n}) \sum_{i=1}^r (n_{RT}^i Y_{RT}^i + n_{NRT}^i Y_{NRT}^i)}{\Theta_\epsilon},$$

où

$$Y_{RT}^i = \Delta_{RT}^i, \nabla_{RT}^i, \text{ et } Y_{NRT}^i = \Delta_{NRT}^i, \nabla_{NRT}^i.$$

## 4.6 Résultats numériques

Nous présentons ici quelques résultats numériques en nous basant uniquement sur la *path loss* comme fonction de la distance entre le mobile et le Node-B pour décomposer la surface de la cellule. La cellule centrale HSDPA est subdivisée en trois régions ( $r = 3$ ) avec les modulations : 64-QAM 3/4 (6 bits/symbole), 16-QAM 3/4 (4 bits/symbole) et QPSK 1/2 (2 bits/symbole). L'énergie transmise d'un bit de class- $c$  par bruit  $E_c/N_0$  est de 3.4 dB pour les appels RT et égale à 2.7 dB pour les appels NRT. Le débit binaire constant pour les appels RT est  $R_{RT} = 0.3 \text{ Mbps}$  et celui d'appels NRT est  $R_{NRT} = 0.15 \text{ Mbps}$ . Le débit chip  $W$  est de 3.84 Mbps, la valeur de  $\epsilon$  est de  $10^{-5}$ , la fraction des puissances des canaux SCCH et CCH est de  $\psi = 0.2$ . La durée moyenne d'appel RT est de 120 s, la taille moyenne des fichiers à télécharger est de  $E(\text{Pay}) = 2 \text{ Mbits}$  et le facteur d'orthogonalité en lien descendant  $\alpha$  est de 0.2. En plus, nous étudions l'impact de la faible mobilité des utilisateurs entre les régions. Les utilisateurs peuvent se déplacer entre les régions adjacentes et le temps moyen dans la région est 300 s. Ce dernier correspond à des utilisateurs se déplaçant à la vitesse 5 Km/h. Donc, l'utilisateur dans la région  $j$  choisit la région destinatrice ( $i = j \pm 1$ ) avec la probabilité

$$\phi_{j,i} = \begin{cases} 1, & \text{si } j = 1, i = 2; \\ 1, & \text{si } j = r, i = r - 1; \\ 1/2, & \text{si } 2 \leq j \leq r - 1, i = j - 1 \text{ ou } i = j + 1; \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

Le taux d'arrivée d'appels de classe- $c$  dans la région  $i$  défini dans (4.10) devient

$$\lambda_c^i(\vec{n}) = \begin{cases} \lambda_{0,c}^i + \lambda_c^{i-1,i} + \lambda_c^{i+1,i}, & \text{si } \vec{n} \in A_0; \\ \lambda_c^{i-1,i} + \lambda_c^{i+1,i}, & \text{si } \vec{n} \in A_\epsilon \setminus A_0, \end{cases} \quad (4.25)$$

où  $\lambda_c^{0,1} = \lambda_c^{r+1,r} = 0$  pour  $i = 1, \dots, r$ . La probabilité qu'un utilisateur arrive à la région  $r$  à partir des  $l$  cellules voisines  $\phi_l$  est de  $1/l$ , donc le taux de *handover* est

$$\lambda_c^{ho} = l \frac{E[n_c^r(t)]}{l} p_{c,r} \mu_r^m = E[n_c^r(t)] p_{c,r} \mu_r^m. \quad (4.26)$$

**Impact du scénario sans intra mobilité :** Le scénario sans intra mobilité est illustré dans les figures 4.2 et 4.3. Ces deux figures présentent respectivement les probabilités

de blocage d'appels temps réel et non temps réel en fonction du taux d'arrivée d'appel temps réel pour différentes efficacités de modulation. Dans les deux figures nous remarquons que la probabilité de blocage dans la région trois où l'efficacité de modulation est QPSK est supérieure à celles des régions antérieures (c'est à dire les régions un 64-QAM et deux 16-QAM). Ceci est due au fait qu'un utilisateur dans la région trois demande plus de bande passante que dans les autres régions pour les deux trafics, c'est à dire,  $\Delta_{RT}^1 < \Delta_{RT}^2 < \Delta_{RT}^3$  et  $\Delta_{NRT}^1 < \Delta_{NRT}^2 < \Delta_{NRT}^3$ . D'ailleurs, la différence principale entre la probabilité de blocage des nouveaux appels des classes temps réel et non temps réel est qu'il y a plus de blocage pour les appels RT. Car, les appels RT demandent dans notre environnement numérique plus de bande passante que celle demandée par les appels NRT dans la même région. Ces résultats sont dus au fait que notre stratégie d'allocation de ressources donne plus de priorité aux appels venant des régions proches de la station de base que ceux des régions de faible modulation en gardant un même débit pour tous ces appels. En outre, deux autres métriques importantes pour les performances globales du système sont le débit total et l'utilisation totale de la bande passante. Ces deux métriques sont illustrées dans la figure 4.4 en fonction du taux d'arrivée des nouveaux appels de type RT. Dès qu'un appel est accepté par le mécanisme du CAC, le système doit maintenir pour lui un débit constant durant son service. Ce qui implique que le débit total du système augmente, et aussi que l'utilisation totale de la bande passante augmente.

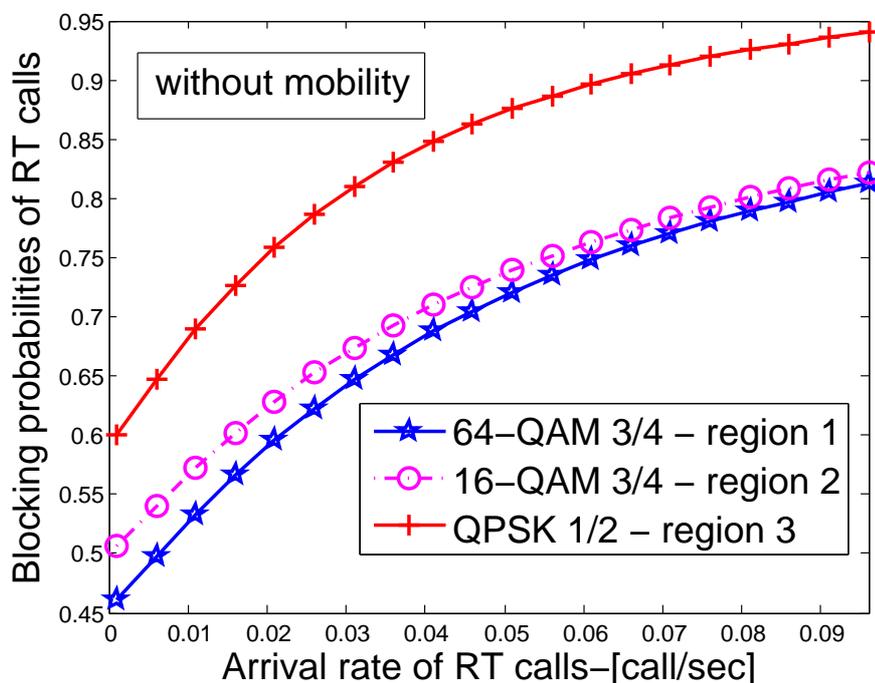


FIGURE 4.2 – Probabilités de blocage d'appels temps réel en fonction du taux d'arrivée d'appels RT pour  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-5}$ .

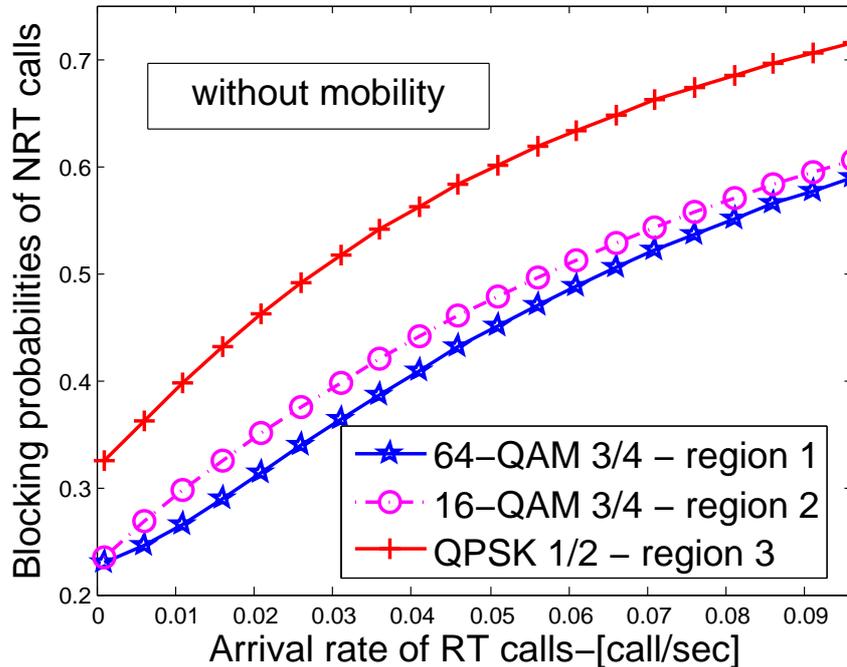


FIGURE 4.3 – Probabilités de blocage d’appels temps réel en fonction du taux d’arrivée d’appels NRT pour  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-5}$ .

**Impact du scénario de mobilité :** Intéressons-nous maintenant à l’impact du scénario de mobilité intra et inter cellules sur les performances du système HSDPA. Les figures 4.5 et 4.6 illustrent la probabilité de blocage des nouvelles arrivées d’appels RT et NRT pour différentes configurations d’efficacité de modulation en fonction de la proportion ( $\delta$ ) de la bande passante totale réservée aux appels en mobilité. Nous remarquons que ces probabilités augmentent avec l’augmentation de cette proportion, car notre stratégie du CAC favorise par cette proportion de ressources les appels en mobilité sur les nouveaux. Ainsi, la probabilité de blocage d’appels croît avec l’augmentation de  $\delta$  et donc de  $\Theta_m$ . Ceci est justifié par le fait d’augmenter  $\delta$  laisse moins de ressources aux nouveaux appels et donc plus d’appels d’entre eux seront bloqués par le CAC en fonction de leur efficacité de modulation. La figure 4.7 représente dans l’échelle logarithmique les probabilités de perte d’appels en cours dans le cas du scénario intra mobilité (mobilité entre les régions) en fonction des ressources réservées aux appels en mobilité. La perte d’appels en cours se produit quand ils partent de la région de haute modulation (moins de ressources par appel) vers celle de faible modulation (plus de ressource par appel). Nous constatons dans cette figure que la probabilité de perte d’appels en cours de la région 1 (64-QAM) vers la région 2 (16-QAM) est faible par rapport à celle de perte d’appels de la région 2 vers la région 3 (QPSK) et décroît jusqu’à ce que la bande passante réservée  $\Theta_m$  devienne  $\delta = 8\%$ . Quand cette bande est supérieure à 8%, la probabilité de perte devient constante pour tous les trafics. Notons que grâce à la mobilité des utilisateurs, les appels en cours qui s’approchent de la station de base ne seront jamais bloqués par le mécanisme du CAC. En effet, ils demandent dans les

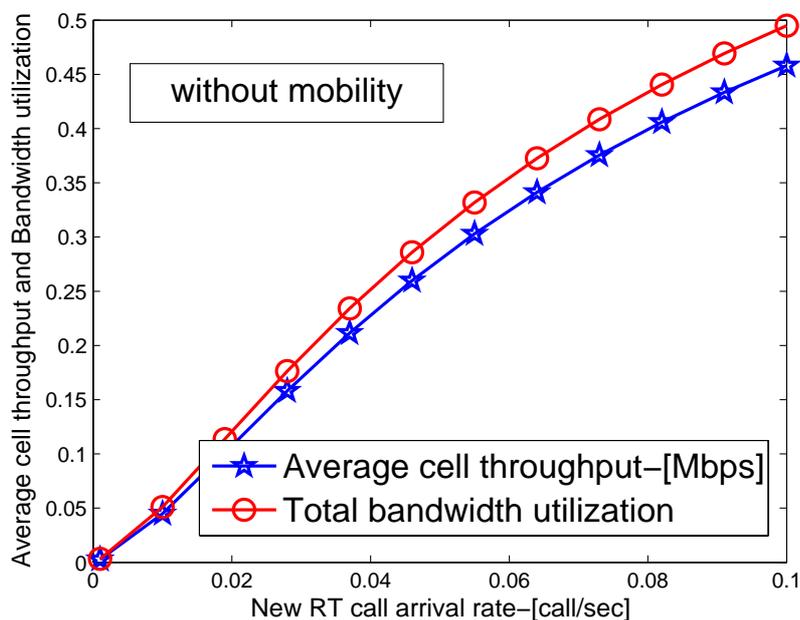


FIGURE 4.4 – Débit total et l'utilisation de la bande passante en fonction du taux d'arrivée d'appels RT pour  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-5}$ .

régions de haute efficacité de modulation moins de ressource que dans les régions de faible efficacité de modulation ou ils exigent plus de ressource. La figure 4.8 représente le débit total en fonction de la bande passante réservée aux appels en migration avec la mobilité inter cellules. Cette figure illustre bien l'impact de l'interférence inter cellules sur les performances du système à savoir le débit total. Ce débit se dégrade avec l'augmentation du facteur d'interférence inter cellules (*F-factor*) même si on laisse plus de ressource pour la gestion d'appels en mobilité. La station de base alloue plus de ressource à un appel afin de compenser l'effet des interférences inter cellules au niveau du récepteur mobile.

Les figures 4.5 à 4.8, nous permettent de conclure que la réservation de ressource  $\Theta_m$  supérieure à 8% ( $\delta > 8\%$ ) devient inutile et ne donne pas de bonne valeurs de performance pour les probabilités de blocage et le débit total. Ainsi la probabilité de perte d'appels RT/NRT en cours est acceptable dans la région  $0\% \leq \delta \leq 8\%$ .

La figure 4.9 représente la probabilité de perte d'appels en cours RT et NRT en fonction de la proportion de la bande passante totale réservée avec les interférences inter cellules (*F-factor*). Ces résultats montrent que l'augmentation du facteur d'interférence implique une diminution du débit total et donc une réduction dans l'espace d'états d'appels. En outre, moins d'appels occuperont toute la bande passante du système quand on considère l'interférence inter cellules. Cette dégradation dans la capacité du système HSDPA confirme le résultat obtenu dans (Viterbi et al., 1994). D'ailleurs, la probabilité de perte d'appels en cours est élevée quand  $\delta$  est dans  $0\% \leq \delta \leq 8\%$  et très faible dans la région  $\delta > 8\%$ . En conséquence, la région  $0\% \leq \delta \leq 8\%$  est un

bon compromis entre les performances du système en termes de probabilité de perte et de blocage, et le débit total. Car, avec cette région, notre mécanisme du CAC permet d'obtenir un débit total acceptable avec moins de perte d'appels en cours et moins de blocage des nouveaux appels RT et NRT. Selon ces résultats, le choix optimal de  $\delta$  ( $\Theta_m$ ) dépend fortement du comportement du trafic que veut obtenir le fournisseur de service en fonction de sa politique de gestion des ressources entre les appels en cours et les nouveaux arrivants.

Nous supposons maintenant que le fournisseur de service réserve  $\Theta_m = 8\%$  de la bande passante totale à la gestion d'appels en mobilité. En outre, la figure 4.10 représente l'utilisation totale de la bande passante occupée par les appels RT/NRT en fonction du taux d'arrivée de nouveaux appels temps réel. Dans cette figure, on remarque l'impact direct du  $F$ -factor sur la façon ou les appels utilisent la bande passante. Pour un taux d'arrivée égale  $0.04$  appel/s, on voit bien que 55% de la bande passante est utilisée quand l'interférence inter cellules est élevée  $F$ -factor=0.15. Par contre, 73% est occupée quand l'interférence est faible  $F$ -factor=0.05, ce qui exploite bien la capacité du système par les appels en cours. En plus, la figure 4.11 compare les probabilités de pertes pour les appels en cours RT et NRT. Les résultats sont illustrés en fonction du taux d'arrivée des nouveaux appels RT. La principale remarque est que notre mécanisme du CAC capable de garder une faible probabilité de perte pour les appels RT et NRT s'il y a moins d'interférence inter cellules.

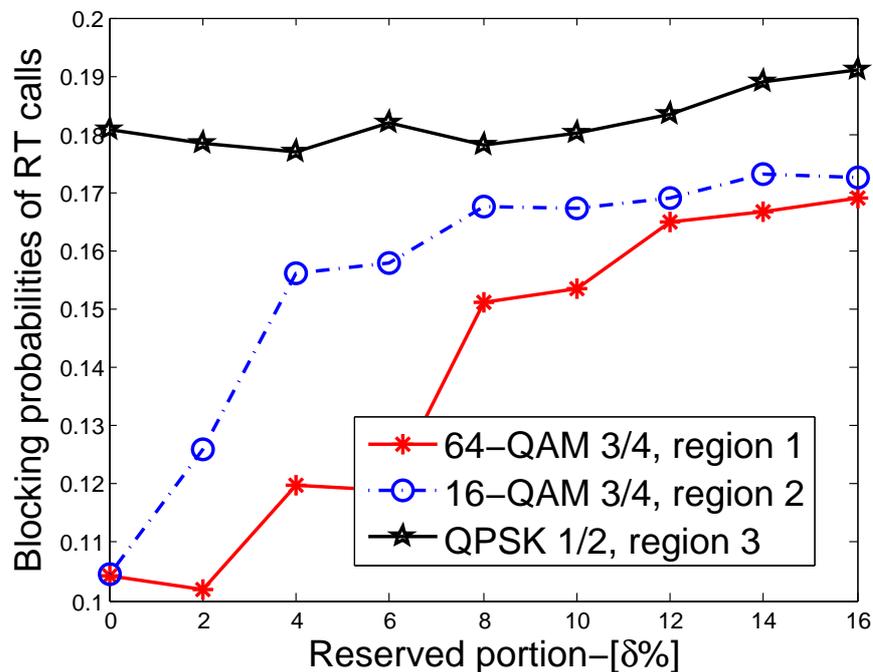


FIGURE 4.5 – Probabilités de blocage d'appels temps réel en fonction de la bande passante réservée aux appels migrant pour  $\lambda_{0,RT}^i = 2 * 10^{-3}$ ,  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-3}$  et  $1/\mu_i^m = 300s$ .

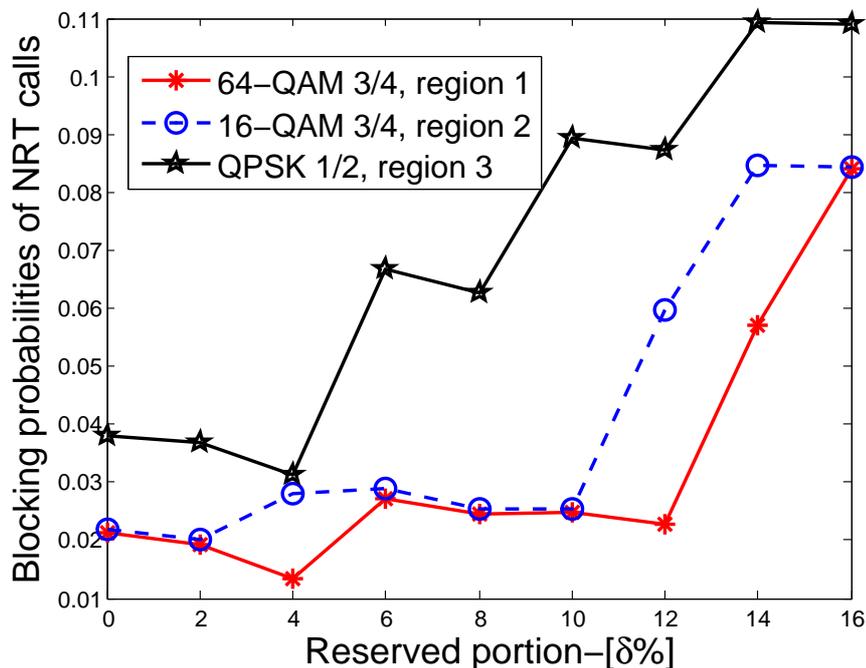


FIGURE 4.6 – Probabilités de blocage d’appels non temps réel en fonction de la bande passante réservée aux appels migrant pour  $\lambda_{0,RT}^i = 2 * 10^{-3}$ ,  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-3}$  et  $1/\mu_i^m = 300s$ .

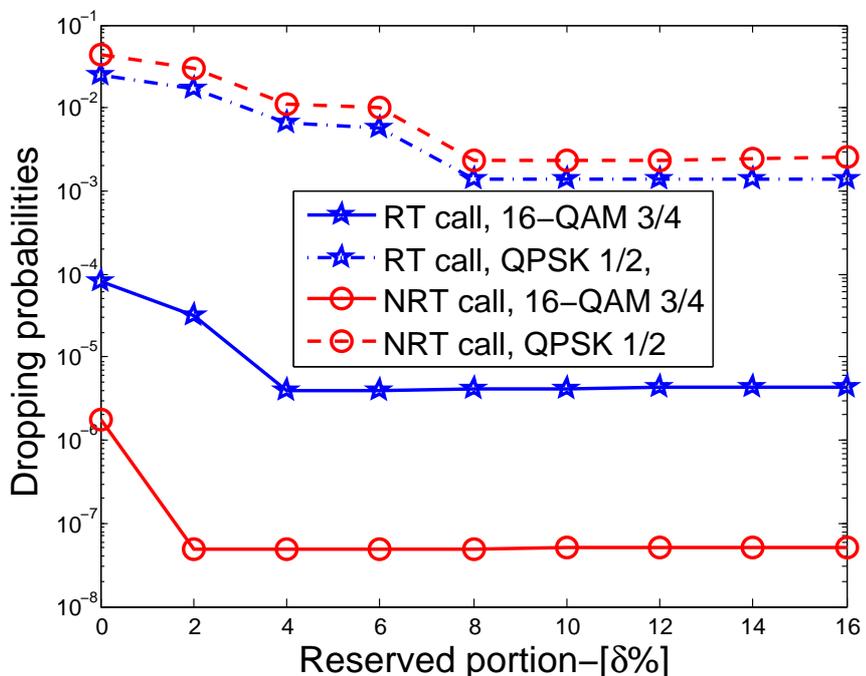


FIGURE 4.7 – Probabilités de perte d’appels temps réel et non temps réel en fonction de la bande passante réservée aux appels migrant pour  $\lambda_{0,RT}^i = 2 * 10^{-3}$ ,  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-3}$  et  $1/\mu_i^m = 300s$ .

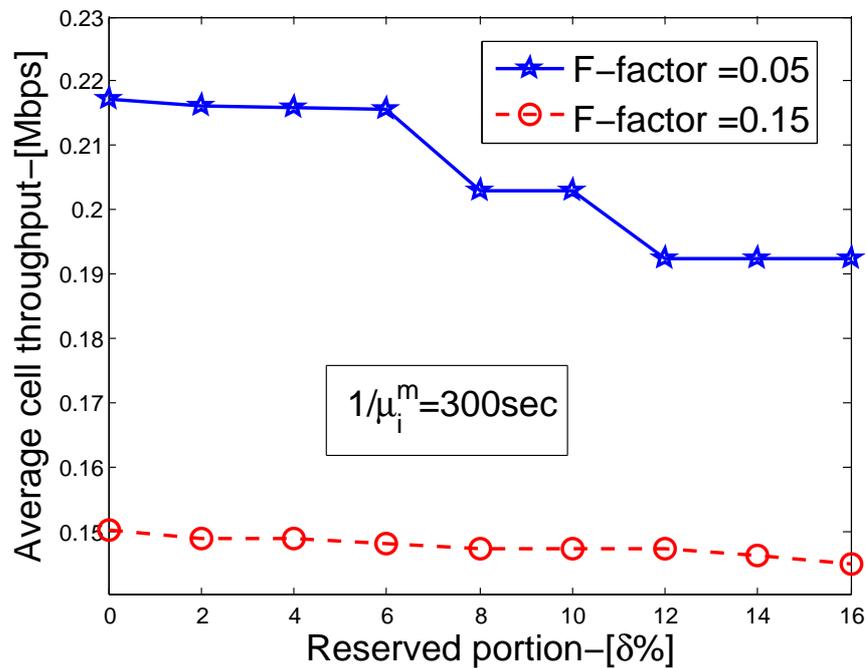


FIGURE 4.8 – Débit total en fonction de la bande passante réservée aux appels migrant pour F-factor,  $\lambda_{0,RT}^i = 2 * 10^{-3}$ ,  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-3}$  et  $1/\mu_i^m = 300\text{s}$ .

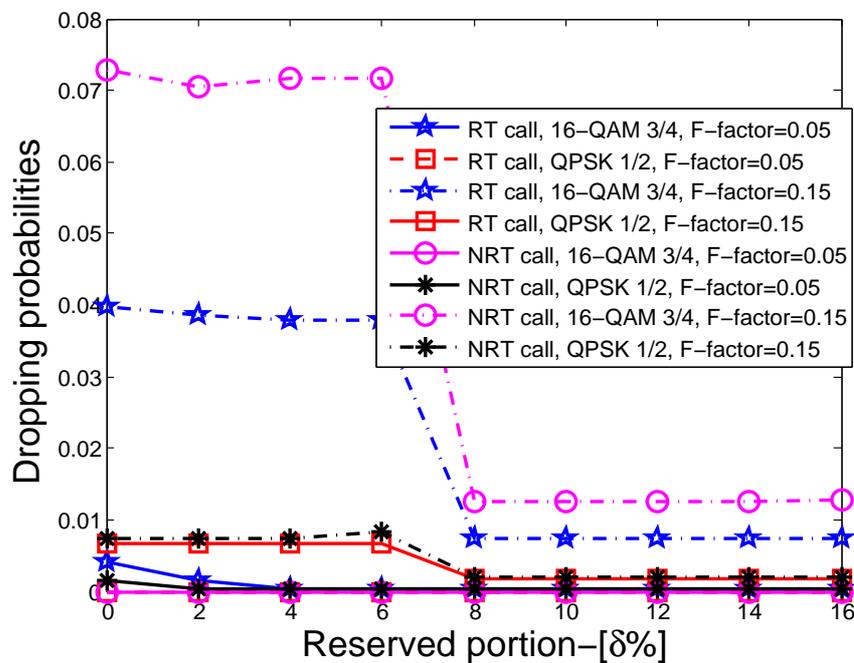


FIGURE 4.9 – Probabilité de perte en fonction de la bande passante réservée aux appels migrant pour F-factor,  $\lambda_{0,RT}^i = 2 * 10^{-3}$ ,  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-3}$  et  $1/\mu_i^m = 300\text{s}$ .

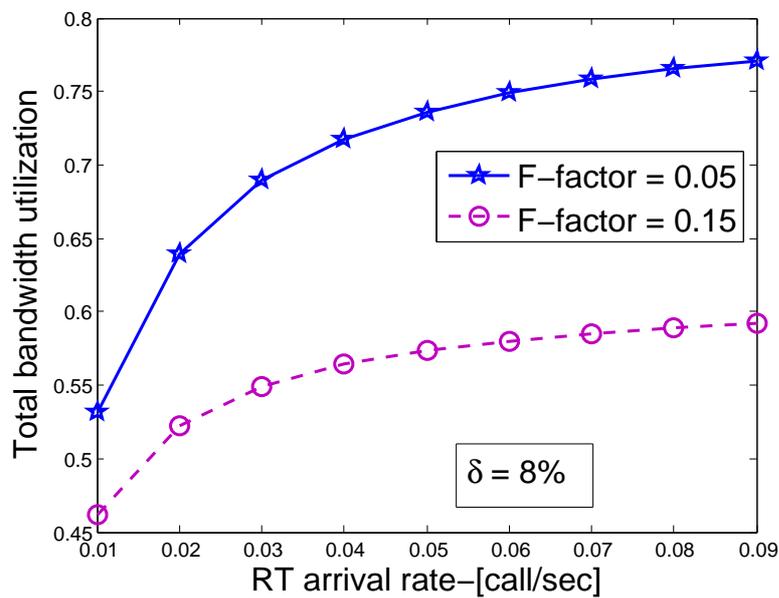


FIGURE 4.10 – Utilisation total de la bande passante en fonction du taux d'arrivée d'appels temps réel pour  $\Theta_m = 0.08$  ( $\delta = 8\%$ ),  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-3}$  et  $1/\mu_i^m = 300s$ .

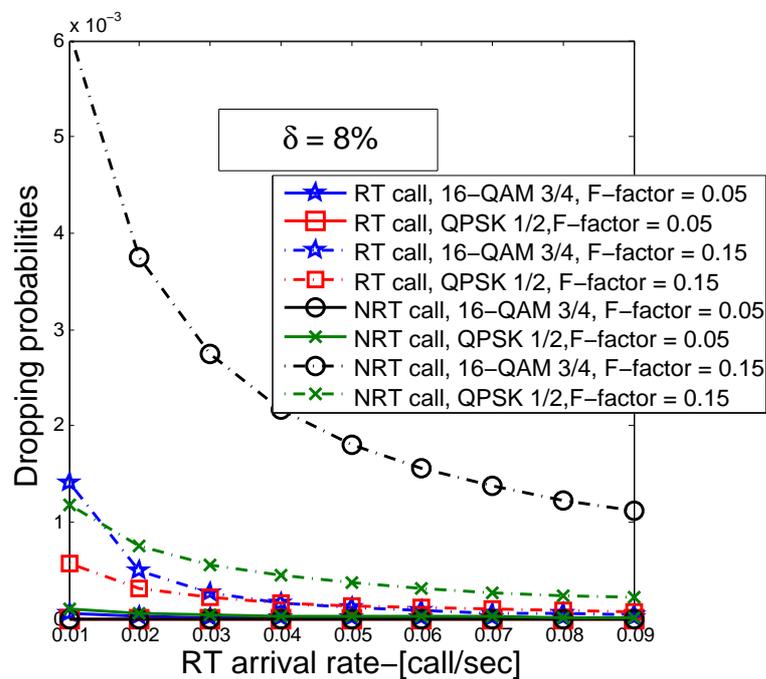


FIGURE 4.11 – Probabilité de perte en fonction du taux d'arrivée d'appels temps réel pour  $\Theta_m = 0.08$  ( $\delta = 8\%$ ),  $\lambda_{0,NRT}^i = 10^{-3}$  et  $1/\mu_i^m = 300s$ .

## 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes focalisés sur l'analyse du système HSDPA comme extension du réseau 3G UMTS, et présentons une approche pour servir les utilisateurs mobiles avec un débit constant quand ils changent leur efficacité de modulation (par exemple, changeant de la haute modulation 64-QAM vers la faible QPSK et vice versa). Dans le réseau à haut débit HSDPA, l'efficacité de modulation change généralement en fonction de la qualité du signal du canal ; c'est à dire, une bonne qualité du signal permet d'affecter à l'utilisateur une haute modulation avec plusieurs bits par symbole et vice versa. Cependant, quand la modulation change de la haute valeur vers la faible, l'utilisateur a un impact négative en termes de dégradation de son débit. Ce problème est traité dans ce chapitre par l'adaptation de la bande passante quand la modulation change et dans le but de maintenir un débit constant de l'utilisateur indépendamment de sa position. Un contrôle d'admission est proposé dans ce travail opérant avec deux classes de services temps réel et non temps réel avec différents scénarios de mobilité des utilisateurs. La cellule est subdivisée en un nombre fini de régions contenant chacune une modulation donnée. Le contrôle d'admission gère les ressources du système prenant en compte la mobilité des utilisateurs entre les régions ainsi qu'entre les cellules. Le contrôle d'admission ne fait aucune priorité entre les appels des classes considérées et par contre, favorise les appels en mobilité sur les nouveaux appels en leurs les réservant certaines ressources. La réservation de ressources dépend de ce que veut faire un fournisseur de service en fonction du trafic (minimiser les probabilités de perte d'appels en cours de communication et le blocage de nouveaux appels). Le fournisseur de service peut changer la valeur réservée à la mobilité des utilisateurs selon les périodes où la mobilité est forte ou faible. Nous avons montré que la mobilité inter cellulaire et l'interférence inter cellules force notre mécanisme du CAC à allouer plus de bande passante aux mobiles pour obtenir un débit constant. Ce qui réduit l'espace d'états possibles du système et donc moins de débit total du système. Ces résultats permettent au fournisseur de service de trouver un compromis entre les performances globales du système comme le débit total et les probabilités de perte et blocage. Comme futur travail, nous pensons à développer un mécanisme du CAC qui donne uniquement la priorité aux appels temps réel alors que les appels non temps réel partageront les ressources qui restent. Ainsi, l'on de traitera différentes classes de mobilité d'utilisateurs (mobilité élevée et réduite) et l'on considèrera le cas du lien montant HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*).

