

## Contrôle d'Admission du Trafic Non Temps Réel dans le réseau multiservices IEEE802.16e

Khalil Ibrahimi<sup>1,2</sup>, Mohamed Baslam<sup>2</sup> & Sihame Elhammani<sup>2</sup>

1 : LIA/CERI, Université d'Avignon, 339 chemin des Meinajariès B.P. 1228, 84911 cedex 9 - Avignon - France

2 : LIMIARF/FSR, Université Mohammed V-Agdal, 4 Avenue Ibn Battouta B.P. 1014 Agdal - Rabat - Maroc

Contacts : khalil.ibrahimi@univ-avignon.fr, baslam.med@gmail.com, sihame.el@hotmail.com

---

### Résumé

Nous développons dans ce papier un nouvel algorithme d'allocation des ressources pour les appels non temps réel (NRT). Cet algorithme de contrôle d'admission, garantit à tous les appels en cours un débit binaire minimum quand la charge du système augmente. La durée moyenne des appels non temps réel dépend de la quantité moyenne à transmettre par l'utilisateur et du débit offert par le système. L'algorithme prend en considération la mobilité intra cellulaire des utilisateurs. Nous modélisons le système IEEE802.16e par une chaîne de Markov à temps continu (Continuous Time Markov Chain, CTMC), et fournissons quelques performances du système qui nous intéressent, telles que le débit total du système et le temps de séjour total des appels en cours.

**Mots-clés :** IEEE802.16e, Contrôle d'Admission, Mobilité, Capacité.

---

### 1. Introduction

Le WiMAX (IEEE802.16) est une technologie principalement utilisée pour les MAN (*Metropolitan Area Network*). Il permet, notamment, aux zones rurales de se doter d'une connexion internet haut débit. L'objectif du Wimax est de fournir une connexion internet à haut débit sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres de rayon. Les débits théoriques du WiMAX sont de 70 Mbits/s avec une portée de 50 kilomètres. En pratique dans le pire des cas, c'est-à-dire en NLOS (*Non Line Of Sight*) le débit atteint 12Mbits/s jusqu'à 4,5 kilomètres. Le WiMAX fonctionne en mode point-multipoint, c'est-à-dire le mode infrastructure que l'on connaît sur le Wifi ou encore le même fonctionnement que les technologies 2G, 3G de téléphonie mobile. Ainsi comme en 2G une station de base nommée BTS (Base Transceiver Station) ou BS (Base Station) émet vers les clients et réceptionne leurs requêtes puis les transmet vers le réseau du fournisseur d'accès.

Dans [2], nous avons introduit une nouvelle définition de la qualité de service (Quality of Service (QoS)) uniquement pour les appels temps réel dans le système IEEE802.16e. Nous nous basons sur la technique de la modulation et du codage adaptatif avec les requêtes d'initialisations et des demandes de la bande passante [5]. La QoS définie ici est de maintenir le débit initial de la connexion quand le mobile change la région ou son efficacité de modulation au sein de la même station de base. Ce qui nous motive à étudier une nouvelle QoS uniquement pour les appels non temps réel dans ce présent travail. Les appels non temps réel partagent équitablement les ressources du système selon le Processor Sharing [1]. Nous proposons un nouvel algorithme de contrôle d'admission pour ces appels afin de leur garantir un débit minimum.

Le reste de ce papier est organisé comme suit. La section 2 présente la description du système. La section 3 expose le modèle. La section 4 présente l'analyse du système. La section 5 donne quelques métriques des performances qui nous intéressent. La section 6 quant à elle, illustre quelques résultats numériques.

## 2. Description du système

### 2.1. Classes de service dans IEEE802.16e

Un des objectifs fondateurs du WiMAX Forum est la recherche de l'interopérabilité : elle est obtenue par les voies de la normalisation et de la certification, et est un des enjeux majeurs du WiMAX. C'est un enjeu d'autant plus important que WiMAX est défini pour une large bande de fréquences, de 2 à 66 GHz, dans laquelle on trouve des technologies existantes, comme le Wi-Fi, qui autorise des débits, des portées et des usages très variés. Cette multiplicité des bandes de fréquences visées, des débits, portées et usages possibles, est d'ailleurs le principal écueil qu'affronte le consommateur final. Le réseau de la 4G vise à obtenir la convergence des réseaux existants comme le Wi-Fi, UMTS, etc. Les services offerts par le WiMAX sont classés selon les paramètres définissant la qualité de service associée à une connexion. Quatre classes de services sont proposées dans le standard IEEE 802.16e [6] : le service à acceptation non-sollicitée (UGS), service temps réel (rtPS), service de transfert de données (nrtPS) et trafic interactif (BE). Deux grandes classes de service ont été considérées durant ce travail : temps réel (RT), correspondant aux classes UGS où rtPS, et non temps réel ou *best effort* (NRT), correspondant aux classes nrtPS et BE. Nous nous intéressons dans ce travail que par l'étude de la QoS pour les appels de la classe NRT.

### 2.2. Sectorisation de cellule IEEE802.16e

Sans perte de généralité, nous considérons uniquement le *path-loss* comme un paramètre de décomposition de la cellule. La cellule IEEE802.16e OFDMA est décomposée en  $r$  régions de même centre. Chaque région correspondant à un intervalle de valeurs de SNR, et donc, à une modulation adaptative et un codage (AMC), comme illustré dans le tableau 1. Soient  $R_i$  ( $i = 1, \dots, r$ ) le rayon de la région  $i$  et  $S_i$  représente la surface correspondante. Dans l'environnement OFDMA, le nombre total  $N$  de porteuses est divisé en  $L$  sous porteuses ou groupes contenant chacun  $k$  fréquences, tel que  $k = \frac{N}{L}$ . Les modulations et les codages utilisés dans une cellule IEEE802.16e en fonction de la valeur du SNR d'un utilisateur sont résumés dans le tableau 1. Les valeurs du SNR dans ce tableau sont données pour un BLER inférieur à  $10^{-6}$  et dépendent du type de modulation comme indiqué par le standard IEEE 802.16e [6]. Ainsi, nous avons les valeurs  $\gamma_1 = 24.4$  dB,  $\gamma_2 = 18.2$  dB,  $\gamma_3 = 9.4$  dB,  $\gamma_4 = 6.4$  dB et  $\gamma_0 = \infty$ .

Modulation	Taux de codage	Valeur du SNR (dB)	Surface (%)
64-QAM	3/4	$[\gamma_1, \gamma_0)$	1.74
16-QAM	3/4	$[\gamma_2, \gamma_1)$	5.14
QPSK	1/2	$[\gamma_3, \gamma_2)$	20.75
BPSK	1/2	$[\gamma_4, \gamma_3)$	39.4

TAB. 1 – AMC selon IEEE802.16e.

## 3. Modèle

### 3.1. Transitions et état d'équilibre

Nous nous basons sur la technique de la chaîne de Markov à temps continu (CTMC) dans notre modèle. Les différents taux de transition dans l'espace des états réalisables définis dans les prochaines sections, sont provoqués par un des événements suivants : un nouvel appel arrivant dans la région  $i$  ; migration d'un appel en cours de communication dans la région  $i$  vers la région  $j$  ; fin de service d'un appel dans la région  $i$ . Les appels débutent et prennent fin indépendamment. En plus, nous prenons en considération durant notre analyse les hypothèses :

1. Le processus d'arrivée de nouveaux appels dans la région  $i$  suit la loi de Poisson de paramètre  $\lambda_i^0$  ;
2. Le temps de service d'un appel dans la région  $i$  est exponentiellement distribué avec un moyen  $1/\mu^i$  ;
3. Le temps moyen de pause ou de séjour d'un appel dans la région  $i$  est exponentiellement distribué avec un moyen  $1/\mu_m^i$  ;
4. Le taux d'arrivée moyen d'un appel migrant de la région  $i$  vers la région  $j$  est  $\lambda^{i,j}$ .

Soit  $n^i(t)$  le nombre d'appels de classe- $c$  à l'instant  $t$  dans la région  $i$ . Nous définissons l'état du système à l'instant  $t$  par :  $\vec{n}(t) \triangleq (n^1(t), \dots, n^r(t))$ . Ensuite, nous modélisons le processus  $\{\vec{n}(t), t > 0\}$  par une chaîne de Markov qui correspond au processus quasi de naissance et de mort. La distribution d'états d'équilibre du système est unique et nous avons :

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

### 3.2. Direction de la mobilité

La probabilité qu'un mobile dans la région  $j$  termine sa connexion dans une autre région est donnée par [4] :

$$\phi_j^h = \frac{\mu_j^m}{\mu_j^m + \mu^i}. \quad (1)$$

Notre objectif ici est d'estimer la région suivante d'un mobile avant qu'il termine sa communication. Pour cela et sans perte de la généralité, nous considérons le SNR comme une variable aléatoire distribuée selon la distribution de Nakagami- $m$  dont la fonction de densité de probabilité est

$$f_\gamma(\gamma) = \frac{m^m \gamma^{m-1}}{\bar{\gamma}^m \Gamma(m)} \exp(-m \frac{\gamma}{\bar{\gamma}}), \quad (2)$$

où  $\bar{\gamma}$  est la valeur moyenne reçue du SNR ;  $m$  est le paramètre du *fading* Nakagami ( $m \geq 1/2$ ) ;  $\Gamma$  est la fonction Gamma de la forme

$$\Gamma(m) = \int_0^\infty x^{m-1} \exp(-x) dx.$$

Soient  $\epsilon$  un nombre très petit et strictement positif et  $\psi_{i,j}$  la probabilité que le mobile dans la région  $i$  ( $i = 1, \dots, r$ ) parte vers la région  $j = i \pm 1$  (ou bien vers une autre cellule) avant qu'il termine son service. Cette probabilité est donnée par :

$$\begin{aligned} \psi_{i,i-1} &= \Pr(\gamma \in [\gamma_{i-1} - \epsilon, \gamma_{i-1}]) \\ &= \int_{\gamma_{i-1} - \epsilon}^{\gamma_{i-1}} f_\gamma(\gamma) d\gamma, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \psi_{i,i+1} &= \Pr(\gamma \in [\gamma_i, \gamma_i + \epsilon]) \\ &= \int_{\gamma_i}^{\gamma_i + \epsilon} f_\gamma(\gamma) d\gamma. \end{aligned} \quad (4)$$

Nous rappelons que

$$\int_a^b f_\gamma(\gamma) d\gamma = \frac{\Gamma(m, \frac{ma}{\bar{\gamma}}) - \Gamma(m, \frac{mb}{\bar{\gamma}})}{\Gamma(m)},$$

où  $\Gamma(m, y)$  est une fonction complémentaire et incomplète de la fonction Gamma dont la forme est

$$\Gamma(m, y) = \int_y^\infty x^{m-1} \exp(-x) dx.$$

## 4. Analyse du système

### 4.1. Capacité et taux binaires

Nous nous intéressons par la capacité restante aux appels non temps réel laissée par ceux en temps réel. Les appels temps réel occupent la capacité notée  $L_o$ . Alors nous avons

$$L_R = L - L_o. \quad (5)$$

Pour l'état  $\vec{n}$  du système, les ressources occupées par chaque appel non temps réel à cet état sont

$$L^i(\vec{n}) = \left| \frac{L_R}{\sum_j^r n_j} \right|.$$

En plus, nous définissons le débit binaire instantané pour un appel situé dans la région  $i$  par [7] :

$$R^i(\vec{n}) = L^i(\vec{n}) \times k \times B \times e_i \times (1 - BLER_i), \quad (6)$$

où  $k$  est le nombre des fréquences assignées à chaque sous porteuses de transmission des données,  $B$  le débit en symbole (nombre de symboles par seconde),  $e_i$  l'efficacité de modulation (en nombre de bit par symbole),  $BLER_i$  correspond au taux d'erreur bloc (BLER) d'une région  $i$  et  $L^i(n)$  est le nombre de porteuses assignées pour l'appel quand le nombre d'appels dans le système est  $n$  selon le processus de partage équitable. Par conséquent, la durée moyenne d'un appel non temps réel est déterminée en fonction de l'état du système et de la quantité moyenne à transmettre  $E(\text{Pay})$  par le mobile dans la région  $i$  comme suit

$$\frac{1}{\mu^i} = \frac{E(\text{Pay})}{R^i(\vec{n})}.$$

#### 4.2. Stratégie de contrôle d'admission

Les appels non temps réel demandent un débit minimum à garantir par le système. Ce débit est noté par  $d_{\min}$  et exige une bande passante dont la valeur varie en fonction de la région. La bande passante qui garantit ce débit est définie par

$$L_{\min} = \max_{1 \leq i \leq r} \left( \frac{d_{\min}}{k \times B \times e_i \times (1 - BLER_i)} \right).$$

Les appels qui progressent dans le système partagent équitablement la bande passante  $L_R$ . Un nouvel appel est accepté quand le débit offert par le système est supérieur ou égale au débit minimum. Cela veut dire que le système refuse ou bloque une nouvelle connexion si le nouveau débit devient inférieur à  $d_{\min}$  (c'est à dire  $L^i(\vec{n}) < L_{\min}$ ). Le système d'états est défini par

$$\mathbb{F} = \{\vec{n} \in \mathbb{N}^r \mid \sum_{i=1}^r n^i L^i(\vec{n}) \leq L_R\}. \quad (7)$$

Par la suite nous avons besoin de la fonction indicatrice suivante

$$\delta(X) = \begin{cases} 1, & \text{si } X \text{ est vraie;} \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

#### 4.3. Matrice des taux des transitions

Les taux des transitions possibles du système à partir de l'état  $\vec{n}$  vers d'autres états sont obtenus comme suit. Soit  $\vec{n}_{i+}$  l'état du système quand un nouvel appel est arrivée dans la région  $i$  en notant le taux de transition correspondant par  $q(\vec{n}, \vec{n}_{i+})$ . Soit  $\vec{n}_{i-}$  l'état déclenché quand un appel dans la région  $i$  termine son service ou bien change sa modulation (région) et notons le taux de transition associé par  $q(\vec{n}, \vec{n}_{i-})$ . Soit  $\vec{n}_{i,j}$  ( $j = i \pm 1$ ) un état correspondant au déplacement d'un appel dans la région  $i$  vers la région voisine, et notons le taux de transition par  $q(\vec{n}, \vec{n}_{i,j})$ . En conséquent, nous formulons les taux des transitions possibles comme suit

$$\begin{aligned} q(\vec{n}, \vec{n}_{i+}) &= \delta(L^i(\vec{n}) \geq L_{\min}) \lambda_i^0, \\ q(\vec{n}, \vec{n}_{i,j}) &= \delta(L^i(\vec{n}) \geq L_{\min}) \lambda_i^{i,j}, \\ q(\vec{n}, \vec{n}_{i-}) &= n^i (\mu^i + \mu_i^m), \end{aligned}$$

Une fois nous avons défini les transitions possibles du système, nous construisons la matrice de transition notée  $Q$ . Nous avons la relation  $Q = (q(\vec{n}, \vec{n}'))$  pour tout  $\vec{n} \in \mathbb{F}$  et  $\vec{n}' \in \mathbb{F}$ . Le taux de transition de l'état  $\vec{n}$  à  $\vec{n}'$  est noté par  $q(\vec{n}, \vec{n}')$ . Ce taux devrait être calculé sachant que la somme de tous les termes de chaque ligne dans la matrice  $Q$  et pour toutes les régions  $i = 1, \dots, r$  et toutes les classes soit nulle.

Soient  $\pi(\vec{n})$  la probabilité d'état d'équilibre du système à l'état  $\vec{n}$  ( $\vec{n} \in \mathbb{F}$ ) et  $\vec{\pi}$  le vecteur des probabilités d'équilibres de la forme  $\vec{\pi} = \{\pi(\vec{n}) \mid \vec{n} \in \mathbb{F}\}$ . Ce vecteur est donné en résolvant le système suivant

$$\vec{\pi} Q = \vec{0}, \quad (8)$$

$$\vec{\pi} \vec{1} = 1. \quad (9)$$

où  $\vec{1}$  est un vecteur colonne des uns et  $\vec{0}$  un vecteur ligne des zéros.

#### 4.4. Calcul des taux de migrations

Pour calculer la distribution stationnaire citée ci-dessus, nous avons besoin de connaître les taux des migrations  $\lambda^{i,j}$ . Mais, cette distribution  $\pi(\vec{n})$  est utilisée pour obtenir les taux des migrations et donc l'un dépend de l'autre. Alors, nous résolvons ce problème par un calcul itératif en commençant par des valeurs initiales des taux migrations.

**Etape 1 :** Initialiser les taux de migrations

$$\lambda_{old}^{i,j} = 0. \quad (10)$$

**Etape 2 :** Calculer la distribution de probabilités  $\vec{\pi}$  en résolvant les équations (8) et (9).

**Etape 3 :** Dédire les nouveaux valeurs des taux des migrations  $\lambda_{new}^{i,j}$ ,  $j = i \pm 1$  par :

$$\lambda_{new}^{i,j} = \psi_{i,j} \mu_j^m \sum_{\vec{n} \in \mathbb{F}} \phi_j^h n^j \pi(\vec{n}). \quad (11)$$

**Etape 4 :** Vérifier la convergence entre les nouveaux et les anciens taux des migrations

$$|\lambda_{new}^{i,j} - \lambda_{old}^{i,j}| < \xi,$$

où  $\xi$  est un nombre très petit et strictement positif, alors les nouveaux taux des migrations 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.

### 5. Evaluation des performances

Après avoir trouvé la distribution stationnaire, nous fournissons dans cette partie des métriques de performance intéressantes : débit total du système et temps de séjour.

#### 5.1. Débit total moyen de la cellule

Le débit total moyen du système est calculé en balayant tous les états possibles du système

$$Th = \sum_{\vec{n} \in \mathbb{F}} \pi(\vec{n}) \sum_{i=1}^r n^i R^i(\vec{n}). \quad (12)$$

#### 5.2. Probabilité de blocage

La probabilité de blocage totale est donnée par

$$Pb = \sum_{i=1}^r \lambda_i^0 \sum_{\vec{n} \in \mathbb{F}_i} \pi(\vec{n}), \quad (13)$$

où

$$\mathbb{F}_i = \{\vec{n} \in \mathbb{F} \mid \sum_{i=1}^r n^i L^i(\vec{n}) + L^i(\vec{n}) > L_R\}.$$

#### 5.3. Temps de séjour total des appels

Le temps moyen de séjour des appels dans le système est donné par la formule de Little comme suit

$$T = \frac{\sum_{\vec{n} \in \mathbb{F}} \sum_{i=1}^r n^i \pi(\vec{n})}{\sum_{i=1}^r \lambda_i^0}. \quad (14)$$

### 6. Applications numériques

Dans cette partie nous fournissons quelques résultats numériques concernant l'impact de nos algorithmes cités auparavant. Durant cette analyse nous considérons les paramètres suivants. La cellule OFDMA IEEE802.16e est décomposée en deux régions concentriques ( $r = 2$ ) dont les

rayons sont  $R_1 = 300\text{m}$  et  $R_2 = 600\text{m}$ . Les modulations de ces régions sont 16-QAM 3/4 ( $e_1=3$  bits/symbole) et QPSK 1/2 ( $e_2=1$  bit/symbole) [3]. La vitesse de modulation en baud est  $B = 2666$  symboles/sec, taux d'erreur bloc  $\text{BLER}_i = 0$  et le nombre de fréquences est  $k = 48$ . La capacité restante  $L_R$  est de 10 porteuses. Le temps moyen passé dans une région est de 300 sec. Ce dernier correspond à des utilisateurs déplaçant à la vitesse de 5 Km/h. La taille moyenne d'un fichier de téléchargement  $E(\text{Pay})$  est de 5 Mbits. La valeur du paramètre du *fading* Nakagami  $m$  est de 1 et la valeur moyenne du SNR  $\bar{\gamma}$  est de 18 dB.

FIG. 1 représente le temps de séjour moyen des appels dans la cellule pour les deux *burst profile* (modulations 16 QAM et QPSK). Ces résultats sont exprimés en fonction des taux d'arrivées des nouveaux appels pour deux types des débits minimums : celui faible et celui élevé. Comme prévu durant notre analyse théorique, le temps de séjour total augmente avec le taux d'arrivée. D'ailleurs, une différence appréciable existe entre les deux débits minimums garantis par notre algorithme du CAC quand le taux des arrivées est supérieur à 0.8 appels/sec. Ceci est dû à la bande passante demandée par appel, un appel avec le débit minimum de 60 kbps occupe plus de bande passante dans notre environnement numérique et donc moins d'appels occuperont le système ce qui montre que le temps de séjour total devient stable au delà de 0.8 appels/sec. Par contre, dans le cas du débit minimum de 10 kbps où les appels exigent moins de bande passante ce qui montre que notre CAC accepte plus d'appels. D'où, les appels resteront plus longtemps dans le système.

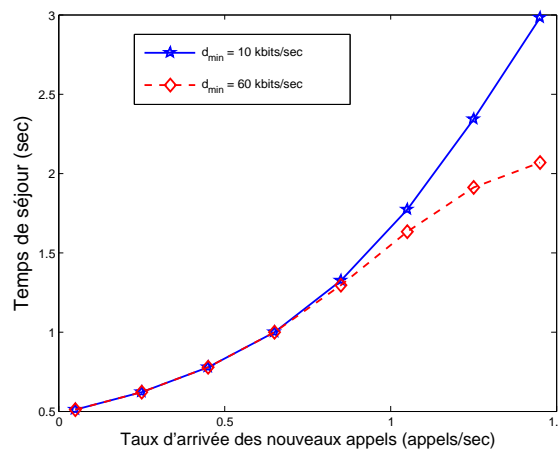


FIG. 1 – Le temps de séjour des appels en fonction des taux d'arrivées des nouveaux appels.

FIG. 2, représente une autre métrique importante de performance appelée débit total moyen du système. Les résultats trouvés sont exposés en fonction du taux d'arrivée des nouveaux appels pour deux types de débit minimum 60 et 10 kbps. Nous constatons dans cette figure que le débit augmente avec le taux d'arrivée et devient légèrement stable due au fait que tous les appels ont le débit minimum proposé par notre algorithme du CAC.

FIG. 3 quant à elle, expose la probabilité de blocage totale des appels dans la cellule. Les résultats obtenus sont représentés en fonction des taux des nouveaux arrivées pour les deux débits minimums assurés par notre algorithme du CAC. Pour les deux cas, nous remarquons qu'il y a une faible probabilité de blocage pour des faibles taux d'arrivées. Cependant, une différence remarquable est apparue pour les grandes valeurs des taux d'arrivées. Pour avoir un débit de 60 kbits/sec, il faut plus de bande passante en comparaison avec le débit de 10 kbits/sec, ce qui montre qu'il y a une forte probabilité de blocage pour le débit de 60 kbits/sec.

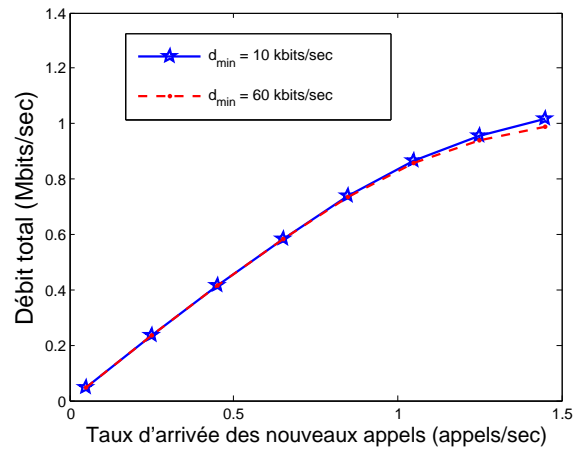


FIG. 2 – Le débit total moyen en fonction des taux d'arrivées des nouveaux appels.

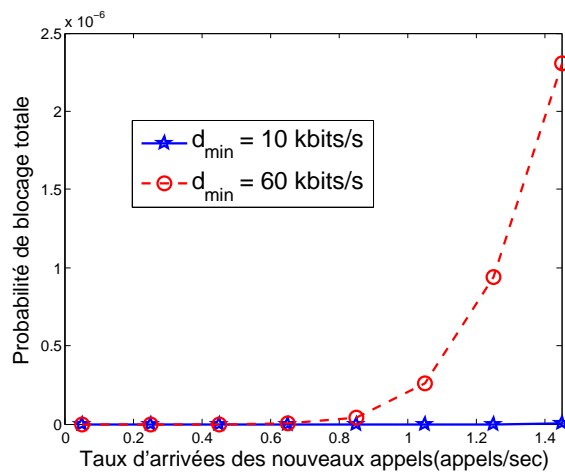


FIG. 3 – Probabilité de blocage en fonction des taux d'arrivées des nouveaux appels.

## 7. Conclusion

Nous avons proposé un algorithme de contrôle d'admission ou stratégie de gestion de QoS dans le système IEEE802.16e. Les appels non temps réel ou *data* dans ce travail partagent les ressources du système selon le processus de partage équitable (Processor Sharing). Notre algorithme du CAC garantit une QoS minimum aux appels data en terme d'un débit minimum. Nous modélisons notre système par une chaîne de Markov à temps continue pour trouver la distribution stationnaire du système. Nous avons pu voir à partir des résultats numériques l'impact de ces deux stratégies sur les performances du système.

## Bibliographie

1. N. Benameur, S. Ben Fredj, F. Delcoigne, S. Oueslati-boulahia, J. W. Roberts, France Telecom R, et Issy Les Moulineaux. Integrated admission control for streaming and elastic traffic. In *Quality of Future Internet Services, Lecture Notes in Computer Science 2156*. Springer, 2001.
2. T. Peyre, K. Ibrahimi, et R. El-Azouzi. Ieee802.16 multi-class capacity including amc scheme and qos differentiation for initial and bandwidth request ranging. Valuetools, October, 20-24, Athens, Greece, 2008.
3. G.B.Giannakis Q.Liu, S.Zhou. Queuing with adaptive modulation and coding over wireless links : Cross-layer analysis and design. In *IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS*, pages vol.4, NO.3, May 2005.
4. G. Schiraldi. Gestione : Spettrale in reti di comunicazioni radiomobili. Politecnico di Bari - Dr. Eng. Degree Thesis (in Italian), 1995.
5. H. H. Seo, B. H. Ryu, E. S. Hwang, C. H. Cho, et N. W. Lee. A study of code partitioning scheme of efficient random access in ofdma-cdma ranging subsystem. In *JCCI 2004*, page 262, April 2004.
6. IEEE Standard. Ieee standard for local and metropolitan area networks, part 16 : Air interface for fixed broadband wireless access systems, April 2002.
7. C. Tarhini et T. Chahed. On capacity of ofdma-based ieee802.16 wimax including adaptative modulation and coding and inter-cell intereference. LANMAN'2007, Princeton NJ, June 2007.