Modèle analytique du mécanisme partial buffer sharing pour des arrivées de paquets de taille variable

S.HAMMA[a] T.ATMACA[a]
P.PECKA[b] T.CZACHORSKI[b]

[a]Institut National des Télécommunications
9 Rue Charles Fourier 91011 Evry Cedex
&
Université de Paris VI, Laboratoire MASI, 4 Place Jussieu 75005 Paris

[b]IITIS PAN Gliwice Poland

Résumé

Dans le but de contrôler et de gérer le problème de congestion dans les réseaux haut débit en général et les réseaux Frame Relay (FR) en particulier, des mécanismes à rejets sélectifs ont été proposé dans la littérature pour des unités de données de taille fixe. Dans ce rapport, nous proposons premièrement, un modèle markovien du mécanisme Partial Buffer Sharing (PBS) pour des unités de données de taille variable. Une étude de performance de la file $M^{(1)}+M^{(2)}$/D/1/N avec mécanisme PBS est ensuite présenté montrant les bonnes performances de celui ci comparé à ceux de la file $M^{(1)}+M^{(2)}$/D/1/N sans mécanisme PBS. Le choix des paramètres du modèle est également discuté dans ce rapport.

Mots clés : partial buffer sharing, performances, chaine de Markov, simulation, Frame Relay

Abstract

In order to control and manage the high speed networks congestion phenomena in general and Frame Relay (FR) congestion problem in particular, priority-based mechanisms are proposed in the litterature for fixed length data units. In this report, we have proposed a markovian model related to Partial Buffer Sharing (PBS) mechanism for variable length data units. The thorough performance evaluation for $M^{(1)}+M^{(2)}$/D/1/N with PBS mechanism queue has been conducted. We have shown the best performance of this mechanism compared with those of $M^{(1)}+M^{(2)}$/D/1/N without PBS mechanism queue. We have also discussed the parameters model choice.

Keywords : partial buffer sharing, performances, Markov chain, simulation, Frame Relay

Table des matières

1 Introduction

Dans les réseaux à haut débit en général et les réseaux FR en particulier, les données transmises peuvent émaner de différentes applications. Chacune d'elles peut demander une qualité de service différente. Pour les réseaux FR la qualité de service offerte a fait l'objet de plusieurs discussions au sein des groupes de travail du Frame Relay Forum. Le contrat de garantie de qualité de service est négocié à la connexion. Le débit moyen garanti noté CIR (Commited Information Rate) est le paramètre de base de la qualité de service à offrir en association au paramètre noté B_c (Commited Burst). C'est un paramètre qui défini le nombre maximum de bits que le réseau garanti pendant un intervalle de temps T_c (Measurement Interval). La relation reliant les trois paramètres est $CIR = B_c/T_c$. De façon analogique, il existe des paramètres qualifiant le trafic excédentaire. La quantité moyenne d'informations acceptable au delà du CIR est noté EIR (Excess Information Rate). Aussi, le nombre maximum de bits que le réseau peut transférer au delà B_c est noté B_e (Excess Burst). La relation reliant les deux paramètres est $EIR = B_e/T_c$. Lorsque la quantité d'information est garantie, le bit DE associé aux différentes trames est marqué 0. A l'inverse lorsque le trafic est excédentaire, le bit DE associé aux trames est marqué 1 [5, 8, 9, 13, 16]. Afin de parer à des problèmes de congestion dans le réseau , différents mécanismes de rejets sélectifs ont été proposés dans la littérature [2, 3, 4, 10, 11]. Il permettent la distinction entre deux classes de trafic : la classe 1 et la classe 2. La classe 1 regroupe toutes les trames prioritaires (marquées 0) et la classe 2 regroupe toutes les trames dites non prioritaires (marquées 1). Dans ce rapport, nous nous intéressons particulièrement au mécanisme Partial Buffer Sharing (PBS) implanté dans un commutateur FR.
Ce rapport est organisé en 5 principaux chapitres. Le second chapitre donne le but principal de cette étude dont le modèle est décrit au chapitre 3. C'est un modèle relatif aux arrivées poissonniennes des trames de longueur variable. Le chapitre 4 est consacré à la description du modèle markovien proposé pour le mécanisme PBS. Une évaluation des performances du modèle est présentée dans le chapitre 5. Nous avons étudié, en particulier, la distribution des blocs constituant les trames de données, la probabilité de perte des trames en fonction de différents paramètres du modèle tels que la taille de la file du commutateur, la charge offerte et le seuil choisi pour PBS. En conclusion, nous résumons l'ensemble de l'étude et les principaux résultats obtenus.

2 But de l'étude

L'étude présentée dans ce rapport concerne le mécanisme Partial Buffer Sharing (PBS). Ce mécanisme éjecte en priorité les trames de classe 2. Ce type de trames peut représenter soit un trafic excédentaire soit un trafic émanant d'une application moins prioritaire que sa concurrente.
Le but principal de cette étude est l'analyse de performances d'un commutateur FR dans lequel est implanté PBS comparé à celui dans lequel PBS n'est pas implanté. De plus, nous déterminons et discutons le choix de la taille du buffer du commutateur ainsi que la valeur

du seuil de PBS afin de définir des marges de manoeuvre possible pour offrir les meilleures performances.

3 Description du modèle

Le modèle du Partial Buffer Sharing étudié est décrit par la figure 1. Il est composé d'une seule file d'attente pouvant contenir deux types de trafic. Chaque classe est représentée par un ensemble de 8 sources. Chaque source S_i^k génère des trames de longueur i blocs { i=1 ... 8 } de classe k { k=1,2 }. Le temps de service S correspond à celui d'un bloc. L'accès des trames à la file d'attente de capacité limitée est gérée par le mécanisme PBS. En effet, la file est divisée en deux parties, Une première partie N_2 partageable par les deux types de trafic classe 1 (prioritaire) et classe 2 (non prioritaire). La seconde partie N_1 n'est accessible que par les trames de classe 1. De ce fait, les trames de classe 2 ne peuvent accéder à la file que s'il y a moins de $N_2 - i$ blocs qui occupent déjà celle-ci, alors que les trames de classe 1 peuvent occuper la totalité de la file (à condition que moins de $N - i$ blocs soit occupés).
Ainsi, le modèle étudié est une file $M^{(1)} + M^{(2)}$/D/1/N avec mécanisme PBS. Les arrivées sont supposées poissonniennes et les sources génèrent des trames de longueur variables variant de 1K et 8K octets. Les taux d'arrivées sont notés $\lambda_i^{(1)}$ pour la classe 1 et $\lambda_i^{(2)}$ pour la classe 2 { i=1 ... 8 }. Le temps de service est déterministe approximé par une loi d'Erlang d'ordre 10 i.e, service d'un bloc de 1024 octets.
La charge offerte par le trafic de classe 1 $\rho^{(1)}$ respectivement de classe 2 $\rho^{(2)}$ est donné par les formules suivantes :

$$\rho^{(1)} = \sum_{i=1}^{nmax} i \times \lambda_i^{(1)} \times S$$
$$\rho^{(2)} = \sum_{i=1}^{nmax} i \times \lambda_i^{(2)} \times S$$

La charge globale ρ est donné par :

$$\rho = \rho^{(1)} + \rho^{(2)}$$

La probabilité de perte des trames de classe 1 $L_i^{(1)}$ respectivement de classe 2 $L_i^{(2)}$ est :

$$L_i^{(1)} = \sum_{j=N-i+1}^{N} p_j$$
$$L_i^{(2)} = \sum_{j=N_2-i+1}^{N} p_j$$

où p_j est la distribution des blocs des trames tous types confondus. Cette distribution est calculée à partir des probabilités stationnaires.

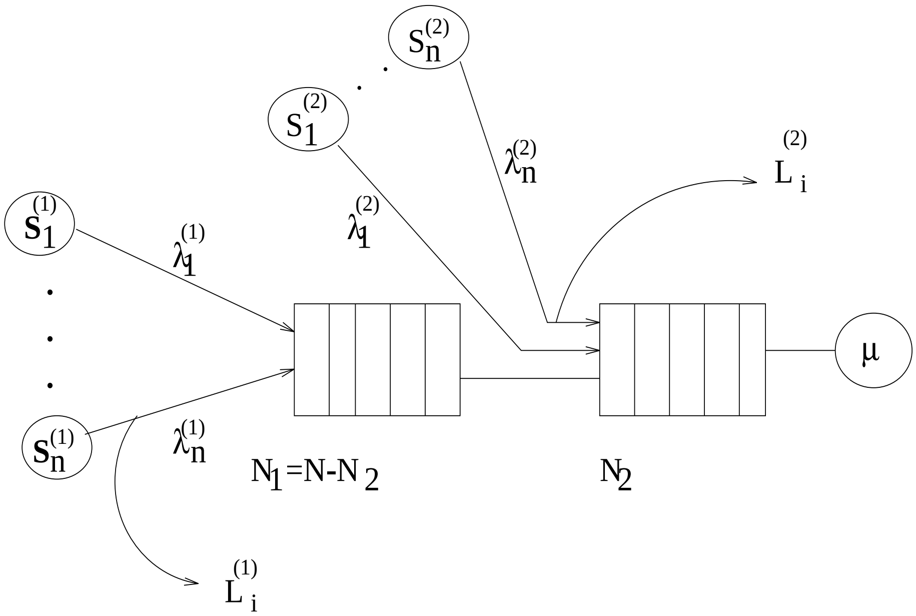

FIG. 1 – *Modèle du commutateur avec mécanisme Partial buffer sharing*

4 Modèle Markovien

4.1 Description

Le modèle décrit précédemment est modélisé par une chaîne de Markov notée $X_j = (Q_j^1, Q_j^2, \phi)$ où Q_j^i est le nombre de blocs des trames de classe i à l'instant t_j et ϕ est la phase d'Erlang. Les états de la chaîne de Markov sont représentés par le vecteur (n_1, n_2, r) où :

n_1 est le nombre de blocs appartenant aux trames de classe 1
n_2 est le nombre de blocs appartenant aux trames de classe 2
r est la phase d'Erlang

La probabilité stationnaire de X_j noté $\Pi_{n_1,n_2,r}$ est donné par la formule suivante :

$$\Pi_{n_1,n_2,r} = \lim_{j\to\infty} Pr(X_j = (n_1, n_2, r))$$

4.2 Approximation

Le modèle markovien présenté est une approximation du modèle étudié pour deux principales raisons :

1. Le vecteur (n_1, n_2, r) ne fournit pas une information complète notamment pour déterminer de façon précise la transition depuis les états (n_1, n_2, R). En effet, pour définir la transition depuis cet état, nous avons besoin de savoir avec exactitude la

classe du bloc qui se fait servir afin de décrémenter soit le nombre de blocs de classe 1 (n_1) ou celui de la classe 2 (n_2). Nous avons donc pris en considération deux possibilités moyennant une pondération. La transition de l'état (n_1, n_2, R) vers l'état $(n_1 - 1, n_2, 1)$ se fait en pondérant le taux de service pour une phase μ_r par la probabilité $n_1/(n_1+n_2)$. De même, la transition de l'état (n_1, n_2, R) vers l'état $(n_1, n_2-1, 1)$ se fait en pondérant μ_r par la probabilité $n_2/(n_1 + n_2)$.

2. Le temps de service constant (service déterministe) en simulation est approximé dans le modèle markovien par une loi de distribution d'Erlang de rang 10 (E_{10}). Ce temps correspond au temps de service d'un bloc.

5 Evaluation de performances du modèle

Après avoir généré la matrice de transition relative à la chaîne de Markov décrivant le système étudié, nous avons calculé les probabilités stationnaires à l'aide de la méthode d'Arnoldi [1, 15]. Le nombre d'états de notre chaîne de Markov est donné par l'équation suivante :

$$\frac{(2N - N_2)(N_2 + 1)R}{2} + N_2 R + 1$$

Le modèle de simulation a été développé en langage QNAP2 [14]. Notons que la valeur particulière de $N_2 = N$ correspond au modèle sans priorité et c'est typiquement le modèle correspondant à une file $M/D/1/N$.
Les valeurs numériques considérées dans cette étude sont les suivants :

- le débit du réseau $= 2 Mbytes/s$
- taille du bloc $= 1024 octets$
- temps de transmission d'un bloc $= 0.5 ms$
- taux de service $\mu = 2$
- taux de service relative à une phase d'Erlang $\mu_r = 20 \quad \{r = 1, 2 \dots 10\}$
- taille du buffer $N = 50$

- les débits des sources mesuré en blocs/ms sont des facteurs de 64Kb/s. La valeur de $\lambda_1^{(1)} = \lambda_1^{(2)} = 0.192 blocs/ms$ est l'équivalent de $3 \times 64Kb/s$:

$$\begin{aligned}
\lambda_1^{(1)} &= \lambda_1^{(2)} = 0.192, & \lambda_5^{(1)} &= \lambda_5^{(2)} = 0.013,\\
\lambda_2^{(1)} &= \lambda_2^{(2)} = 0.096, & \lambda_6^{(1)} &= \lambda_6^{(2)} = 0.010,\\
\lambda_3^{(1)} &= \lambda_3^{(2)} = 0.043, & \lambda_7^{(1)} &= \lambda_7^{(2)} = 0.009,\\
\lambda_4^{(1)} &= \lambda_4^{(2)} = 0.032, & \lambda_8^{(1)} &= \lambda_8^{(2)} = 0.008.
\end{aligned}$$

5.1 La distribution des blocs de trames

Comme nous l'avons annoncé auparavant, nous étudions dans ce paragraphe les probabilités stationnaires pour chaque type de classe. Nous avons représenté dans les figures 2,3,4 les résultats issus du modèle markovien et ceux issus des simulations et ce, respectivement pour $N_2 = 20, 25, 30$. Nous ferons deux principales remarques. La première est que la courbe des probabilités décroît en fonction du nombre de blocs. La probabilité que le buffer soit plein est très faible. Elle est de l'ordre de 10^{-8}. La seconde remarque est que les résultats analytiques fournis ici sont très proches de ceux obtenus par simulations. Dans la figure 5, nous avons représenté les résultats analytiques relatifs à $N = 50$, $N_2 = 20, 30, 40$ ce qui correspond à des porcentages de la taille du buffer N respectifs de $40\%, 50\% et 60\%$. Nous avons également comparé la distribution dans le cas d'un commutateur avec PBS à un sans mécanisme de priorité. Les résultats sont donnés pour $N = 50$ et $N_2 = 30$ (figure 6). Nous remarquons que quelque soit le modèle considéré, celui-ci n'a pas d'influence sur les probabilités stationnaires pour le nombre de blocs inférieur à 15. Cependant, la partie du buffer réservée aux blocs de classe 1 ($N_1 = 20$) permet d'améliorer la probabilité d'occupation du commutateur par ce type de trafic comparé à celle observée dans un commutateur sans priorité. Nous observons ce phénomène pour le nombre de blocs supérieur à 40 blocs.

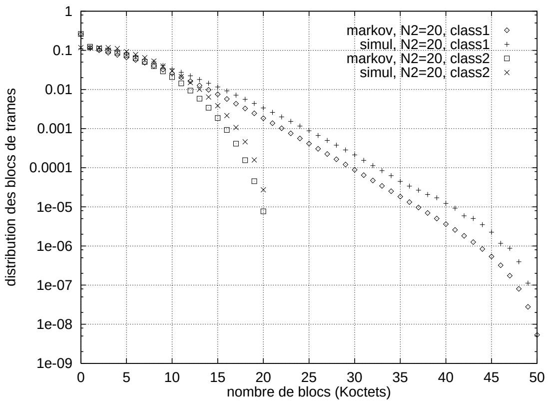

FIG. 2 – *distribution des blocs de trames* $N = 50$, $N_2 = 20$

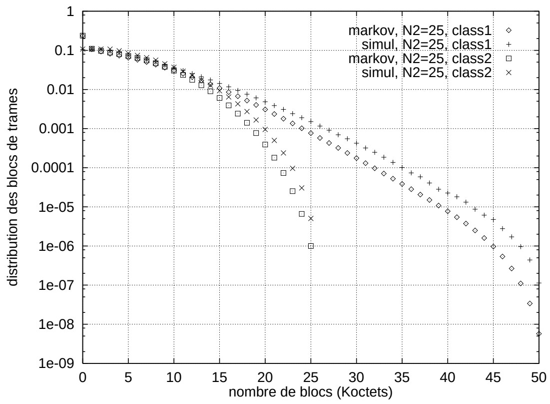

FIG. 3 – *distribution des blocs de trames* $N = 50$, $N_2 = 25$

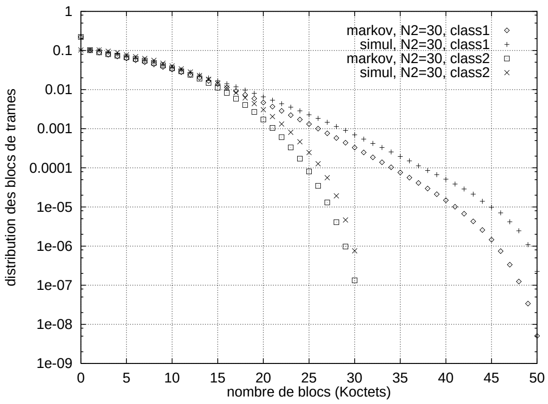

FIG. 4 – *distribution des blocs de trames* $N = 50$, $N_2 = 30$

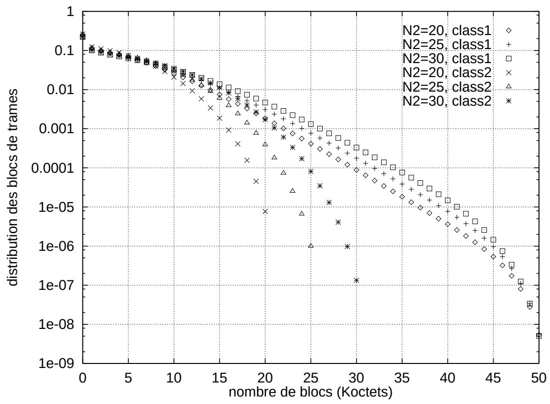

FIG. 5 – *distribution des blocs de trames en fonction du seuil,* $N = 50$

5.2 La probabilité de perte en fonction du seuil

La figure 7 montre les probabilités de perte des trames de longueur variable (1 bloc, 2 blocs,...,8 blocs) pour chacune des classes. Les résultats analytiques sont comparés à ceux des simulations pour $N_2 = 25, 30$. Les courbes nous révèlent que la probabilité croît en fonction de la taille des trames. Les résultats markoviens sont bien validés par ceux de la simulation. De plus, la probabilité de perte pour la classe 1 en fonction du seuil $N_2 = 20, 25, 30$ a un comportement opposé à celui de la classe 2(figure 8). En effet, la probabilité de perte des trames de forte priorité (classe 1) pour $N_2 = 20$ est plus faible que pour $N_2 = 30$ car la partie partageable par les deux types de trafic est plus petite dans le 1er cas. A l'inverse du trafic de classe 1, la probabilité de perte des trames de classe 2 est plus importante pour $N_2 = 20$ que pour $N_2 = 30$. L'amélioration des performances pour les trames de classe 1 est sensible et est de l'ordre de 3 ou 4 fois mieux pour des valeurs de N_2 décroissantes. L'amélioration pour le trafic de classe 2 est seulement de 3 à 4 % pour des valeurs de N_2 croissantes.
Si l'on examine la figure 9, nous remarquons que le mécanisme PBS améliore considérablement les probabilités de perte des trames de classe 1 et défavorise les trames de classe 2, alors que l'étude de la perte dans le cas d'un commutateur sans priorité donne des résultats identiques aussi bien pour le trafic prioritaire que pour le trafic non prioritaire. Les résultats pour le modèle sans priorité ont été obtenus pour $\frac{N_2}{N} = 1$.

5.3 La distribution et la probabilité de perte en fonction de la charge

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'influence de la charge sur les probabilités de perte et la distribution des blocs pour chaque classe de trafic. Les paramètres choisis à cet effet sont :

- taille du buffer $N = 50$
- seuil du PBS $N_2 = 25$
- d'où le taux $\frac{N_2}{N} = 0.5$

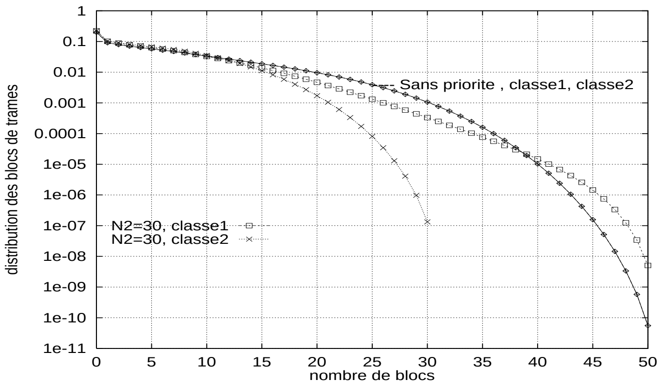

FIG. 6 – *Comparaison de la distribution des blocs des trames relative au commutateur avec ou sans PBS,* $N = 50, N_2 = 30$

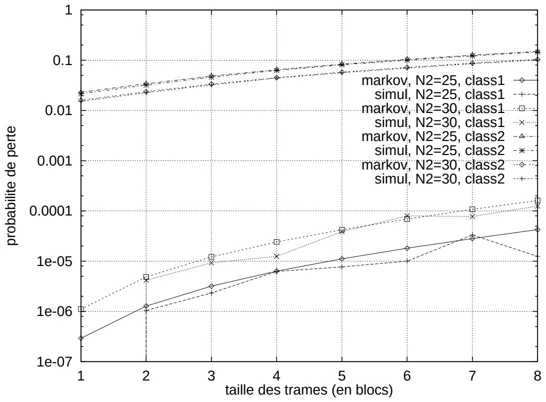

FIG. 7 – *Probabilité de perte en fonction du seuil,* $N = 50$

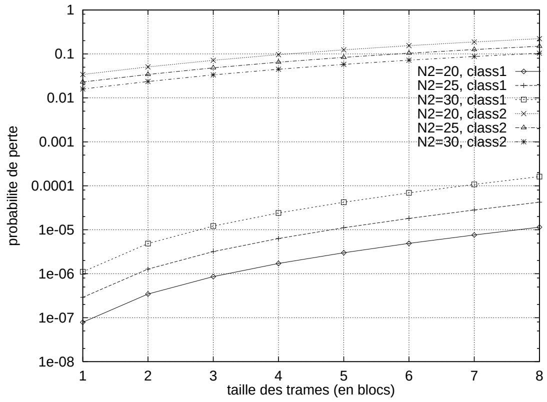

FIG. 8 – *Probabilité de perte en fonction du seuil,* $N = 50$*, résultats analytiques*

La charge offerte au commutateur dépend du débit de l'ensemble des sources des deux types de trafic. La charge supposée depuis le début de cette étude est de $\rho = 0.86$. Nous considérons également une charge de $\rho = 0.75$ qui correspond aux même débits que ceux utilisés précédemment à l'exception de :

$$\lambda_1^{(1)} = \lambda_1^{(2)} = 0.128$$
$$\lambda_2^{(1)} = \lambda_2^{(2)} = 0.064$$

Aussi la charge $\rho = 0.63$ est définie à partir des mêmes débits des sources à l'exception des deux premières sources de chaque classe :

$$\lambda_1^{(1)} = \lambda_1^{(2)} = 0.064$$
$$\lambda_2^{(1)} = \lambda_2^{(2)} = 0.032$$

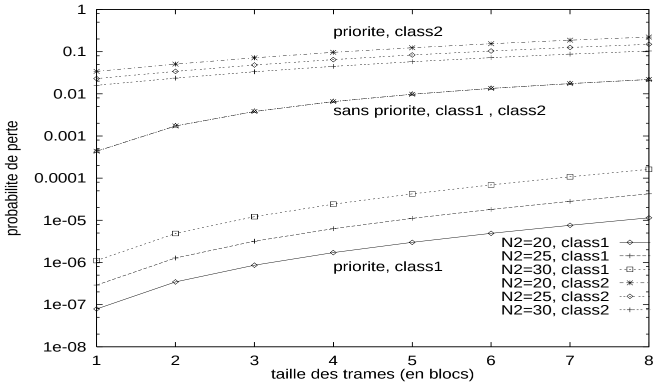

FIG. 9 – *comparaison des probabilités de perte relative à un commutateur avec ou sans PBS, $N = 50$*

La figure 10 montre que la probabilité d'avoir x blocs dans le buffer croît lorsque la charge croît. La figure 11 montre que la perte des trames de grande taille est plus importante que celles de petite taille.
De plus, lorsque la charge offerte augmente, la probabilité de perte pour les deux classes de trafic augmente. Elle augmente d'un facteur de 3 fois pour les trames de classe 2 et d'un facteur de 6 fois plus pour les trames de classe 1. Pour garantir la perte de l'ordre de 10^{-6} pour une charge de 86 % la taille des trames ne doit pas dépasser $4Koctets$. Alors que pour la garantie de la même probabilité de perte pour des tailles de trames supérieures à $4Koctets$, la charge offerte ne doit pas dépasser 75 %.

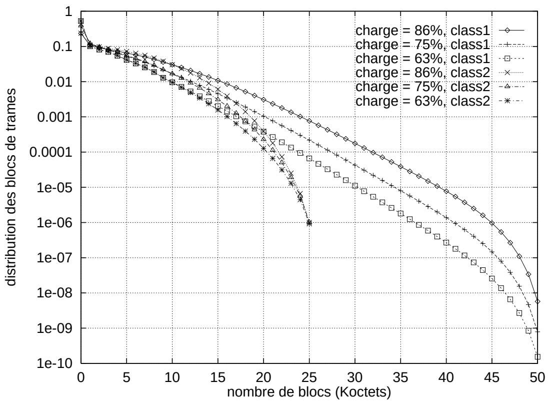

FIG. 10 – *distribution des blocs de trames en fonction de la charge, $N = 50$, $N_2 = 25$*

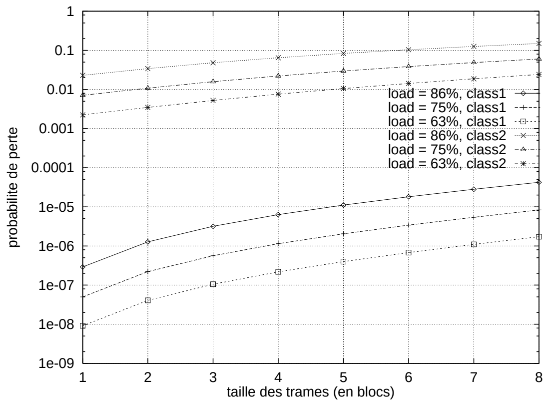

FIG. 11 – *probabilité de perte en fonction de la charge, $N = 50$, $N_2 = 25$*

5.4 La distribution et la probabilité de perte en fonction de la taille du buffer

Nous supposons que la taille du buffer prend les valeurs $N = 40, 50, 60$ et le taux des trames de faible priorité $\frac{N_2}{N} = 0.4$ ($N_2 = 16, 20, 24$). Les résultats donnés par les figures 12 et 13 montrent une grande dépendance des probabilités stationnaires et des probabilités de perte avec la taille du buffer. Lorsque la capacité de stockage du buffer croît, les performances du réseau en terme de probabilités de perte et de probabilités d'occupation sont améliorées. On notera en particulier un résultat intéressant pour la valeur de $N = 60$: les probabilités de perte pour toute taille de trames sont améliorées de 60 fois comparé aux résultats obtenus pour $N = 50$. Alors que les performances relatives au trafic de classe 2 restent inchangées.

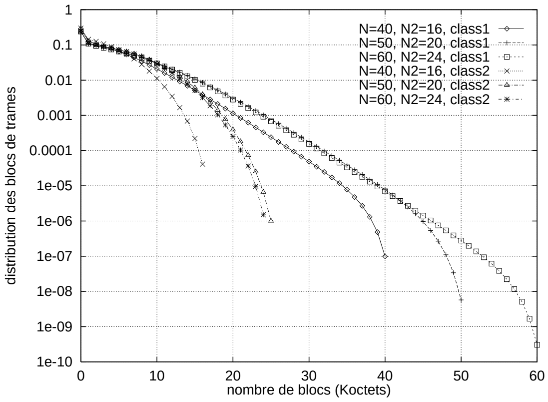

FIG. 12 – *distribution des blocs de trames en fonction de la taille du buffer, seuil = 40%*

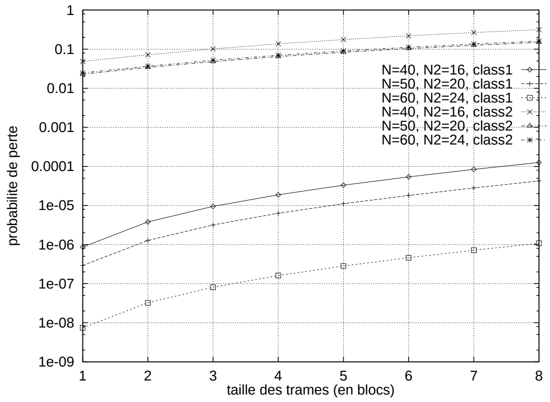

FIG. 13 – *probabilité de perte en fonction de la taille du buffer, seuil = 40%*

6 Conclusions

Dans ce rapport, nous avons proposé un modèle markovien pour la modélisation d'un commutateur FR géré par un mécanisme PBS. Les arrivées sont des trames de longueur variables (1 bloc, 2 blocs,...,8 blocs) mesurées en blocs (1 bloc = 1024 octets). L'évaluation de performances montre qu'un tel mécanisme améliore considérablement les performances d'un trafic prioritaire (i.e requiert une meilleure QoS) et ce, souvent au dépend du trafic moins prioritaire.

L'étude de performance réalisée révèle que le paramétrage correcte du réseau est très important. En effet, la distribution des blocs de trames ainsi que la perte des trames dépendent fortement de la taille du buffer de stockage, de la charge ainsi que du seuil du PBS. De plus, la taille des trames émises est un facteur très importante. Lorsque celle-ci est plus grande que $4K$ octets, les pertes se dégradent plus vite que pour des trames de longueur inférieure $4K$ octets.

Afin que le travail soit complet, une étude comparative d'un commutateur FR géré par un mécanisme PBS et celui sans mécanisme de priorité a été réalisée confirmant ainsi les bonnes performances du mécanisme PBS. Le modèle analytique proposé a été bien entendu validé par des simulations réalisées en QNAP. En perspective à cette étude, une analyse de la robustesse de ce mécanisme. Cette robustesse peut-être évaluée par rapport à un autre mécanisme du même type et également par rapport à un profil de trafic plus pertinent.

Références

[1] W. E. Arnoldi, The Principle of Minimized Iterations in the Solutions of the Matrix Eigenvalue Problems, Quart Appl. Math., vol. 19, pp. 17-29, 1951.

[2] J.Garcia, O.Casals, "Stochastic Models of Space Priority Mechanisms with Markovian Arrival Processes", Annals of Operations Research, 1992.

[3] A.Gravey, P.Boyer, G.Hebuterne, "Tagging versus Policing in ATM Networks", Globecom'91.

[4] A.Gravey, G.Hebuterne, "Mixing Time and Loss Priorities in a Single Server Queue", Teletraffic and Datatraffic, 1991.

[5] S.Hamma, T.Atmaca, "Traffic and Congestion Control on the LAN interconnexion by a frame Relay Network", International Conference on Telecommunication, ICT'96, Istambul, Turkie, Avril 1996.

[6] S.Hamma, T.Atmaca, "Etude Comparative des Mécanismes de Rejets Sélectifs dans un Commutateur Frame Relay", Rapport de recherche MASI, Septembre 1996.

[7] G. Hebutherne, "A Space Priority Queuing Mechanism for Multiplexing ATM Channels", Computer Networks and ISDN systems, 1990.

[8] C. Heckart, "The guide to Frame Relay Networking", Flatiron Publishing Inc, December 1994.

[9] ITU-T : Recommandation I.233, "service support en mode trames", Genève 1992.

[10] J.B.Kim, R.Simba, T.Suda, "Analysis of a finite buffer queue with heterogeneous Markov Modulated Arrival Processes : a study of traffic burstiness and priority Packet Discarding", Computer Networks ans ISDN systems, pp 653-673, 1996.

[11] H.Kröner, G.Hebuterne, P.Boyer, A.Gravey, "Priority Management in ATM switching node", IEEE J.SAC, vol 9, N.3, Avril 1991.

[12] A.Platt, M.J.Morse, "Traffic Management in Frame Relay Networks", Computer Network and ISDN Systems, vol 23 N.4, 1992.

[13] ITU-T : Recommandation Q.933, “système de signalisation d'abonné numérique No 1 - spécification de la signalisation pour la commande d'appel de base en mode trame”, Mars 1993.

[14] QNAP2 guide de l'utilisateur. SIMULOG, St-Quentin en Yvelines, 1992.

[15] Y. Saad, Krylov Subspace Methods for Solving Large Unsymmetric Linear Systems, Mathematics of computation, Vol. 37, No. 155, 1981.

[16] W.Stallings “ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM”, 3ème édition Mac Millan 1995.