Gestion active de la vidéo dans un environnement multisource*

Nadjib Achir[1], Marcelo Dias de Amorim[1],
Otto Carlos M. B. Duarte[2] et Guy Pujolle[1]

[1]Laboratoire PRiSM
Université de Versailles
45, avenue des Etats-Unis
78035 – Versailles – France

GTA/EE/UFRJ
[2]Université Fédérale de Rio de Janeiro
P.O. Box 68504 – 21945-970
Rio de Janeiro – RJ – Brésil

E-mail : {nadach,amorim}@prism.uvsq.fr

Résumé

La distribution de la vidéo multicouche dans les environnements multicast est un des challenges les plus étudiés ces dernières années. Par contre, la distribution de cette vidéo dans un environnement multisources est un axe important mais malheureusement peu d'attention lui est consacrée. En effet, il faut considérer en plus l'influence des sources entre elles et d'autres problèmes relatifs, notamment, au partage des ressources. Dans cet article, on étudie l'utilisation des réseaux actifs pour la gestion de plusieurs sources vidéos à travers différents arbres multicast. Cela constitue une base pour mieux comprendre les principaux problèmes concernés. On simule le système proposé dans un réseau ayant un grand nombre de récepteurs et les résultats obtenus montrent que l'utilisation des ressources est toujours supérieure à 90% de la totalité de la bande passante disponible.

1 Introduction

Un des plus grands challenges des dernières années est la distribution de la vidéo à grande échelle en prenant en considération toutes les exigences de celle-ci [1, 2]. En effet, des réseaux dédiés offrant de larges bandes passantes ont vu le jour pour répondre à ces exigences. Mais avec l'explosion de l'Internet, des nouvelles perspectives ont émergé, principalement l'intégration de la distribution de la vidéo. Cette intégration offre beaucoup d'avantages incluant une grande couverture, une grande flexibilité et un coût réduit. Mais tel que l'Internet est conçu actuellement, plusieurs problèmes propres ont été identifiés, principalement l'hétérogénéité des récepteurs et la scalabilité. De ce fait, de nouveaux schémas pour gérer la transmission de la vidéo dans un environnement peu fiable et partagé doivent être introduits [1, 3, 4, 5, 6].

*Ce travail a été financé par CAPES, COFECUB, CIES, RNRT et CNRS.

Dans le système de diffusion vidéo proposé en [3], chaque arbre multicast est composé d'une source et de plusieurs récepteurs qui communiquent périodiquement de telle façon que la source puisse calculer les débits des différentes couches vidéo. Les procédures correspondantes forment un système de contrôle adaptatif qui vise à optimiser la qualité de la réception. Dans cette architecture, la source envoie des paquets de contrôles à travers l'arbre de diffusion. Ces paquets marquent la bande passante disponible dans chaque lien traversé. Un récepteur r appartenant à la session multicast m, lors de la réception d'un de ces paquets, calcule le débit maximum qu'il peut recevoir, $b^{r,m} = \min_{l \in L_{s,r}} c_s(l)$, où $L_{s,r}$ correspond au groupe de liens traversés par la vidéo dans le chemin entre la source s et le récepteur r. Le récepteur crée un paquet d'acquittement contenant cette information et l'envoie à la source. Ce mécanisme permet d'optimiser la qualité de la vidéo au niveau des sources mais doit aussi être contrôlé pour éviter des problèmes de scalabilité. En effet, si la session multicast comporte un nombre élevé de récepteurs, ceci engendrera des problèmes d'implosion du nombre de paquets d'acquittement au niveau de la source.

Pour éviter cet inconvénient, les nœuds implémentent un mécanisme d'agrégation de paquets qui réduit la charge. Cette technique se montre performante dans le cas où seulement une session multicast est prise en compte. Mais, si on considère un système multi-source où différentes sessions multicast partagent les mêmes liens dans le réseau, d'autres problèmes liés au contrôle de la bande passante et à la qualité de la vidéo dans les récepteurs doivent être résolus. Dans cet article on utilise le concept des réseaux actifs pour gérer les conflits possibles et l'équité entre les sources.

Nous avons défini une topologie d'études afin de gérer le partage de la bande passante d'un lien traversé par plusieurs flux appartenant à différentes sources. L'attribution des débits nécessaires pour chaque flux se fait suivant la priorité donnée par les récepteurs aux flux vidéos requis. Les résultats obtenus montrent que le partage des ressources est efficace suivant l'importance globale donnée aux flux par les différents récepteurs.

Cet article est organisé de la façon suivante. Dans la section 2 on discute l'approche des réseaux actifs pour le contrôle efficace de la vidéo dans les réseaux du type best-effort tel que l'Internet. Ensuite, la section 3 présente la problématique traitée. L'analyse du modèle proposé est détaillée dans la section 4. Finalement, on présente les conclusions et les perspectives dans la section 5.

2 Les réseaux actifs et la vidéo

Afin de permettre que les méthodes associées à la vidéo soient capables de s'exécuter dans le réseau, une approche par réseaux actifs peut être adoptée. Un réseau actif est un réseau qui permet à des nœuds intermédiaires d'exécuter des traitement jusqu'à présent destinés à la couche application. Donc, les utilisateurs peuvent programmer le réseau en injectant leurs propres programmes. En effet, de nouvelles architectures [7, 8] ont été développées pour la conception d'applications distribuées exploitant la mobilité du code afin d'augmenter dynamiquement les équipements du réseau. Ceci a pour résultat le changement de l'état du réseau et de son comportement. Dans cette optique, le réseau devient actif parce qu'il prend part aux traitements accomplis par l'application au lieu de se limiter au simple acheminement des données.

On trouve dans la littérature deux principales approches pour les réseaux actifs [9, 10]. La première approche, appelée nœud programmable, est caractérisée par le maintien du format des paquets/cellules existant. Par contre, les nœuds offrent une interface standard pour le rapatriement des nouveaux programmes [11]. La deuxième approche aboutit au remplacement des paquets de données standard par une nouvelle entité appelée capsule. Chaque capsule identifie le code qui lui doit être appliqué. Cette approche a deux variantes dépendantes de comment le code est installé dans les nœuds. Sous la variante code embarqué, le code est transmis à l'intérieur même de la capsule [8]. Sous la variante code sur demande, le code est transporté une première fois dans les paquets. Ensuite, les prochains paquets transportent uniquement des références vers ces codes-là. Si le code n'est pas disponible dans le nœud, il est téléchargé à partir d'un autre nœud (généralement à partir du nœud où la capsule a été reçue) [7].

L'utilisation des réseaux actifs se montre très atractive pour la distribution de la vidéo multicast dans un environnement best-effort tel que l'Internet. En effet, dans un réseau best-effort, les récepteurs sont hétérogènes dans leurs capacités de traitement, leurs bandes passantes, ainsi que dans la qualité de la vidéo demandée. Une solution pour ce problème est l'utilisation d'un codage vidéo multicouche (une couche de base et des couches d'amélioration) ainsi que plusieurs arbres multicast, un pour chaque couche. En acheminant plusieurs couches vidéo, les récepteurs peuvent ajuster la qualité de la vidéo affichée pour l'utilisateur en s'abonnant aux différents groupes multicast. L'adhésion à un grand nombre d'arbres multicast implique une meilleure qualité de la vidéo. Par contre, l'adhésion à un petit nombre d'arbre multicast implique une qualité moindre et par conséquence la bande passante utilisée est réduite. Le principal avantage de cette méthode est l'absence d'interactions directes des récepteurs vers la source. Cependant, l'établissement de plusieurs arbres multicast nécessite beaucoup de ressources au niveau des nœuds pour le maintien des variables d'états.

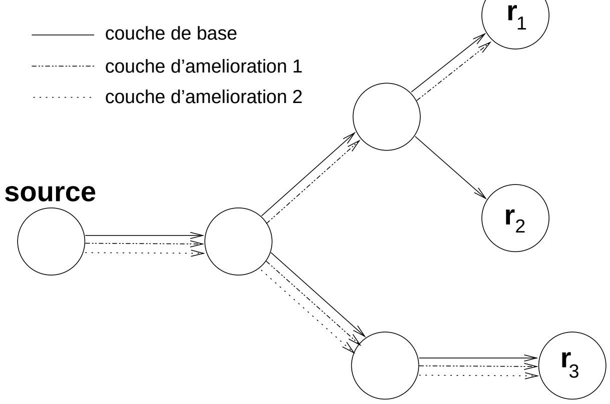

FIG. 1 – Transmission d'une vidéo multicouche avec réseaux actifs.

Une dernière approche serait l'utilisation des réseaux actifs car celle-ci introduit une auto configuration au niveau des nœuds, ce qui élimine le besoin d'établir plusieurs arbres multicast. En effet, un arbre incluant tous les récepteurs est créé (figure 1). On ajoute à cela une liste des récepteurs contenant des informations sur la qualité demandée et sur leurs bandes passantes. Ces informations sont utilisées par la vidéo afin de se dupliquer et de déployer des copies d'elle-même sur les ports de sortie appropriés. A noter que la quantité d'information, le cas échéant, est très petite par rapport à ceux nécessaires pour le maintien de plusieurs arbres multicast. Donc le nombre de couches peut être grand sans pour autant consommer beaucoup de ressources au niveau des nœuds.

3 Problématique

Les avantages de l'utilisation des systèmes multicast sont certainement confrontés aux difficultés que l'on peut y trouver. Cela comporte entre autres les algorithmes de routage dans les nœuds, la gestion des adhésions/résiliations des différents groupes et le calcul du débit de la source. Ce dernier est à la base déjà très complexe et encore plus dans le cas que l'on a choisi, c'est-à-dire un scénario où le récepteurs sont hétérogènes.

Dans ce travail on élargit l'étude pour identifier un certain nombre de problèmes liés à la transmission de la vidéo dans les réseaux multicast hétérogènes à plusieurs sources. Au-delà des problèmes intrinsèques aux systèmes multicast, on y ajoute la gestion de la bande passante qui doit être partagée par les flux de chaque source. Dans ce travail on s'intéresse à ce problème et on considère un réseau dans lequel on trouve au moins un récepteur qui est abonné à plusieurs sources multicast. Ce scénario est représenté par le système simplifié de la figure 2.

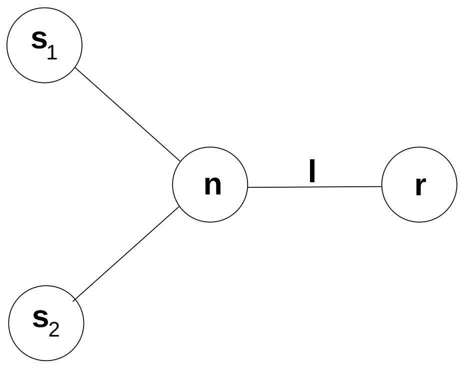

FIG. 2 – Le scénario multisource.

En effet, si les chemins entre les sources et les récepteurs ont des capacités assez importantes pour transmettre tous les flux il n'y aura pas de problèmes puisqu'ils seront acheminés sans l'apparution de conflits entre les flux. On s'intéresse au cas où au moins un lien est restreint en termes de disponibilité de bande passante et le nœud qui y accède doit implémenter en quelque sorte une politique de partage des ressources. Dans la figure 2, on considère que la source s_1 transmet avec un débit $d_{s_1} = 10$ et la source s_2 avec un débit

$d_{s_2} = 6$. Si la bande passante bw disponible dans le lien l est plus importante que la somme des débits des sources $d_{s_1} = 10$ et $d_{s_2} = 6$, i.e., si $bw \geq 16$, on revient au premier cas où il n'y a pas de conflit entre les flux. Par contre, quand la somme des débits des deux sources dépasse la bande passante disponible au niveau du lien l, alors le nœud n_1 doit décider comment les flux seront acheminés vers les récepteurs. On considère un premier cas où les flux doivent être entièrement transportés pour que les récepteurs puissent regarder la vidéo. On a donc quatre possibilités d'allocation de la bande passante :

– $bw < d_{s_1}$ et $bw < d_{s_2}$: dans ce cas le lien n'a pas assez de bande passante et aucun des flux n'est transporté ;
– ($bw > d_{s_1}$ et $bw < d_{s_2}$) ou ($bw < d_{s_1}$ et $bw > d_{s_2}$) : seul le débit supporté est accepté dans le lien ;
– ($bw > d_{s_1}$ et $bw > d_{s_2}$) mais ($bw < d_{s_1} + d_{s_2}$) : seul un des deux flux peut être accepté dans le lien. Le nœud doit implémenter une politique de priorités ;
– $bw > d_{s_1} + d_{s_2}$: les deux flux sont acceptés dans le lien.

Comme la vidéo multicouche est codée en plusieurs niveaux hiérarchiques, une même source peut être considérée comme ayant différents débits (i.e. un premier débit égal au débit de la couche de base, un deuxième débit égal au débit de la couche de base plus le débit de la première couche d'amélioration et ainsi de suite, donc une vidéo peut avoir autant de possibilités de débit que de couches). Les possibilités d'allocation des ressources sont dans ce cas beaucoup plus nombreuses puisque pour une même valeur de bande passante disponible on peut admettre soit un nombre plus important de flux avec des débits plus faibles, ou encore un nombre réduit de flux à haut débits. On suppose que chaque récepteur doit fournir d'une manière explicite un profil. Ce profil est sous la forme d'une classification par priorité des flux reçus par ce même récepteur. Un changement dans le profil peut survenir, dans le cas d'une souscription du récepteur à une source vidéo, ou dans le cas d'un changement de priorité entre les flux au niveau d'un récepteur.

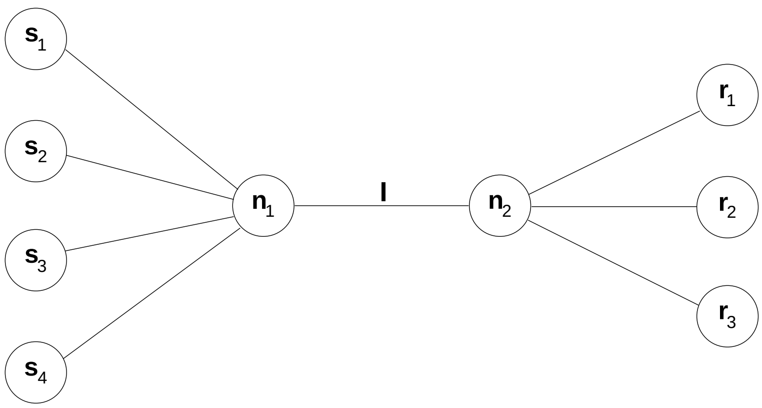

FIG. 3 – Topologie à plusieurs sources et à plusieurs récepteurs.

Le réseau de la figure 3 est constitué de 4 sources vidéo, $S = \{s_1, \ldots, s_4\}$, et de 3 récepteurs $R = \{r_1, \ldots, r_3\}$. Soit $F = \{f_1, \ldots, f_4\}$ les flux vidéo transmis respectivement à partir des sources $s_1, \ldots, s_4$. Chaque récepteur doit donc donner son profil basé sur la hiérarchie entre les différents flux demandés. Le tableau 1 représente les différents profils des récepteurs.

TAB. 1 – Hiérarchie des flux.

Récepteur	Hiérarchie
r_1	$f_1 > f_2 > f_3$
r_2	$f_4 > f_2$
r_3	f_4

Nous remarquons qu'au niveau du récepteur r_1 la priorité est donnée au flux f_1 puis f_2 puis f_3. Au niveau du récepteur r_2 la priorité est donnée au flux f_4 puis f_2. Finalement, au niveau du récepteur r_3 seul le flux f_4 est demandé.

Nous avons vu précédemment qu'un problème peut se poser au niveau des liens partagés par plusieurs arbres multicast (le lien l dans la figure 3). Pour résoudre ce problème une priorité doit être instaurée entre les différents flux traversant ce lien. La méthode que nous avons choisie consiste à donner un poids à chaque flux au niveau de chaque récepteur. Ce poids, initialisé au nombre de sources dans le réseau, est décrémenté d'une valeur égale à 1 à chaque fois que l'on descend dans la hiérarchie des flux (profil) donnée par le récepteur. Donc pour le récepteur r_1, par exemple, le flux f_1 a un poids égale à 4 (puisqu'il y a 4 sources dans le réseau), un poids de 3 est donnée au flux f_2 et finalement un poids de 2 pour le flux f_3. Puisque le récepteur r_1 n'a pas souscrit à l'arbre multicast associé à la source s_4, un poids égal à 0 est attribué au flux f_4. Si on applique le même résonnement pour le reste des récepteurs on a les différentes valeurs indiquées dans le tableau 2.

TAB. 2 – Poids des flux dans les récepteurs.

Récepteurs	Poids des flux (P)
r_1	P(f_1)=4 ; P(f_2)=3 ; P(f_3=2)=2 ; P(f_4)=0
r_2	P(f_1)=0 ; P(f_2)=3 ; P(f_3=2)=0 ; P(f_4)=4
r_3	P(f_1)=0 ; P(f_2)=0 ; P(f_3=2)=0 ; P(f_4)=4

Les poids respectifs à chaque flux sont transmis en aval vers sa source. Au niveau des nœuds actifs intermédiaires, un calcul est appliqué pour obtenir les nouveaux poids des flux en faisant une simple addition, pour chaque flux, entre les poids reçus à partir des récepteurs. Donc au niveau des nœuds n_1 et n_2 nous avons les poids indiqués dans le tableau 3.

De ce fait, au niveau du lien l, la priorité est donnée à la couche de base du flux f_4 ensuite à la couche de base du flux f_2, à la couche de base du flux f_1 et finalement à la couche de base du flux f_3. De même pour la première couche d'amélioration et ainsi de suite pour les autres couches jusqu'à ce que la bande passante du lien l soit consommée.

TAB. 3 – Poids des flux dans les nœuds actifs.

Nœud	Poids des flux (P)
n_1	P(f_1)=4 ; P(f_2)=6 ; P(f_3=2)=2 ; P(f_4)=8
n_2	P(f_1)=4 ; P(f_2)=6 ; P(f_3=2)=2 ; P(f_4)=8

4 Analyse

Afin d'analyser le modèle proposé, nous considérons un réseau constitué d'un ensemble de liens L (figure 4). Ce réseau est constitué par un ensemble de sources $S = \{s_k\}_{k\in\{1,N\}}$, où s_k est l'émetteur de la session multicast m_k et par un ensemble de récepteurs $R = \{r_k\}_{k\in\{1,M\}}$. Nous supposons une et une seule session multicast par source. Par contre, un récepteur r peut appartenir à plusieurs sessions multicast m_k. Chaque récepteur r_k doit fournir un profil. Ce profil est sous la forme d'une classification des différents flux demandés par ce même récepteur. On définie $p^k_{r_j}$ le poids associée au flux de la $k$ième session multicast pour le récepteur r_j.

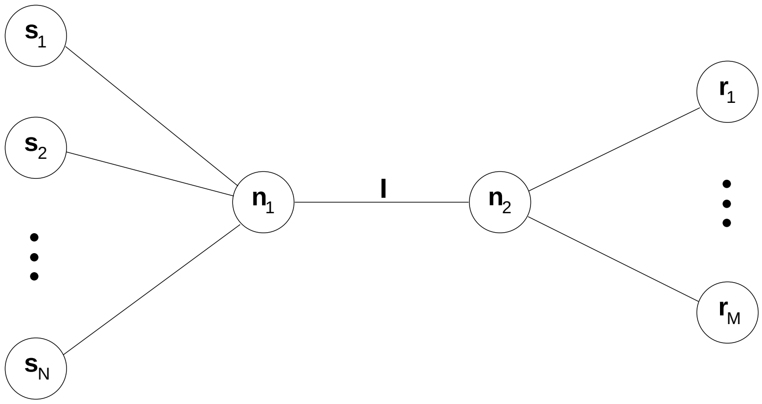

FIG. 4 – Topologie d'analyse.

Ce poids détermine la priorité des flux au niveau de chaque récepteur et permet aussi de classer les différents flux dans les liens en avale partagés par plusieurs arbres multicast. Le calcul de ce poids dépend de la position du flux dans la classification. Donc, un poids $p^1_{r_k}$ initialisé au nombre de sources dans le réseau est attribué au flux le plus prioritaire. Un poids égal à $p^1_{r_k} - 1$ est attribué au flux se trouvant dans la deuxième position de la classification et ainsi de suite pour tous les flux demandé par le récepteur r_k, ce qui donne :

$$p^i_{r_k} = \begin{cases} \#\text{ de sources} & \text{si } i = 1\,; \\ p^{i-1}_{r_k} - 1 & \text{pour l'}i\text{ème flux demandé par le récepteur } r_k\,; \\ 0 & \text{pour le reste des flux non demandés par le récepteur } r_k. \end{cases} \quad (1)$$

Une fois que les poids on été attribués à chaque flux et dans chaque récepteur, un vecteur contenant tous les poids est transmis vers les sources. Au niveau d'un nœud actif

n intermédiaire, une fusion des différents vecteurs est effectuée afin de classer à nouveau les flux. La fusion de ces vecteurs se fait en additionnant, pour chaque flux, tous les poids attribués par les différents récepteurs, ce qui donne :

$$p_n^{f_i} = \sum_{k=1}^{m} p_{r_k}^{f_i}, \tag{2}$$

où m est le nombre de récepteurs liés au nœud n.

Nous avons au niveau du nœud intermédiaire n une nouvelle classification basée sur les nouveaux poids calculés à partir des différents vecteurs reçus. Cette classification permet le partage de la bande passante des liens en commun entre plusieurs flux. Ce partage se fait suivant l'algorithme :

```
i=1;
j=1;
Tant que (i<=Nb_max_sources et j<=Nb_max_niveaux)
Debut
   si (BW_consommee + debit(niveau j du flux i) <= BW_total) alors
   Debut
      Transmission du niveau j du flux j ;
      BW_consommee = BW_consommee + debit(niveau j du flux i);
   Fin
   i++;
   si (i==N_max_niveaux) j++ ;
Fin
```

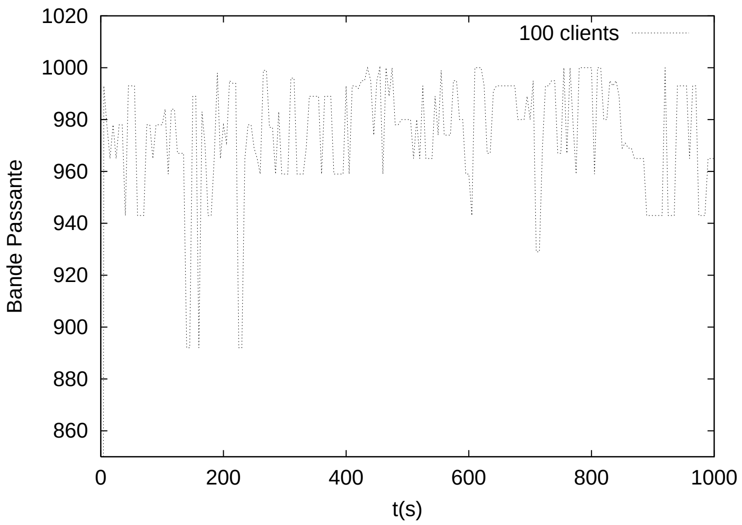

Fig. 5 – Utilisation de la bande passante.

Nous avons simulé le réseau de la figure 4 avec 10 sources de flux vidéo à 3 couches et 100 récepteurs. Nous supposons que la seule limitation en termes de bande passante peut se produire au niveau du lien l dont la bande passante est de 1Mbps. Pour les sources vidéo, chaque couche a un débit constant maximal de 300Kbps.

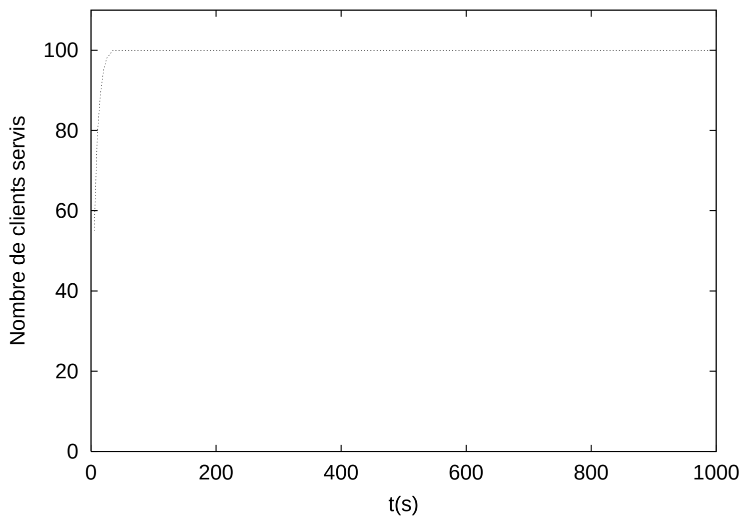

FIG. 6 – Nombre de clients servis.

La courbe représentée dans la figure 5 montre la quantité de bande passante consommée dans le lien l par l'ensemble des flux. Nous remarquons que presque la totalité des ressources est consommée et par conséquence l'utilisation de la bande passante du lien s'approche de l'optimum. Nous pouvons observer, dans le pire des cas, une consommation superieure à 90%.

Nous avons effectué une deuxième analyse représentée dans la courbe de la figure 6 indiquant le nombre de clients servis par au moins la couche de base de tous les flux demandés. On observe que le système satisfait très rapidement la totalité des clients avec au moins la couche de base des flux demandés.

5 Conclusion

Nous pouvons conclure qu'une gestion au niveau des nœuds actifs intermédiaires peut être intéressante pour mieux satisfaire les récepteurs. En effet, dans notre travail nous remarquons qu'une simple classification au niveau des récepteurs contribue pour mieux diviser la bande passante entre les différents flux au niveau des liens partagés. Nos résultats montrent que les ressources sont efficacement utilisés et que les clients sont tous servis rapidement.

Comme complément à ce travail nous pensons qu'en plus de prendre en considération la priorité des flux au niveau des récepteurs, on prend le débit demandé par chaque récepteur et pour chaque flux. Cependant, notre contribution est déjà une base intéressante pour résoudre les problèmes identifiés.

Références

[1] X. Li, M. H. Ammar e S. Paul, “Video multicast over the internet,” *IEEE Network Magazine*, mars 1999.

[2] J. Nonnenmacher e E. W. Biersack, “Scalable feedback for large groups,” *IEEE Transactions on Networking*, vol. 7, no. 3, juin 1999.

[3] M. D. de Amorim, O. C. M. B. Duarte e G. Pujolle, “Multi-criteria arguments for improving the fairness of layered multicast applications,” *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1815, pp. 1–10, mai 2000.

[4] D. Saparilla e K. W. Ross, “Optimal streaming of layered video,” in *IEEE Infocom*, (Tel-Aviv, Israel), mars 2000.

[5] D. Rubenstein, J. Kurose e D. Towsley, “The impact of multicast layering on network fairness,” in *ACM Sigcomm*, (Cambridge, Massachusets, USA), septembre 1999.

[6] S. Sarkar e L. Tassiulas, “Distributed algorithms for computation of fair rates in multirate multicast trees,” in *IEEE Infocom*, (Tel-Aviv, Israel), mars 2000.

[7] D. Wetherall, J. V. Guttag e D. L.Tennenhouse, “Ants : A toolkit for building and dynamically deploying network protocols,” in *IEEE Openarch'98*, (San Francisco, CA), avril 1998.

[8] D. S. Alexander, W. A. Arbaugh, M. W. Hicks, P. Kakkar, A. D. Keromytis, J. T. Moore, C. A. Gunter, S. M.Nettles e J. M. Smith, “The switchware active network architecture,” *IEEE Network Special Issue on Active and Controllable Networks*, vol. 12, pp. 29–36, mai 1998.

[9] D. L. Tennenhouse, J. Smith, W. Sincoskie, D.J.Wetherall e G. Minden, “A survey of active network research,” *IEEE Comunications Magazine*, vol. 35, pp. 80–86, janvier 1997.

[10] K. Psounis, “Active networks : Applications, security, safety, and architectures,” *IEEE Communications Surveys*, janvier 1999.

[11] D. Decasper e B. Plattner, “DAN : Distributed code cashing for active networks,” in *IEEE Infocom'98*, (San Francisco, CA), mars 1998.