Services Différenciés pour les Flux MPEG

Artur ZIVIANI[1,2], José F. de REZENDE[2], Otto Carlos M. B. DUARTE[2] et Serge FDIDA[1]

[1] LIP6 – Université Pierre et Marie Curie
4, place Jussieu
75252 Paris Cedex 05 - France

[2] Grupo de Teleinformática e Automação – GTA
Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/EE
Caixa Postal 68504 - 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brésil

{Artur.Ziviani,Serge.Fdida}@lip6.fr, {rezende,otto}@gta.ufrj.br

Résumé

Le codage MPEG devient une façon attrayante pour la distribution de flux audio et vidéo dans le réseau Internet vue sa vaste adoption. Internet étant basé sur le modèle *best effort*, celui-ci n'offre aucune différenciation parmi les paquets. Ainsi, la qualité perçue par l'utilisateur d'une transmission vidéo peut être fortement dégradée. L'architecture de Différenciation de Services (DS) se propose de surmonter les limitations pour le support de Qualité de Service (QdS) du réseau Internet actuel. Cet article offre une étude quantitative ainsi qu'une évaluation par simulation d'un mécanisme DS pouvant améliorer la qualité de distribution des flux vidéo MPEG. Nous utilisons un mécanisme de différenciation de pertes afin d'éviter un effet de propagation d'erreur dans la structure hiérarchique d'un système MPEG dû à un paquet perdu. Les résultats montrent que le mécanisme de différenciation de pertes adopté améliore la qualité de distribution des flux vidéo MPEG et évite aussi le gaspillage de ressources du réseau, même sous des conditions de charge importante du réseau.

mots-clefs : Qualité de Service, Différenciation de Services et Vidéo MPEG.

1 Introduction

Le modèle *best effort* de l'architecture Internet actuelle n'offre aucune garantie de Qualité de Service (QdS) [1, 2]. Ainsi, on ne peut pas fournir à certaines applications différents niveaux de QdS. Pour résoudre ce problème, diverses approches sont actuellement en développement, telles que les applications adaptatives [3, 4], le routage à QdS [5, 6, 7] et l'architecture de Différenciation de Services (DS) [8]. L'architecture DS se propose de surmonter les limitations pour le support de QdS de l'Internet d'aujourd'hui. Dans le cadre de la proposition DS, la différenciation s'opère au niveau des agrégats plutôt qu'au niveau des flux eux-mêmes. Ces agrégats reçoivent un traitement différencié à chaque nœud selon un *Per-Hop Behavior* (PHB). Le PHB est choisi grâce à l'association entre une étiquette *DiffServ Code Point* (DSCP) qui accompagne l'agrégat et le comportement attendu. Pour le moment, seul deux PHB ont été définis : EF (*Expedited Forwarding*) [9, 10] et AF (*Assured Forwarding*) [11].

Artur Ziviani a une bourse dans le cadre de la coopération CAPES/COFECUB.

Malgré certains articles récents [12, 13, 14, 15] qui analysent des aspects distincts des services différenciés, la transmission de trafic vidéo sur un réseau DS n'est pas encore bien exploitée. Ce qui est le cas pour la transmission de flux vidéo basé sur le codage MPEG, standard émergeant pour les futures applications interactives de vidéo [16]. Comme des recherches liées à ce domaine, nous pouvons citer les travaux suivants. En [17], l'utilisation de filtres dans quelques nœuds du réseau est suggérée pour faire un rejet sélectif de trames des flux MPEG. Cependant, les flux MPEG doivent être partiellement décodés à chaque nœud de filtrage. Une telle approche introduit des délais qui ne permettent pas l'utilisation d'une application interactive et aussi génère des problèmes de facteur d'échelle. Un mécanisme d'ordonnancement basé sur le contenu du paquet de vidéo est proposé en [18]. Le contenu du paquet est alors utilisé pour générer un score qui va être la base de décision pour un mécanisme de différenciation de taux de pertes. Néanmoins, ce score doit être calculé pour chaque paquet qui correspond à un groupe de blocs (GOB) dans un flux vidéo H.263+. Cette deuxième approche peut aussi engendrer des problèmes aux niveaux des applications interactives.

Cet article évalue comment un réseau DS peut soutenir la transmission de flux de vidéo compressée MPEG offrant aux paquets une différenciation de pertes en vue d'améliorer la qualité de distribution de ces flux vidéo. Dans ce contexte, le traitement des conditions dynamiques du réseau est localisée dans le réseau même comme suggéré en [19]. En cas de congestion, le réseau peut rejeter un paquet d'un flux vidéo. L'information qui manque peut se propager à un certain nombre de trames dû à la structure hiérarchique des systèmes MPEG qui génèrent des paquets vidéo d'importance inégale. Notre objectif est de protéger les paquets qui contiennent l'information la plus importante contre les pertes sans différenciation, évitant ainsi les effets d'une propagation d'erreurs dans la séquence vidéo. Le marquage de paquets vidéo permettant la différenciation de pertes a lieu à la source du flux vidéo. Cette action est basée sur le type de trame MPEG d'où le paquet vidéo a été généré, en imposant un délai additionnel bas. En utilisant ce schéma, notre but est d'améliorer la transmission de la vidéo vue la bande passante disponible et de le comparer avec le modèle *best effort* du réseau Internet actuel. Nos résultats incluent une étude quantitative ainsi qu'une évaluation d'un réseau DS. Nous démontrons que celui-ci peut améliorer la qualité de distribution des flux vidéo MPEG en réduisant le gaspillage des ressources du réseau dû à la transmission des données qui deviennent inutiles au décodeur.

La suite de cet article s'organise de la façon suivante : la section 2 décrit rapidement quelques caractéristiques des flux vidéo MPEG et présente comment un schéma de différenciation de pertes basé sur un mécanisme DS peut être appliquer aux flux vidéo MPEG. La section 3 présente les métriques d'évaluation adoptées et nos résultats de simulation. Les conclusions de cette étude sont exposées dans la section 4.

2 Services Différenciés pour les Flux Vidéo MPEG

Le MPEG code une vidéo en une séquence de trois types de trames compressées (I, P ou B) [20]. La séquence entière de vidéo est décomposée en parties plus petites qui sont codées ensembles et sont appelées groupes d'images, ou GOPs (*Group of Pictures*). La structure du GOP décrit le nombre et l'ordre temporel des trames P ou B entre deux trames I successives. Une telle structure de GOP peut être caractérisée par deux paramètres : la distance (N) entre les trames I et la distance (M) entre une trame I et la prochaine trame P. La structure hiérarchique d'un GOP ayant des dépendances pour décodification de quelques trames dans chaque GOP est illustrée dans la figure 1.

La structure hiérarchique du codage MPEG impose une grande difficulté à la transmission de flux vidéo MPEG sur des réseaux sensibles aux pertes. Cette difficulté est dû à une possible propagation d'erreurs à travers des trames. Des petits taux de pertes de paquets peuvent se traduire par de grands taux de pertes de trames. Par exemple, un pourcentage de perte de paquets de 3% peut se traduire par

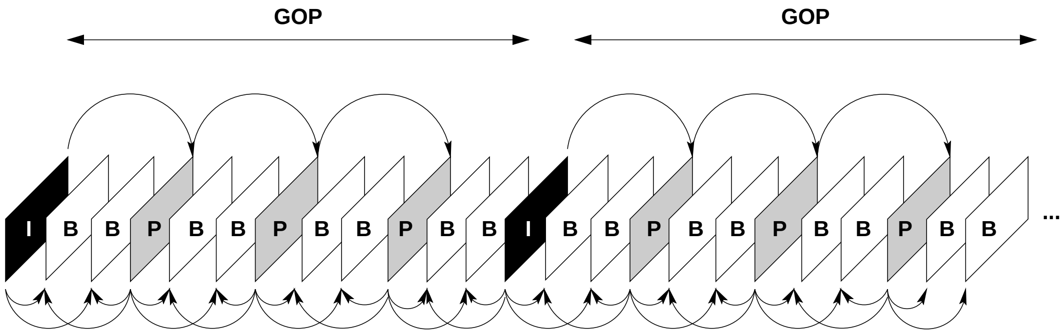


FIG. 1 – La structure hiérarchique d'un GOP ($N = 12$ et $M = 3$).

un taux d'erreurs de trames de 30% [21]. Cette situation peut dégrader sérieusement la qualité perçue par un utilisateur lorsque celui-ci regarde la vidéo. De plus, certaines ressources du réseau peuvent être gaspillées dû à la transmission d'information qui devient inutile au récepteur. Effectivement, une partie des données reçues peut alors devenir inutile au décodeur car il n'y a pas assez de données disponible lors du décodage. Cet effet arrive soit à cause de pertes de données d'une trame dans le réseau, soit lorsque la trame actuelle, pour être considérée décodable, dépend d'une trame undécodable.

Ayant pour but l'amélioration de la transmission d'un flux vidéo, nous associons différents niveaux de priorité de pertes aux paquets qui contiennent des informations de différentes trames. Dans ce schéma, les priorités de pertes qui augmentent de plus en plus sont associées aux paquets de trames I, P ou B, respectivement. C'est-à-dire, les paquets qui transportent des fragments d'une trame B sont plus susceptibles d'être rejetés dans un routeur congestionné que les paquets provenant d'une trame P. De la même façon, les paquets d'une trame P sont plus susceptibles d'être rejetés en place des paquets provenant d'une trame I.

La différenciation parmi les paquets de différentes trames peut être obtenue en les marquant ces paquets de façon à ce qu'ils reçoivent différentes priorités de pertes selon une classe AF [11]. Cela demande l'utilisation d'un algorithme de gestion active de file d'attente. Un mécanisme RED à plusieurs niveaux [22, 23] peut fournir la différenciation de pertes désirée. Dans notre cas, nous utilisons un mécanisme RED à trois niveaux qu'on appelle REDN3. Les paquets qui contiennent des données de chaque type de trame sont associés à un certain niveau dans le mécanisme REDN3. Les trois niveaux sont étiquetés comme rouge, jaune et vert selon l'ordre de la priorité de perte la plus haute à la priorité la plus basse. Ainsi, un paquet provenant d'une trame I est marqué comme vert, un paquet d'une trame P est marqué comme jaune et finalement un paquet d'une trame B est marqué comme rouge. L'ensemble de paramètres du REDN3 inclue un seuil minimum, un seuil maximum ainsi qu'une probabilité maximale (min, max, $Pmax$) pour chaque niveau (rouge, jaune et vert). Dû aux différents ensembles de paramètres, il est possible d'offrir différents taux de pertes de paquets à chaque niveau comme illustré dans la figure 2. La courbe verte offre une priorité de perte plus basse que la courbe jaune qui à son tour offre une priorité de perte plus basse que la courbe rouge.

3 Résultats de Simulation

Nous avons implémenté notre modèle de simulation dans l'outil de simulation ns-2 [24]. L'évaluation de performance est réalisée par simulation dans le scénario de la figure 3. Nous avons utilisé la séquence de vidéo Starwars-IV [25], codée en haute qualité grâce à un codage MPEG-4 ayant comme débit moyen 0,28 Mbit/s et comme débit crête 1,9 Mbit/s. Chaque trame est fragmentée en paquets de 200 octets.

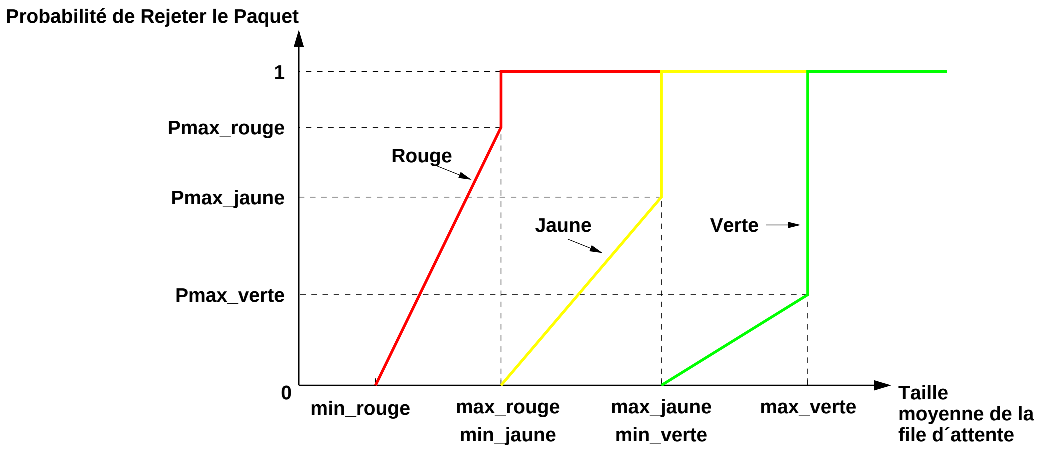


FIG. 2 – Paramètres du mécanisme RED à trois niveaux (REDN3).

Les paquets vidéo sont transmis du nœud V0 au nœud V1. Un nombre des sources TCP sont distribués uniformément parmi les nœuds T0, T1 et T2 qui envoient leurs paquets aux nœuds D0, D1 et D2, respectivement. De cette façon un trafic TCP indépendant se mélange au flux vidéo à chaque nœud. Cela fournit un scénario pessimiste qui reflète des conditions plus réalistes de trafic d'un réseau.

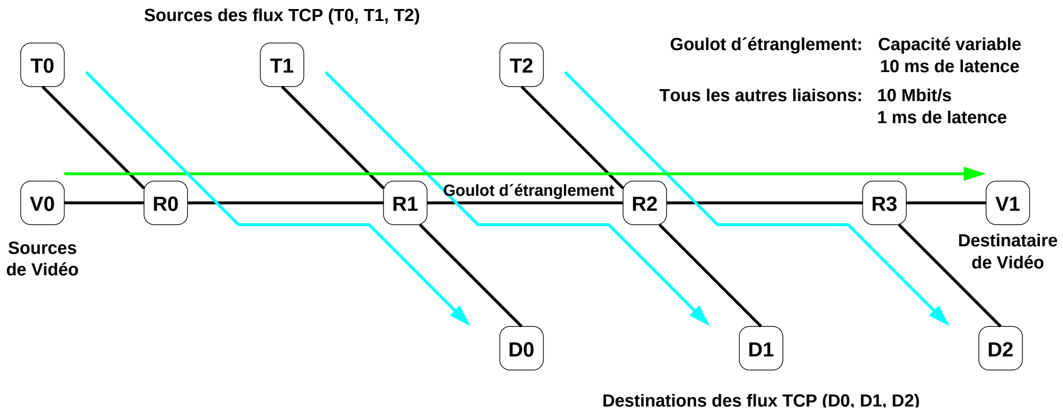


FIG. 3 – Le scénario du réseau.

Les routeurs R0, R1 et R2 utilisent soit le mécanisme *Drop Tail* classique, soit le mécanisme RED à trois niveaux pour la gestion active de la file d'attente. Les paramètres de seuil du mécanisme REDN3 pour les trois niveaux sont configurés comme des pourcentages de la taille totale de la file d'attente ($qlen$) qui reste fixe de 50 paquets. Nous divisons la taille totale de file d'attente ($qlen$) en cinq parties égales. Ainsi, les paramètres REDN3 qu'on utilise dans les simulations sont $(0,2*qlen,\ 0,4*qlen,\ 0,1)$[1], $(0,4*qlen,\ 0,6*qlen,\ 0,05)$ et $(0,6*qlen,\ 0,8*qlen,\ 0,025)$ pour les paquets rouges, jaunes et verts, respectivement. Cet ensemble de paramètres différencie les paquets rouges progressivement évitant les pertes des paquets jaunes et verts. Les paquets des flux TCP sont considérés comme des paquets rouges.

[1] $(min,\ max,\ Pmax)$

3.1 Les Métriques d'Évaluation

Nous comparons le schéma REDN3 avec le mécanisme *Drop Tail* présent dans le réseau Internet actuel. Pour évaluer la transmission d'un flux vidéo MPEG d'après le scénario proposé (figure 3), nous considérons les métriques suivantes : le pourcentage de trames décodables et le pourcentage de données inutiles reçues. La première métrique, représentant la qualité du flux vidéo, est définie par le nombre de trames décodables sur le nombre total de trames envoyées par la source. La seconde métrique est définie par le pourcentage de données reçues qui devient inutile au décodeur. Nous mesurons aussi le *goodput* des flux TCP pour voir de quelles manières ils sont affectés par l'adoption soit de la politique *Drop Tail*, soit de la politique de gestion de file d'attente REDN3 dans les routeurs intermédiaires. Tous les résultats sont présentés avec des intervalles de fiabilité de 99%.

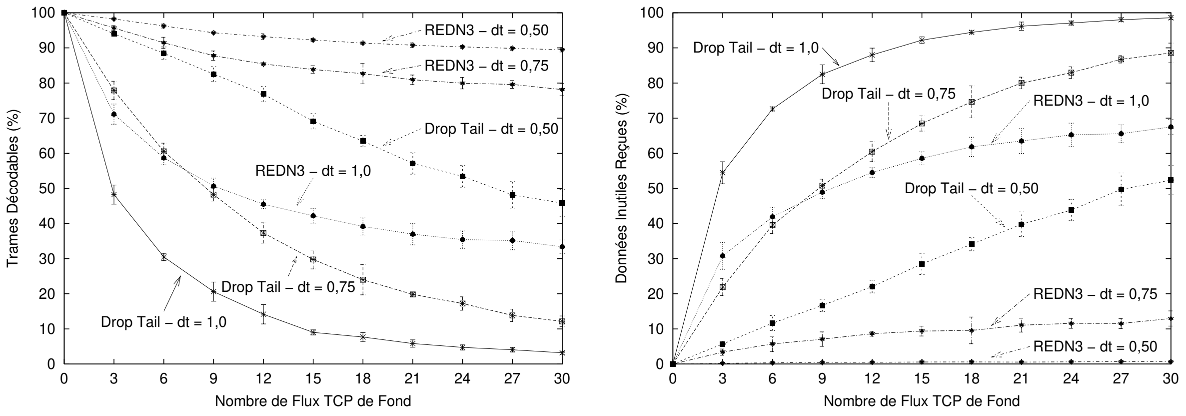
Le critère adopté pour considérer une trame décodable est défini de la façon suivante. Pour que celle-ci soit considérée décodable, il faut qu'il y ait au moins une fraction fixe dt (*decodable threshold*) des données dans chaque trame. De plus, une trame est considérée décodable si et seulement si toutes les autre trames dont elle dépend soient aussi considérées décodables. Ainsi, quand le $dt = 1,0$, le décodeur est complètement intolérant aux pertes, c'est-à-dire, un paquet perdu suffit pour rendre une trame undécodable. De la même façon, si le $dt = 0,75$, jusqu'à 25% des données d'une trame peuvent être perdues dans le réseau alors cette trame sera toujours considérée décodable. Ce critère permet une tolérance aux pertes dans le réseau jusqu'à un certain niveau comme dans le cas de l'utilisation d'un schéma de *Forward Error Correction* (FEC) [26].

3.2 Variation de la Charge du Trafic TCP

Notre premier ensemble d'expérimentations évalue la transmission d'un flux vidéo MPEG d'après le schéma proposé. Dans ces expérimentations on fait varier le nombre de connexions TCP qui joue le rôle de trafic de fond. La capacité du goulot d'étranglement reste fixe à 1,024 Mbit/s. Les sources TCP sont distribuées uniformément parmi les nœuds T0, T1 et T2. Ainsi, un tiers de ces sources dispute contre le flux vidéo la bande passante disponible dans le goulot d'étranglement. Nous comparons la qualité de distribution du flux vidéo en utilisant le mécanisme REDN3 et le *Drop Tail* pour différents seuils de décodage (dt).

Lorsque le nombre de connexions TCP augmente, le pourcentage de trames décodables est sérieusement affecté en utilisant le *Drop Tail*, comme montré dans la figure 4(a). Même avec un $dt = 0,50$ (le récepteur peut tolérer jusqu'à 50% de pertes dans chaque trame), il y a une forte réduction de la qualité du flux vidéo distribué. Ce comportement se produit dû à l'adoption du mécanisme *Drop Tail* qui engendre des pertes sans différenciation de paquets. La perte d'une trame I ou P peut rendre d'autres trames undécodables dégradant ainsi fortement la qualité perçue. Par contre, le mécanisme REDN3 accomplit mieux sa tâche et offre une dégradation moins faible que le *Drop Tail* quand il y a des conditions de charge importante, tout spécialement si le système tolère quelques pertes ($dt = 0,75$ ou $dt = 0,50$). La figure 4(b) montre qu'une grande quantité de ressources du réseau peut être gaspillée lors de l'utilisation d'une politique *Drop Tail*. Tandis que le mécanisme REDN3 améliore le pourcentage de trames décodables et il évite le gaspillage de ressources du réseau en empêchant la livraison d'information qui deviendrait inutile au récepteur. Encore une fois, cet effet est fortement accentué si une certaine quantité de pertes est tolérée.

Fournir un taux de pertes plus petit aux paquets qui contiennent l'information d'une trame I ou P évite le gaspillage des ressources du réseau et améliore le pourcentage de trames décodables. Pour atteindre ce but, les connexions TCP qui partagent des liens avec le flux vidéo sont pénalisées. Un tel effet est présenté dans la figure 5 qui montre le *goodput* total des connexions TCP dans le goulot d'étranglement. Dans le mécanisme REDN3, le *goodput* total du trafic TCP est plus petit que dans



(a) Trames décodables

(b) Données inutiles reçues

FIG. 4 – En variant le nombre de flux TCP de fond.

le *Drop Tail*. Imposer une petite pénalité aux connexions TCP permet un bénéfice significatif de la qualité de distribution du flux vidéo.

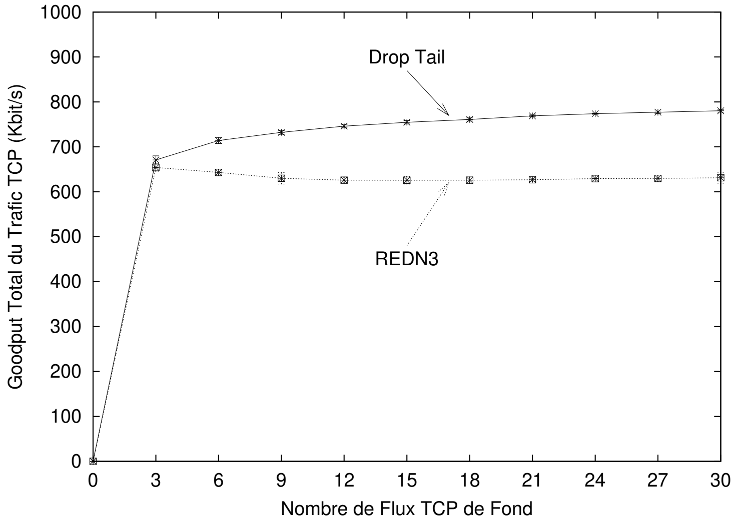
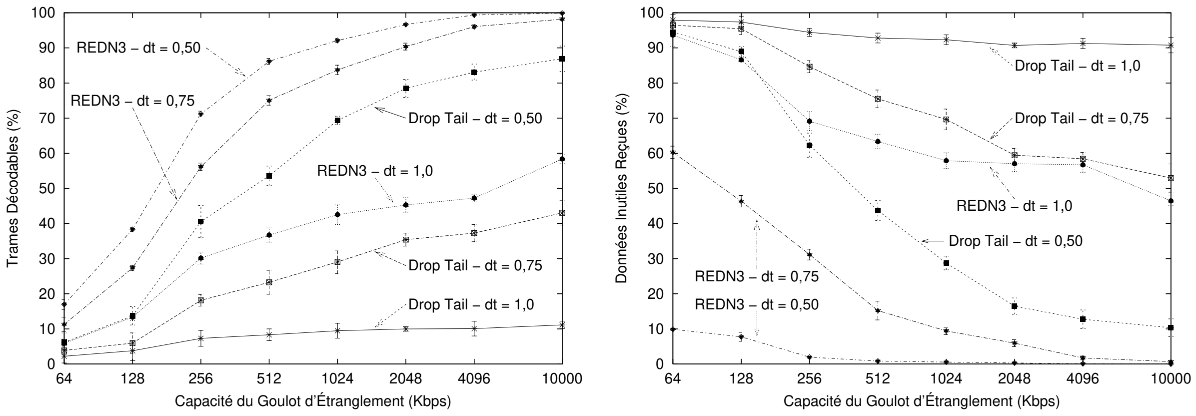


FIG. 5 – Le *goodput* total des flux TCP de fond dans le goulot d'étranglement.

3.3 Variation de la Capacité du Goulot d'Étranglement

Le deuxième ensemble d'expérimentations évalue la performance du REDN3 et du *Drop Tail* avec différentes capacités de goulot d'étranglement. Il y a quinze connexions TCP, dont cinq à chaque source de trafic TCP. Les résultats de la livraison du flux vidéo, c'est-à-dire le pourcentage de trames décodables ainsi que de données inutiles reçues, sont présentés dans la figure 6.

Lorsque la largeur de la bande passante est limitée, la qualité de distribution du flux de vidéo est fortement affectée, même pour des valeurs basses de *dt* comme le montre la figure 6(a). Quand la largeur de bande passante devient plus grande, le mécanisme REDN3 profite mieux de la quantité



(a) Trames décodables

(b) Données inutiles reçues

FIG. 6 – En variant la capacité du goulot d'étranglement.

de ressources qui est alors disponible. Lorsque la bande passante du goulot d'étranglement s'approche de 10 Mbit/s (il n'y a plus de goulot d'étranglement), le REDN3 offre plus de 95% de trames décodables pour un $dt = 0,75$. Notons que dans les mêmes conditions, le *Drop Tail* n'offre qu'environ 45% de trames décodables. Même si une quantité raisonnable de bande passante est disponible, les pertes sans différenciation du *Drop Tail* entraîne une plus grande dégradation à la qualité de distribution de la transmission de la vidéo.

Dans le cas où le goulot d'étranglement a des plus faibles capacités, il y a un grand gaspillage de ressources lors de l'utilisation du *Drop Tail*. Les paquets qui arrivent au récepteur ne suffisent pas pour décoder assez de trames, même avec un $dt = 0,50$ comme le montre la figure 6(b). Lorsque plus de bande passante devient disponible, la tolérance aux pertes améliore la performance du *Drop Tail*. Cependant, le REDN3 évite le gaspillage des ressources du réseau en protégeant les paquets qui contiennent l'information la plus importante. Dans le REDN3, les paquets contenant des informations des trames B (typiquement plus petites) ont un plus fort taux de pertes que les autres paquets des trames I ou P. C'est pour ça qu'avec un goulot d'étranglement de faible capacité, le REDN3 présente un faible pourcentage de trames décodables, mais aussi un faible pourcentage de données inutiles reçues pour un $dt = 0,50$. Étant donné qu'un grand nombre de trames B sont considérées undécodables, le pourcentage de trames décodables décroît. Pourtant, la quantité de données inutiles reçues provenant des trames B undécodables est petite quand on la compare au nombre total des données reçues. Effectivement, les trames B sont généralement plus petites en taille que les autres types de trame.

La performance du schéma REDN3 est améliorée lorsque les connexions TCP ont un accès plus restrictif à la bande passante disponible. La figure 7 présente la portion totale de la bande passante obtenue par les connexions TCP dans le goulot d'étranglement. La protection donnée aux paquets des trames I et P entraîne plus de pertes au niveau des connexions TCP qui a pour conséquence la réduction de leurs débits de transmission. Ainsi, les connexions TCP reçoivent une portion plus petite de la bande passante disponible dans le goulot d'étranglement lorsque le schéma REDN3 est utilisé.

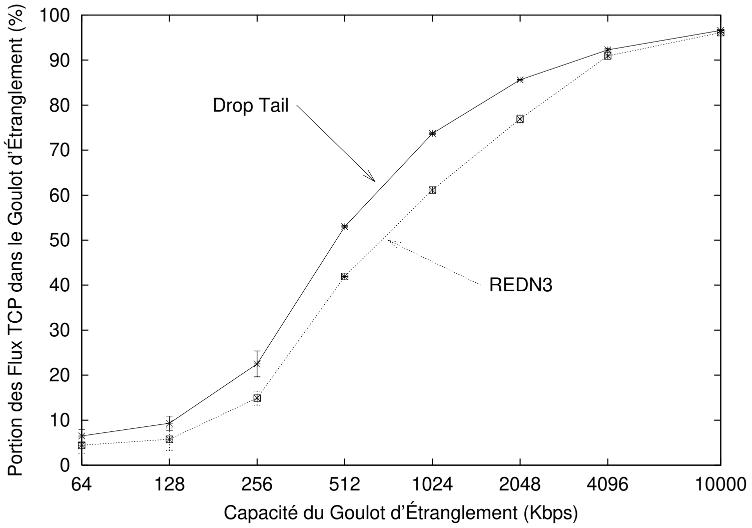
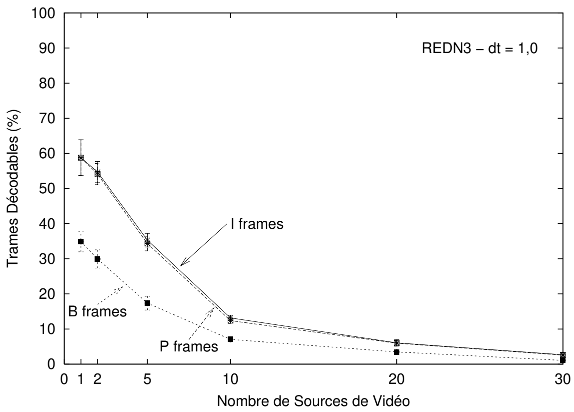


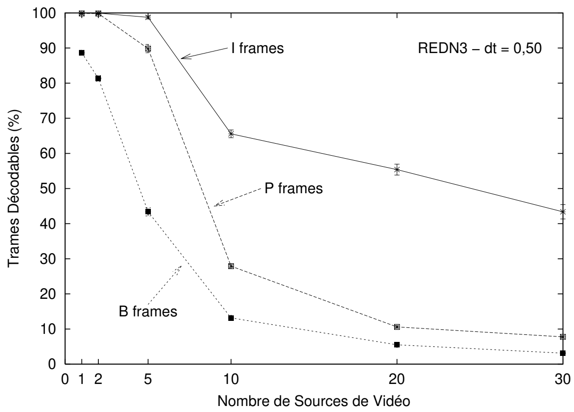
FIG. 7 – La portion des flux TCP dans le goulot d'étranglement.

3.4 Multiples Sources Vidéo

Jusqu'ici nous avons évalué la performance du mécanisme REDN3 en traitant des paquets d'une seule source de vidéo. Dans le prochain ensemble d'expérimentations, nous observons la qualité de distribution d'un flux vidéo de référence en présence d'autres flux vidéo qui utilisent eux aussi le mécanisme REDN3. Il existe donc différents paquets jaunes ou verts qui partagent les mêmes liens au scénario de réseau avec les paquets du flux vidéo de référence évalué. La capacité du goulot d'étranglement reste fixe à 1,024 Mbit/s et le trafic de fond est composé de 15 connexions TCP. Le nombre des sources vidéo varie de 1 à 30. Toutes ces sources utilisent le fichier de trace Starwars-IV avec des temps de départ aléatoires pour éviter des transmissions synchronisées. La figure 8 montre le pourcentage de trames décodables pour différents types de trame en considérant deux niveaux de tolérance aux pertes.



(a) $dt = 1,0$



(b) $dt = 0,50$

FIG. 8 – En variant le nombre de sources de vidéo.

Comme les paquets des trames B ainsi que les paquets TCP ont la même priorité de pertes (la plus élevée), les trames B présentent la pire des performances au niveau des différentes trames, comme on s'y attendait. La figure 8(a) montre que pour un système intolérant aux pertes ($dt = 1,0$), les trames P et I obtiennent les mêmes performances car le rejet d'un seul paquet peut rendre une trame entière undécodable. Dans un système qui tolère un certain nombre de pertes de paquets ($dt = 0,50$), les différents types de trames obtiennent des performances complètement différentes. C'est le résultat de la protection progressive contre des pertes de paquets de trames B, P et I offerte par le mécanisme REDN3.

4 Conclusion

Dans cet article nous avons évalué un schéma de services différenciés qui vise à améliorer la qualité de distribution des flux vidéo MPEG. La performance du mécanisme de différenciation de pertes qui évite une propagation d'erreurs à travers la structure hiérarchique du codage MPEG a été évaluée en considérant le pourcentage de trames décodables livrées et le pourcentage de données inutiles reçues. L'amélioration de la qualité de distribution a été obtenue en imposant un taux de pertes plus grand pour le trafic TCP, ayant pour conséquence, un *goodput* plus petit. Les résultats de simulation montrent que le schéma en cours d'étude offre une méthode simple, mais efficace pour améliorer la qualité de distribution de vidéos MPEG en évitant le gaspillage de ressources du réseau, même sous des conditions de charge importante. Sur la figure 4(a), on voit que dans un système qui tolère quelques pertes ($dt = 0,75$) et sous des conditions de charge qui augmentent de plus en plus, le mécanisme de différenciation étudié donne un meilleur pourcentage de trames décodables qui se stabilise à environ 80%. La même métrique dans le mécanisme *Drop Tail* continue à se dégrader jusqu'au environ 10% dans les mêmes conditions de charge simulées.

Références

[1] C. Lefelhocz, B. Lyles, S. Shenker, and L. Zhang, "Congestion control for best-effort service : Why we need a new paradigm", *IEEE Network*, vol. 10, pp. 10–19, Jan. 1996.

[2] X. Xiao and L. Ni, "Internet QoS : the big picture", *IEEE Network*, vol. 13, pp. 1–13, Mar. 1999.

[3] C. Diot, C. Huitema, and T. Turletti, "Multimedia applications should be adaptive", in *Proceedings of High Performance Computing Systems and Applications - HPCS'95*, Aug. 1995.

[4] M. D. de Amorim, O. C. M. B. Duarte, and G. Pujolle, "Application-aware multicast", in *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference - GLOBECOM'01*, Nov. 2001.

[5] E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, and H. Sandick, "A framework for QoS-based routing in the Internet", *Internet RFC 2386*, Aug. 1998.

[6] L. H. M. K. Costa, S. Fdida, and O. C. M. B. Duarte, "A scalable algorithm for link-state QoS-based routing with three metrics", in *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications - ICC'2001*, June 2001.

[7] L. H. M. K. Costa, S. Fdida, and O. C. M. B. Duarte, "Hop by hop multicast routing protocol", in *Proceedings of ACM SIGCOMM'2001*, Aug. 2001.

[8] S. Blake, D. L. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An architecture for differentiated services", *Internet RFC 2475*, Dec. 1998.

[9] V. Jacobson, K. Nichols, and K. Poduri, "An expedited forwarding PHB", *Internet RFC 2598*, June 1999.

[10] A. Charny, F. Baker, J. Bennett, K. Benson, J.-Y. L. Boudec, A. Chiu, W. Courtney, B. Davie, S. Davari, V. Firoiu, C. Kalmanek, K. K. Ramakrishnan, and D. Stiliadis, "Supplemental information for the new definition of the EF PHB", *Internet Draft*, June 2001. `draft-ietf-diffserv-ef-supplemental-01`.

[11] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, and J. Wroclawski, "Assured forwarding PHB group", *Internet RFC 2597*, June 1999.

[12] A. Ziviani, J. F. de Rezende, and O. C. M. B. Duarte, "Towards a differentiated services support for voice traffic", in *Proceedings of the IEEE GLOBECOM'99*, vol. 1, pp. 59–63, Dec. 1999.

[13] C. Dovrolis and P. Ramanathan, "Proportional differentiated services, part II : Loss rate differentiation and packet dropping", in *Proceedings of IWQoS'2000*, June 2000.

[14] F. Hao, E. Zegura, and M. Ammar, "Supporting server selection in differentiated service networks", in *Proceedings of IEEE INFOCOM'2001*, Apr. 2001.

[15] A. Ziviani, J. F. de Rezende, O. C. M. B. Duarte, and S. Fdida, "Evaluating voice traffic in a differentiated services environment", in *Proceedings of the 17th International Teletraffic Congress (ITC17)*, Dec. 2001.

[16] R. Koenen, "MPEG-4 : Multimedia for our time", *IEEE Spectrum*, vol. 36, pp. 26–33, Feb. 1999.

[17] M. Hemy, U. Hengartner, P. Steenkiste, and T. Gross, "MPEG systems streams in best-effort networks", in *Proceedings of the 9th Packet Video Workshop - PV'1999*, Apr. 1999.

[18] J. Shin, J.-W. Kim, and C.-C. J. Kuo, "Content-based packet video forwarding mechanism in differentiated services networks", in *Proceedings of the 10th Packet Video Workshop - PV'2000*, May 2000.

[19] S. Bhattacharjee, K. L. Calvert, and E. W. Zegura, "Network support for multicast video distribution", Tech. Rep. GIT-CC-98/16, Georgia Institute of Technology, 1998.

[20] M. Krunz and S. K. Tripathi, "On the characterization of VBR MPEG streams", in *Proceedings of the ACM SIGMETRICS'97*, May 1997.

[21] J. M. Boyce and R. D. Gaglianello, "Packet loss effects on MPEG video sent over the public Internet", in *Proceedings of the ACM Multimedia 98*, Sept. 1998.

[22] S. Floyd and V. Jacobson, "Random early detection gateways for congestion avoidance", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 1, pp. 397–413, Aug. 1993.

[23] D. D. Clark and W. Fang, "Explicit allocation of best effort packet delivery service", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, pp. 362–373, Aug. 1998.

[24] K. Fall and K. Varadhan, "NS – notes and documentation", tech. rep., The VINT Project, Jan. 1999.

[25] F. H. P. Fitzek and M. Reisslein, "MPEG-4 and H.263 video traces for network performance evaluation", *IEEE Network*, vol. 15, pp. 40–54, Nov. 2001.

[26] B. E. Wolfinger, "On the potencial of FEC algorithms in building fault-tolerant distributed applications to support high QoS video communications", in *Proceedings of the ACM Symposium on Principles of Distributed Computing - PODC'97*, Aug. 1997.