
Une extension du modèle de tarification «smart market» pour l’Internet basé sur le contrôle de congestion

Nicolas LARRIEU — Philippe OWEZARSKI

LAAS – CNRS
7, avenue du Colonel ROCHE
31077 TOULOUSE Cedex 4
{nlarrieu, owe}@laas.fr

RÉSUMÉ. Ce papier propose une nouvelle approche permettant la différenciation et la tarification de service dans l’Internet. Elle s’appuie sur les niveaux d’agressivité différents des mécanismes de contrôle de congestion (de TCP notamment) qui engendrent des oscillations dégradant les performances du réseau. La tarification s’inspire ainsi du modèle «smart market» dans lequel les tarifs augmentent drastiquement au moment des congestions, et les utilisateurs paient donc cher lorsque leur trafic nuit à la résorption de l’état de congestion. En étendant et généralisant l’esprit du «smart market», les utilisateurs paient en fonction des perturbations qu’ils introduisent dans le réseau, i.e. plus les utilisateurs dégradent l’état du réseau, plus le service qu’ils utilisent leur est facturé cher. L’agressivité des mécanismes qu’ils utilisent fonctionne comme un indicateur de la qualité de service (QoS) offerte ainsi que des niveaux d’oscillation ou de perturbation qu’elle induit. Dans cet article, nous proposons une série de simulations NS-2 ainsi qu’une étude quantitative permettant de valider notre approche.

ABSTRACT. This paper deals with a new approach for both differentiating and charging Internet services. This approach relies on different aggressiveness levels of congestion control mechanisms (especially TCP’s), whose behaviors create very damaging traffic oscillations for network performances. Charging is then inspired by the “smart market” model in which prices are drastically increasing during congestions, and users then are charged a lot when their traffic jeopardizes congestion clearing. By extending and generalizing the “smart market” approach, users pay depending on disturbances they introduce in the network, i.e. the more they disturb network traffic, the more they pay. The aggressiveness of congestion control mechanisms works as an indicator for both the quality of service (QoS) delivered to users and oscillation or disturbance levels induced in the network. In this paper, we propose several NS-2 simulations and a quantitative study of simulation results to validate our approach.

MOTS-CLÉS : Tarification des services Internet, QoS Internet, services différenciés, contrôle de congestion, TCP

KEYWORDS: Internet services charging, Internet QoS, service differentiation, congestion control, TCP

1. Introduction

L'Internet est en train de devenir le réseau universel pour tous les types d'informations, du transfert simple de fichiers binaires jusqu'à la transmission de la voix, de la vidéo ou d'informations interactives en temps-réel. L'Internet se doit donc de fournir de nouveaux services adaptés aux applications Internet et aux données qu'elles transmettent. De plus, l'Internet croît très rapidement, en taille (nombre d'utilisateurs, d'ordinateurs connectés, etc.) et en complexité, en particulier à cause de la nécessité d'offrir de nouveaux services et d'optimiser l'utilisation des ressources de communication pour améliorer la QoS¹ offerte aux utilisateurs. En effet, l'Internet doit évoluer d'une offre de service «best effort» unique vers une offre multi-services.

La tarification de services différenciés dans l'Internet représente un enjeu considérable, mais pose de gros problèmes aux opérateurs Internet actuels et aux FAI². A l'heure actuelle, ils n'existe pas de solution répondant à la fois à l'attente des utilisateurs et des opérateurs. En effet, les principales offres de tarification disponibles dans les réseaux commerciaux opérationnels sont principalement de deux sortes :

– Une connexion à la durée vers le réseau du FAI : cette approche, issue du réseau téléphonique, est encore utilisée par les utilisateurs accédant à l'Internet par l'intermédiaire d'un modem téléphonique. Ce modèle de tarification est défavorable aux utilisateurs qui doivent payer leur connexion même lorsqu'ils ne transmettent pas d'information. Ceci est particulièrement vrai dans les régions où les appels téléphoniques locaux ne sont pas gratuits.

– Un abonnement : ce principe de facturation est celui qui s'est imposé avec l'avènement des accès à l'Internet par câble ou ADSL³. La plupart du temps, les utilisateurs souscrivent une connexion permanente à l'Internet, dont le prix est basé sur sa capacité, et disposent ainsi d'un accès illimité à l'Internet. Ce principe de facturation est très favorable aux utilisateurs, et après plusieurs années de déploiement, apparaît comme très dangereux pour les opérateurs et les FAI. En effet, avec un accès illimité, les utilisateurs génèrent une très grande quantité de trafic, par exemple des fichiers musicaux ou vidéos, parfois volumineux, échangés par l'intermédiaire d'applications P2P⁴. A cause de l'importance grandissante de ce nouveau type de trafic, les réseaux des opérateurs ou des FAI commencent à être congestionnés (ou du moins plus assez sur-dimensionnés) ce qui provoque des diminutions de QoS. Ainsi, ils doivent faire évoluer leurs réseaux pour pouvoir fournir des services Internet de qualité ce qui représente pour les opérateurs, un coût important.

A l'heure actuelle, réaliser une tarification d'un réseau à service unique n'est pas chose aisée, mais mettre en place un système de tarification dans un réseau multi-services devient encore plus complexe. Ainsi, pour permettre une tarification plus adaptée au réseau Internet il est important de cibler les enjeux d'un tel réseau.

1. QoS : Qualité de Service
2. FAI : Fournisseurs d'Accès Internet
3. ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line
4. P2P : Peer to Peer

– Tout d’abord, il faut pouvoir homogénéiser les divers domaines ou SA⁵ de l’Internet qui n’offrent pas la même QoS et intégrer dans ce schéma la vision de bout en bout des utilisateurs. Ceci constitue l’aspect «horizontal» de cette problématique. En effet, l’Internet est une interconnexion de domaines indépendants, gérés de façon autonome, qui possèdent leurs propres capacités et proposent leurs propres CdS⁶. C’est particulièrement vrai pour les services DiffServ [BLA 98]. Dans ce cas, les services peuvent être différents d’un domaine à l’autre, et les utilisateurs vont obtenir le niveau de QoS du domaine le moins performant même s’ils sont facturés pour un service de niveau supérieur. Ainsi, il apparaît qu’il est nécessaire de prendre en compte le point de vue de bout en bout des utilisateurs pour proposer des mécanismes de différenciation et de facturation.

– Ensuite, il est nécessaire de fusionner les comportements des utilisateurs et des opérateurs. En effet, les premiers facturent un service de niveau réseau (couche 3) pendant que les seconds disposent d’un point de vue applicatif (couche 7). Par exemple, les opérateurs font payer les retransmissions alors que les utilisateurs voudraient uniquement payer pour le trafic utile dont ils disposent. Cela représente l’aspect «vertical» de cette problématique.

Dans ce papier, nous proposons une approche de tarification qui combine ces points de vue et établit un pont entre les différents aspects de cette problématique. Cette approche s’inspire de l’esprit du modèle «smart market» (décrit dans la section suivante) où les utilisateurs paient des prix élevés pour le trafic qu’ils émettent en période de congestion durable, et qui gêne donc la résorption de cette congestion. Bien sûr, à l’heure actuelle, les phénomènes de congestion à long terme sont plutôt rares dans l’Internet et de fait, le modèle «smart market» doit être rénové par rapport à cette problématique. Ainsi, notre approche de différenciation et de tarification de service s’appuie sur les différents niveaux d’agressivité des mécanismes de contrôle de congestion (de TCP⁷ notamment) employés par les différents services mis en œuvre. L’agressivité des mécanismes utilisés permet à un flux d’utiliser plus de ressources, et donc de maximiser sa QoS (ainsi que celle de tous les flux qui vont utiliser le même mécanisme de contrôle de congestion), mais elle engendre aussi des oscillations néfastes pour les performances globales du réseau [PAR 97]. Les oscillations sont en grande partie dues aux mécanismes d’autorégulation des protocoles de transmission comme ceux de TCP (section 2). Ainsi, dans notre approche, des trafics oscillant fortement doivent être facturés plus cher, à cause à la fois des perturbations qu’ils introduisent dans le réseau global et de la dégradation des performances qui en résulte. Cette nouvelle approche renove le modèle «smart market» pour l’Internet nouvelle génération, en considérant plutôt l’aspect dynamique du trafic que les comportements de congestion à long terme. De plus, ce modèle s’applique de façon continue, et pas seulement au moment des congestions.

5. SA : Systèmes Autonomes

6. CdS : Classe de Service

7. TCP : Transmission Control Protocol

Le plan de l'article est le suivant : tout d'abord dans la section 2, nous exposons les principes de notre approche de tarification et nous montrons comment nous nous inspirons de l'approche du modèle «smart market» que nous adaptons aux besoins de l'Internet nouvelle génération. Ensuite, dans la section 3, nous présentons une série d'expériences nous permettant de valider notre modèle de tarification. Nous démontrons que cette approche est cohérente à la fois avec les points de vue utilisateurs et opérateurs, ainsi qu'avec la structure multi-domaines de l'Internet. Ces expériences ont été réalisées avec le simulateur NS-2⁸ et nous permettent de proposer une évaluation quantitative de notre modèle de tarification. La section 4 propose ensuite plusieurs principes pour des mécanismes de facturation des utilisateurs en accord avec notre modèle de tarification. Enfin, la section 5 conclut ce papier.

2. Une nouvelle approche de différenciation de service et de tarification pour l'Internet

2.1. Oscillations et contrôle de congestion

Les mesures actuelles de métrologie sur les liens de l'Internet révèlent la présence d'oscillations dans le trafic Internet [OLI 01]. Un exemple de trafic observé sur un lien Internet est donné dans la figure 1. Celle-ci compare le trafic Internet actuel avec un modèle simple de trafic : le modèle de Poisson qui était il y a quelques années l'un des modèles supposés de l'Internet. En fait, les courbes de trafic doivent se lisser lorsque la granularité de l'observation augmente. C'est ce qui est représenté dans la figure 1 où pour chaque trafic (Internet actuel et Poissonien) l'amplitude des oscillations décroît lorsque la granularité d'observation est plus importante. Sur cette figure, on note aussi la différence entre les deux types de trafic : pour une granularité d'observation importante (1 seconde par exemple), l'amplitude des oscillations du trafic Internet est plus importante et se lisse moins vite que pour celles du trafic Poissonien.

Certaines analyses du trafic Internet réalisées dans le cadre de récents projets de métrologie [FRA 01, MET 02] ont montré que ces oscillations étaient le résultat de la présence de LRD⁹ et / ou d'auto-similarité dans le trafic [PAR 00]. Ces phénomènes ont plusieurs causes, notamment les mécanismes de contrôle de congestion, et tout particulièrement ceux de TCP qui est le protocole dominant dans l'Internet [PAR 96]. Parmi tous les mécanismes de TCP, il est clair que son système de contrôle en boucle fermée introduit de la dépendance à court terme dans le trafic étant donné que les acquittements dépendent de la réception d'un paquet, et que tous les autres paquets de ce flux dépendent de cet acquittement. De la même façon, les deux mécanismes de TCP (slow-start et congestion avoidance), introduisent de la dépendance entre les paquets de différentes fenêtres de contrôle de congestion. Et naturellement, la notion d'émission en rafale des sources TCP ajoutée à la LRD permettent d'expliquer la présence d'oscillations qui se répètent à toutes les échelles de temps dans le trafic global.

8. NS-2 : Network Simulator version 2

9. LRD : Long Range Dependence

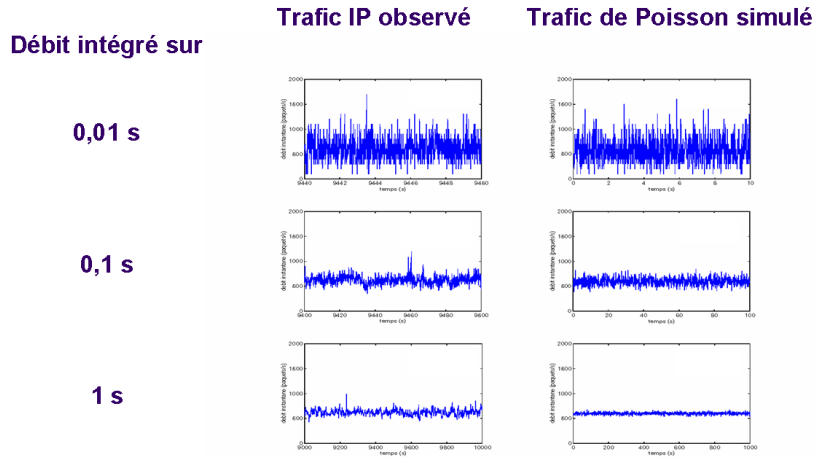


Figure 1. Comparaison entre les oscillations d'un trafic Internet et celles d'un trafic de type Poissonien

En généralisant ces observations, nous pouvons affirmer que tous les paquets d'un flux sont dépendants les uns des autres. De plus, avec l'augmentation des capacités de l'Internet permettant aux utilisateurs d'échanger des fichiers de plus en plus volumineux, comme des données musicales ou vidéo par exemple, il est clair que l'échelle du phénomène de LRD augmente, ce qui explique pourquoi l'amplitude des oscillations mesurées dans l'Internet, même avec une granularité d'observation élevée, est si importante. En effet, les phénomènes de dépendance de TCP se propageant dans le trafic par l'intermédiaire des flux, l'allongement des flux observable avec l'arrivée des applications P2P, augmente aussi la portée des dépendances qui se retrouvent à très long terme. Une oscillation à la date t provoque ainsi d'autres oscillations à des dates pouvant être éloignées de t . Une congestion (sporadique) induite par une forte oscillation sur un flux peut ainsi ne pas être complètement résorbée plusieurs heures après (dans le cas du téléchargement d'un film par exemple), c'est à dire que ce flux qui continuera à proposer au réseau des pics de trafic dépendants de cette première oscillation, engendrera de nouvelles congestions sporadiques¹⁰. De plus, il est clair que les longs flux, à cause de leur longue existence dans le réseau, et par l'importance des capacités des réseaux la plupart du temps très surdimensionnés, ont le temps d'atteindre des valeurs élevées de la fenêtre de contrôle de congestion (CWND). Aussi, une perte va entraîner une forte baisse, suivie d'une forte hausse du débit du flux. Les nouveaux usages de

10. Naturellement, avec les nouvelles capacités hauts débits des réseaux et le choix des opérateurs de sur-dimensionner les capacités du réseau pour améliorer la qualité de service, les congestions sur de longues durées n'existent plus. Par contre, des congestions sporadiques continuent à exister dans le réseau, notamment dans le réseau d'accès, à cause des fortes oscillations du trafic.

l'Internet (P2P notamment) qui entraînent la transmission de fichiers de plus en plus gros favorisent l'émergence d'oscillations de très fortes amplitudes et dépendantes sur de très longues périodes¹¹. Bien sûr, les oscillations sont très dangereuses pour l'utilisation globale des ressources du réseau étant donné que la capacité consommée par un flux après une perte, par exemple, ne peut pas être immédiatement utilisée par les autres flux : ceci correspond à un gaspillage de ressources, et évidemment entraîne une diminution de la QoS globale du trafic et du réseau. En effet, plus l'amplitude des oscillations est importante, plus les performances globales dans le réseau sont faibles [PAR 97].

Il apparaît ainsi que, la couche transport, par la mise en œuvre de ces mécanismes de contrôle de congestion, agit directement sur le profil du trafic réseau et sur la gestion de la QoS. De plus, elle rend un service perturbé par rapport à celui de la couche réseau. En ce sens, une approche de tarification dans l'Internet ne peut se faire uniquement au niveau 3 et doit prendre en compte, au moins, les spécificités de comportement de la couche 4. Le point de vue des opérateurs qui est de considérer le trafic et la QoS uniquement au niveau réseau est donc insuffisant. En effet, il est indispensable de facturer les utilisateurs en étudiant le niveau d'oscillation qu'ils engendrent en particulier au niveau transport. L'approche que nous présentons dans ce papier s'appuie sur les remarques précédentes pour adapter l'approche du modèle de tarification «smart market».

2.2. Les principes du modèle «smart market»

Ce modèle a été proposé par Mackie-Mason et Varian [MAC 95]. Il s'agit d'un mode de facturation proposé, à l'origine, pour juguler le comportement «agressif» des utilisateurs dans l'Internet qui n'utilisaient pas (ou peu) de contrôle de congestion lors de leurs transferts d'informations (e-mail, ftp ou audio). Un tel comportement pouvant entraîner des phénomènes de congestion généralisée sur le réseau, il leur est apparu nécessaire de mieux facturer les paquets à l'origine de cette congestion.

Ainsi, [MAC 95] a proposé d'ajouter à chaque paquet de données prêt à être émis sur le réseau un indicateur reflétant le prix que l'utilisateur est prêt à payer pour émettre son paquet. En parallèle, le réseau dispose d'une borne inférieure¹² pour la-

11. En effet, les résultats météorologiques sur la caractérisation du trafic depuis l'an 2000 ont montré que l'Internet qui était alors presque exclusivement utilisé pour de la navigation web, est aujourd'hui de plus en plus utilisé par des applications P2P pour des échanges de fichiers, souvent de tailles importantes (fichier audio, films, etc.). Aussi, le trafic Internet en 2000 se caractérisait par la transmission de flux courts, avec seulement un très faible pourcentage de flux de tailles plus importantes (environ 2 % des flux faisaient plus 100 Ko). Avec l'arrivée des applications P2P, la proportion de gros flux a considérablement augmenté, de même que la taille moyenne des flux transmis. De fait, le trafic Internet présente aujourd'hui une double caractéristique issue des applications dominantes générant ce trafic, avec de très nombreux petits flux (souris) et un nombre grandissant de gros flux (éléphants) [OWE 03].

12. Cette borne représente un indicateur de l'état de congestion du réseau.

quelle les paquets qui possèdent un indicateur dont la valeur est supérieure à cette borne sont véhiculés au mieux (selon les capacités du réseau pendant cette période).

Dès lors, en période d'utilisation normale du réseau (cf. pas de congestion), cet indicateur n'est pas utilisé : il n'y a pas de facturation supplémentaire¹³. Par contre, lorsque des phénomènes de congestion se produisent, les paquets ayant l'indicateur le plus élevé sont véhiculés en priorité car facturés les plus chers. Les autres, dont l'indicateur est inférieur à la borne mesurée par le réseau, sont soit temporairement bufferisés, soit reroutés sur un réseau moins rapide, soit supprimés en fonction des possibilités offertes par les équipements de routage et le réseau.

Ce mode de facturation laisse donc la possibilité à l'utilisateur de choisir le service qu'il souhaite utiliser pour véhiculer ses paquets de données étant donné que plus ce service est performant plus le tarif est élevé (un tel schéma ne s'appliquant qu'en période de congestion du réseau). D'autre part, l'utilisateur se voit facturer un prix de transfert par paquet qui varie de minute en minute en fonction de l'état de congestion du réseau. Un avantage important d'un tel fonctionnement est de ne faire payer que les utilisateurs responsables de la congestion du réseau.

De la même façon, d'autres travaux ont été menés par Kelly et al. pour proposer d'autres méthodes de tarification elles aussi basées sur les phénomènes de congestion. Le lecteur pourra se référer à deux articles qui ont servi de base aux travaux présentés dans cet article : [KEL 98] et [GIB 99]. Il est à noter l'existence d'un projet européen ambitieux dans ce domaine proposant des nouvelles solutions de tarification pour les services Internet : le projet «Market Managed Multiservice Internet» [M3I].

Il existe naturellement de nombreuses autres approches, non basées sur les congestions, qui ont été proposées. Parmi elles se trouvent des approches reposant sur la facturation en fonction de la quantité de données transmises, d'autres se basant sur des mécanismes de tarification par abonnement, etc. Ces propositions – y compris celles basées sur les congestions – connaissent des fortunes diverses et, de plus, leur perception peut changer au cours du temps. Néanmoins, la solution n'a pas encore été trouvée et mise en œuvre. En tant que chercheurs en réseau, et plus particulièrement dans le domaine de la métrologie de l'Internet, il nous est apparu que des caractéristiques du trafic, dommageables pour la QoS, sont imputables aux oscillations dues à TCP et à la dépendance qui existe entre tous les phénomènes oscillatoires des flux. De ce fait, l'esprit du modèle «smart market» qui consiste à facturer plus les utilisateurs qui perturbent le plus la qualité du service réseau, nous apparaît très séduisante en incitant financièrement les utilisateurs à plus de rigueur et permettant d'aider à l'amélioration de la QoS de l'Internet.

13. Néanmoins, une facturation de base est toujours appliquée en fonction des coûts de connexion des différents utilisateurs au réseau de l'opérateur.

2.3. Un nouveau modèle de tarification des services Internet

Le modèle «smart market» permet une tarification et une facturation adaptée uniquement au niveau de congestion du réseau induit par l'utilisateur. Evidemment, à cette époque, les congestions étaient les seuls dysfonctionnements importants qui pouvaient pénaliser de façon significative le comportement des applications utilisatrices. Avec les besoins de l'Internet actuel, notamment en termes de garanties temporelles, l'ensemble des dysfonctionnements pouvant affecter les utilisateurs et le réseau est plus important. Dans cette perspective, il nous semble réaliste de mettre en relation le modèle de tarification et les phénomènes d'oscillation dus aux mécanismes de contrôle de congestion. En effet, plus le trafic oscille, plus l'utilisation globale du réseau est faible. Il est donc important de faire payer plus cher les utilisateurs responsables du caractère oscillant du trafic. Pour cela, il faut disposer d'un indicateur permettant de mesurer facilement ce caractère oscillatoire. Etant donné que la notion d'oscillation protocolaire est fortement liée au concept d'agressivité protocolaire (comme nous le verrons dans l'étude expérimentale de la section 3), l'agressivité des mécanismes utilisés nous semble représenter le paramètre adéquat pour un tel mode de tarification. En effet, les utilisateurs paieraient pour différentes CdS, chacune représentant un protocole de transport différent et son contrôle de congestion associé. Plus le mécanisme serait agressif, plus il entraînerait d'oscillations sur le réseau, plus les performances globales seraient susceptibles d'être dégradées et plus sa facturation devrait être élevée.

En résumé, notre contribution pour la définition d'un nouveau modèle de tarification des services Internet s'inspire de l'esprit qui est à l'origine du mode de facturation smart market, à savoir la pénalisation des auteurs de troubles dans l'Internet, responsables des baisses de performances et du faible niveau de QoS du réseau. Par contre, les modalités techniques de tarification sont différentes. En effet, dans notre approche nous ne proposons pas de nous baser sur le niveau de congestion induit par les utilisateurs dans l'Internet mais sur une métrique différente – l'agressivité protocolaire des mécanismes de congestion de niveau transport (cf. définition de ce concept dans la section 3) – qui traduit à la fois le niveau d'oscillation qu'engendre les utilisateurs du réseau, la baisse des performances induites par leur comportement et l'impact sur le niveau de QoS offerte au niveau du réseau.

Les modalités d'applications pratiques concernant ce principe de tarification pour l'Internet seront abordées dans la section 4. La section qui suit propose une évaluation expérimentale de cette approche.

3. Evaluation

Pour valider notre approche de tarification basée sur des niveaux d'agressivité différents, il nous faut disposer d'un moyen de classer les flux en fonction de leur niveau d'oscillation (ou encore de leur agressivité). Intuitivement, on peut définir une relation directe entre le niveau d'oscillation d'un mécanisme (ou son agressivité) et

les ressources qu'il occupe. En conséquence, plus un protocole oscille, plus il est capable d'utiliser des ressources en quantité importante. Dès lors, nous allons étudier dans cette partie un moyen de différencier les protocoles par niveaux d'agressivité en mesurant leur capacité à consommer des ressources dans le réseau.

3.1. Principes des expériences réalisées

L'évaluation de l'approche de tarification décrite dans la section 2 a été réalisée en s'appuyant sur un ensemble de simulations NS-2 [NS2]. La topologie réseau simulée est constituée d'un ensemble de sources de trafic interconnectées par des liens d'accès et concentrées sur un même lien de cœur. Cette topologie va nous permettre de confronter l'agressivité mise en œuvre par les différents mécanismes de niveau transport et la QoS fournie aux applications utilisant ces protocoles. Pour cela, les mesures sont réalisées sur le lien de cœur. Il faut préciser que les RTT¹⁴ sont les mêmes pour tous les protocoles de façon à ce qu'ils fonctionnent dans des conditions similaires et permettent ainsi de tirer des conclusions seulement sur les mécanismes de niveau transport à l'exclusion de tous les autres caractéristiques externes. L'impact du RTT sur le niveau d'agressivité d'un flux sera vu plus avant.

Les différents protocoles analysés dans les simulations sont les suivants :

- TCP Tahoe [ALL 99] : la plus ancienne version du protocole TCP implémentant le mécanisme Slow-Start ;
- TCP New Reno [ALL 99] : la version de TCP la plus utilisée aujourd'hui ;
- TCP SACK [MAT 99] : une nouvelle version de TCP introduisant un mécanisme d'acquiescement sélectif qui devrait très prochainement supplanter TCP New Reno ;
- TCP Vegas [BRA 94] : une version de TCP non déployée qui propose un mécanisme de contrôle de congestion dont l'évaluation de la congestion se fait par l'analyse de l'évolution des RTT ;
- TFRC [FLO 00] : un nouveau mécanisme de contrôle de congestion «TCP-friendly», qui est plus régulier que les précédents mécanismes (en terme de débit émis) et s'adresse donc plus spécifiquement à des applications orientées flux.

Historiquement, ces versions de TCP (excepté TCP Vegas) avaient pour objectif d'être capables d'utiliser le plus efficacement possible les nouveaux réseaux qui offrent toujours plus de bande passante. Leur agressivité devrait donc croître en fonction de leur année d'introduction dans l'Internet. TFRC ne répond pas à ce schéma étant donné que son objectif est de rendre un service le plus stable possible et non pas le plus agressif possible.

14. RTT : Round Trip Time

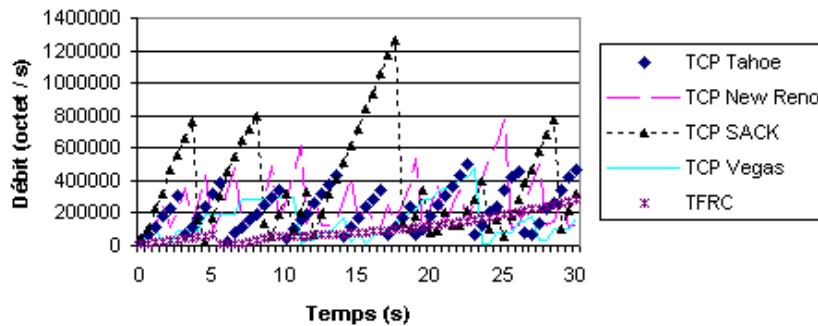


Figure 2. Débit des différents protocoles de transport

3.2. Validation du principe de tarification basé sur l'agressivité des mécanismes de niveau transport

Les simulations ont été réalisées en mettant en concurrence 5 flux de chacun de ces protocoles. Tous les flux démarrent au même moment. Les paquets échangés ont la même taille, d'un flux et d'une version des protocoles à l'autre. Enfin, le nombre de paquets échangés est identique pour tous les flux. Les résultats sont décrits dans les figures 2 et 3.

La figure 2 représente le débit par protocole. Il apparaît clairement ici que le débit, i.e. la QdS, offert par chaque protocole respecte l'ordre suivant :

$$QdS(TCP\ SACK) > QdS(TCP\ New\ Reno) > QdS(TCP\ Tahoe) > QdS(TCP\ Vegas) > QdS(TFRC)$$

Cet ordre est en accord avec nos prévisions qui se basaient sur le principe que les versions successives de TCP ont été développées pour être de plus en plus agressives et être capables de tirer partie de l'augmentation continue de la capacité des liens de l'Internet. L'agressivité est ici définie comme la capacité d'un protocole à consommer des ressources rapidement. L'agressivité est donc calculée comme la fonction dérivée du débit. Dans un environnement discret, l'agressivité d'un protocole est alors :

$$Ag_{Prot}(t) = \frac{d_{Prot}(t + \Delta t) - d_{Prot}(t)}{\Delta t} \quad [1]$$

où :

– Ag_{Prot} représente la fonction instantanée d'agressivité pour un protocole donné $Prot$;

– $d_{Prot}(t)$ représente le débit mesuré pour un protocole ;

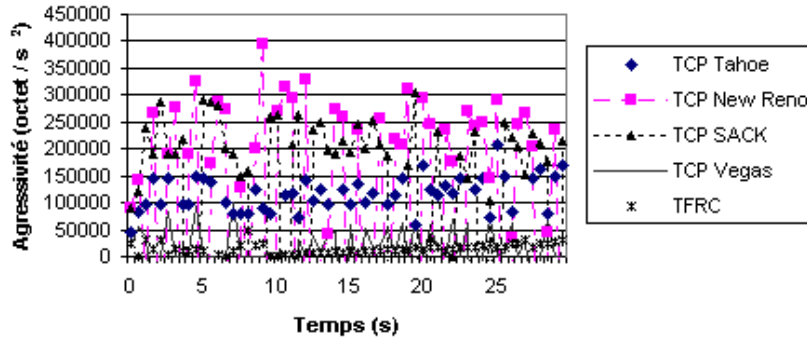


Figure 3. Agressivité des différents protocoles ($Ag_{Prot}(t)$)

– Δt représente la granularité des mesures.

Les résultats de l’agressivité sont représentés sur la figure 3. Il faut noter que seules les valeurs positives apparaissent car elles correspondent à une consommation de ressource. La figure 3 met ainsi en évidence le fait que l’agressivité protocolaire varie beaucoup pendant la transmission d’un flux (cf. l’évolution de l’ensemble des 5 connexions au cours du temps pour un protocole donné). Il est important de noter ici que ce mode de calcul de l’agressivité protocolaire intègre implicitement l’impact de la valeur RTT établi entre l’émetteur et le récepteur du message. En effet, plus le RTT sera court, plus les acquittements TCP seront rapidement acheminés au travers du réseau et plus la fenêtre de congestion pourra croître rapidement, augmentant ainsi le risque d’oscillation si des pertes venaient à apparaître sur le réseau. L’agressivité peut donc varier au cours du temps pour chacun des flux, notamment en fonction des variations des RTT¹⁵. De fait, ce qu’il est intéressant de quantifier dans cette situation, c’est la capacité maximale d’un flux ou d’un protocole à consommer des ressources. Ainsi, l’agressivité globale $Ag(Prot)$ pour un protocole $Prot$ est définie par :

$$Ag(Prot) = \max(Ag_{Prot}(t)) \quad [2]$$

Ainsi, la figure 4 représente sur le même graphique à la fois le débit moyen obtenu par chaque protocole de transport et son agressivité globale définie dans l’équation 2. Il apparaît clairement que l’ordre des niveaux de QoS par protocole est le même que l’ordre de leur niveau d’agressivité (excepté pour TCP New Reno) :

$$Ag(\text{TCP New Reno}) > Ag(\text{TCP SACK}) > Ag(\text{TCP Tahoe}) > Ag(\text{TCP Vegas}) > Ag(\text{TFRC})$$

15. Même si ce n’est pas le cas dans cette simulation pour laquelle, nous le rappelons, les RTT sont maintenus constants.

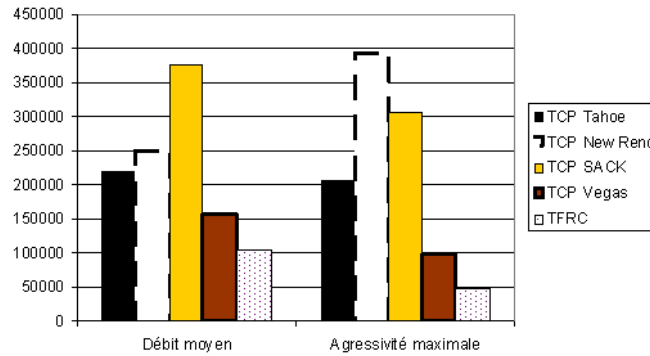


Figure 4. Comparaison entre débit (QdS) et agressivité maximale ($Ag_{Prot}(t)$) par protocole

Ce résultat démontre que notre modèle de tarification est cohérent par rapport à la vision opérateur mais aussi par rapport au point de vue utilisateur. En effet, nous avons expliqué dans la section 2.1 comment les oscillations, c'est à dire l'agressivité, des protocoles de niveau transport perturbent le profil du trafic et réduisent les performances du réseau. Dans la présente section, nous avons démontré que l'agressivité, même si elle réduit les performances globales du réseau, aide à l'obtention de meilleures performances de façon individuelle. La seule exception concerne TCP New Reno, mais ces résultats de simulations ont l'intérêt de montrer que TCP New Reno n'est pas un protocole intéressant pour les utilisateurs et les opérateurs. En effet, il consomme une grande quantité de ressources pour un niveau final de QdS qui est plutôt limité. TCP New Reno apparaît donc comme un protocole peu efficace qui est responsable de beaucoup de problèmes rencontrés actuellement dans l'Internet : il contribue fortement à l'augmentation de la LRD et de l'auto-similarité dans le trafic, ces deux propriétés étant la cause des difficultés actuelles pour augmenter la QdS de l'Internet.

4. Mécanismes de tarification

Comme nous venons de le voir, facturer les services Internet en fonction du niveau d'agressivité des mécanismes de contrôle de congestion est une solution pour les opérateurs qui devraient recevoir également l'aval des utilisateurs. Néanmoins, il reste à définir les principes de mise en œuvre d'un tel mode de tarification. Pour le moment, résoudre ce problème constitue un travail à venir. Cependant, cette section propose plusieurs ébauches de techniques pour mettre en place une telle approche de tarification. Evidemment, seuls les principes généraux seront donnés afin d'expliquer comment les différents services peuvent être facturés en fonction de l'agressivité des protocoles de transport. Les autres paramètres qui pourraient être nécessaires pour cal-

culer le montant de la facture par utilisateur (quantité de données, débit, etc.) ne seront pas pris en compte dans ce qui va suivre.

4.1. *Mécanisme de tarification par CdS*

Cette première approche de tarification de service s'inspire de l'architecture Diff-Serv qui intègre un identifiant dans l'en-tête de chaque paquet de données véhiculé sur le réseau et qui indique à quelle CdS ce paquet appartient. La différenciation de service et bien sûr la tarification est ainsi réalisée en fonction de la valeur de cet identifiant.

Une approche similaire est possible dans notre cas. En fait, la solution serait de mettre dans l'en-tête de chaque paquet, un identifiant dont la valeur serait fonction du mécanisme de contrôle de congestion utilisé. Pour cela, nous pourrions utiliser le champ «protocol» de l'en-tête IP¹⁶. Ce champ identifie, à l'heure actuelle, le protocole qui a généré ce paquet : UDP¹⁷, TCP, ICMP¹⁸, etc. Une solution serait d'assigner un numéro de protocole particulier pour chaque version de TCP afin de représenter, bien sûr le protocole, mais surtout le mécanisme de contrôle de congestion utilisé. Ensuite, en réalisant des calculs statistiques sur l'agressivité des protocoles de transport les plus connus, il serait possible de définir le montant à appliquer pour n'importe quel paquet de n'importe quelle CdS pré-définie.

4.2. *Tarification par flux*

Cependant, la solution précédente fonctionne seulement pour des CdS pré-définies et tous les flux appartenant à une même CdS seront facturés au même prix, bien que l'agressivité d'un flux puisse être augmentée par des RTT courts. Dès lors, il semble intéressant de pouvoir réaliser une facturation de façon plus précise, par flux voire même par connexion TCP pour prendre en compte toute la dynamique du trafic Internet. Pour cela, il est nécessaire de pouvoir mesurer le niveau d'oscillation de chaque flux ou de chaque émetteur d'une connexion TCP. Les outils de métrologie, utilisés pour réaliser l'analyse de trafic présentée dans la section 2.1 nous semblent tout à fait adéquat. En effet, ces outils [MIC 01, LUC 01] sont de plus en plus déployés dans l'Internet car ils représentent une nouvelle approche pour la gestion et la supervision des réseaux, l'ingénierie des trafics, etc. Nous sommes convaincus que ces outils de métrologie peuvent être tout aussi utiles pour réaliser une facturation des services Internet. De plus, ils peuvent représenter un moyen de contrôle du comportement des utilisateurs, et ainsi détecter les fraudeurs qui n'utiliseraient pas le mécanisme de contrôle de congestion pour lequel ils sont facturés.

Le principe de ces outils serait de calculer l'agressivité de chaque flux ou connexion en analysant la quantité maximale d'octets qui a été transmise dans un intervalle de

16. IP : Internet Protocol

17. UDP : User Datagram Protocol

18. ICMP : Internet Control Message Protocol

temps donné correspondant à la granularité des mesures (comme nous l'avons détaillé dans la section 3.2). Cette granularité devra être choisie de façon suffisamment fine pour permettre de capturer toutes les oscillations, particulièrement celles présentes dans les hautes fréquences. L'agressivité pourra ainsi être mesurée individuellement pour un flux.

5. Conclusion

Ce papier présente une nouvelle approche pour la différenciation de service en s'appuyant sur l'agressivité des différents mécanismes de contrôle de congestion de niveau transport. De plus, il propose un nouveau modèle de tarification ainsi que les mécanismes de facturation qui en découlent. Ce modèle reprend l'esprit de l'approche «smart market» qui permettait de facturer plus fortement les utilisateurs responsables de congestions dans le réseau. A l'heure actuelle, avec l'augmentation de la capacité des liens et des routeurs, il n'y a pratiquement plus de congestion dans l'Internet. En effet, les phénomènes de congestion n'existent quasiment plus à l'exception de rares points de l'Internet sous-dimensionnés (dans les pays en voie de développement par exemple). Ainsi, nous avons adapté le modèle «smart market» à l'Internet actuel, en réalisant une tarification non plus sur le niveau de congestion, mais en s'appuyant sur la diminution de performance qu'un utilisateur provoque dans le réseau. Nous avons démontré que l'agressivité des mécanismes de contrôle de congestion pouvait servir d'indicateur pour cela. En effet, plus un protocole de transport est agressif, plus son trafic oscille, moins les ressources sont utilisées de façon optimale, plus le coût pour l'opérateur est important, et donc plus le tarif pour l'utilisateur doit être élevé.

Pour valider ce modèle, nous avons présenté un ensemble de simulations NS-2 qui démontre que notre approche fonctionne en accord avec nos prédictions. En particulier, nous avons justifié qu'une différenciation d'agressivité des protocoles de niveau transport fonctionne à la fois pour la différenciation de service et la tarification de ces services. En effet, la QoS obtenue par les utilisateurs fonctionne dans le même sens que la quantité de ressources consommées : ce mécanisme de tarification permet ainsi de fusionner les points de vue utilisateur et opérateur en matière de tarification, en respectant l'aspect vertical de la problématique exposé dans la section 1. De plus, notre modèle ne considère que le trafic émis par les sources situées aux extrémités du réseau, indépendamment des notions de domaines Internet. Si, sur le chemin entre la source et la destination, il existe un domaine possédant une mauvaise qualité (problème de lenteur du réseau par exemple), alors les mécanismes d'adaptation du débit implémentés dans les protocoles de transport vont permettre de réguler le débit d'émission du trafic pour obtenir un débit acceptable par ce domaine de qualité plus basse. Ainsi, les utilisateurs ne seront facturés que pour ce niveau de QoS, ce qui permet de respecter l'aspect horizontal de notre problématique. Il est à noter qu'une telle approche pourra s'accompagner d'incitations financières de la part des opérateurs pour amener les utilisateurs à utiliser des mécanismes de contrôle de congestion moins agressifs et ainsi créer moins d'oscillations et un trafic plus régulier dans l'Internet. Ainsi, ce

principe pourrait contribuer à limiter les caractéristiques (i.e. LRD et auto-similarité) néfastes aux bonnes performances du réseau et permettre d'augmenter la QoS globale de l'Internet.

6. Bibliographie

- [ALL 99] ALLMAN M., PAXSON V., STEVENS S., « TCP Congestion Control », *RFC*, , n° 2581, April 1999.
- [BLA 98] BLAKE S., BLACK D., CARLSON M., DAVIES E., WANG Z., WEISS W., « An architecture for differentiated services », *RFC*, , n° 2475, December 1998.
- [BRA 94] BRAKMO L., O'MALLEY S., PETERSON L., « TCP Vegas : New technique for congestion detection and avoidance », *ACM SIGCOMM*, London, October 1994.
- [FLO 00] FLOYD S., HANDLEY M., PADHYE J., WIDMER J., « Equation-based congestion control for unicast applications », *ACM SIGCOMM*, 2000.
- [FRA 01] FRALEIGH C., DIOT C., LYLES B., MOON S., OWEZARSKI P., PAPAGIANNAKI K., TOBAGI F., « Design and Deployment of a Passive Monitoring Infrastructure », *Passive and Active Measurement Workshop*, Amsterdam, avril 2001.
- [GIB 99] GIBBENS R. J., KELLY F. P., « Resource Pricing and the Evolution of Congestion Control », *Automatica*, , n° 35 pp. 1969-1985, 1999.
- [KEL 98] KELLY F. P., MAULLOO A., TAN D., « Control for Communication Networks : Shadow Prices, Proportional Fairness and Stability », *Journal of the Operational Research Society*, , n° 49 pp. 237-252, 1998.
- [LUC 01] LUCKIE M., MCGREGOR A., BRAUN H., « Towards Improving Packet Probing Techniques », *Proceedings of the ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop*, San Francisco, California, USA, November 1st/2nd 2001.
- [M3I] M3I, « Projet «Market Managed Multiservice Internet» - Site web : <http://www.m3i.org> ».
- [MAC 95] MACKIE-MASON J., VARIAN H., *Pricing the Internet*, in public access to the Internet, B. Kahin and J. Keller eds, Englewood Cliffs, NJ ; Prentice-Hall, 1995.
- [MAT 99] MATHIS M., MAHDAVI J., FLOYD S., ROMANOV A., « TCP Selective acknowledgement options », *RFC*, , n° 2018, October 1999.
- [MET 02] METROPOLIS, « Site web : <http://www-rp.lip6.fr/metrologie> », , 2002.
- [MIC 01] MICHEL J., GRAHAM I., S. D., « Precision Timestamping of Network Packets », *Proceedings of the ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop*, San Francisco, California, USA, November 1st/2nd 2001.
- [NS2] NS-2, « Site web : <http://www.isi.edu/nsnam> ».
- [OLI 01] OLIVIER P., BENAMEUR N., « Flow level IP traffic characterization », *Proc. of ITC'17 Moreira de Souza, Fonseca and de Souza e Silva (eds.)*, , December 2001.
- [OWE 03] OWEZARSKI P., ANDREU D., FRICKER C., SALAMATIAN K., CHEKROUN C., BENAMEUR N., OLIVIER P., ROBERTS J., ROBERT P., GUILLEMIN F., « Projet Metropolis. Sous-projet 1 : Rapport d'état de l'art », rapport, Janvier 2003, Contrat RNRT METROPOLIS.
- [PAR 96] PARK K., KIM G., CROVELLA M., « On the relationship between file sizes, transport protocols, and self-similar network traffic », *IEEE ICNP*, 1996.

[PAR 97] PARK K., KIM G., CROVELLA M., « On the Effect of Traffic Self-similarity on Network Performance », *SPIE International Conference on Performance and Control of Network Systems*, November 1997.

[PAR 00] PARK K., WILLINGER W., *Self-similar network traffic : an overview*, In *Self-similar network traffic and performance evaluation*, J.Wiley & Sons, 2000.