



VERS UNE QUALITE DE SERVICE DANS INTERNET

Mekkakia.M.Z, Selka.S, Berbaoui.A, Metadjer.Y

Département d'Informatique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran –USTOMB

e-mail : {mekkakia, selka}@univ-usto.dz

Résumé

Les réseaux IP actuels n'offrent qu'un service unique. Un flux temps réel et la messagerie sont traités avec le même service : *best effort*. Ce service a été l'une des raisons du succès de l'Internet. Cependant, l'apparition de nouvelles applications multimédia telles que la vidéo, la téléconférence, la télé-médecine, la téléphonie IP, etc... nécessitent la mise en place de nouveaux supports de communication.

L'objectif de la qualité de service (QoS) est de supporter des services de communications ayant des exigences qualitatives spécifiques. Cet article est centré sur l'étude des mécanismes visant à améliorer cette qualité de service dans le réseau d'Internet futur.

Abstract

The present Networks IPS only offer an unique service. A real time flow and the carrying trade are dealt with the same service : *best effort*. This service was one of grounds of the success of the Internet. However, the apparition of new multimedia applications as the video, the tele-conference, the tele-medicine, the IP telephony, etc... require the setting up of new supports of communication.

The objective of the Quality of Services (QoS) is to support services of communications having some qualitative and specific requirements. This article is centered on the survey of mechanisms aiming to improve this quality of service in the future Internet network.

Mots clés : QoS, routage, congestion, rsvp, intserv, diffserv

1. Introduction

QoS (Quality of Service en anglais) désigne une différenciation dans la qualité d'acheminement des données circulant sur le réseau Internet. De multiples groupes de travail de l'IETF (*Internet Engineering Task Force*) [1] travaillent dans des domaines touchant la Qualité de Service. Certains tiennent compte

de nouveaux développements dans les réseaux tels que les politiques de contrôle dans les réseaux ou la définition de nouveaux protocoles de routage[2]. Plusieurs alternatives existent aujourd'hui. Les deux approches les plus intéressantes étudiées à l'IETF sont : IntServ (*Integrated Services*) et DiffServ (*Differentiated Services*).

Avant d'aborder ces deux approches, nous définissons la QoS, ses paramètres et ses critères.

2. Qualité de service

Aujourd'hui, la qualité de service désigne avant tout un transfert à débit garanti entre l'émetteur et le récepteur des données, et ce avec des temps d'attente réduits au minimum. Au moins deux raisons confirment l'importance de ce concept [3] :

- La première est que dans les périodes de congestion du réseau, il est primordial de trouver un mécanisme qui autorise un traitement différencié des données en circulation (on peut parler de classes de service).
- La seconde est que par ce biais, les fournisseurs d'accès trouvent le moyen de proposer des services à valeur ajoutée à leurs clients afin de se distinguer de leurs concurrents.

2.1. Les paramètres de QoS

Les paramètres de QoS qui doivent être pris en considération dépendent du type d'application considérée. Le Tableau 1 donne l'ensemble des valeurs typiques pour les principaux types d'application [4].

Paramètres →	Délai (s)	Gigue (ms)	Débit Moyen	% erreur bit	% perte paquet
Services ↓					
-Voix	0.02	10	64 k	1E-2	1E-2
-Vidéo(TV)	0.2	10	100 M	1E-2	1E-3
-Vidéo Compressé	0.2	1	2-10M	1E-6	1E-9
-Transfert de fichier	1	-	1-100M	0	0

Tableau 1 : Valeurs typiques des paramètres de QoS

2.2. Critère de la QoS

On trouve désormais sur Internet des applications qui confient au réseau des données plus sensibles. Parmi celle-ci, on peut citer les applications de type son (voix, programmes musicaux), de type image (programmes de télévision, vidéoconférence, télé-chirurgie), ou des informations urgentes (ordres de bourse). La fragilité des données échangées par ces applications peut s'exprimer de différentes manières :

- Le temps de réponse : un temps de transit dans le réseaux qui sera trop grand peut rendre une information urgente obsolète, ou une conversation incompréhensible ;
- La régularité : la qualité de réception doit être constante.
- L'intégrité de l'ensemble : la perte d'image lors de la transmission d'un flux vidéo dégrade la visualisation ;

Selon la nature des informations transmises, le réseau doit pouvoir apporter une qualité de service appropriée, que l'on peut exprimer sous la forme d'une liste de contraintes. Ces contraintes sont les suivantes [5] :

- **La bande passante** : La bande passante est la quantité maximale de données pouvant être transmise d'une source vers une destination en une unité de temps. elle dépend du support des liaisons, mais aussi du nombre et du débit des flots qui partagent ces liaisons.
- **Le délai de bout en bout** : Aussi appelé latence ou temps de réponse, il s'agit de la durée nécessaire à l'acheminement d'un paquet de données de bout en bout. Cette durée dépend de la qualité du support des liaisons, mais aussi du temps passé dans les différentes files d'attente du chemin. Par conséquent, le délai augmente avec la charge du réseau.
- **La gigue** : La gigue est la variation du délai de bout en bout. Que se soit pour les flux audio ou vidéo, une forte gigue entraîne des distorsions lors de l'écoute ou de la visualisation des médias.
- **La perte de données** : Le taux de perte est la part des paquets qui ne parviennent plus à leur destination. Ces pertes dépendent de la surcharges locales (congestion) dans le réseaux et de la fiabilité du support des liaisons. Toutefois la fiabilité des liens dans le réseaux Internet est relativement élevée, par conséquent, les pertes de paquets dues à des défauts de support sont très faibles.

2.3. L'impact des facteurs sur les critères de la QoS

Plusieurs facteurs peuvent avoir un impact sur les critères cités ci-dessus, à savoir, l'infrastructure de l'Internet, le comportements adaptatif du TCP et l'instabilité des protocoles de routage.

2.3.1. Infrastructure de l'Internet

L'Internet est composé d'un ensemble de routeurs et de liaisons de transmission. Les liaisons possédant des caractéristiques de délai de propagation, débit maximum et disponibilité. Les routeurs peuvent avoir un impact significatif sur ces derniers.

2.3.2. Comportement adaptatif du protocole TCP de bout en bout

Dans les implémentations initiales du protocole TCP, l'émetteur envoie de multiples segments jusqu'à ce que la taille de la fenêtre indiquée par le destinataire soit atteinte. Cela ne pose pas de problèmes lorsque les deux machines sont sur le même réseau local. En revanche, lors qu'il y a des routeurs et des liens de plus faible débit entre les deux machines, certains paquets peuvent être mis en file d'attente par les routeurs, celles-ci peuvent déborder, et le débit peut-être réduit de manière significative.

2.3.3. Instabilité des protocoles de routage

L'instabilité dans les protocoles de routage influence la gigue ou la variation du délai de bout en bout de manière significative, en forçant les routeurs à modifier le choix du chemin, lors de changement de topologies ou situation de congestion.

Dans ce contexte, offrir un service de bonne qualité consiste à fournir un service avec un délai et une gigue minimum ainsi qu'une disponibilité et un débit maximum, assurant un service "best effort" convenable pour tous les types de trafic.

2.4. Implémentation de la QoS

L'acceptation ou le rejet de fonctionnalités QoS dépend de l'ensemble des politiques de contrôle adoptées, parmi lesquelles l'authentification et l'autorisation mais aussi la prioritairement et la préemption du trafic dans le réseau. De plus, contrôler le trafic [2] entrant dans le réseau permet de prévenir les situations de congestion et d'éviter ainsi d'agir dans l'urgence avec des mécanismes de gestion de la

congestion. Ces politiques constituent la base de l'édifice et déterminent les mécanismes à mettre en œuvre.

2.5. Mesurer la Qualité de Service

Mesurer la Qualité de Service revient à mesurer les performances du réseau. Le comportement du réseau est basé sur une interaction complexe entre le trafic obéissant aux règles du protocole TCP et les routeurs possédant des fonctionnalités élaborées de gestion de la QoS, rendant la tâche extrêmement complexe. La compréhension de ce comportement et de l'influence des divers mécanismes de la QoS est essentielle pour le développement d'outils fiables.

Les critères généralement utilisés tels que la disponibilité, le délai, la gigue, et le taux de pertes de paquets sont difficiles à mesurer, du fait du caractère aléatoire des pertes de paquets et du temps indéterminé passé dans les files d'attente sur tous les routeurs qui constituent le chemin entre une source et une destination.

3.Integration de Services (IntServ)

IntServ fut la première architecture de QoS. Son but était la transformation de l'Internet actuel en un réseau à intégration de services.

3.1. Le fonctionnement du modèle IntServ

Le modèle IntServ [6] s'appuie sur l'approche par réservation de bande passante pour garantir la qualité de service à des applications multimédia. L'architecture IntServ repose sur deux principes fondamentaux [7] :

- Le réseau doit être contrôlé et soumis à des mécanismes de contrôle d'admission.
- Les mécanismes de réservation de ressources sont nécessaires pour fournir des services différenciés.

IntServ propose d'effectuer une réservation des ressources nécessaires à l'établissement de celle-ci via le protocole de réservation de ressources nommé RSVP, selon les ressources disponibles. Le signal RSVP étant constitué par l'information de contrôle de la QoS, celui-ci propose des directives afin de mettre en place la réservation mais ne dit pas comment la mettre en place, ce domaine étant réservé aux routeurs du réseau qui prennent en compte la signalisation RSVP. Pour se faire, les routeurs disposent de quatre fonctions de contrôle du trafic [7] :

- Le protocole de réservation de ressource : Signalise le chemin à établir en

sollicitant des réservations de bande passante sur chaque routeurs traversés du réseau.

- Le contrôleur d'admission : Permet d'autoriser l'arrivée d'un nouveau flot muni de sa QoS sans perturber les QoS des autres flots existants.
- Les classifieurs de paquets : Classent les paquets de flots entrants dans des classes spécifiques en fonction de la qualité de service qu'ils demandent.
- L'ordonnanceur de paquets : Détermine l'ordre de traitement des paquets classifiés.

Le modèle IntServ distingue deux types de services, en fonction du délai de transit par paquet [7] :

- Les services non temps réel (par exemple : transfert de fichiers, messagerie). L'application attend d'avoir reçu les paquets avant de traiter les données, le délai de transit peut varier, le service est de type BE (Best Effort).
- Les services temps réel sensibles au délai et surtout à la gigue. Parmi ces services, le modèle IntServ distingue les services tolérants une variation du délai de transit pour lesquels la classe de service "à contrôle de charge" est définie, et les services ne tolérants pas de variation pour lesquels la classe de service "garanti" est définie. Pour ces deux classes de services, le modèle IntServ définit une spécification de service QoS caractérisant le service attendu et des paramètres de trafic caractérisant le trafic à transmettre.

3.2. RSVP (*Ressource reSerVation Protocol*)

RSVP a été conçu pour la réservation de ressource au sein d'un réseau Internet [8]. Il peut être utilisé pour assurer la QoS et gérer les ressources de transport du réseau pour les sessions point à point (unicast) et multipoints (multicast). RSVP est un système de contrôle et de signalisation qui donne la possibilité de réserver la bande passante nécessaire au bon fonctionnement d'une application au niveau des routeurs situés le long du chemin de transmission. Les routeurs communiquent via RSVP pour initialiser et gérer la bande passante réservée aux flux. RSVP est responsable pour la négociation des paramètres de connexion avec ces routeurs. Si la réservation est établie, il est aussi responsable du maintien de l'état des routeurs et de l'hôte

afin de fournir le service demandé. C'est un besoin qui touche principalement les flux multimédias, plus sensibles aux aléas de l'acheminement que les flux de données classiques, du fait de leurs contraintes temporelles.

La réservation de ressources s'effectue en quatre étapes [9] :

- Le client spécifie son intérêt à une source.
- Cette source envoie vers le client un paquet (message PATH) chargé de marquer les routeurs par lesquels il passe, de manière à créer un chemin.
- Une fois que le client reçoit ce message PATH, il envoie vers la source une demande de réservation (message RESV).
- Si cette demande est acceptée par tous les routeurs du chemin, elle parvient à la source, qui peut alors commencer à envoyer l'information.

Une caractéristique importante de RSVP est sa transparence. Il peut opérer sur un réseau dont certains routeurs ne sont pas RSVP. Dans ce cas, les messages RSVP sont simplement ignorés par ces routeurs, qui transmettront au routeur suivant toutes les informations quant à la réservation. Cependant, la présence d'un routeur non-RSVP sur le chemin emprunté par l'information peut fortement affecter le débit réservé. Ainsi RSVP va maintenir un chemin dynamique à l'intérieur du réseau.

3.3. Inconvénient

La réservation de ressources peut engendrer une sous utilisation de la bande passante. De plus la faiblesse de IntServ est due à sa non résistance au facteur d'échelle. Pour un nombre croissant d'utilisateurs dans un réseau, le nombre de flots augmente et par conséquent le nombre de variables de classification et d'ordonnancement à tenir compte dans les routeurs devient de plus en plus important, d'où une baisse des performances des routeurs dû à leur charge.

L'idée de regrouper des flux selon des besoins similaires et la définition de traitements spécifiques pour chaque groupe de flux dans les routeurs a donné naissance au protocole DiffServ.

4. Différentiation de Service (DiffServ)

Au contraire du modèle IntServ qui traite indépendamment chaque flot, le modèle DiffServ propose de séparer le trafic en classes de trafic [10].

La différenciation de services est un modèle de services multiples qui peut répondre à des exigences différentes de QoS. Avec cette technique, le réseau fournit un genre particulier de service basé sur la QoS indiquée par chaque paquet. Le réseau emploie les spécifications de QoS pour classer, marquer et diriger le trafic.

4.1. Le fonctionnement du modèle DiffServ

La différenciation de service est une architecture IP QoS, basée sur le marquage des paquets, selon la propriété qui est accordée par l'administrateur. Pendant la période de la congestion les paquets de priorité faible seront éliminés avant les paquets de haute priorité.

Le modèle DiffServ propose d'abandonner le traitement du trafic sous forme de flots (micro-flots) pour le caractériser sous forme de classes de QoS (macro-flots). Chaque classe est identifiée par une valeur codée dans l'en-tête IP. Les routeurs effectuent les traitements non plus sur des micro-flots (trop nombreux dans Internet) mais sur des macro-flots dont le nombre est limité et fixé par l'administrateur.

Une étiquette dans l'en-tête IP, le DSCP (*Differentiated Services Code Point*), est utilisée pour assurer le traitement différencié. Cette capacité permet aux routeurs de garder un mode de fonctionnement relativement simple qui n'affecte pas considérablement leur capacité d'acheminement.

4.2. Description de l'architecture DiffServ

L'architecture DiffServ se base sur les concepts suivants [11] :

- Domaine DiffServ (*DS Domain*) [12]: ensemble de nœuds contigus ayant un service commun de règles et de groupes de PHB (*Per Hop Behavior*). Chaque domaine DS comprend deux types de nœuds :
 - Nœuds de cœur ou intérieurs (*DS Interior nodes*).
 - Nœuds de bordure (*DS Boundary nodes*) : qui effectuent l'ensemble des actions citées ci-dessous. Un nœud de bordure peut être un nœud d'entrée du domaine (*DS Ingress Node*) ou un nœud de sortie de domaine (*DS Egress Node*).
- Région DiffServ : ensemble de domaines DS contigus. L'opérateur doit assurer que la QoS de bout en bout soit fournie. Pour que les services soient offerts entre domaines adjacents, il faut établir un SLA (*Service Level Agreement*) qui permet de

définir comment le trafic transitant d'un domaine à un autre est conditionné.

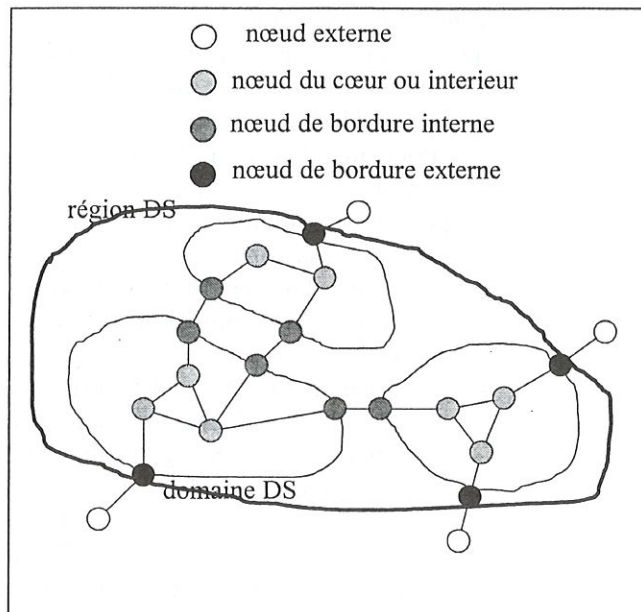


Figure 1: L'architecture DiffServ

4.2.1 Les PHBs (Per-Hop Behavior)

Un PHB est une description du comportement observable d'acheminement dans un nœud DS appliqué à un ensemble de paquets ayant le même DS. Il est défini en terme de leurs priorités sur les ressources par rapport à d'autres PHBs. Chaque PHB correspond donc à un traitement par classe. Deux comportements de PHB ont été définis :

- Acheminement Expédié (*Expedited Forwarding*) : L'acheminement Expédié ou le PHB EF [13] a été conçu, dès le départ, comme étant le composant d'un service bien spécifique: le service *Premium*. Il part du principe que le délai introduit par le réseau est dû à l'attente des paquets dans les files des routeurs. Il faut donc garantir que la taille de ces files soit presque nulle. Pour ceci il est nécessaire de mettre en œuvre des mécanismes d'administration qui assurent que, à tout moment, le débit d'entrée soit inférieur à la capacité de sortie. Pour qu'un routeur soit conforme à la définition de ce comportement, il doit assurer que le débit d'émission du trafic EF soit toujours égal ou supérieur à un certain seuil. Si ce seuil est connu et peut être configuré, les mécanismes de gestion externes peuvent faire respecter la relation entre le débit d'entrée et le débit de sortie dans tous les nœuds du domaine.

- Acheminement Assuré (*Assured Forwarding*) : L'Acheminement Assuré ou le PHB AF [14] est le comportement le plus général qui existe. Il est composé de plusieurs classes de service au sein desquelles un deuxième niveau de différenciation est introduit: les précérences. La précérence d'un paquet reflète sa priorité, c'est-à-dire, le dommage que peut entraîner sa perte. En ce qui concerne cette précérence, le standard demande que, dans une même classe, les paquets de précérence X soient acheminés avec une probabilité supérieure à celle donnée aux paquets de précérence Y, si $X < Y$. Au sein d'un routeur cette information peut être utilisée pour améliorer considérablement la fonction de rejet de paquets en cas de congestion. Suivant le même principe, la précérence attribuée aux paquets d'un flux peut être régie par un contrat de service. Plus le pourcentage des paquets marqués prioritaires sera important, moins le flux subira de pertes. Le PHB AF définit 4 classes comportant trois niveaux de précérence chacune. Il est donc composé par un groupe de 12 PHBs interdépendants. Ceci veut dire que l'implémentation d'un de ces PHBs est inutile sans l'implémentation des autres. L'administrateur réseau est responsable du partage des ressources entre les classes en fonction de ses besoins.

4.2.2 Les PDBs (Per-Domain Behavior)

Un PDB [15] est exactement défini comme étant "le traitement qu'un groupe identifiable de paquets reçoit de frontière-en-frontière (*edge-to-edge*) d'un domaine", il définit les caractéristiques d'un service Intra Domaine.

Contrairement aux PHBs (Comportement par Nœud), un comportement par domaine (PDB) définit une combinaison particulière d'éléments DiffServ qui peut être utilisée à l'intérieur d'un domaine pour offrir un service dont la QoS est quantifiable.

Les mécanismes de conditionnement et les comportements (PHBs) doivent être considérés comme les composants d'un PDB. Chaque PDB présente des attributs qui peuvent être mesurés et quantifiés afin de décrire ce qui arrive aux paquets traversant le domaine. Ceci peut demander, pour certains services (ou PDBs), la mise en œuvre dans le plan de

contrôle, des mécanismes de gestion de ressources.

4.2.3 Routeur de bordure (*Edge Router*)

La structure d'un routeur de bordure peut être décomposé en 4 modules [16]. Toute la complexité de l'architecture est concentrée dans ce type d'équipements. Ils doivent effectuer une classification qui peut aller jusqu'au niveau du micro flux. Une fois le flux identifié, il est nécessaire de vérifier la conformité au contrat en utilisant un mécanisme adapté au service demandé. Ensuite une action est prise pour pénaliser les paquets non conformes. Finalement, avant d'injecter les paquets dans le réseau, la valeur du DSCP est actualisée en fonction du conditionnement subi.

- La classification : Pour que les différents flux produits par les utilisateurs puissent être traités d'une manière différenciée, le routeur de bordure doit tout d'abord effectuer une classification des paquets. La classification au niveau des micro flux commence quand les flux entrent dans le réseau. Elle s'effectue par rapport à une ou plusieurs valeurs contenues dans l'en-tête IP de paquet.
- La vérification : Un vérificateur est chargé de déterminer le niveau de conformité pour chaque paquet du flux arrivant dans le routeur. Cette valeur dépend du comportement instantané du flux et des caractéristiques du contrat. Le nombre de niveaux varie en fonction du conditionnement requis par le service [16]:
 - Pour des services à bas délai, il est nécessaire que seuls les paquets conformes au contrat soient acceptés dans le réseau. Dans ce cas, une vérification à deux niveaux est suffisante: conforme ou non conforme, IN ou OUT.
 - Pour des services profitant de la capacité d'élimination sélective dans le cœur du réseau, un nombre supérieur à deux augmente la granularité de la différenciation. Dans la définition du Comportement Assuré, 3 niveaux de priorité ont été définis: vert, orange et rouge.
- Les actions: L'action corrective à prendre pour les paquets non conformes d'un flux varie en fonction du service. Trois types de pénalisation peuvent être identifiés: élimination, mise en forme et marquage [16].
 - Pour un flux dont les paquets non conformes sont éliminés à l'entrée, il peut être souhaitable de contrôler le débit d'émission. Des flux interactifs contenant des contraintes temporelles fortes pourraient tirer profit de ce type d'action.
 - La mise en forme consiste à retarder, si nécessaire, l'acheminement d'un flux pour le rendre conforme. Des services faisant appel à cette fonction peuvent être proposés aux clients qui n'ont pas les moyens de l'effectuer dans leur site. La mise en forme est une action très coûteuse en termes des ressources pour le routeur d'entrée, qui devra garder dans un tampon tous les paquets retardés jusqu'à ce qu'ils deviennent conformes.
 - Le marquage est l'action qui attribue une précedence ou priorité aux paquets en fonction du résultat de la vérification. Cette action introduit un deuxième niveau de différenciation, puisque les paquets sont acheminés en fonction de leur classe de service et de leur priorité.
- L'étiquetage : On identifie deux informations qui établissent la différenciation: la classe de service et la priorité du paquet. Le DSCP qui forme l'étiquette DiffServ ne doit pas être modifié par les routeurs du cœur du réseau [16]. Les routeurs de bordure peuvent quant à eux, modifier cette valeur lors des nouveaux conditionnements.

5. Conclusion

Deux approches de solutions ont été décrites. La différence de base entre ces deux approches est que IntServ offre un service par flux individuel, alors que DiffServ agrège les flux dans un nombre limité de classes de trafic ce qui permet d'offrir un service particulier par classe. Ainsi, deux approches de qualité de Service IP (QoS-IP) sont proposées.

La première approche, « à état », est basée sur l'utilisation d'une réservation explicite de ressources pour chaque flux de données. Cette

solution augmente la complexité des routeurs et ne peut pas être utilisée à grande échelle, et c'est l'architecture IntServ.

La seconde approche, « sans état », se base sur un marquage des paquets pour un traitement différencié. Elle est utilisée à grande échelle et ne modifie pas le fonctionnement classique d'Internet. La complexité est reléguée dans les extrémités du réseau. Le cœur du réseau est laissé aussi simple que possible. L'architecture de différenciation de service (DiffServ) s'appuie sur cette dernière approche pour garantir une qualité de service aux applications multimédia.

L'approche Diffserv est prometteuse quant à l'attribution de QoS spécifique au type d'application.

Références

- [1] <http://www.ietf.org/>
- [2] C.Chassagne, "Qualité de Service dans l'Internet", Thèse de Doctorat. CNRS-UREC, France, Août 1998
- [3] Rapport d'activité INRIA, "Support de la qualité de service dans l'Internet", URL: <http://www-sop.inria.fr/miaou/Jose.Grimm/raweb/tmp/planete/qos.html>
- [4] S.Catelon, "Routage et qualité de service dans le réseau Internet", Thèse de Doctorat. l'Université de Technologie de Compiègne, France, 05/06/2001
- [5] G.Urvoey-Keller, "Qualités de Service de bout en bout et algorithme d'admission d'appel", Thèse de Doctorat. l'Université Paris 6, France, 15/12/1999
- [6] R.Braden, D.Clark, S.Shenker, "Integrated services in the Internet architecture: an overview", RFC 1633, IETF, Juin 1994
- [7] G.Le grand, "Qualité de service dans des environnements Internet mobile", Thèse de Doctorat. l'Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, France, 11/07/2001
- [8] R.Braden, L.Zhang, S.Berson, S.Herzog, S.Jasmin, "Resource reservation protocol (RSVP) – version 1 Functional Specification", RFC 2205, IETF, Septembre 1997
- [9] V.Genard, G.Tirtiaux, "Ressource reservation protocole (RSVP) ", URL: http://www.tele.ucl.ac.be/ELEC2920/1999/RSVP/Tavail_RSVP.htm
- [10] S.Blake, D.Black, M.Carlson, E.Davies, Z.Wang, W.Weiss, "An architecture for Differentiated Services", RFC 2475, IETF, Decembre 1998
- [11] M.C.Deleuze, "Qualité de services dans l'Internet : Problème liés au haut débits et aux facteurs d'échelle", Thèse de Doctorat. L'Université Pierre et Marie Curie, France, Janvier 2000
- [12] K.Nichols, S.Blake, F.Baker, D.Black, "Definition of the differentiated services field (DS field) in the IPv4 and IPv6 headers", RFC 2474, Decembre 1998
- [13] B.Davie, A.Charny, J.C.R.Bennett, K.Benson, J.Y.Le Boudec, W.Courtney, S.Davari, V.Firoiu, D.Stiliadis, "An expedited forwarding PHB (Per-Hop Behavior)", RFC 3246, Mars 2002
- [14] J.Heinanen, F.Baker, W.Weiss, J.Wroclawski, "Assured forwarding PHB group", RFC 2597, Juin 1999
- [15] K.Nichols, B.Carpenter, "Definition of differentiated services Per Domain Behaviors and rules for their specification", RFC 3086, Avril 2001
- [16] O.N.Medina Carvajal, "Etude des algorithmes d'attribution de priorités dans un Internet à Différenciation de Services", Thèse de Doctorat. l'Université de Rennes 1, France, 23/03/2001