

Projet module Réseaux Large Bande

La QoS IP sur ATM

Partie MPLS et ATM



Nicolas MAUGET
Jérôme PONS

Mars 2001

Table des Matières

INTRODUCTION.....	3
CHAPITRE IV : MPLS ET ATM	4
1. ORIGINES ET OBJECTIFS DE MPLS	4
1.1 Origines de MPLS.....	4
1.2 Objectifs de MPLS.....	5
2. PRESENTATION DE LA TECHNIQUE MPLS	7
1.3 Modèle architectural.....	7
1.4 Codage et hiérarchie d'étiquettes, agrégation.....	8
1.5 Distribution d'étiquettes :	10
3. MPLS SUR ATM ET QOS:	13
1.6 Encapsulation des étiquettes dans les VPI/VCI :	13
1.7 Route explicite :.....	13
1.8 Route basée contrainte :.....	14
1.9 Le protocole CR-LDP :	14
1.10 Le protocole RSVP :.....	16
1.11 Comparaison CR-LDP et RSVP :.....	17
1.12 Traffic Engineering :	18
4. AVANTAGES DE MPLS SUR ATM.....	20
PROBLEMES POSES ET REFLEXIONS EN COURS	21
GLOSSAIRE	22
BIBLIOGRAPHIE.....	25

Introduction

Au début de l'Internet, la préoccupation majeure était de transmettre les paquets à leur destination. Ensuite, des mécanismes inhérents à TCP ont été développés pour faire face aux conséquences induites par les pertes de paquets ou la congestion du réseau. Mais depuis le début des années 1990, la communauté des fournisseurs de service (ISPs) qui administrent l'Internet est confrontée non seulement au problème de croissance explosive mais aussi à des aspects de politique, globalisation et stabilité du réseau. Par ailleurs, outre ces différents aspects, apparaît une très forte diversification des services offerts. Ainsi de nouvelles applications se développent sur le réseau : téléphonie, vidéoconférence, diffusion audio et vidéo, jeux en réseau, radio et télévision en direct... L'émergence des réseaux privés virtuels (VPN), nécessite également une différenciation de services. La qualité de service de bout-en-bout apparaît, dans ce contexte, essentielle au succès de ces applications.

La méthode utilisée jusque-là, consistant à fournir des réseaux surdimensionnés ne peut plus s'appliquer indéfiniment. De plus, la nature intrinsèque de l'Internet (mode sans connexion, niveau de service "best-effort") ne permet pas d'offrir une qualité de service constante, ni de donner des priorités à certains types de trafic. C'est pourquoi, les architectes du réseau, les constructeurs et les fournisseurs de services concentrent depuis quelques années leurs efforts sur la définition et l'implémentation de ce concept dans les réseaux IP.

Dans la mesure où la technologie ATM a été largement déployée dans les réseaux d'opérateurs, et dans une moindre mesure dans les réseaux d'entreprises, il semble naturel d'envisager les solutions d'implémentation d'un réseau IP offrant une gestion de la qualité de service sur ATM. En effet ATM a été spécifiquement conçu pour proposer une intégration de services, par la définition de différentes classes de service.

C'est pourquoi, après une présentation succincte de ce qu'est la qualité de service en général, ainsi qu'un rappel sur la qualité de service fournie par ATM, nous envisagerons successivement différentes solutions d'implémentation de la QoS (Quality of Service) IP sur un réseau ATM, solutions qui ont en particulier fait l'objet de travaux au sein des groupes de travail de l'IETF et de l'ATM forum :

- Integrated Services (IntServ) sur ATM ;
- Differentiated Services (DiffServ) sur ATM ;
- Multi Protocol Label Switching (MPLS) sur ATM.

Un complément sur le routage IP avec prise en compte de la QoS semble par ailleurs nécessaire pour approfondir notre étude. Dans chacune de ces parties nous présenterons ces mécanismes avant de proposer leur mise en œuvre sur un réseau ATM, puis nous en analyserons les avantages et inconvénients respectifs, les problèmes posés ainsi que l'état des réflexions en cours.

L'objectif de cette démarche est d'essayer de déterminer, *in fine*, les solutions qui paraissent les plus appropriées et/ou les plus prometteuses, suivant les différents contextes considérés (réseaux d'entreprises, interconnexions de réseaux distants, réseaux d'opérateurs).

CHAPITRE IV : MPLS et ATM

1. Origines et objectifs de MPLS

1.1 Origines de MPLS

Nous avons vu qu'il existait plusieurs façons d'implémenter de la **QoS** IP sur les réseaux ATM, supports de la qualité de service (QoS) par excellence :

- Integrated Services (IntServ) ;
- Differentiated Services (DiffServ) ;
- MPLS (*Multi Protocol Label Switching*).

Avec **IntServ**, les routeurs IP, étendus à l'intégration de services, doivent connaître et maintenir l'état du trafic qu'ils véhiculent. De plus, ils doivent être capables de réserver la ressource et le mécanisme de contrôle des ressources doit être explicite. Pour cela, le protocole RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*) de l'IETF (International Engineering Task Force) est utilisé. Avec **DiffServ**, le jeu de comportements par sauts PHB (*Per Hop Behaviors*) explique comment l'acheminement (*forwarding*) est réalisé. Un contrat de trafic SLA (Service Level Agreement) doit être négocié par l'utilisateur. Par contre, contrairement à IntServ, DiffServ n'utilise pas le protocole RSVP et la classification des paquets IP se fait au niveau des nœuds d'extrémité du réseau et non pas au cœur du réseau. De plus, les flots sont agrégés et acheminés au cœur du réseau.

Pour aborder **MPLS**, plaçons-nous dans le contexte IP sur ATM. Un routeur IP possède deux fonctions essentielles :

- Le routage ;
- L'acheminement.

Avec l'IP classique, la **fonction de routage** offre au routeur une vision de la topologie du réseau en exécutant un algorithme (*Link State Routing*) et construit les tables de routage et d'acheminement. La **fonction d'acheminement** analyse l'en-tête du paquet IP et détermine le prochain routeur vers lequel sera transmis le paquet. Il existe **deux types de routage** :

- « Saut-par-saut » (*hop-by-hop routing*) ;
- « A la source » (*source routing*).

Dans le **routage « saut-par-saut »**, chaque routeur choisit le prochain routeur (ou saut) en se basant sur sa propre table de routage. Une décision de routage est effectuée à chaque nœud du réseau qui n'a pas besoin de connaître l'intégralité de la topologie du réseau. Dans le **routage « à la source »**, le 1^{er} routeur rencontré par le paquet (**ingress** router) calcule un chemin et

spécifie l'ensemble des routes à suivre. Un algorithme de routage de type « état des liens » (Link State Routing) est alors nécessaire.

Avec MPLS, les équipements déjà en place sont conservés (routeurs IP et ATM) mais la **fonction « Short Cut » de ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*) est ajoutée aux fonctions de l'IP classique. La fonction « Short Cut » utilise le protocole NHRP (*Next Hop Resolution Protocol*) proposé par l'IETF dans le RFC 2332 (*Request For Comment*) et permet d'ouvrir des raccourcis directs entre 2 stations n'appartenant pas aux mêmes sous-réseaux logiques IP (LIS, pour *Logical IP Subnet*).

Les paquets IP sont découpés en cellules transmises sur la connexion de voie virtuelle VCC par défaut (*Virtual Channel Connection*). Si un routeur reçoit une rafale de paquets IP qui le congestionne, il transmet au routeur précédent une requête de re-direction des cellules ATM vers un autre VCC ainsi qu'au routeur suivant qui agit de même. Le routeur intermédiaire, congestionné, maintient alors un contexte entre les deux nouveaux VCC et les cellules qui y transitent n'ont plus besoin d'être analysées (adresse source et destinataire) : c'est l'**IP switching** proposé par Ipsilon. Plutôt que de commuter des adresses IP, chaque adresse peut être codée par un *tag* plus court : c'est le **tag switching**.

Ces 2 techniques de commutation sont à la base du MPLS, le concept de tag étant généralisé à la notion d'étiquette (label) : c'est la commutation d'étiquettes ou **label swapping**. Ainsi, MPLS ajoute à la couche IP classique une couche orientée connexion.

1.2 Objectifs de MPLS

Les objectifs de MPLS sont d'**offrir de la QoS**, c'est-à-dire d'autoriser de nouvelles routes à certains paquets IP par rapport à la route par défaut. Avec l'IP classique, le calcul d'une route optimale est assuré par l'algorithme de l'arbre de plus court chemin SPT (*Shortest Path Tree*), si bien que certains chemins entre routeurs IP ne sont jamais empruntés. Ce sont ces chemins que MPLS utilisera pour offrir de la QoS. Dans l'architecture en couches IP sur ATM, la couche ATM assure l'acheminement des cellules et la couche IP, dopée de nouvelles fonctionnalités, offre des services intelligents.

Nous verrons dans les paragraphes suivants comment **MPLS offre des services différenciés** lorsque les routeurs d'extrémité utilisent le mécanisme de **commutation d'étiquettes** pour acheminer les paquets. Nous étudierons également les **classes de services CoS** (Class of Service) et comment chacun des routeurs classe les paquets IP par type d'acheminement dans des **FEC** (*Forwarding Equivalent Class*), la QoS offerte étant corrélée au chemin suivi. Enfin, nous verrons comment les liens sont réservés par le **Traffic Engineering** avec les protocoles RSVP et CR-LDP (*Constrained Routing - Label Distribution Protocol*).

Notons que les objectifs de MPLS peuvent se résumer à :

- Augmenter les performances et la « *scalability* » (économie d'échelle) du réseau ATM.
- Simplifier l'implémentation d'un acheminement des paquets IP basé sur la QoS.

- Augmenter la flexibilité au niveau du routage.
- Diminuer la taille des tables de routage.
- Simplifier le management.
- Etre indépendant des couches 2 et 3 (aspect multi-protocolaire).
- Supporter le multicast et la QoS.

2. Présentation de la technique MPLS

1.3 Modèle architectural

Un « nuage » MPLS possède des routeurs capables de commuter des étiquettes et appelés **LSR** (*Label Switching Routers*). Il en existe plusieurs types comme le montre la **figure** suivante.

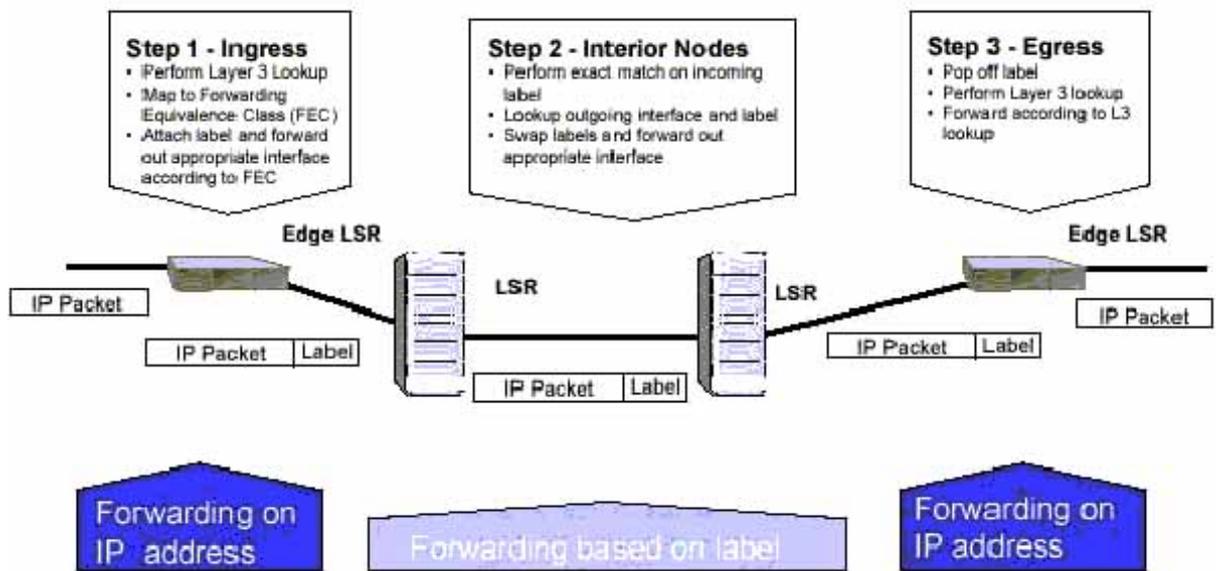


Figure 10 : Routeurs MPLS

Les routeurs **Ingress** permettent aux paquets IP de pénétrer dans le « nuage ». Les routeurs **Egress** leur permettent d'en sortir et de joindre leur destination. Les **routeurs intermédiaires** se chargent d'acheminer les paquets IP. Pour un routeur donné, les routeurs situés vers la destination sont dits en aval (*downstream*) alors que les routeurs situés vers la source sont dits en amont (*upstream*). En d'autres termes et de façon imagée, la source d'information est considérée comme le plus haut point.

Le routeur Ingress **et lui-seul**, classe les paquets en amont dans des classes de service (CoS) appelées **FEC** (*Forwarding Equivalent Class*) associées à des préfixes d'adresse IP. En choisissant un FEC pour un paquet entrant, ce routeur lui ajoute une étiquette. Par contre, un routeur Egress enlève l'étiquette au paquet et un routeur intermédiaire la commute avec une autre étiquette. Dans tous les cas, le routeur choisit le routeur suivant (en aval) vers lequel le paquet va être acheminé selon l'étiquette qu'il possède. Un FEC est caractérisé par un préfixe d'adresse et le protocole transporté, c'est-à-dire **qu'un FEC représente une QoS donnée**. Lorsqu'un routeur intermédiaire *downstream* reçoit un paquet IP du routeur *upstream*, celui-ci échange l'étiquette du paquet IP par sa propre étiquette : c'est le **label swapping**. Si bien qu'entre deux routeurs successifs, l'étiquette définit un **tunnel MPLS** appelé **LSP** (*Label Switching Path*). Lorsqu'un

paquet IP est routé vers un routeur Egress, l'étiquette n'est pas indispensable car de toute façon elle devra être supprimée. Une option de MPLS, appelée **PHP** (Penultimate Hop Mapping) consiste à supprimer cette étiquette. Ainsi le routeur Egress pourra lire directement l'adresse IP de destination du paquet IP.

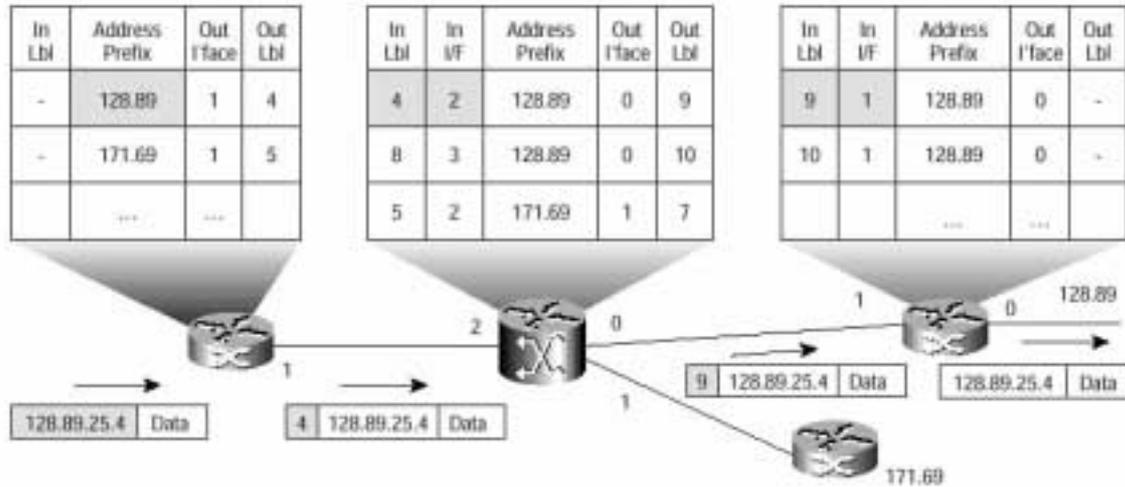


Figure 11 : Label et routeurs MPLS

Chaque routeur LSR construit une table **LIB** (Label Information Base) pour spécifier comment un paquet doit être acheminé, c'est-à-dire comment une FEC (préfixe d'adresse) est lié à une étiquette. La figure précédente montre bien que le routeur Ingress (à gauche) analyse l'adresse IP de destination du paquet, le classe dans le FEC de préfixe 128.89, lui adjoint l'étiquette 4 et l'envoie vers l'interface de sortie numéro 1. Le routeur intermédiaire suivant reçoit ce paquet sur son interface d'entrée numéro 2, commute l'étiquette avec une étiquette 9 et l'achemine vers son interface de sortie numéro 9. Enfin le paquet IP arrive sur l'interface d'entrée numéro 1 du routeur Egress, se voit enlever l'étiquette, analyser l'adresse de destination et est transmis sur l'interface de sortie numéro 0 pour être envoyé vers un routeur IP classique sans gestion d'étiquettes. Notons que l'option PHP n'a pas été utilisée dans cet exemple. Voyons dans le paragraphe suivant comment sont **codées les étiquettes** et comment MPLS introduit une **hiérarchie d'étiquettes** (*labels stack*, pour pile d'étiquettes).

1.4 Codage et hiérarchie d'étiquettes, agrégation

Une étiquette identifie le chemin qu'un paquet doit suivre et s'est pourquoi il est encapsulé dans un en-tête de niveau 2, immédiatement suivi par le paquet de niveau 3 comme le montre la figure suivante. Ensuite, ce label (étiquette) est analysé par le routeur en aval pour déterminer le prochain routeur vers lequel il sera acheminé. Une fois un paquet labellisé, seul le label est utilisé pour assurer la commutation (label switching). Les valeurs du label n'ont qu'une signification locale au saut entre deux LSR successifs. Ces valeurs sont dérivées des en-têtes de couches de niveau 2 (liaison de données) telles que ATM ou Frame Relay, si bien que les VPI/VCI de l'un ou les DLCI de l'autre peuvent être utilisés directement comme étiquettes. L'**en-tête du label**, ajouté entre l'en-tête de niveau 2 et l'en-tête de niveau 3 (réseau) possède 32 bits, soit 4 octets présentés par la figure suivante. Cet en-tête comporte 4 champs :

- 20 bits pour coder la valeur du label et permettant $2^{20} - 1 = 1048575$ combinaisons ;
- 3 bits expérimentaux ;
- 1 bit pour savoir si le paquet se trouve en bas de la pile d'étiquettes (voir plus loin) ;
- 8 bits pour le TTL (Time To Live).

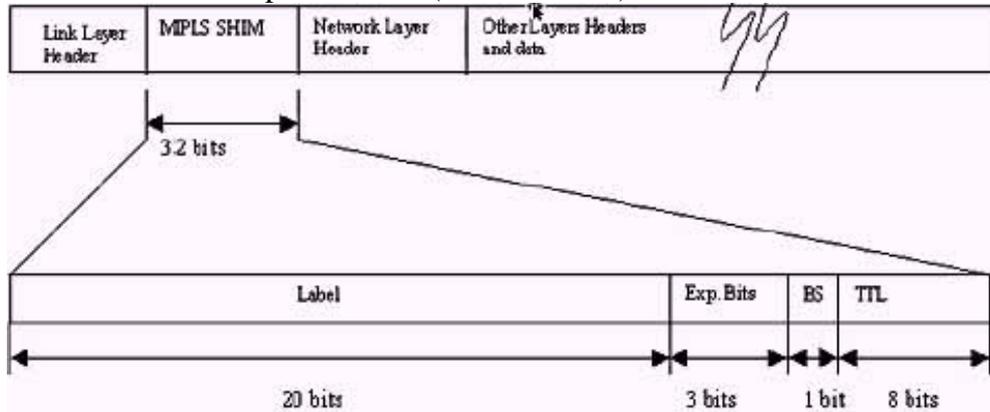


Figure 12 :Le Label MPLS

La commutation MPLS est **hiérarchique**, c'est-à-dire qu'en plus de commuter des étiquettes, il est possible d'en ajouter ou d'en enlever. Le jeu de labels attaché à un même paquet IP représente une **pile d'étiquettes** appelée **label stack**. Un routeur n'analyse que l'étiquette située au sommet de la pile. Nous avons vu qu'un label constituait un tunnel. Avec une pile d'étiquettes, il est possible de réaliser des **tunnels de tunnels**. Le protocole NHLFE (Next Hop Label Forwarding Entry) permet au routeur Ingress de caractériser les liens (ATM, Frame relay...) et le protocole ILM (Incoming Label Map) est utilisé par un routeur intermédiaire pour l'empilement/dépilage d'étiquette. Notons que la classification en FEC n'est réalisée que par le routeur Ingress de chaque niveau de la hiérarchie comme le montre la **figure** suivante :

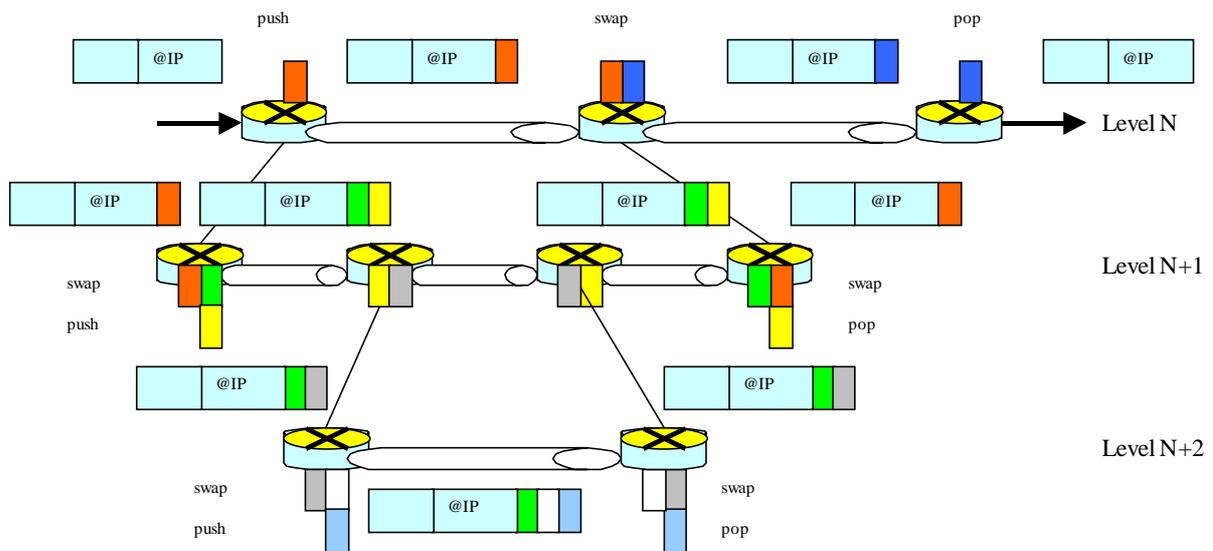


Figure 13 : Commutation Hiérarchique MPLS

Comme le montre la figure précédente, MPLS introduit des niveaux de hiérarchie permettant l'**agrégation**. Plus un niveau est bas dans cette hiérarchie, plus l'agrégation de LSR de niveaux supérieurs est grande entre 2 LSR d'un même niveau. Un router Ingress réalise un ajout de label (push) alors qu'un router Egress réalise une suppression de label (pop) à chaque niveau. Le routeur de plus bas niveau réalise du label swapping (swap) tout comme les routeurs des niveaux hiérarchiques supérieurs (qu'ils soient Ingress, Egress ou intermédiaires). Un label étant ajouté quand le paquet passe à un niveau hiérarchique plus élevé, la pile d'étiquettes s'allonge et le TTL est systématiquement positionné à 0. Seul le TTL correspondant au plus bas niveau de la hiérarchie (level N) est positionné à 1 pour dire que la pile d'étiquettes ne possède qu'une étiquette (voir **figure** ci-dessous).

Link Layer Header	Label N	Exp. bits	0	TTL	Network Layer Header	Other layers headers and data
	Label N+1	Exp. bits	0	TTL		
	Label N+2	Exp. bits	1	TTL		

Figure 14 : Architecture des Label Hiérarchique MPLS

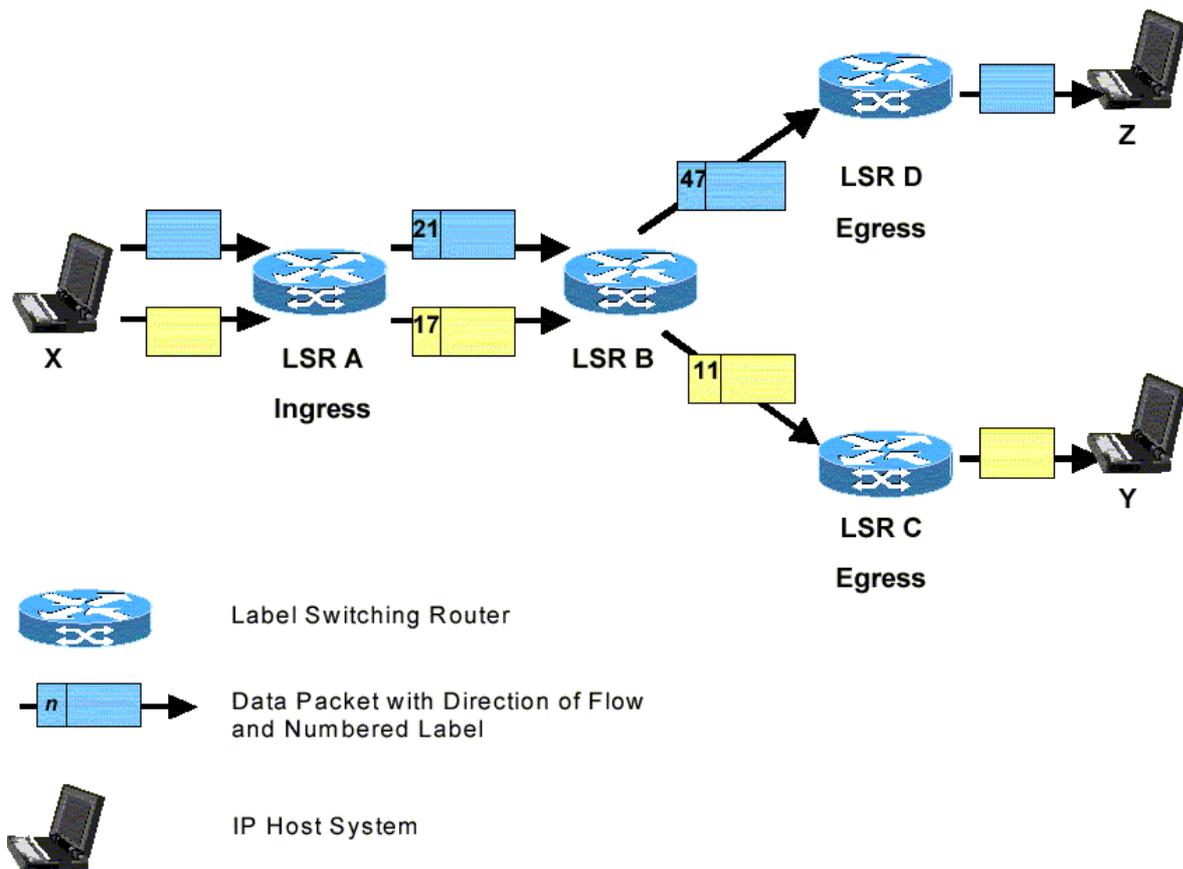
1.5 Distribution d'étiquettes :

Afin de pouvoir utiliser les LSPs (Label Switched Paths), les tables d'acheminements de chaque LSR (Label Switched Router) doivent effectuer un lien du couple {interface d'entrée, valeur d'étiquette} vers le couple {interface de sortie, valeur d'étiquette}. Ce processus est appelé la distribution d'étiquettes, ou la configuration de LSP.

L'IETF (Internet Engineering Task Force) ne spécifie pas un protocole unique de distribution des étiquettes entre LSRs, mais au contraire recommande le recours à des protocoles multiples, pour une utilisation adaptée aux différents scénarios possibles.

De ce fait plusieurs approches peuvent être envisagées pour la distribution d'étiquettes, et ce indépendamment des besoins matériels intrinsèques du réseau MPLS, et des politiques de management utilisées sur le réseau. Le principe est qu'un LSP est configuré soit en réponse à une requête du LSR d'entrée (ingress LSR), ce qui correspond au mode « downstream-on-demand », soit de manière préemptive par les LSRs du réseau ou le LSR de sortie (egress LSR), ce qui correspond au mode « downstream unsolicited ». Le cas où les deux types de configurations se réalisent en même temps est une situation envisageable. Le LSP résultant sera alors complètement configuré vers le milieu du réseau MPLS, au point de rencontre des deux types de configuration.

Dans tous les cas, les étiquettes sont allouées dans le sens montant (le sens montant étant pris comme celui contraire au flux de données), ce qui signifie que l'information relative à l'allocation se propage en direction de la source des données. La figure ci-dessous permet d'illustrer ces propos.



Cas de deux LSPs (Label Switched Paths) dans un réseau MPLS.

Le LSR D informe le LSR B que ce même LSR B doit utiliser l'étiquette 47 pour tous les paquets destinés à l'utilisateur Z. Le LSR B alloue alors une nouvelle étiquette (21), introduit la correspondance dans sa table d'acheminement, et informe enfin le LSR A que ce même LSR A doit utiliser l'étiquette 21 pour tous les paquets destinés à l'utilisateur Z.

Plusieurs options sont possibles pour contrôler la configuration des LSPs, c'est-à-dire la distribution d'étiquettes, et les protocoles utilisés à cette fin sont décrits ci-après :

- Le processus d'allocation des étiquettes « saut par saut » route les demandes de distribution d'étiquettes en direction du destinataire, LSR après LSR. La distribution d'étiquettes peut être initiée lors de la mise à jour des tables de routage ou en réponse à un nouveau flux de trafic. L'IETF a recommandé le protocole LDP (*Label Distribution Protocol*) pour l'allocation d'étiquettes « saut par saut ». Mais les protocoles RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*) et CR-LDP (*Constrained Routing Label Distribution Protocol*) peuvent également être utilisés.
- Dans le mode de distribution d'étiquettes « *downstream unsolicited* », le LSR de sortie (egress LSR) distribue l'étiquette à utiliser vers l'utilisateur. Ce processus est généralement déclenché par la réception de nouvelles informations de routage au niveau du nœud de sortie. De plus, si la méthode de distribution des labels est à contrôle ordonné (Ordered Control), chaque LSR amont distribue un label encore plus en amont. Ce procédé conduit rapidement à la création d'un arbre de LSPs dont les racines sont les LSRs de sortie. LDP est actuellement le seul protocole pouvant réaliser ce mode de distribution des étiquettes.
- Une fois que des LSPs ont été établis à travers le réseau MPLS, ils peuvent être utilisés pour fournir de nouvelles routes dès qu'ils seront disponibles. Comme les protocoles de routage, par exemple BGP (*Border Gateway Protocol*), distribuent les nouvelles informations de routage vers l'amont, ils peuvent aussi indiquer quelle étiquette, c'est-à-dire quel LSP, doit être utilisée pour atteindre les destinations joignables par ces routes.
- Si un LSR de sortie veut configurer un LSP qui ne suit pas le chemin de routage prévu, il doit alors utiliser un protocole de distribution d'étiquettes qui permet de spécifier une route explicite. Cela demande une distribution d'étiquettes de type « *downstream-on-demand* ». CR-LDP et RSVP permettent cette fonctionnalité.
- Un LSR d'entrée peut aussi vouloir configurer un LSP fournissant un niveau de service particulier, comme par exemple la réservation de ressources à chaque LSR intermédiaire, sur toute la longueur du chemin. Dans ce cas, la route correspondant à ce LSP peut être compromise par la disponibilité des ressources et la capacité des nœuds à garantir la qualité de service requise. Là encore, CR-LDP et RSVP sont les deux protocoles autorisant la distribution d'étiquettes de type « *downstream on demand* », et ils permettent également les demandes de besoins spécifiques de garanties de services.

Les protocoles CR-LDP et RSVP seront étudiés en détail et comparés dans les paragraphes suivants.

faisant partie de l'ensemble de nœuds avant d'émerger jusqu'au prochain saut spécifié par la route explicite.

D'autre part, une route explicite peut être qualifiée de stricte (strict) ou de non-strict (loose). Une route stricte doit contenir seulement les nœuds spécifiés par la route explicite, et doit les utiliser dans l'ordre préétabli. Une route non-strict doit inclure tous les sauts spécifiés, et doit conserver l'ordre, mais peut également inclure des sauts supplémentaires et nécessaires pour joindre les nœuds spécifiés.

Les routes explicites sont particulièrement utiles pour contraindre un LSP à utiliser un chemin différent de celui préconisé par le protocole de routage. Elles peuvent également être utilisées pour répartir le trafic dans un réseaux chargé, pour établir des routes contournant les points de congestion ou défaillants, ou pour fournir des LSPs de secours pré-alloués en cas de panne du réseau.

1.8 Route basée contrainte :

L'appellation route basée contrainte provient de la traduction directe du terme anglais « Constraint Based Routes (CBR) ». La route qu'emprunte un LSP peut être forcée à partir du LSR d'entrée du réseau selon certains critères, dont le nombre est assez important. Une route explicite est un exemple de route basée contrainte, où la contrainte est l'ordre dans lequel les LSRs intermédiaires doivent être joints. D'autres types de contraintes peuvent être imposées par une description précise du trafic devant être assuré. Dans ce cas sont définis la bande passante, le délai, les classes et priorités des différentes ressources.

Une approche consiste à ce que le LSR d'entrée calcule entièrement la route basée contrainte en se fondant sur les contraintes et les informations de l'état actuel du réseau. Ceci conduit à l'établissement d'une route explicite satisfaisant les contraintes énoncées.

Une autre approche possible consiste à faire varier le routage saut par saut, où à chaque LSR, le saut suivant est calculé en utilisant les informations détenues par ce LSR et concernant la disponibilité des ressources locales.

Ces deux approches peuvent être combinées, notamment lorsque l'information de segments de route est indisponible, par exemple, lors de la traversée d'un système autonome. Dans ce cas, la route peut être spécifiée en partie, et ce non-strictement, puis routée explicitement en utilisant les contraintes là où elles sont requises.

1.9 Le protocole CR-LDP :

CR-LDP est une version étendue de LDP spécialement destinée à faciliter le routage basé sur la contrainte des LSPs. Tout comme, LDP, CR-LDP utilise des sessions TCP entre les LSRs, au cours desquelles il envoie les messages de distribution des étiquettes. Ceci permet en particulier à CR-LDP d'assurer une distribution fiable des messages de contrôle.

Les échanges d'informations nécessaires à l'établissement des LSPs utilisant CR-LDP sont décrits dans la figure suivante.

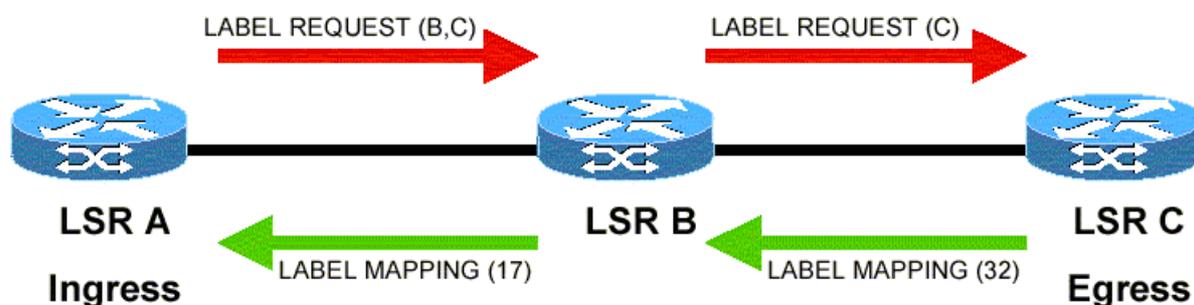


Figure 16 : Procédure d'établissement des LSPs avec CR-LDP.

- Le LSR d'entrée (LSR A) détermine qu'il est nécessaire d'établir un nouveau LSP jusqu'au LSR C. Les paramètres et critères de trafic requis pour la session permettent au LSR A de déterminer que la route pour le nouveau LSP doit passer par le LSR B, puis aller vers le LSR C. Cette route n'est d'ailleurs vraisemblablement pas la même que la route saut par saut pour aller du LSR A jusqu'au LSR C. Le LSR A construit alors un message LABEL_REQUEST contenant une route explicite (B, C) et les détails des paramètres de trafic demandés pour la nouvelle route. Le LSR A réserve les ressources dont il a besoin pour le nouveau LSP, et envoie le message LABEL_REQUEST constitué vers le LSR B en utilisant une session TCP.
- Le LSR B reçoit le message LABEL_REQUEST, détermine qu'il ne doit pas être considéré comme le LSR de sortie vis-à-vis de ce LSP, et qu'il doit donc envoyer le message sur la route spécifiée. Le LSR B réserve alors les ressources nécessaires pour le nouveau LSP, modifie la route explicite dans le message LABEL_REQUEST, et envoie le message au LSR C. Il faut noter que si les paramètres de trafic étaient marqués comme étant négociables dans le message LABEL_REQUEST, le LSR B pourrait alors réduire la réservation des ressources allouées au nouveau LSP.
- Le LSR C reçoit à son tour le message LABEL_REQUEST, et détermine qu'il est bien le LSR de sortie pour ce nouveau LSP. Il effectue alors les dernières négociations de ressources puis les alloue au LSP. Le LSR C attribue ensuite une étiquette au nouveau LSP et distribue cette étiquette au LSR B dans un message LABEL_MAPPING, qui contient les détails des paramètres finaux du trafic réservé pour le LSP.
- Le LSR B reçoit le message LABEL_MAPPING et le fait correspondre à la demande originale en utilisant l'identité du LSP contenue à la fois dans les messages LABEL_REQUEST et LABEL_MAPPING. Le LSR B finalise les réservations de ressources, attribue une étiquette au LSP, configure sa table de routage, et envoie la nouvelle étiquette au LSR A dans un message LABEL_MAPPING.

- Le processus est le même au niveau du LSR A, mais celui-ci n'a pas à attribuer une nouvelle étiquette et à la propager vers les LSRs amonts, puisqu'il est le LSR d'entrée pour ce nouveau LSP.

Un LSP, appelé CR-LSP (*Constrained Route – Label Switched Path*) est alors établi entre le LSR d'entrée et celui de sortie.

1.10 Le protocole RSVP :

Le protocole RSVP utilisait initialement un échange de message pour réserver les ressources des flux IP à travers un réseau. Une version étendue de ce protocole, en particulier pour permettre les tunnels de LSP, autorise actuellement RSVP à être utilisé pour distribuer des étiquettes MPLS.

RSVP est un protocole complètement séparé de la couche IP, qui utilise des datagrammes IP (ou UDP (*User Datagram Protocol*) aux limites du réseau) pour communiquer entre LSRs. RSVP ne requiert pas la maintenance nécessaire aux connexions TCP, mais doit néanmoins être capable de faire face à la perte de messages de contrôle.

Les échanges d'informations nécessaires à l'établissement de LSP permettant les tunnels de LSP et utilisant RSVP sont décrits dans la figure suivante.

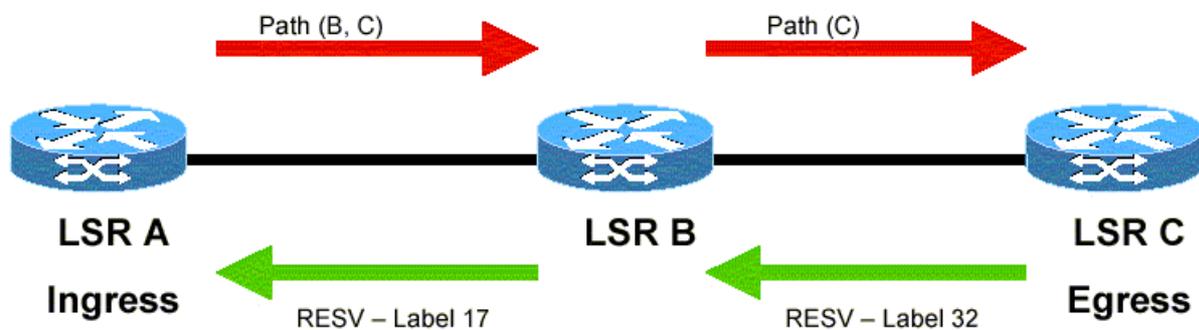


Figure 17 : Procédure d'établissement des LSPs pour tunnels de LSP avec RSVP.

- Le LSR d'entrée (LSR A) détermine qu'il est nécessaire d'établir un nouveau LSP jusqu'au LSR C. Les paramètres et critères de trafic requis pour la session permettent au LSR A de déterminer que la route pour le nouveau LSP doit passer par le LSR B, puis aller vers le LSR C. Cette route n'est d'ailleurs vraisemblablement pas la même que la route saut par saut pour aller du LSR A jusqu'au LSR C. Le LSR A construit alors un message de chemin (*Path message*) contenant une route explicite (B, C) et les détails des paramètres de trafic demandés pour la nouvelle route. Le LSR A envoie le message de chemin comme datagramme IP vers le LSR B.
- Le LSR B reçoit le message de chemin, détermine qu'il ne doit pas être considéré comme le LSR de sortie vis-à-vis de ce LSP, et qu'il doit donc envoyer le message sur la route spécifiée. Le LSR B modifie alors la route explicite dans le message de chemin, et envoie le message au LSR C.
- Le LSR C reçoit à son tour le message de chemin, et détermine qu'il est bien le LSR de sortie pour ce nouveau LSP. En fonction des paramètres de trafic demandés, le LSR C détermine la bande passante nécessaire pour réserver et allouer les ressources. Le LSR C attribue ensuite une étiquette au nouveau LSP et distribue cette étiquette au LSR B dans un message Resv, qui contient les détails de la réservation des ressources pour le LSP.
- Le LSR B reçoit le message Resv et le fait correspondre à la demande originale en utilisant l'identité du LSP contenue à la fois dans les messages de chemin (*Path message*) et Resv. A partir des détails du message Resv, le LSR B détermine quelles ressources doivent être réservées, attribue une étiquette au LSP, configure sa table de routage, et envoie la nouvelle étiquette au LSR A dans un message Resv.
- Le processus est le même au niveau du LSR A, mais celui-ci n'a pas à attribuer une nouvelle étiquette et à la propager vers les LSRs amonts, puisqu'il est le LSR d'entrée pour ce nouveau LSP.

Un LSP, appelé CR-LSP (*Constrained Route – Label Switched Path*) est alors établi entre le LSR d'entrée et celui de sortie.

1.11 Comparaison CR-LDP et RSVP :

Les principales différences entre CR-LDP et RSVP sont essentiellement la fiabilité des protocoles de transport utilisés (IP dans le cas de RSVP et TCP dans le cas de CR-LDP), et le sens dans lequel s'effectue les réservations de ressources (sens montant pour RSVP et sens descendant pour CR-LDP).

Ces différences, ainsi que d'autres, sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	CR-LDP	RSVP
Transport	TCP	Couche IP
Sécurité	Oui	Oui
Multipoint-to-point	Oui	Oui
Support du multicast	Non	Non
Support de plusieurs LSP	Oui	Oui
Etat des LSP	Hard	Soft
Re-routage	Oui	Oui
Routage explicite	Strict avec portions approximatives	Strict avec portions approximatives
Assignation de route	Oui	Oui, par chemin enregistré
Préemption de LSP	Oui, avec priorité	Oui, avec priorité
Protection LSP	Oui	Oui
Maintien des LSP	Non nécessaire	Périodique, saut-par-saut
Haute disponibilité	Non	Oui
Réservations partagées	Non	Oui
Contrôle de trafic	En descendant	En montant
Policy Control	Implicite	Explicite
Protocole de niveau 3 indiqué	Non	Oui
Contrainte de classe de ressource	Oui	Non

Tableau 13 : comparatif : CR-LDP versus RSVP.

RSVP et CR-LDP s'avèrent être tous les deux de bonnes solutions techniques pour la configuration et la gestion de LSPs utilisant le Traffic Engineering.

Les différences, tant dans la structure de ces protocoles que dans les protocoles de transport associés, permettent de conclure que l'apport inhérent à RSVP et à CR-LDP ne pourront jamais converger complètement. De plus, les différences mises en avant plus haut, ainsi que celles de vitesse et de possibilité de déploiement seront les principaux facteurs permettant de faire un choix entre ces deux protocoles.

1.12 Traffic Engineering :

Le Traffic Engineering (TE), ou gestion de trafic, consiste à router les données à travers le réseau suivant une vision de management de la disponibilité des ressources, et du trafic courant et attendu. La classe de service et la qualité de service requises pour les données peuvent aussi être prises en compte.

Le Traffic Engineering peut être sous le contrôle d'opérateurs manuels. Ils surveillent l'état du réseau et routent le trafic ou réservent des ressources supplémentaires pour pouvoir faire face à d'éventuels problèmes naissant. De manière alternative, le Traffic Engineering peut aussi

être mené par des processus automatisés, réagissant aux informations relatives à l'état du réseau qui sont envoyées entre autres par les protocoles de routage.

Le Traffic Engineering aide le fournisseur de réseau à optimiser au mieux les ressources disponibles, répartissant la charge des liaisons de niveau 2, et autorisant quelques liaisons à être réservées pour certaines classes de trafic, ou pour des clients particuliers.

Ainsi, pour assurer le service demandé, il ne suffit pas de sélectionner une route pouvant fournir suffisamment de ressources. Ces ressources doivent être réservées pour assurer qu'elles ne seront pas partagées ou « volées » par d'autres LSPs plus tard. Les critères nécessaires à l'établissement d'un trafic adapté peuvent être acheminés lors de la configuration des LSPs, ou avec le routage basé contrainte. Ces critères sont utilisés à chaque LSR pour réserver les ressources nécessaires, ou pour signaler un échec d'établissement de LSP dans le cas de ressources insuffisantes.

Une des principale utilisation du MPLS est de fournir du Traffic Engineering amélioré sur les réseaux fédérateurs des fournisseurs de services Internet (ISPs). En particulier, pour l'utilisation de services nécessitant différents niveaux de priorités, tel le transport de voix ou de vidéo sur Internet, MPLS permet d'éviter le recours à une politique de surdimensionnement des réseaux physiques pratiquée jusqu'alors, en allouant les ressources du réseau à des LSPs utilisant le routage basé contrainte.

4. Avantages de MPLS sur ATM

MPLS permet de simplifier l'administration du réseau de cœur en ajoutant des fonctionnalités pour gérer la QoS. Tout comme DiffServ, MPLS permet de réduire le coût des traitements associés à l'acheminement des paquets en les reportant à la périphérie du réseau et en réduisant la fréquence.

MPLS apporte un routage hiérarchique efficace grâce aux tunnels qui permettent de gérer les réseaux privés virtuels (VPN).

MPLS est un outil puissant d'agrégation. En effet, les tables d'acheminement interrogées pour chaque paquet dans chaque routeur peuvent avoir une taille réduite car le nombre de labels ne dépend plus du nombre de préfixes annoncés par les opérateurs mais du nombre de routeurs en sortie du réseau.

Avec MPLS, le routeur suivant (en aval ou downstream) peut ne pas être le routeur par défaut, ce qui permet la QoS. MPLS remet en cause la notion de routage traditionnel. En effet, les protocoles de routage internes empêchent les opérateurs de gérer leurs ressources car ils privilégient certaines routes. Cela pose problème pour offrir des services de VPN. Avec MPLS, il devient possible de configurer les FEC dans les routeurs Ingress et les tables d'acheminement dans les équipements de cœur afin d'imposer un chemin différent du chemin par défaut et de réserver des ressources sur ce nouveau chemin. Pour cela, les protocoles RSVP et CR-LDP décrits dans les paragraphes précédents sont utilisés.

Problèmes posés et réflexions en cours

Comment établir le FEC (le routeur doit-il se baser sur le préfixe ou le suffixe de l'adresse IP du paquet IP entrant ?)

Comment faire du multicast ? les protocoles CR-LDP et RSVP sont équivalents sur le plan de la diffusion *multipoint-to-point* car ils offrent tous deux la possibilité de grouper des flots à des LSR intermédiaires. Notons cependant que sur un réseau orienté connexion, cela est parfaitement possible mais que sur un réseau ATM cela exige un équipement non standard pour éviter l'entrelacement des cellules. Par contre, le *Point-to-multipoint* n'est pas actuellement prévu par l'architecture MPLS, et aucun des deux protocoles précédents ne le prévoit. Ce domaine reste ouvert aux recherches futures.

GLOSSAIRE

AAL, ATM Adaption Layer
ABR, Available Bit Rate
ABT, ATM Block Transfer
AFR, Assured Forwarding
ATM, Asynchronous Transfer Mode
ATM ARP, ATM Address Resolution Protocol
BBRR : Bit by bit round robin
BCS, Behavior Class Selectors
BGP, Border Gateway Protocol
BMWG, BenchMaring Working Group
CAC, Connection Admission Control
CBR, Constraint Based Routing
CBQ : Class based queuing
CDV, Cell Delay Variation
CTD, Connection Traffic Descriptor
CL, Controlled Load
CLS, Controlled Load Service
CLP, Cell Loss Priority
CoS, Class of Service
CR-LDP, Constrained Routing - Label Distribution Protocol
CR-LSP, Constrained Route – Label Switched Path
CTD, Cell Transfer Delay
DBR, Deterministic Bit Rate
DSCP, Differential Services Code Point
DLCI, Data Link Connection Identifier (Frame relay)
DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing
EF, Expedited Forwarding
FEC, Forwarding Equivalent Class
FQ : Fair queuing
GFR, Guaranted Frame Rate
GS, Guaranteed Service
HEC, Header Error Control
ICMP, Internet Control Protocol Message
IETF, Internet Engineering Task Force
ILM, Incoming Label Map
IP, Internet Protocol
ISP, Internet Service Provider
ISSL, Integrated over Specific Link Layer
LAN, Local Area NetWork
LDP, Label Distribution Protocol
LER, Label Edge Router (Ingress ou Igress LSR)
LIB, Label Information Base
LIS, Logical IP Subnet

LSP, Label Switched Path
LSR, Label Switched Routers
MBS, Maximum Burst Size
MCR, Minimum Cell Rate
MIB, management integrated base
MPLS, Multi Protocol Label Switching
NHLFE, Next Hop Label Forwarding Entry
NHRP, Next Hop Resolution Protocol
OA, Ordering Aggregate
OSPF, Open Shortest Path First
PCR, Peak Cell Rate
PFR : Packet fair queuing
PPDM : Path Precedence Discovery Mecanism
PHB, Per Hop Behavior
PHBA, Per Hop Behavior Aggregate
PHP, Penultimate Hop Mapping
PNNI, Private Network to Network Interface
PPRR : Packet by packet round robin
PPP, Point-to-Point Protocol
PQ : Priority queuing
PSC, Per Hop Scheduling Class
PT, Payload Type
QoS, Quality of Service
RAP, RSVP Admission Policy
RED : Random early detection
RSVP, Resource reSerVation Protocol
RTT, Round Trip Time
SA, Scheduling Aggregate
SBR, Statistic Bit Rate
SLA, Service Level Agreement
SCR, Sustainable Cell Rate
SNMP : signalisation network management protocol
SPT, Shortest Path Tree
SVC, Switched Virtual Circuit
TCP, Transport Control Protocol
TE, Traffic Engineering
TTL, Time To Live
UBR, Unspecified Bit Rate
UDP, User Datagram Protocol
VBR, Variable Bit Rate
UNI, User Network Interface
UPC, Usage Parameter Control
VC, Virtual Channel
VCC, Virtual Channel Connection
VCI, Virtual Channel Identifier
VoIP, Voice over IP
VPI, Virtual Path Identifier
VPN, Virtual Private Network

RED : Random early detection
WRR : Weighted round robin

Bibliographie

« MPLS Tutorial », by Trillium, 2000, <http://www.iec.org/tutorials/mpls/index.html>, site WEB de l'International Engineering Consortium;

“Qualité de Service dans l'Internet”, par Claudine Chassagne, août 1998, <http://www.urec.fr/metrologie/article-qos.html>, site WEB du CNRS-UREC ;

« General Requirements for ATM-MPLS interworking », by the ATM Forum – Technical Committee, January 2001, ref. RTD-AIC-MPLS-01-03;

“IP QoS over ATM”, by Sitarama VR, November 1999, http://www.netlab.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/ip_qos_atm/index.html;

“MPLS Traffic Engineering : A choice of signaling protocols”, P. Brittain, A Farrel at Data Connection, January 2000

“MPLS : From IP forwarding to label switching”, R. Casellas at ENST/Infres, Mars 2001

“Traffic Engineering with MPLS in the Internet”, IEEE Network

“Reliable services in MPLS”, IEEE Communications Magazine

“MPLS Advantages for Traffic Engineering”, IEEE Communications Magazine

“MPLS and the evolving Internet architecture”, IEEE Communications Magazine

“MPLS and Traffic Engineering in IP Networks”, IEEE Communications Magazine

“RFC 2208 : RSVP Version 1 Applicability Statement, Some Guidelines on Deployment”

« RFC : 2475 : Architecture for Differentiated Service »

« RFC 2474 : Differentiated Services Field »

« RFC 2598 : An Expedited Forwarding »

« RFC 2597 Assured Forwarding PHB »

« RFC 2386 : A Frame Work for QoS-based Routing In Internet »

« ATM Signaling Requirement for IP Differentiated Service and IEEE 802.1D » ATM Forum

« A Concept of VC to VP Mapping to Support Differentiated Services »

« Traffic Management Specification Version 4.1 » ATM Forum

« Addendum to TM 4.1 Differentiated UBR » ATM Forum

« Internet multimédias et temps réel » de Jean François Susbielle éditions Eyrolles 2000

« White Paper QoS protocols & architectures » : www.qosforul.com

« Réseaux Haut Débit : Tome 1 », 2^{ème} édition de Daniel Kofman et Maurice Gagnaire chez InterEditions 1998