

Copyright (c) Thierry LAFOND

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

MPLS

Multi Protocol Label Switching

(Protocole de transmission et de routage de données par paquets)

Miia TAINEN
Thierry LAFOND

Décembre 2002

1	INTRODUCTION.....	3
1.1	RAPPELS SUR LES PROTOCOLES	3
1.2	UN PEU D’HISTORIQUE	3
1.3	LES GRANDS ACTEURS DU MOMENT	4
1.3.1	<i>Asynchronous Transfer Mode (ATM)</i>	4
1.3.2	<i>Internet Protocol (IP)</i>	4
1.4	LA PROBLEMATIQUE D’AUJOURD’HUI	4
1.5	VERS UNE SOLUTION D’AVENIR	4
2	MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS).....	5
2.1	QU’EST-CE QUE MPLS	5
2.2	OU SE POSITIONNE MPLS AU NIVEAU DES COUCHES.....	5
2.3	DESCRIPTION D’UN LABEL MPLS.....	6
2.4	LE PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT DE MPLS.....	6
2.5	DEFINITION DE SES COMPOSANTS (LSR, LER, LDP, FEC, LIB, LSP)	6
2.5.1	<i>Forward Equivalence Class (FEC)</i>	7
2.5.2	<i>Labels et association de labels</i>	7
2.5.3	<i>Label-Switched Paths (LSP)</i>	7
2.5.4	<i>Label Edge Router (LER), Label Switching Router (LSR)</i>	7
2.5.5	<i>Label Information Base (LIB)</i>	7
2.5.6	<i>Label Distribution Protocol (LDP)</i>	7
2.6	EXEMPLE DE CIRCULATION D’UN PAQUET MPLS ENTRE DEUX POINTS.	8
3	MISE EN ŒUVRE	10
3.1	IMPORTANCE DES DECISIONS POLITIQUES.....	10
3.2	COOPERATION D’ATM & MPLS	10
4	INTERET DE DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE	10
5	INTERET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE.....	10
5.1	APPLICATIONS :	10
5.1.1	<i>Virtual Private Network (VPN)</i>	10
5.1.2	<i>transmission de la voie et de l’image</i>	11
5.1.3	<i>Autres applications avec l’aide de MPLS:</i>	11
5.2	ATOUTS.....	11
5.2.1	<i>Pour les entreprises</i>	11
5.2.2	<i>Pour les utilisateurs finals</i>	11
5.2.3	<i>Pour les fournisseurs de services</i>	11
5.2.4	<i>Pour les opérateurs de télécommunications</i>	12
6	LES CONTRAINTES ET LA CRITIQUE.....	12
7	CONCLUSION	13
8	SOURCES.....	14
9	GLOSSAIRE	14
10	BIBLIOGRAPHIE.....	15

ANNEXE: ENTREPRISES UTILISANT TECHNOLOGIE MPLS, 5 PAGES

MPLS	Multi Protocol Label Switching	Page 2/21
------	--------------------------------	-----------

INTRODUCTION

1.1 Rappels sur les protocoles

Un protocole est un ensemble de règles qui permettent de définir le mode de communication entre deux entités, logicielles ou matérielles.

En 1984, l'organisme de normalisation ISO (International Organization for Standardization) basé en Suisse, a développé un modèle de référence pour que les réseaux de communication (tel qu'Internet) puissent se développer à l'échelle mondiale en dehors du cercle fermé de certaines entreprises et institutions. Ce modèle est dénommé OSI (Open Systems Interconnection) et comporte quatre couches superposées de protocoles dans sa version simplifiée, et sept dans sa version plus élaborée.

Sur ces sept couches, les trois premières ne font pas forcément intervenir les mêmes protocoles tout au long d'une connexion à partir d'un ordinateur doté d'une carte réseau ou d'un modem. Le flux de données peut traverser d'abord une zone de bureaux sur des lignes téléphoniques, puis être modifié pour transiter sur le réseau d'un opérateur de télécommunications, et ensuite se retrouver sur les autoroutes de communication transatlantiques en fibre optique avant de suivre un schéma inverse de distribution aux Etats-Unis. Et ce sont les équipements appelés commutateurs qui se chargent de modifier le flux. En revanche, les quatre couches suivantes doivent conserver les données numériques transmises de bout en bout, sinon le site web ne s'afficherait pas correctement dans l'écran du navigateur.

1.2 Un peu d'histoire

Situation au début des années 90	<ul style="list-style-type: none">- Cœur du réseau interconnecté avec des liaisons T1 à T3- Topologie relativement simple- Trafic peu important
Situation milieu des années 90	<ul style="list-style-type: none">- Augmentation importante de la taille des réseaux- Apparition de goulots d'étranglement- Routeurs trop lents- Augmentation importante du trafic
Nouvelles problématiques	<ul style="list-style-type: none">- Augmentation des tables de routages- Recherche de nouvelles fonctionnalités
Techniques propriétaires	<ul style="list-style-type: none">- Internet Protocol Navigator (Cascade/ Ascend / Lucent)- Tag Switching (Cisco)- ARIS (IBM)- Input-Output Switching (Ipsilon / Nokia)
Amorce du MPLS à l'IETF (Internet Engineering Task Force)	<ul style="list-style-type: none">- Création d'un groupe de travail au printemps 1997
Objectif : associer	<ul style="list-style-type: none">- La puissance de commutation du niveau 2- La flexibilité du routage de niveau 3

1.3 Les grands acteurs du moment

1.3.1 Asynchronous Transfer Mode (ATM)

L'atout du réseau ATM est sa grande souplesse au niveau des interfaces, et sa flexibilité pour allouer les capacités, garantir des qualités de service, ou offrir un mode "best effort". Par ailleurs il peut constituer en tant que tel dans les grandes agglomérations un réseau de communication de transport autonome sur fibre ou longueur d'onde dédiée. Les brasseurs ATM deviennent de plus en plus puissants et s'enrichissent progressivement d'un mode de fonctionnement commuté qui pourrait être intéressant à l'avenir pour affecter instantanément des capacités de transport non partagées. Un des inconvénients majeurs est son coût élevé.

1.3.2 Internet Protocol (IP)

Dans un réseau IP classique, le trafic est acheminé vers sa destination sur le trajet le plus court. Mais ce trafic "optimisé" tend à emprunter un nombre réduit de liaisons, créant un encombrement de certains domaines du réseau, d'autres zones restant sous-utilisées. De son côté le réseau IP est bien adapté à certains besoins (réseaux privés virtuels (VPN), multicast, etc.) et dispose d'ores et déjà de grandes puissances de commutation. Par contre il est moins avancé que l'ATM quant à la qualité de service, et à la mise en œuvre de contrats de trafic comme la réservation de capacité ou bien des modes statistiques avec débit moyen garanti.

1.4 La problématique d'aujourd'hui

Durant ces dernières années l'échange d'informations à travers le réseau Internet a évolué de manière considérable et de nouvelles applications de type multimédia ont vu le jour et sont utilisées de plus en plus fréquemment. Ceci provoque *un besoin toujours plus important en bande passante, en sécurité et en qualité de services* afin de supporter le transport d'applications demandant des débits et des délais de transition spécifiques. Cette transformation du réseau, d'une infrastructure par paquets à une infrastructure en cellules, a introduit de l'incertitude dans un réseau jusque-là déterministe.

En plus de ces contraintes sur les ressources, un autre challenge est le transport des données sur le backbone en offrant différentes classes de services aux utilisateurs. *La croissance exponentielle du nombre d'utilisateurs et le volume du trafic* ajoute une nouvelle dimension au problème. Les classes de services (CoS) et la qualité de service (QoS) doivent être prises en compte pour répondre aux différents besoins de chaque utilisateur du réseau.

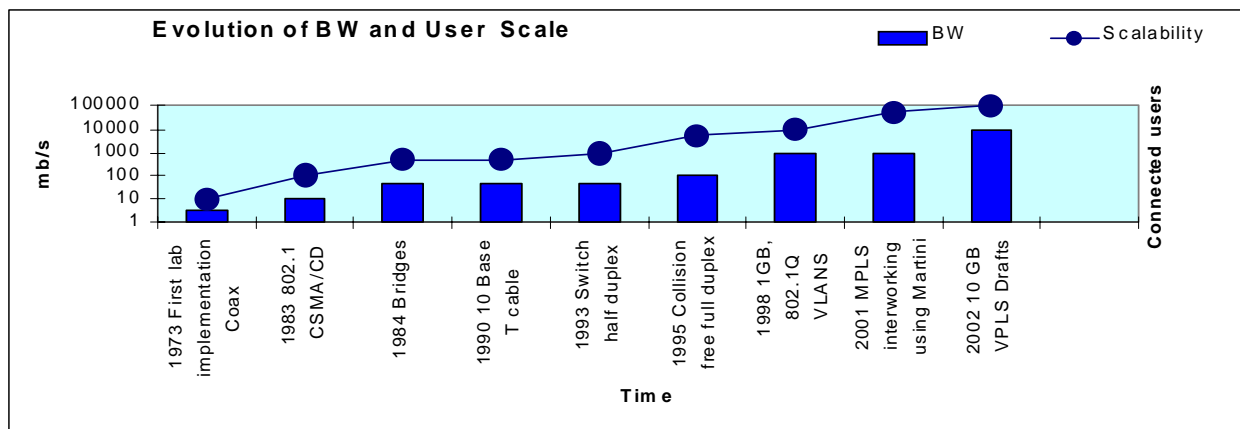


Figure 1. Evolution des réseaux de 1973-2002

Pour ce faire, différentes technologies ont été utilisées jusqu'à présent telles que le transfert de paquets IP dans des paquets ATM dont le protocole permet de garantir des qualités de services ou l'usage du protocole RSVP (Resource Reservation Protocol). Toutefois, ces différents mécanismes ne sont pas optimaux au niveau de la gestion et de la maintenance des réseaux.

1.5 Vers une solution d'avenir

Le routage (niveau 3 de la couche OSI) et la commutation (niveau 2 de la couche OSI) de paquets sont la base du déploiement des réseaux IP. Ces deux principes permettent le transfert des données de manière simple et dynamique. Mais comme ceux-ci ne tiennent pas compte des éléments mentionnés plus haut et fonctionnent sur la base d'algorithmes, ils ne

prennent pas en compte les délais ou la congestion du réseau qu'il peut y avoir de bout en bout lors de transfert de données, ce qui provoque dans certains cas une sérieuse diminution des performances.

C'est pour cela que les industriels essaient d'enrichir IP par un nouveau protocole permettant d'utiliser en IP des mécanismes (les labels) équivalents d'un point de vue fonctionnel à une identification de circuits virtuels, qui apportent un gain en efficacité et en qualité de service. Ce protocole pourrait permettre alors d'utiliser IP comme couche de transport, en plus de sa capacité de commutation.

2 Multi Protocol Label Switching (MPLS)

De nombreuses propositions ont été faites pour faire évoluer les techniques de routage. Une des constantes dans ces évolutions aura été la dissociation progressive dans les routeurs de la fonction de transfert/commutation ("forwarding") des fonctions de recherche de route proprement dites, se rapprochant ainsi de la classique séparation commande/transfert des réseaux à intégration de services.

Face à la demande en forte croissance des VPN, les opérateurs télécoms proposent généralement aux sociétés deux types de solutions: la première reposant sur le protocole IPsec (Internet Protocol Security), qui privilégie la sécurisation des flux d'informations par cryptage des données, la seconde s'adossant à la norme plus récente MPLS qui gère les problèmes de qualité de service et de prioritarisation des flux. Selon communiqué de presse de Cisco du 13 avril 1999, AT&T était la première société américaine à proposer un produit utilisant le standard MPLS.

2.1 Qu'est-ce que MPLS

MPLS est donc un protocole normalisé par l'IETF. Il assure les fonctions suivantes:

- Il spécifie les mécanismes pour administrer les flux de trafic des plusieurs types, comme les flux entre des matériels différents, des machines différentes ou même entre des applications différentes
- Il est indépendant des protocoles des couches 2 et 3.
- Il interagit avec des protocoles de routage existant, comme RSVP et OSPF (Open Shortest Path First).
- Il supporte les couches de niveau 2 des réseaux IP, ATM, et Frame Relay.

2.2 Où se positionne MPLS au niveau des couches

Comme le protocole MPLS est basé sur le niveau 2 de la couche OSI, il peut être aussi bien utilisé pour des réseaux IP que par d'autres types de réseaux, si bien que le passage à IPv6 sera également supporté par celui-ci. (Voir Figure 2).

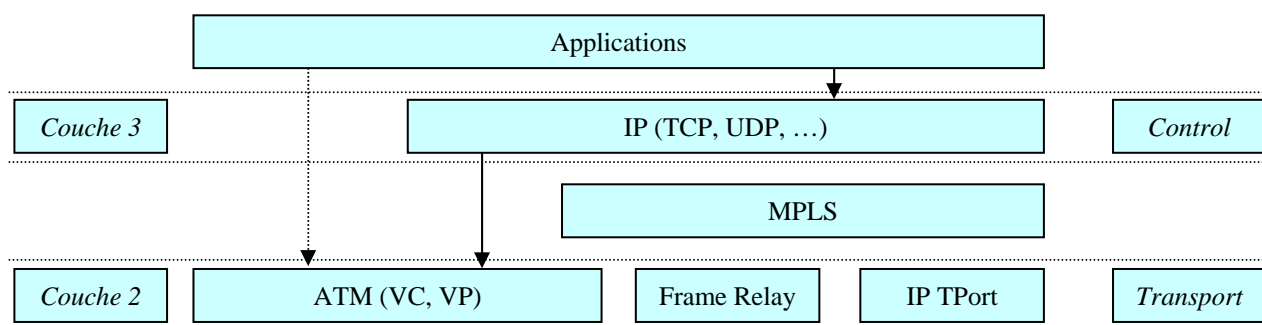


Figure 2. MPLS au niveau des couches

Par conséquent, le but du protocole MPLS est d'améliorer le rapport prix/performance des différents équipements de routage et l'efficacité des routeurs tout particulièrement pour les grands réseaux, ainsi que d'enrichir les services sans que l'on ait à modifier forcément tous les réseaux.

2.3 Description d'un Label MPLS.

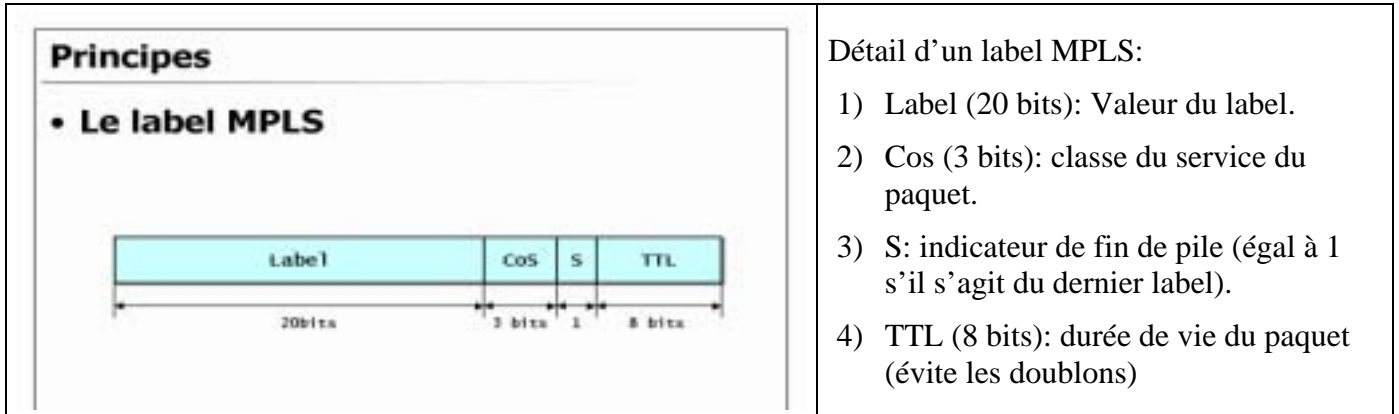


Figure 3. Détail d'un label MPLS

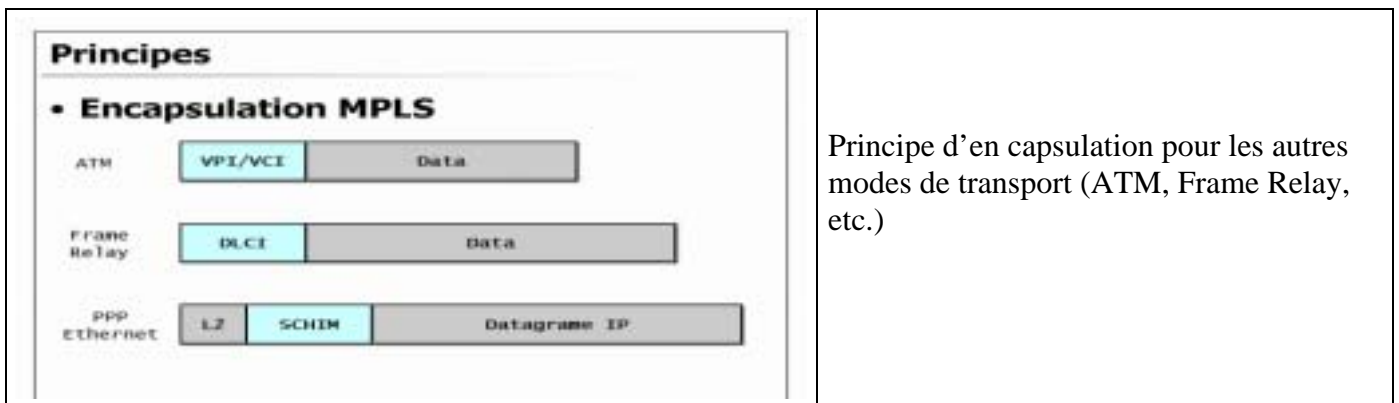


Figure 4. Encapsulation pour ATM, Frame Relay, etc.

2.4 Le principe du fonctionnement de MPLS

La commutation MPLS est une technologie orientée connexion. Un protocole de contrôle décide du trajet entre deux points d'un réseau. Ce trajet peut être une route spéciale qui fait circuler un type de trafic spécifique. Grâce au protocole de contrôle, les routeurs du réseau associent les étiquettes à cette voie, car un préfixe, représentant l'étiquette, est affecté aux paquets envoyés sur la voie.

La technologie MPLS permet par définition de faire cohabiter plusieurs qualités de service dans le même tuyau. Pour reprendre l'image de l'autoroute qui va d'un point A à un point B, plusieurs voies se côtoient dont celle des camions à vitesse plus réduite.

Le principe du fonctionnement de MPLS est basé sur la transmission de données selon des LSP et des FEC transitant dans des LER et des LSR gérés par des LIB provenant des LDP.

Les LSR et LER sont les éléments physiques utilisés dans un réseau MPLS. Le premier et le dernier routeurs appelés routeurs d'extrémités sont les LER alors que les LSR désignent tous les routeurs se trouvant au cœur du réseau MPLS. Les LER peuvent être connectés à un ou plusieurs réseaux de sortie différents tels qu'ATM, Frame Relay ou Ethernet et ils jouent un rôle fondamental dans l'assignation et la suppression des labels au niveau du trafic entrant et sortant d'un réseau MPLS.

2.5 Définition de ses composants (LSR, LER, LDP, FEC, LIB, LSP)

Comme les routeurs ne se réfèrent pas aux en-têtes d'origine des paquets, le MPLS peut servir à transporter des protocoles de couches différentes. En pratique, cependant, il est utilisé presque exclusivement pour le transport de paquets IP. Les

mêmes trajets de circulation peuvent donc être empruntés par des paquets étiquetés et des paquets acheminés selon la voie classique, car ce sont les routeurs qui déterminent la transmission efficace des deux types de trafic et la tenue de différentes tables de routage pour chaque paquet. Le MPLS exige que les routeurs gèrent simultanément des tables de routage multiples et cela peut avoir un impact direct sur leur capacité à transmettre les paquets.

Chaque paquet de données encapsule et transporte les labels pendant leur acheminement. La commutation haut débit est possible puisque les labels de longueur fixe sont insérés au tout début du paquet ou de la cellule et peuvent être utilisés par le hardware pour commuter plus rapidement.

2.5.1 Forward Equivalence Class (FEC)

La FEC est la représentation d'un groupe de paquet qui ont en commun les mêmes besoins quant à leur transport. Tous les paquets d'un tel groupe reçoivent le même traitement ils reçoivent alors la même étiquette une seule fois lors de leur entrée sur le réseau.

2.5.2 Labels et association de labels

Un label, dans sa forme la plus simple, identifie le chemin que le paquet doit suivre.

2.5.3 Label-Switched Paths (LSP)

Les LSP sont une séquence de labels (ou étiquettes) insérés entre les niveaux 2 et 3 de la couche OSI dans les paquets à transmettre.

MPLS propose les deux solutions suivantes pour implémenter un LSP:

- Routage saut par saut: chaque LSP choisit indépendamment le saut suivant pour un FEC donné. Cette méthodologie est similaire à celle utilisée dans les réseaux IP courants.
- Routage explicite: similaire au source routing. Le premier LSR détermine la liste des nœuds à suivre. Le chemin spécifié peut être non-optimal. Le long de ce chemin, les ressources peuvent être réservées pour assurer la QoS au trafic.

Dans le deuxième cas, le chemin spécifié peut être non optimal si les ressources nécessaires à certaines qualités de services n'ont pas été réservées auparavant. A noter également qu'un LSP est unidirectionnel, ce qui signifie que le trafic de retour devra utiliser un autre LSP.

2.5.4 Label Edge Router (LER), Label Switching Router (LSR)

Dans un réseau MPLS, les paquets entrants se voient attribués un label par un routeur spécialisé de type LER (Label Edge Router), ils peuvent supporter plusieurs ports connectés à des réseaux différents (ATM, Frame Relay ou Ethernet).

Ensuite, les paquets sont envoyés par un chemin défini, le long duquel chaque routeur haut débit situé au cœur d'un réseau MPLS de type LSR (Label Switching Router) effectue des décisions selon le contenu du label.

2.5.5 Label Information Base (LIB)

Chaque LSR se construit une table pour savoir comment un paquet doit être transmis. Cette table est appelée la base d'information sur les labels (LIB).

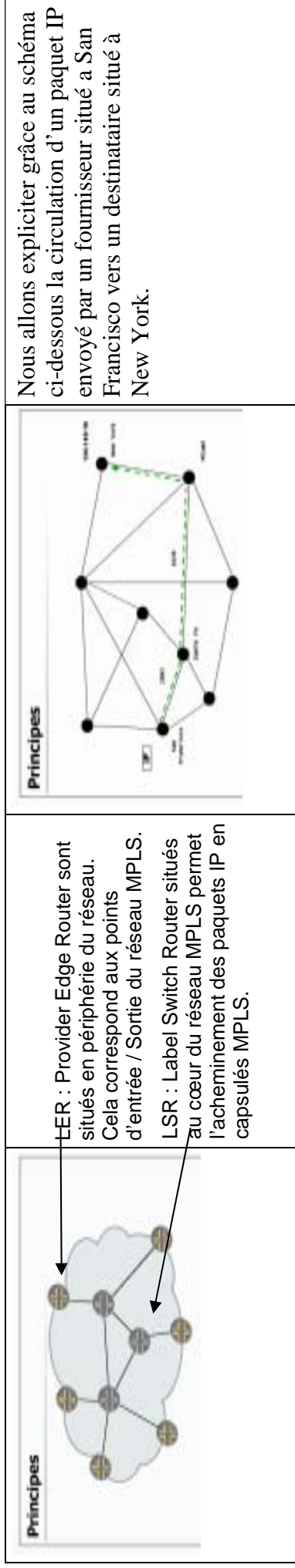
2.5.6 Label Distribution Protocol (LDP)

LDP est un protocole nouveau permettant d'apporter aux LSR les informations nécessaires d'association des labels dans un réseau MPLS. Il est également utilisé pour associer les labels aux FEC, ce qui crée des LSP.

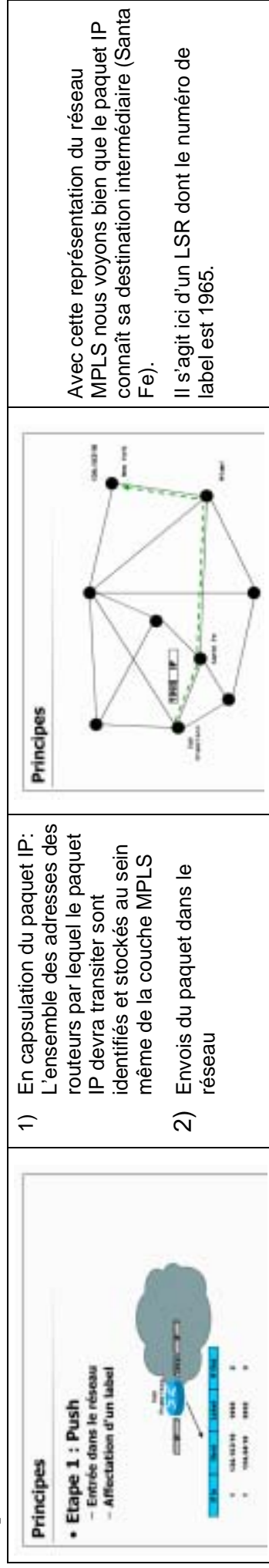
2.6 Exemple de circulation d'un paquet MPLS entre deux points.

Les schémas ci-dessous donnent une explication symbolique des différentes étapes suivies par un paquet IP en capsulé en MPLS entre deux fournisseurs.

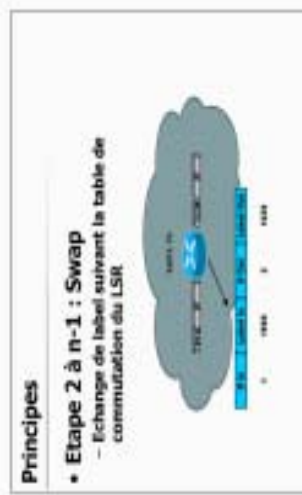
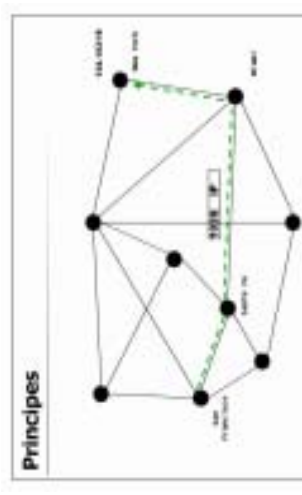
Représentation générale



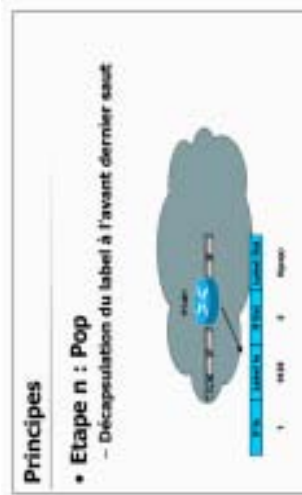
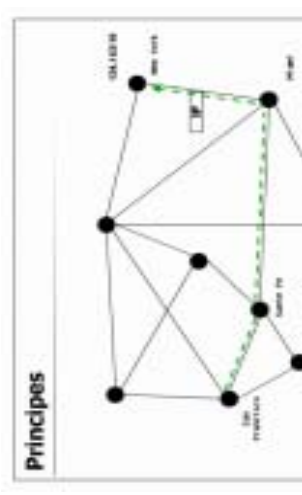
Étape Numéro 1 (Entrée dans le Réseau MPLS)



Etape Numéro 2 à N-1 (circulation dans le réseau)

<p>Principes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etape 2 à n-1 : Swap <ul style="list-style-type: none"> - Echange de label suivant la table de commutation du LSR. 	<p>A chaque arrivé dans un LSR le processus est le suivant:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Arrivé du paquet IP dans le LSR. 2) Echange de label en fonction de la table de commutation du LSR (on prend le label suivant présent dans la couche MPLS du paquet IP). 3) Départ du paquet IP avec son nouveau label de destination. 		<p>Dans notre cas nous sommes à l'étape numéro 2:</p> <p>Arrivé à destination du paquet IP</p> <p>Ici nous en sommes à l'étape 2. Le paquet est parti du LSR de (Sahta Fe) à destination du routeur (Miami) portant le numéro de label 1026.</p>
--	---	--	--

Etape Numéro N (Sortie du réseau MPLS)

<p>Principes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etape n : Pop <ul style="list-style-type: none"> - Décapsulation du label à l'avant dernier saut 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Arrivé du paquet IP dans un LER car la liste des labels du paquet IP est vide. 2) Le LER de Miami supprime la totalité de la couche MPLS du paquet IP. 3) Le paquet IP est envoyé par les méthodes 'classiques' vers sa destination finale. 		<p>Ici nous en sommes à l'étape 3. Le paquet est parti du LER de (Miami) à destination du routeur (New York) en utilisant IP comme moyen de transport</p>
---	--	---	---

3 Mise en œuvre

L'évolution vers MPLS est donc née de la confrontation des différentes solutions élaborées pour mieux intégrer l'ATM et l'IP. L'idée a germé de ne garder de l'ATM que sa capacité de transfert et remplacer les protocoles de commandes par les protocoles de routage utilisés dans les réseaux IP. Les acteurs d'origine (IPSILON, IBM, ASCEND puis Cisco) ont chacun proposé une technique, débouchant sur un ensemble de spécifications non restreintes à l'usage de la commutation et du multiplexage ATM, mais plus généralement à toute technique de transmission paquet de niveau 2 (relais de trame, HDLC, Ethernet, PPP).

3.1 Importance des décisions politiques

Les entreprises développant les technologies et services MPLS, tel que Nortel Networks, voient que les autorités politiques ont effectivement leur rôle à jouer afin de faire avancer les technologies liées à l'Internet. Au niveau de la standardisation, la collaboration entre les industriels et les pouvoirs politiques existe déjà, mais une collaboration étroite à tout les niveaux de prise de décisions reste à mettre au point.

De toute manière, les industriels européens veulent que la Commission Européenne prenne un rôle plus actif afin d'assurer que tous les états membres s'engagent à (1) supprimer les obstacles administratifs persistants et à (2) assurer l'application des directives européennes.

Vu que l'Union Européenne a l'ambition de garder sa place en tant que leader dans le domaine des NTIC, les industriels trouvent qu'on devrait se concentrer particulièrement aux solutions "broadband", incluant les architectures tels que MPLS et IPv6.

3.2 Coopération d'ATM & MPLS

Depuis le début de l'an 2002, le forum professionnel d'ATM et le forum professionnel MPLS que l'on a vu en tant que concurrents, ont monté une collaboration étroite pour pouvoir améliorer la compatibilité de systèmes ATM et MPLS afin de répondre à demande d'entreprises dans le domaine qui attendent d'avoir à travailler sur un seul standard. Ces deux organisations voient que l'intégration est vitale au succès des réseaux de la prochaine génération, c'est pourquoi elles trouvent que leurs intérêts sont identiques, non opposés. Actuellement la standardisation est réalisée chez IETF (Internet Engineering Task Force) qui comporte actuellement trois groupes de travail :

- Signalling and routing interworking between ATM-PNNI and MPLS mechanisms
- Service interworking
- Providing ATM quality of service (QoS) and traffic guarantees over an intermediate MPLS network.
-

4 Intérêt de développement technologique

Les motivations pour l'élaboration d'une telle technique vont bien au-delà de la facilité d'intégration de l'IP et l'ATM. Il s'agit en effet d'enrichir les capacités de la technologie IP.

- Augmentation de la sécurité des données.
- Tous les utilisateurs utiliseront les même type d'étiquettes.
- Gestion de la qualité.
- Efficience du réseau.
- Gestion Optimisé du trafic (maximum de ressource sur le réseau)
- Répartition des charges

5 Intérêt de développement Economique

5.1 Applications :

5.1.1 Virtual Private Network (VPN)

Le nomadisme accru de certaines équipes et besoin de relier des sites distants à un intranet, telles sont les deux raisons principales invoquées par les entreprises pour expliquer la nécessité de mettre en place un réseau privé virtuel (VPN).

VPN désigne une solution destinée à établir un tunnel de communication chiffré entre un ou plusieurs sites distants. Tirant parti de systèmes de chiffrement, une telle connexion qui s'adosse à un réseau de communication existant (tel qu'Internet) a

généralement pour but de sécuriser les flux de données transmis entre diverses implantations d'une même entreprise, ou encore entre un système d'entreprise et des salariés travaillant à distance.

5.1.2 transmission de la voie et de l'image

L'opérateur mondial de services internet et télécoms Worldcom (ex UUNET) propose MPLS pour sa solution "IP Private" qui repose sur un réseau propriétaire privé de bout en bout et qui est plutôt destinée à des applications plus lourdes ou plus cruciales, comme les progiciels de gestion intégrés, et est réclamé essentiellement aujourd'hui par des sociétés internationales.

5.1.3 Autres applications avec l'aide de MPLS:

- des extranets à valeur ajoutée, qui permet à des utilisateurs au sein d'une communauté Internet d'avoir accès à différentes utilisations des applications selon les directives de l'entreprise
- l'infogérance applicative
- Fast rerouting
- Multicast, IPv6 et CoS sur MPLS
- Garantie de bande passante
- développement dans les domaines de la QoS
- développement des VPN, de l'IPv6 et de l'IPSec
- développement des réseaux mobiles (G-MPLS)

5.2 Atouts

5.2.1 Pour les entreprises

Les avantages des services IP/MPLS tiennent dans une construction plus souple du réseau, une gestion avancée des différents flux d'informations, et une sécurité presque totale. Sur ce dernier point, les opérateurs proposent aux entreprises des réseaux privés virtuels (VPN) étanches d'une entreprise à l'autre, et une entreprise peut aussi isoler ses communications les unes des autres.

On peut constater que les entreprises ont des priorités différentes suivant trois axes majeurs:

- l'intranet web et la messagerie.
- le client/serveur et les applications de gestion.
- Le multimédia temps réel avec la voix et la visioconférence

Les services MPLS offrent les solutions VPN sécurisées et personnalisées. Au lieu d'investir en équipements, en personnel supplémentaire et en activités internes d'hébergement, les entreprises peuvent bénéficier des services IP VPN de fournisseurs de services, et de cette façon, se concentrer aux activités qu'ils maîtrisent le mieux.

Pour répondre aux besoins des entreprises, MPLS garantit au travers de ces réseaux:

- le transport en temps réel des applications audio, vidéo et données
- la différenciation entre les différents niveaux de services
- la mesure de la qualité des services demandés
- la création de réseaux virtuels privés
- la gestion des services multicast
- la gestion du trafic et du routage

5.2.2 Pour les utilisateurs finals

Parmi les principaux avantages procurés par MPLS intégré à Ethernet, l'on peut citer l'anticipation des plantages réseaux avec la possibilité de pallier la déficience éventuelle d'un lien. L'utilisateur final, pour qui cette technologie est transparente, pourra ainsi bénéficier de la meilleure connexion dans des conditions optimales.

5.2.3 Pour les fournisseurs de services

En proposant les services VPN aux clients, les fournisseurs de services peuvent attendre une augmentation du chiffre d'affaire ainsi que des marges. Le MPLS est utilisé au cœur d'un réseau de fournisseurs de services et ainsi offre un meilleur contrôle de qualité des services, planification de trafic plus efficace et utilisation de largeur de bande plus économe. Les services MPLS offrent aux fournisseurs de services une meilleure flexibilité et "scalability" pour des milliers de clients VPN.

MPLS permet ainsi augmenter les possibilités de revenus des fournisseurs de services, de même que la diversité de choix et la flexibilité des entreprises.

✓ Par exemple, Stream International, fournisseur de services d'assistance à la gestion de la relation client (CRM), étend son partenariat avec l'opérateur réseau Equant. Objectif affiché par la société: interconnecter son siège américain avec ses centres d'appel européens par le biais d'une infrastructure de VPN s'appuyant sur le protocole MPLS et ainsi renforcer le partage des données client entre ces implantations.

✓ Ainsi, la sécurisation des accès extranet des clients et distributeurs de Xerox va être prise en charge par les solutions VPN/IP Qos de Teleglobe, l'un des plus importants opérateurs de télécommunications au monde. Ces solutions reposent sur le protocole MPLS, qui gère la qualité de service du réseau. Teleglobe offre à Xerox trois types de classes de services, hiérarchisées en fonction du caractère plus ou moins critique des applications qui transitent par le réseau IP.

✓ En France, la SNCF a dévoilé il y a peu la signature d'un contrat colossal avec Cegetel par le biais de leur filiale commune Télécom Développement pour pouvoir mettre en place le "Comète", un réseau national de données couvrant les 1 800 établissements, gares et agences de la compagnie de transport par voie ferroviaire. Ses systèmes d'informations, qu'il s'agisse de la messagerie, des applications métiers et des ERP, ainsi que leurs utilisateurs seront tous reliés par VPN/IP avec des fonctions d'optimisation de la qualité de service basées sur les technologies MPLS/IP.

5.2.4 Pour les opérateurs de télécommunications

Avec MPLS, l'opérateur télécommunication peut définir des trajets spécifiques de livraison des paquets pour le trafic transitant sur ses réseaux IP, retirant aux routeurs intermédiaires toute décision sur le transfert des paquets. En faisant transiter le trafic par les trajets les moins encombrés, MPLS permet un meilleur équilibrage de la charge de trafic et accroît l'efficacité du routage IP, ainsi que les temps de réponse globaux du réseau et l'écoulement du trafic.

Grâce à ces améliorations, les opérateurs pourront offrir des services IP avec garantie de qualité de service et prise en charge des réseaux privés virtuels (VPN). La commutation d'étiquettes multi-protocoles est considérée comme essentielle pour des applications en temps réel comme le service téléphonique Internet VoIP.

Les opérateurs ont remarqué les atouts directs des réseaux MPLS:

- Scalabilité
- Mise à jour des logiciels sans interruptions
- Possibilité de combiner les services afin de minimiser les coûts
- Différenciation des services
- Profiter au maximum des ressources du réseau avec l'aide de planification de trafic
- Management et contrôle centralisé

En France, d'après un article sur le site web officiel de France Télécom, intégration d'une technologie MPLS est surtout liée au problème de l'interopérabilité.

Par contre, Maiaah!, un opérateur de télécommunications de nouvelle génération, qui se positionne sur le secteur de l'externalisation des besoins en connectivité IP des entreprises, propose des offres de VPN sous forme de services managés. L'opérateur s'est doté d'une infrastructure IP composée de 18 points de présence en France, et tous ces points sont équipés de routeurs-switch intégrant le protocole MPLS. Les deux points de présence principaux (Paris et Lyon) se voient donc équipés de routeurs de 10 Gbps, les six points suivants sont équipés entre 0,5 et 2 Gbps. Pour Maiaah!, MPLS fournit surtout une grande souplesse, permettant d'imaginer tout type de topologie de réseau privé virtuel, qu'elle soit en étoile ou maillée.

6 Les contraintes et la critique

Point notable, qui permet de mieux apprécier l'importance des deux standards sur le marché français: selon une estimation, 80 % des entreprises en France utiliseraient encore une solution de type Frame Relay, quand seulement 20 % seraient passées au VPN sur IP. Ainsi, pour l'instant, seul l'Américain Juniper Networks disposerait de deux sites en production. En Europe, « Extreme » travaille en ce moment avec Renater qui réfléchit à l'implémentation de MPLS. L'opérateur de backbone, qui servait au départ les intérêts uniques d'universités et entités de recherche, est entré en phase de tests en juin 2002. A cette date, l'équipementier a considéré que sa technologie était commercialisable en Europe. Mais avant d'en tirer les avantages cités plus haut, les opérateurs devront se doter d'outils de facturation complexe à la consommation effective. Regroupées derrière le vocable Customer Management and Billing, ces solutions sont actuellement vendues par des éditeurs partenaires d'Extreme comme Xact, Portal Software, Narus et Syndesis.

On peut noter que, dans bien des cas, l'ATM est pour l'instant la solution d'attente pour les opérateurs, en particulier pour le support des services aux entreprises, les solutions d'intégration de métriques liées à la gestion de bande passante et aux caractéristiques de délai de transit dans les protocoles de routage pour le contrôle d'un réseau en mode sans connexion n'étant pas encore réellement matures.

En revanche, de nos jours, MPLS est surtout déployé pour la mise en place de VPN et MPLS doit permettre une amélioration notable du trafic IP, à la condition de renover tous les protocoles qui concourent à son acheminement dans le cœur de réseau (PGP, OSPF, ISIS, etc.)

Il convient de continuer à mettre en regard de cette technique les avancées de la technologie de "forwarding" classique, sachant que *MPLS n'apporte pas réellement de plus en matière de performance pure*.

Pour ce qui est de la comparaison avec des technologies issues de l'ATM, l'essentiel des problèmes réside:

- dans le choix des protocoles de recherche de route, et dans la différence d'approche mode connecté/mode non connecté,
- dans l'adoption du modèle de qualité de service qui doit être offerte (cf. ci-dessous),
- dans la complexité à assembler/segmenter des paquets de longueur variable en cellules de longueur courte à très haut débit (difficulté pour l'ATM à supporter des interfaces à 2,5 Gbit/s et au-delà).

7 Conclusion

Le protocole MPLS semble intéressant pour l'avenir en tant que technique fédératrice, et de nombreux travaux sont menés pour éclairer les choix à faire. Bien que l'ensemble des spécifications nécessaires à l'interopérabilité de cette solution ne soient pas encore disponibles et que même des divergences fortes subsistent quant au mode de réalisation de certaines fonctions, MPLS est au cœur de la stratégie cible de la plupart des opérateurs aujourd'hui.

MPLS jouera un rôle important dans le routage, la commutation, et le passage des paquets à travers les réseaux de nouvelle génération pour permettre la rencontre entre les besoins de service et les utilisateurs du réseau grâce à ses principaux atouts:

- Calcul unique au niveau de l'entrée du réseau
- Rapidité dans le cœur de réseau
- L'intelligence se trouve aux extrémités du réseau

En revanche, quelques industriels constatent que MPLS est utilisé comme machine à tuer l'ATM, à l'éradiquer du dernier segment où il survit, mais tout montre que l'ATM n'est pas encore mort.

Deux ombres demeurent attachés à ce tableau idyllique de promesses. D'une part, si merveilleux et si universel soit-il, cet IP/MPLS ne supprimerait pourtant pas le relayage de trame et l'ATM, ce qui demeure assez peu explicable. D'autre part, la limite physique de fonctionnement de cet agencement d'ensemble n'est pas fixé: est-ce du 2 Mbit/s par abonné dans un réseau d'un million d'abonné ou du 10 ou du 100 Mbit/s? MPLS n'apporte rien en terme de performance, au contraire même: il rallonge plutôt les trames à transmettre avec son en-tête MPLS. On peut également constater que la rapidité comme argument majeur n'est plus vrai avec la puissance des routeurs d'aujourd'hui. L'intérêt de MPLS vient donc désormais de ses applications.

8 Sources

<http://www.rd.francetelecom.fr/fr/conseil/mento15/chap3d.html>, 25/11/2002 à 10h20

<http://www.mplsworld.com/>, 25/11/2002 à 18h50

Cisco, Press release 8 février 2002

MPLS Forum, Press release January 17, 2002: "ATM and MPLS Forums to Collaborate on Interworking Standards"

Comments of Nortel Networks on Comparative Assessment of the Licensing Regimes of 3G Mobile Communications in the European Union and their Impact on the Mobile Communications Sector, McKinsey & Co. for the European Commission, DG Information Society, Final Report - June 25, 2002

SIKET AND PROCH, PP. 84–88, THE OCTOBER 2000 ISSUE OF BUSINESS COMMUNICATIONS REVIEW

THE INTERNATIONAL ENGINEERING CONSORTIUM, WEB PROFORUM TUTORIALS, "MULTIPROTOCL LABEL SWITCHING (MPLS)"

Benedict Enweani, "Transparent LAN Services" à TeleManagementWorld, October 2002

Causerie du FMBone du 17 Janvier 2002 émise depuis le CRIHAN, Alain Bidaud Alain.Bidaud@crihan.fr

Le journal du net <http://www.jdnet.fr>

9 Glossaire

Abréviation	Terme en anglais	Terme en français (si en connaissance)
ATM	Asynchronous Transfer Mode	
BGP	Border Gateway Protocol	
CAR	Committed Access Rate	
Cos	Class of Service	Classes de services
FEC	Forward Equivalence Class	
IETF	Internet Engineering Task Force	
IPSec	Internet Protocol Security	
ISO	International Organization for Standardization	
LDP	Label Distribution Protocol	
LER	Label Edge Router	Routeur d'extrémité supportant les labels
LIB	Label Information Base	Base d'information sur les labels
LSP	Label Switched Path	Chemin à commutation de label
LSR	Label Switching Router	Routeur de commutation des labels
MPLS	Multiprotocol Label Switching	Commutation de labels multiprotocoles Protocole de transmission et de routage de données par paquets
Multicast		
OSI	Open Systems Interconnection	
OSPF	Open Shortest Path First	
Qos	Quality of Service	Qualité de service
RED	Random Early Detection	
RSVP	Resource Reservation Protocol	
Scalabilité	Scalability	Adaptation à l'échelle du réseau
TE	Traffic Engineering	
TCP	Transmission Control Protocol	
TTL	Time to Live	
VPN	Virtual Private Network	Réseaux privés virtuels (RPV)
WFQ	Weighted Fair Queuing	

10 Bibliographie

Livre

"Advanced MPLS Design and Implementation; A in-depth guide to understanding advanced MPLS implementation, including traffic engineering, quality of service, and routed-and ATM", available at <http://www.ciscopress.com>

Groupe industriel et associations

All the IETF MPLS working Group meetings since 1995 (including proceedings), MPLS Drafts, implementations, various documents and resource centers...	http://www.watersprings.org/links/mlr/
The BCD Forum addresses the entire broadband value chain, from content development to content delivery. The membership consists of network service providers, content delivery providers, content developers and hardware and software developers focused on DSL, cable, satellite, broadcast, telecom and Internet technologies.	http://www.bcdforum.com/
MPLS Forum	http://www.mplsforum.org/
IETF's MPLS Working group	http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html
IETF Working Group for MPLS-VPNs	http://nbvpn.francetelecom.com/
ITU-T SG 11: Signalling requirements and protocols. Lead Study Group on intelligent networks	http://www.itu.int/ITU-T/com11/index.html
ITU-T SG 13: Multi-protocol and IP-based networks and their internetworking. Lead Study Group for IP related matters, B-ISDN, Global Information Infrastructure and satellite matters	http://www.itu.int/ITU-T/com13/index.html
ODSI (Optical Domain Service Interconnect) and OIF (Optical Internetworking Forum) are both working on optical internetworking, but they are not polarized in their approach. The differences mainly relate to the bits and bytes of the signaling specification: TCP vs. MPLS. Information, interoperability results, papers, links	http://www.odsi-coalition.com/documents.asp , http://www.opticalforum.com/
MPLS for Linux is a open source effort to create a set of MPLS signalling protocols and an MPLS forwarding plane for the Linux operating system.	http://mpls-linux.sourceforge.net/ , http://sourceforge.net/projects/mpls-linux/

Autre Link

MPLS Research Group in Bombay, India: <http://www.ee.iitb.ac.in/uma/~mpls/>

A web-based training program with sixteen available courses including "MPLS Performance Suite for MPLS router testing": <http://www.spirentclassroom.com>

MPLS Resource Center, <http://www.mplsrc.com>

IEC MPLS tutorial: <http://www.iec.org/tutorials/mpls/>

Crihan (Centre de Ressource Informatique de Haute-Normandie):
<http://www.crihan.fr/MPLS/mpls.html>

MPLS lessons and/or e-lessons: <http://www.upper-side-training.com> (French Site)

Index

Communications & Service Providers Carreers with MPLS Deployments

access: Seven	http://www.access-7.de/presse/meldungen.html
AT&T	http://www.att.com
Avista Communications	http://www.avistacom.net/
Bell Canada	http://www.vpn.bell.ca/cgi-bin/.../
British Telecom	http://www.bt.com/
Cable & Wireless	http://www.cw.com/ps_home.asp
China Unicom	http://www.chinaunicom.com/
Concert	http://www.concert.com/initial.asp
Corexpress	http://www.corexpress.com/frames.php?section=PRODUCTS
Digex	http://www.digex.com/
Equant	http://www.equant.com
France Telecom	www.fancetelecom.com
Global Crossing	http://www.globalcrossing.com/pressreleases/pr_032201.htm
Global One	http://www.global-one.net/en/services/intranetvpn.html http://biz.global-one.net/solutions/products_ip_vpn.html http://biz.global-one.net/solutions/pdfs/products_ip_vpn.pdf
Infonet	http://www.infonet.com
Interconnect	http://64.13.111.3/icnt/products/vpn/overview.asp
InterNeXT	http://www.internext.fr/
Interoute	www.interoute.com
Japan Telecom	http://www.japan-telecom.co.jp/index_e.html
Lambdanet	http://www.lambdanet.fr/
Masergy	http://www.masergy.com/internet/html/index.jsp
Nextra	http://www.nextra.com/.../WHITEPAPER_NextraASP.doc
NTT	www.ntt.co.jp
PCCW-Beyond the Network	http://www.pccwbtn.com http://www.mplsvpn.net
Song Networks	http://www.songnetworks.net/o.o.i.s/91
Swisscom	http://www.swisscom.com
Telstra Stratum	http://www.telstrasaturn.co.nz
Terabeam Networks	http://www.terabeam.com/pro/pro_pro_met.shtml
Touch America	http://www.tamerica.com/
UUNET	http://www.uk.uu.net/new/backbone/technologyfocus/mpls/
Wisper Networks	http://www.e-newsservices.com/en/plain.html?document_id=49905 http://www.wispernetworks.com

Hardware Manufacturers

Accelight Networks	http://www.accelight.com/news_03_15_01.html
Alcatel	http://www.cid.alcatel.com/.../mpls.shtml , http://www.cid.alcatel.com/.../jhtml
Amber Networks	http://www.ambernetworks.com/solutions/solve_nonip.cfm , http://www.ambernetworks.com/products/asr2000.cfm
Atrica	http://www.atrica.com/inner.asp?/.../Products
Avici Systems	http://www.avici.com/mpls.html , http://www.avici.com/datasheets/MPLSDatasheet.pdf
Calient Networks	http://www.calient.net/productover.html
Charlotte's Web Networks	http://www.cwnt.com/product.htm
Ciena	http://www.ciena.com/news/archive/2000/12/12.19.2000.html , http://www.ciena.com/products/k2/
Cisco Systems	http://www.cisco.com/warp/public/784/packet/apr99/6a.html , http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/.../mpls/index.htm , http://www.cisco.com/warp/public/cc/so/neso/vvda/ipatm/index.shtml , http://www.cisco.com/warp/public/732/Tech/mpls/index.shtml , http://www.cisco.com/warp/public/105/mpls_index.shtml
CoSine Communications	http://www.cosinecom.com/solutions/mpls_vpns.html
ECI Telecom	http://www.ecitele.com/radax_ibm.htm
Équipe	http://www.equipecom.com/launch/index.html
Ericsson	http://www.ericsson.com/datacom/products/wan_core/mpls/index.shtml
Extreme Networks	http://www.extremenetworks.com/
Foundry Networks	http://www.foundrynet.com/.../datasheets.html
Fujitsu	http://telecom.fujitsu.com/products/routers/geostream/index.html
Integral Access	http://www.integralaccess.com/prod_overview.htm , http://www.integralaccess.com/prod_node.htm , http://www.integralaccess.com/prod_outburst.htm
Jasmine Networks	http://www.jasminenetworks.com/products.html
Juniper Networks	http://www.juniper.net/products/ , http://www.juniper.net/techpubs/software/.../frameset.htm
Laurel Networks	http://www.laurelnetworks.com/LN_edge_routing_solution.htm , http://www.laurelnetworks.com/Service%20Edge%20Router%20WP3.pdf
Lucent Technologies	http://www.lucent.com/ins/international/emea/opp1.html , http://www.lucent.com/knowledge/documentdetail/.../html , http://www.lucent.com/knowledge/documentdetail/.../html , http://www.lucent.com/knowledge/documentdetail/.../html , http://www.lucent.com/knowledge/documentdetail/.../html
Marvell	http://www.marvell.com/.../Product_Index/1,2412,2,00.html
MetaSwitch	http://www.metaswitch.com/products/vp3000.htm#features
NEC	http://bnet.bcom.nec.co.jp/solutions/IP/index.htm , http://www.nec.co.jp/english/today/newsrel/0007/2601-01.html , http://www1e.mesh.ne.jp/CNPWORLD/english/product/atm_sw/a_m16.html
Nortel Networks	http://www.nortelnetworks.com/corporate/technology/mpls/index.html , http://www.nortelnetworks.com/corporate/technology/mpls/tooldemo.html ,

	http://www.nortelnetworks.com/products/01/optera_pc/index.html , http://www.nortelnetworks.com/products/.../management.pdf , http://www.nortelnetworks.com/products/01/passport/
ONI Systems	http://www.oni.com
Pluris	http://www.pluris.com/pdfs/datasheet_FPO_5-25.pdf
Raonet	http://www.raonet.com/
Redback Networks	http://www.redback.com/products/sms10000_datasheet.asp
River Delta	http://www.riverdelta.com/products/index.html , http://www.riverdelta.com/products/qos.html , http://www.riverdelta.com/products/bsr64000.html
Riverstone Networks	http://www.riverstonenet.com/technology/ , http://www.riverstonenet.com/products/
Siemens	www.ic.siemens.com/networks
Sorrento Networks	http://www.sorrentonet.com/products_15.asp
Sycamore Networks	http://www.sycamorenet.com/.../switching/core/sn16000/index.asp
Tellabs	http://www.tellabs.com/products/6500/index.shtml
Tenor Networks	http://www.tenornetworks.com/products/TN250G.html , http://www.tenornetworks.com/products/tempo.html , http://www.tenornetworks.com/products/tenos.html
Terayon	http://www.terayon.com/tools/announcements/.../show , White Paper: see here
Unisphere Networks	http://www.unispherenetworks.com/index/home/products.html , http://www.unispherenetworks.com/index/.../brochure.html , http://www.unispherenetworks.com/index/.../services.html
Village Networks	http://www.villagenetworks.com/noflash_tech.html?0%tech_content.html#4 , http://www.villagenetworks.com/pdf/VNI-CompTel2001F.pdf
Vivace Networks	http://www.vivacenetworks.com/
Wave Smith Networks	http://www.wavesmithnetworks.com/ds_dn41002100.pdf
ZTE	http://www.zte.com.cn/.../Content.asp?productid=355

Silicon & Processors

Acorn Networks	http://www.acorn-networks.com/Technology/Technology.html
Agere Systems and Data Connection	http://www.agere.com/NEWS/PRESS2001/060401d.html
Empowertel Networks	http://www.empowertel.com/solutions
Ezchip	http://www.ezchip.com/html/in_tech.html
Fast Chip	http://www.fast-chip.com/mainsite/green_solutions.html
Lara Networks	http://www.laranetworks.com/1news.release33.htm , http://www.laranetworks.com/pdf/LNI7040.pdf , http://www.laranetworks.com/pdf/LNI8010.pdf
NetLogic Microsystems	http://www.netlogicmicro.com/products/products.html
PMC-Sierra	http://www.pmc-sierra.com
Zetta Com	http://www.zettacom.com/products/

Software

Appiant Technologies	www.appiant.com
Data Connection	http://www.dataconnection.com/mpls
Future Software	http://www.futsoft.com/mpls.htm
HyperChip	http://www.hyperchip.com/indexflash.html
IBM	http://www3.ibm.com/chips/.../products/network_processors.html
Ipinfusion	http://www.ipinfusion.com/.../products_advanced.html
Net Brahma Technologies	http://www.netbrahma.com/products/products.asp , http://www.netbrahma.com/products/NBT_MPLS_Rel2.pdf
NetPlane	http://www.netplane.com/products/mpls.html
Network Design House	http://www.ndhnetworks.com
Quallaby	http://www.quallaby.com/.../=appacks
Orchestream	www.orchestream.com
Opnet	http://www.opnet.com/
Virata	http://www.virata.com/products/mplsrouting.htm
Wind River	http://www.windriver.com/products/html/windnet_mpls_ds.html
Zaiq Technologies	http://www.zaiqtech.com/news/pr_20010319.shtml

Testing, Modeling, Management

Acterna	http://www.acterna.com/products/domino/domino_decodes.html
Axerra Networks	http://www.axerra.com/axn_product.html
Agilent Technologies	http://advanced.comms.agilent.com/solutions/iptest/index.htm
Brix Networks	http://www.brixnet.com/products/products_overview.html
ECI Telecom	http://www.ecitele.com/solutions_crossconnect_products_tmms.htm
Fujitsu	http://telecom.fujitsu.com/products/network/proact_7.html
GN Nettest	http://gnnettest.mondosearch.com/.../=MPLS
Ixia	http://www.ixiacom.com/products/paa/rpa/MPLS.php
Spirent Communications	http://www.spirentcom.com/routing/MPLS/
Wandl	http://www.wandl.com/html/frame.cfm?page=solutions/solutions.html

Interoperability Testing

Advanced Internet Lab (George Mason University)	http://www.ail.gmu.edu/
An independant network test center	http://www.eantc.de/index.php3?goto=testing/gte/index.de.php3
Cisco and Juniper Interoperability Testing	http://johnliu.chinaquest.com/ http://www.iol.unh.edu/consortiums/index.html
Mier Communication	http://www.mier.com/reports/

Research & Development

Bell Labs	http://www.bell-labs.com/org/113420/
UNAM	http://www.mpls.unam.mx/
Technical University of Munich (TUM)	http://www.lis.e-technik.tu-muenchen.de/research/nw/e_over.html , http://www.lis.e-technik.tu-muenchen.de/research/nw/e_trends.html

GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.

59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats

include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D. Preserve all the copyright notices of the Document.
- E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H. Include an unaltered copy of this License.
- I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- K. For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M. Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.

O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties--for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of

Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may

distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.