

UNIVERSITE KASDI-MERBAH OUARGLA

Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
Département d'Informatique et des Technologies de l'Information

Mémoire Master Académique

Domaine : Mathématique et Informatique

Spécialité : Informatique Industrielle

Pour obtenir le diplôme de

Master Académique en Informatique Industrielle

Présentée par :

Dalila Bouziane & Halima Baoudj

Sujet du Mémoire

Etude et modélisation des congestions dans les réseaux MPLS

Soutenue le : 15 Juin 2021

Devant le jury composé de :

Salah Euschi
Abdelkader Benmir
Ahmed Korichi

MCA
MCB
Pr.

Université de Ouargla
Université de Ouargla
Université de Ouargla

Président
Examineur
Rapporteur

Juin 2021

Remerciements

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et notre reconnaissance envers Monsieur Ahmed Korichi, Professeur en informatique à l'Université de Ouargla, qui a dirigé ce travail, pour son soutien, pour la sympathie qu'il nous a témoignée et pour la liberté de recherche qu'il a bien voulu nous laisser,

Nous remercions vivement Monsieur le Dr. Salah Euschi, Maître de Conférences Habilité à l'Université de Ouargla, de nous avoir fait l'honneur d'être président de notre jury.

Nous remercions très sincèrement Monsieur le Dr. Abdelkader Benmir, Maître de Conférences à l'université de Ouargla, d'avoir accepté de faire partie de notre jury de thèse.

Nous ne pourrions terminer sans remercier nos parents et nos familles ainsi que nos amies, qui m'ont soutenu et encouragé pour terminer ce travail. Que nos parents tout particulièrement trouvent ici notre reconnaissance.

Dalila & Halima,

Résumé

Dans cette étude, nous sommes intéressés à la gestion des congestions dans les réseaux. Ce problème des congestions représente le principal obstacle à la qualité de service imposé par l'émergence des nouveaux services de communications comme la voix sur IP ou la vidéoconférence. Le protocole IP n'étant pas adapté pour gérer les congestions, les réseaux MPLS sont devenus les réseaux les plus utilisés dans les structures des opérateurs. Ceux-ci permettent l'utilisation de l'ingénierie de trafic pour éviter les congestions et améliorer le transport du trafic. Ce qui nécessite le besoin d'ingénierie du trafic et de la qualité de service (QoS). La principale caractéristique de l'ingénierie du trafic est de contrôler le routage pour optimiser l'utilisation des ressources et la performance du réseau, tout en garantissant la qualité de service.

L'objectif principal de ce mémoire vise la proposition d'un nouvel algorithme de gestion des congestions dans les mécanismes d'ingénierie de trafic en particulier dans les réseaux MPLS. Cette nouvelle technique est le résultat d'une étude approfondie du comportement de la congestion sur un modèle de simulation représentant un réseau MPLS d'opérateur. L'étude a également été menée sur le simulateur OMNET.

Mots-clés : Réseau MPLS ; Ingénierie de trafic MPLS (TE) ; Chemin dévié ; L'équilibrage de charge ; Seuil.

Abstract

In this study, we are interested in a management of congestion in networks. This congestion problem represents the main obstacle to the quality of service imposed by the emergence of new communications services such as voice over IP or videoconferencing. As the IP protocol is not suitable for managing congestion, MPLS networks have become the most widely used networks in operator structures. These allow the use of traffic engineering to avoid congestion and improve traffic transport. This requires the need for traffic engineering and quality of service (QoS). The main characteristic of traffic engineering is to control routing to optimize the use of resources and the performance of the network, while ensuring quality of service.

The main objective of this thesis is the proposal of a new congestion management algorithm in traffic engineering mechanisms, in particular in MPLS networks. This new technique is the result of an in-depth study of the behavior of congestion on a simulation model representing an operator's MPLS network. The study was also carried out on the OMNET simulator

Keywords: MPLS network; MPLS traffic engineering (TE); Deviated path; Load balancing; Threshold.

ملخص

في هذه الدراسة، نحن مهتمون بإدارة ندينق البيانات بحجم كبير الذي يؤدي الى الزدحام. تمثل هذه المشكلة العُبة الرئيسية أمام جودة الخدمة التي يُعرضها ظهور خدمات اتصالات جديدة مثل نزل الصوت عبر بروتوكول الإنترنت أو مؤتمرات الفيديو. نظرًا لأن بروتوكول IP غير مناسب لإدارة الزدحام الذي يسببه ندينق البيانات بحجم كبير، نؤد أصبحت شبكات MPLS هي الشبكات الأكثر استخدامًا. نسمح هذه باستخدام هندسة المرور لنجرب الزدحام والتوزيع المثل لحماية الشبكة. وهذا يُطلب الحاجة إلى هندسة المرور وجودة الخدمة (QoS). السمة الرئيسية لهندسة المرور هي التحكم في التوجيه لنحسين استخدام الموارد وأداء الشبكة، مع ضمان جودة الخدمة.

المدف الرئيسي من هذه الأطروحة هو إنبراح خوارزمية جديدة لإدارة سرعة ندينق البيانات في شبكات MPLS. هذه النُزيرة الجديدة هي نتيجة دراسة متعمقة لسلوك الزدحام على نموذج محاكاة يمثل شبكة MPLS. كما نم إجراء هذه الدراسة أيضًا على جهاز محاكاة OMNET لنحقيق من صحة نهجنا الكلمات اللميزة: شبكة MPLS. هندسة المرور (TE) MPLS؛ مسار من حرف؛ توزيع الحمل؛ عبء.

Table des matières

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Résumé..... | I |
| Table des matières | IV |
| Liste des figures | VII |
| Liste des tables | VIII |
| Liste des acronymes..... | IX |

1. Introduction Générale

| | |
|--|-----------|
| 1.1. Introduction | 2 |
| 1.2. Tendance technologique... .. | 2 |
| 1.3. Contexte du PFE | 3 |
| 1.4. Les réseaux MPLS..... | 3 |
| 1.4.1. Exigences globales | 6 |
| 1.4.2. Caractéristiques | 8 |
| 1.4.3 MPLS : Applications et Protocoles | 10 |
| 1.4.3.1 Applications..... | 11 |
| 1.4.3.2 Les protocoles | 11 |
| 1.4.4. Traffic Engineering(TE) | 12 |
| 1.4.4.1. Les avantages | 13 |
| 1.4.4.2. les inconvenients..... | 13 |
| 1.4.5. Travaux de standardisation et de normalisation..... | 14 |
| 1.5. Problématique | 16 |
| 1.6. Objectives et Contribution | 16 |
| 1.7. Structure de thèse..... | 17 |

| | |
|--|-----------|
| 2. Revue de littérature sur la gestion des congestions dans les réseaux MPLS | |
| 2.1. Introduction..... | 19 |
| 2.2. MPLS – TE | 19 |
| 2.3. Raisons d'utiliser du Traffic Engineering dans MPLS... .. | 20 |
| 2.4. Load Balancing..... | 21 |
| 2.5. Load Balancing dans MPLS..... | 23 |
| 2.6. Raisons d'utiliser de Load Balancing dans MPLS | 23 |
| 2.7. Les différents algorithmes pour Load Balancing dans les réseaux MPLS | 24 |
| 2.7.1. Les algorithmes de Load Balancing statique | 24 |
| 2.7.2. Les algorithmes Load Balancing dynamique | 25 |
| 2.8. Conclusion..... | 31 |
| | |
| 3. la présentation de nouvel algorithme dans les réseaux MPLS basé sur le mécanisme Load Balancing. | |
| 3.1. Introduction..... | 32 |
| 3.2 Description de l'algorithme LBMPLS..... | 32 |
| 3.2.1. Créez une base de données pour la topologie du réseau | 33 |
| 3.2.2. Trouver un chemin de déviation..... | 34 |
| 3.2.3. Définition des structures de données..... | 35 |
| 3.3. Algorithme LBMPLS..... | 36 |
| 3.4. Conclusion..... | 37 |
| | |
| 4. L'implémentation et Simulation de l'algorithme | |
| 4.1. Introduction | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2. Présentation de la plateforme OMNeT++ | 39 |
| 4.3. INET Framework..... | 40 |
| 4.3.1. Définition | 40 |
| 4.4.2. Conçu pour l'expérimentation | 41 |
| 4.4.3. INET et MPLS | 41 |
| 4.4. L'implémentation de l'algorithme... .. | 42 |
| 4.5. Simulation et résultat..... | 49 |
| 4.5.1. Réalisation de la simulation..... | 49 |
| 4.5.2. Résultat de la simulation..... | 64 |
| 4.6. Conclusion | 66 |
| Conclusion générale..... | 67 |
| Références Bibliographiques | 68 |

Liste des figures

| | | |
|--------------|--|----|
| Figure1.1 : | Principe du réseaux IP/ | 4 |
| Figure1.2 : | Principe de fonctionnement du MPLS | 7 |
| Figure1.3 : | OSI et MPLS [xx] | 9 |
| Figure1.4 : | Evolution MPLS | 15 |
| Figure2.1 : | Algorithme Load Balancing | 22 |
| Figure3.1 : | K1 : MPLS-TE Network | 33 |
| Figure3.2 : | K2 : Réseaux MPLS-TE | 33 |
| Figure4.1 : | Structure modulaires d'OMNeT++. | 40 |
| Figure4.2 : | classe ER_LSP.h | 43 |
| Figure4.3 : | classe ER_RSP.cc | 43 |
| Figure4.4 : | Classe Trafic.h | 44 |
| Figure4.5 : | Classe Trafic.cc | 44 |
| Figure4.6 : | Classe Path.h | 45 |
| Figure4.7 : | Classe Path.cc | 46 |
| Figure4.8 : | Classe LBMPLS1 | 48 |
| Figure4.9 : | Classe LBMPLS2 | 49 |
| Figure4.10 : | instantané RSVETE4.ned | 50 |
| Figure4.11 : | chemin de transmission de donnée avant congestion | 61 |
| Figure4.12 : | chemin de transmission de donnée après la congestion dans LSR1 | 62 |
| Figure4.13 : | chemin de transmission de donnée après la congestion dans LSR4 | 63 |
| Figure4.14 : | chemin de transmission de donnée après la fin de la congestion | 63 |
| Figure4.15 : | graph de la changement de la bande passante au niveau du LSR2 | 64 |
| Figure4.16 : | graph de la changement de la bande passante au niveau du LSR4 | 64 |
| Figure4.17 : | graph de la changement Delay au niveau Host3 | 65 |
| Figure4.18 : | graph de la changement Delay au niveau Host4 | 65 |

Liste des tables

Table3.1: BDMNET

34

Liste des acronymes

| | |
|-----------------|---|
| TE | Traffic engineering |
| QoS | Quality of Service |
| MPLS | Multi-Protocol Lable Switching |
| VPN | Virtuel Private Network |
| VoIP | Voix sur IP |
| LSR | Label Switch Router |
| LER | Label Edge Router |
| LSP | Label Switch Path |
| FEC | Forwarding Equivalence Classes |
| OSI | Open Systems Interconnection |
| BGP | Border Gateway Protocol |
| FIB | Forwarding Information Base |
| ATM | Asynchronous Transfer Mode |
| LDP | Label Distribution Protocol |
| RSVP | Resource Reservation Protocol |
| MP-BGP | Multi-Protocol Border Gateway Protocol |
| IGP | Interior Gateway Protocol |
| DiffServ | Differentiated Services |
| OSPF | Open Shortest Path First |
| IS-IS | System intermediaries system |
| CBR | Constraint-Based Routing |
| CSPF | Constrained Shortest Path First |
| CoS | Class of service |
| IETF | Internet Engineering Task Force |
| GMPLS | Generalized MPLS |
| IP | Internet Protocol |
| CEF | Cisco Express Forwarding |
| TSLB | Topology-Based Static Load-Balancing Algorithm |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IntServ | Integrated Services |
| RSLB | Resource-Based Static Load-Balancing Algorithm |

| | |
|----------------|--|
| ISO | International Organization for Standardization |
| MIRA | Minimum Interference Routing Algorithm |
| LMIR | Light Interference Routing |
| LTE | Long Term Evolution |
| DYLBA | Dynamic Load Balancing Algorithm |
| ODLB | Optimal Dynamic Load Balance Algorithm |
| MATE | Adaptive Traffic Engineering |
| DORA | Dynamic Online Routing Algorithm |
| DEPR | Distributed Explicit Partial Rerouting |
| LIOA | Least Interference Optimization Algorithm |
| MHA | Minimum Hop Algorithm |
| QTA | Queue Tuning Algorithm |
| PPBS | Path-based Bandwidth Scheme |
| OMNet++ | Objective Modular Network Testbed in C++ |
| FBLB | Feedback Based Load Balancing |
| LBWDP | Load Balancing over Widest Disjoint Paths |
| PER | Prediction of Effective Repartition |
| PEMS | PERiodic Multi-Step Routing Algorithm |
| EF | Expedited Forwarding |
| AF | Assured Forwarding |
| BEF | Best-Effort Forwarding |
| LBDP | Load Balancing Algorithm using Deviation Path |
| UB | Bande passante utilisée |
| FC | Free Capacity |
| NED | NETwork Description |
| MAC | Medium Access Control |
| MANET | Mobile Adhoc Network |
| LIB | Label Information Base |
| DBNET | Data Base NETwork |
| LBMPLS | Load Balancing Multi-Protocol Lable Switching. |

Chapitre

1 Introduction Générale

Contenu

- 1.1. Introduction
 - 1.2. Tendances technologiques
 - 1.3. Contexte du mémoire
 - 1.4. Les réseaux MPLS
 - 1.4.1. Exigences globales
 - 1.4.2. Caractéristiques
 - 1.4.3. Applications et Protocoles
 - 1.4.4. Ingénierie du trafic
 - 1.4.4.1. Présentation générale.
 - 1.4.4.2. Exigences MPLS TE.
 - 1.4.4.3. Le protocole RSVP-TE
 - 1.4.4.4. Avantages et Inconvénient du Traffic Engineering
 - 1.4.5. Travaux de standardisation et de normalisation.
 - 1.5. Problématique
 - 1.6. Objectives et Contribution
 - 1.7. Structure du mémoire
-

1.1. Introduction

L'émergence des nouveaux services de communications comme la voix sur IP ou la vidéoconférence et d'autres, entraînant à une augmentation considérable dans la charge du réseau et le volume du trafic, en augmentant ainsi le problème de congestion; ce qui nécessite le besoin d'ingénierie du trafic TE, et de qualité de service (QoS). Le protocole IP ne permet pas la gestion des congestions, les réseaux MPLS sont devenus les réseaux les plus utilisés dans les structures des opérateurs. Ceux-ci permettent l'utilisation de l'ingénierie de trafic pour éviter les congestions et améliorer le transport du trafic.

Cependant, les mécanismes existants dans ce domaine des réseaux MPLS ne permettent pas l'éradication complète des congestions. Ces traitements utilisent des niveaux de détection prédéfinis et fixes. Le comportement du trafic n'influence donc pas les détections. Certaines méthodes limitent l'utilisation du réseau et de ce fait l'efficacité des liens, tandis que d'autres attendent le début de la congestion, ce qui implique que des paquets soient supprimés.¹

Dans ce contexte, l'objectif principal de ce projet de fin d'étude (PFE) est de proposer un nouvel mécanisme optimal pour la gestion de la congestion dans les réseaux MPLS. Dans ce contexte, nous avons étudié les réseaux MPLS et leur rôle dans l'ingénierie du trafic pour réduire la congestion, en proposant une nouvelle approche de gestion du flux en utilisant le mécanisme Load Balancing qui est basé sur des approches qui ont été étudiées dans la littérature et de prendre en considération les problèmes de recherche et des conclusions qui sont apparues dans nos enquêtes.

1.2. Tendances technologiques

Aujourd'hui, la tendance de la recherche est orientée aux développements des villes intelligentes (Smart city), dans le but d'offrir des infrastructures technologiques pour les applications intelligentes. Ces infrastructures permettent les communications entre les utilisateurs de ces infrastructures, afin d'échanger et de partager des informations pertinentes à différents types d'applications. Mais avec cette tendance, il est nécessaire de créer des réseaux plus grands, plus rapides et plus sûrs. La plupart des réseaux modernes visent à fournir une variété de services sur une infrastructure unique qui transfère tous les types de données, et la gestion de tels réseaux est

¹ D.Awduche, J.Malcolm, J.Agobua, M.O'Dell et J.McManus, "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS," RFC2702 IETF, September 1999.

devenue très importante, ce qui entraîne à une utilisation des nouvelles technologies tel que les réseaux MPLS, qui suscite actuellement beaucoup d'attention.

Les réseaux MPLS offrent des fonctionnalités diverses, bien qu'ils fonctionnent sur les réseaux IP, mais ils supportent de nombreux autres protocoles pour une intégration facile. Ils garantissent également la sécurité et la qualité des services (QoS), et supportent les réseaux privés virtuels (Virtual Private Network (VPN)); ainsi que le cryptage et l'authentification, et l'ingénierie du trafic, qui est la principale caractéristique de MPLS. Ce dernier (TE) permet de contrôler le transfert de données, d'utiliser de manière optimale les ressources et d'améliorer les performances du réseau en éliminant la congestion.

1.3. Contexte du PFE

Nous présentons dans cette section une vue générale sur le contexte de ce qui porte sur les réseaux MPLS. Nous recadrerons précisément ce domaine en se basant sur ce que nous pensons avoir un intérêt à traiter afin de donner les éléments d'analyse du contexte spécifique à notre étude. Les caractéristiques principales de ce domaine y sont développées, au regard de ce qui constitue la finalité de notre travail ; la spécification d'une nouvelle approche de gestion du flux. Nous y présentons une terminologie, les caractéristiques et les exigences globales de ces réseaux, les applications qui peuvent être envisagées dans ces réseaux ainsi que quelques travaux de normalisation et de standardisation lancés afin de répondre aux spécificités des réseaux MPLS.

1.4. Les réseaux MPLS

Le Multiprotocol Label Switching (MPLS) est un protocole développé pour optimiser et accélérer le trafic réseau. Il a été développé à la fin des années 1990 pour éviter aux routeurs de perdre constamment du temps à chercher dans les tables de routage. Dans le routage IP sur Internet, chaque routeur doit prendre une décision de transfert indépendante pour chaque paquet en se basant uniquement sur l'en-tête de la couche réseau du paquet. Ainsi, chaque fois qu'un paquet arrive sur un routeur, ce dernier doit « réfléchir » au prochain envoi du paquet. Pour ce faire, le routeur se réfère à des tables de routage complexes. Le processus est répété à chaque saut au long de la route jusqu'à ce que le paquet atteigne finalement sa destination. Tous ces sauts et toutes ces décisions de routage individuelles entraînent à des performances médiocres pour des applications urgentes telles que la vidéoconférence ou la voix sur IP (VoIP). Le protocole MPLS

permet à la plupart des paquets de données d'être acheminés par commutation plutôt que par routage. Le Multi-protocole Label Switching (MPLS) n'est pas un type de connexion Internet, mais plutôt une "technique". Dans la littérature informatique on trouve plusieurs descriptions du protocole MPLS :

- Search Enterprise WAN définit le protocole MPLS comme « un protocole pour accélérer et façonner les flux de trafic réseau », pour ce faire, le protocole MPLS trie et hiérarchise vos paquets de données en fonction de leur classe de service.²
- Le MPLS est un mécanisme utilisé dans les infrastructures de réseau informatique pour accélérer le temps nécessaire à la transmission d'un paquet de données d'un nœud à un autre. Il permet aux réseaux informatiques d'être plus rapides et plus faciles à gérer en utilisant des étiquettes de chemin court au lieu d'adresses réseau longues pour le routage des paquets réseau.³
- Multi-protocole Label Switching (MPLS) est une technique de routage indépendante du protocole IP, conçue pour accélérer et façonner les flux de trafic sur les réseaux de grandes entreprises et de fournisseurs de services. Le MPLS permet de transmettre la plupart des paquets de données à la deuxième couche (le niveau de commutation) plutôt que de devoir être transmise à la troisième couche (le niveau de routage).

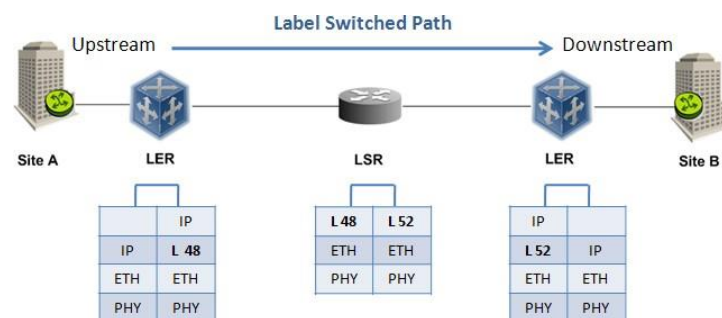


Fig. 1.1 : Principe du réseaux IP/MPLS.³

² <https://itel.com/what-is-mpls-and-how-does-it-work/>, le 03février 2019.

³ <https://www.techopedia.com/definition/527/multiprotocol-label-switching-mpls>, le 03 février2019.

Les réseaux IP/MPLS se base sur l'établissement de chemin entre deux machines (Les Label Switched Path ou LSP). La commutation des paquets circulant sur ce chemin est faite en analysant un label contenu dans l'entête MPLS qui est ajouté entre la couche 2 et la couche IP.

La figure Fig. 1.1 résumant le principe de la commutation de label tout au long d'un chemin ou Label Switched Path. A l'entrée du réseau MPLS, les paquets IP se voient insérés un label par le "Ingress Label Edge Routeur" ou "Ingress LER". Les LER sont les routeurs MPLS se situant à la périphérie du réseau de l'opérateur. Les paquets labélisés sont ensuite commutés vers le cœur du réseau selon son numéro de label. Les routeurs MPLS du cœur de réseau, les Label Switching Router, commute ensuite les labels jusqu'au LER de sortie (Egress LER) Le chemin qui a été pris par le paquet, et préalablement établi, au travers du réseau s'appelle un Label Switched Path (LSP).

- Dans un réseau MPLS, le premier routeur reçoit un paquet qui détermine l'intégralité de la route du paquet, dont l'identité est rapidement transmise aux routeurs suivants à l'aide d'une étiquette qui se trouve dans l'en-tête du paquet. Bien que le matériel de routeur soit amélioré de façon exponentielle depuis le développement de MPLS (ce qui a quelque peu réduit son importance en tant que technologie de gestion du trafic plus efficace), il reste important et populaire en raison de ses nombreux autres avantages, notamment la sécurité, la flexibilité et l'ingénierie du trafic.
- Dans le protocole MPLS, la première fois qu'un paquet entre dans le réseau, il est affecté à une classe d'équivalence de transmission (FEC) spécifique, indiquée par l'ajout d'une séquence de bits courte (l'étiquette) au paquet. Chaque routeur du réseau dispose d'un tableau indiquant comment gérer les paquets d'un type spécifique de FEC. Ainsi, une fois que le paquet est entré sur le réseau, les routeurs n'ont plus besoin d'effectuer une analyse d'en-tête. Au lieu de cela, les routeurs suivants utilisent l'étiquette en tant qu'index dans une table qui leur fournit un nouveau FEC pour ce paquet. Cela donne au réseau MPLS la possibilité de gérer de manière cohérente des paquets qui présentent des caractéristiques particulières (provenant par exemple de ports ou transportant du trafic de types d'applications particuliers). Les paquets acheminant du trafic en temps réel, tels que la voix ou la vidéo, peuvent facilement être mappés sur des itinéraires à faible latence sur le réseau, ce qui est difficile avec le routage classique. L'essentiel de l'architecture réside dans le fait que les étiquettes fournissent un moyen d'attacher des

informations supplémentaires à chaque paquet, informations qui vont bien au-delà de ce que les routeurs avaient auparavant.

1.4.1. Exigences globales

En plus des spécificités du réseau MPLS, il est impératif de présenter les concepts et composantes les plus importants.

- **Les routeurs MPLS** : sont les LSR (Label Switch Router), et sont de type PE (Provider Edge) ou P (Provider). Par extension, les routeurs CE (Customer Edge) sont les routeurs du client avant que son trafic ne pénètre dans le « nuage » MPLS du fournisseur par les routeurs PE.
- **Un chemin MPLS** : Un chemin MPLS étant toujours unidirectionnel, on fait la différence en MPLS entre les routeurs d'entrée (PE ou iLSR — ingress Label Switch Router), de transit (P-router pour Provider router), et de sortie (PE ou eLSR — egress Label Switch Router).
- **Routeur PE d'entrée** : Le routeur PE d'entrée a pour rôle d'encapsuler le trafic reçu sur ses interfaces « clients ». Il applique (au moins) un label au paquet reçu (« imposition » de label, ou push) et l'envoie vers une de ses interfaces sortantes.
- **Les FEC** : Pour créer le label, le routeur utilise les FEC (Forwarding Equivalence Class), qui sont des tables de correspondances dont les clefs sont un élément du paquet (adresse MAC, adresse IP, Class of Service, port TCP/UDP, etc.). Une FEC est donc un groupe de paquets transférés vers la même interface de sortie et avec les mêmes critères de transmission (donc un type de flux vers un LSP).
- **Label Switch Router (LSR)** : est un dispositif capable de transmettre des paquets à la couche 3 et de transmettre des trames qui encapsulent le paquet à la couche 2. Le mécanisme d'échange d'étiquettes est implémenté à la couche 2.

- **Label Edge Router (LER)** : est à la fois un routeur et un commutateur de couche 2 capable de transférer des trames MPLS vers et depuis un domaine MPLS. Il établit la liaison FEC IP vers MPLS, y compris l'agrégation des flux entrants. Il communique également avec les LSR MPLS intérieurs pour échanger des reliures d'étiquettes. Souvent désigné sous le nom de LSR d'entrée ou de sortie, car il est situé à la périphérie d'un domaine MPLS.⁴
- **Label Switch Path (LSP)** : est un chemin commuté d'entrée-sortie construit par les noeuds MPLS pour transmettre les paquets encapsulés MPLS d'une FEC particulière à l'aide du mécanisme de transfert d'échange d'étiquettes. Il est similaire au concept de canaux virtuels dans un contexte ATM.⁴

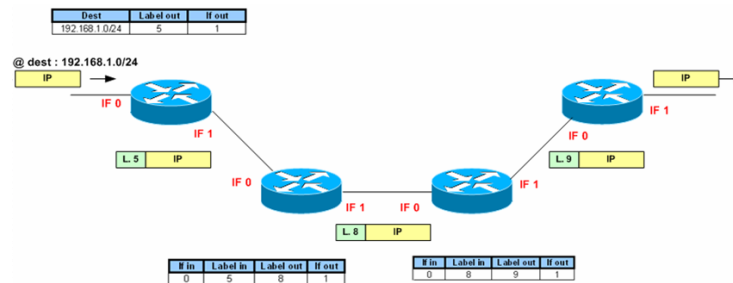


Fig. 1.2 : Principe de fonctionnement du MPLS.⁴

Dans le mariage du routage IP classique et de la commutation de paquets est né un nouveau système appelé **commutation de labels**. Un label, est un petit paquet de données qui va, dans l'architecture de base, s'intercaler entre l'entête de niveau 2 et l'entête de niveau 3. La Fig. 1.2 illustre le mécanisme. Dans cette figure nous que les labels sont déjà enregistrés dans chacun des routeurs. Nous aborderons le mécanisme qui conduit à cette topologie dans la suite.

Soit un paquet IP arrivant à destination de l'adresse réseau 192.168.1.0/24. Le routeur d'entrée va utiliser l'adresse de destination pour retrouver le label à associer au paquet. Il voit par exemple ici que cette adresse de destination est associée au label #5 et qu'il doit être recopié sur l'interface 1. Ce routeur va donc ajouter

⁴ Felicia Marie Holness, "Congestion Control Mechanisms with in MPLS Networks", Septembre 2000.

le label après l'entête de niveau 3. Ce label sera conservé tout au long de la traversée du réseau à commutation de labels. A chaque intermédiaire, le label va être échangé par les routeurs intermédiaires. C'est ce que l'on appelle le Label Swapping. Pour le deuxième routeur, celui-ci va utiliser le label entrant comme index dans la table de commutation, et modifier le label par celui de sortie spécifié dans sa table.

Lors de l'arrivée du paquet au dernier routeur, celui-ci va retirer le label et transmettre le paquet à sa couche de niveau 3 qui va se charger du routage "classique" du paquet. Ces opérations d'ajout et suppression des labels sont primordiales, car elles vont conditionner l'interopérabilité des réseaux à commutation de labels avec les autres types de réseaux basés sur IP.

1.4.2. Caractéristiques

Les MPLS se caractérisent par plusieurs propriétés qui doivent être prises en compte lors de la réalisation des protocoles dans ce type de réseau. Dans la suite, nous présentons les caractéristiques des MPLS en se prêtant de:⁵

- **Classement dans le modèle OSI:** Dans les réseaux informatiques et les télécommunications, MultiProtocol Label Switching (MPLS) est un mécanisme de transport de données basé sur la commutation de labels (des « étiquettes »), qui sont insérés à l'entrée du réseau MPLS et retirés à sa sortie. À l'origine, cette insertion s'opère entre la couche de liaison de données (niveau 2) et la couche réseau (niveau 3) afin de transporter des protocoles comme IP. C'est pourquoi MPLS est qualifié de protocole de couche « 2,5 » ou « 2 / 3 ». La Fig. 1.3 illustre le classement du réseau MPLS dans le modèle OSI [xx]

⁵ Sanu Mathews, "Multi-Protocol Label Switching (MPLS)", <https://thinkpalm.com/blogs/multi-protocol-label-switching/>, 15 février 2019.

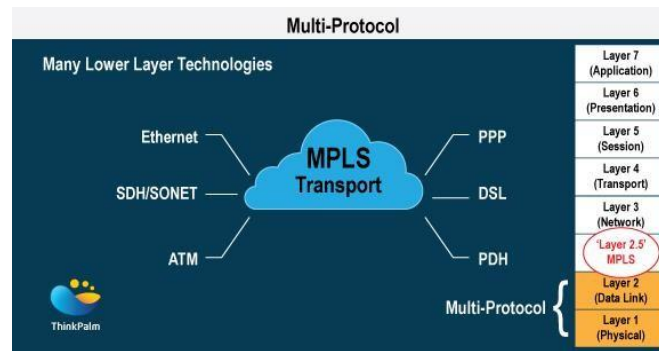


Fig. 1.3 : OSI et MPLS.⁵

- **Services** : Ce protocole a évolué pour fournir un service unifié de transport de données pour les clients en utilisant une technique de commutation de paquets. MPLS peut être utilisé pour transporter pratiquement tout type de trafic, par exemple la voix ou des paquets IPv4, IPv6 et même des trames Ethernet ou ATM. Ainsi, MPLS permet d'acheminer sur une unique infrastructure différents types de trafic tout en les isolant.⁶
- **Un fonctionnement différent** : Dans un réseau MPLS, chaque paquet est étiqueté lors de son entrée dans le réseau du fournisseur de services par le routeur d'entrée (LER). C'est également le routeur qui décide du LSP que le paquet prendra jusqu'à ce qu'il atteigne l'adresse de destination. Tous les routeurs (LSR) suivants effectuent un transfert de paquet basé uniquement sur ces Labels MPLS - ils ne cherchent jamais aussi loin que l'en-tête IP. Enfin, le routeur de sortie supprime les étiquettes et transmet le paquet IP d'origine vers sa destination finale. Lorsqu'un LSR reçoit un paquet, il effectue une ou plusieurs des actions suivantes:
 - **Push**: ajoute Label. Cette opération est généralement effectuée par le routeur d'entrée.
 - **Swap**: remplace Label. Ceci est généralement effectué par les LSR entre les routeurs d'entrée et de sortie.
 - **Pop**: supprime Label. Ceci est le plus souvent fait par le routeur de sortie

⁶ <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/Multiprotocol-Label-Switching-MPLS>; le 03 février 2019.

- **Plus rapide** : MPLS est considéré comme le plus rapide et le plus efficace dans le processus de routage ou de Label Switching de la méthode traditionnelle ou classique.
- **Infrastructure de réseau unifiée** : L'utilisation d'un réseau unifié, ce qui est particulièrement utile pour les fournisseurs de services, il n'est pas nécessaire de lancer plusieurs services ou plusieurs réseaux tels que Frame-Relay ou ATM chacun séparément.
- **Noyau sans BGP** :⁷ Il est également connu que le protocole de routage pour la connexion des fournisseurs de services est BGP avant tous les routeurs, tous les routeurs du réseau du fournisseur de services doivent exécuter ce protocole, un protocole BGP ou un autre protocole, l'informations BGP via la redistribution mais après la technologie MPLS, il n'est plus nécessaire d'exécuter le protocole BGP sur tous les routeurs, d'ajouter de la charge au routeur et de gaspiller une grande partie de sa mémoire, le protocole BGP s'exécute seulement sur les routeurs situés sur les terminaux ou aux limites du réseau du fournisseur.
- **Le Fast Reroute** :⁸ MPLS Fast Reroute améliore la convergence en cas de panne. En pré-calcul des chemins de sauvegarde pour les pannes de liaison potentiels ou nœud. Dans un réseau IP normal, Le meilleur chemin est calculé à la demande lorsqu'une défaillance est détectée. Le recalcule des meilleurs chemins et la transmission de ces modifications au matériel du routeur peuvent prendre plusieurs secondes, en particulier sur un routeur occupé. Une boucle de routage transitoire peut également se produire, chaque routeur des réseaux prenant connaissance du changement de topologie. Avec MPLS Fast Reroute, Le meilleur calcul du chemin suivant se produit avant que l'échec se produit réellement. Les chemins de sauvegarde sont préprogrammés dans la FIB du routeur en attente d'activation, ce qui peut se produire en quelques millisecondes après la détection d'une défaillance, parce que le chemin entier est défini dans le LSP, les boucles de routage ne peuvent pas se produire pendant la convergence, même si le chemin est brièvement sous-optimal.

1.4.3. MPLS : Applications et Protocoles

⁷ Petr Grygarek, "Multi-Protocol Label Switching (MPLS)", 2005.

⁸ Richard A Steenbergen <ras@nlayer.net> nLayer Communications, Inc. "MPLS for Dummies".

1.4.3.1. Applications ⁹

- **MPLS Virtual Private Network (MPLS - VPN):** Cette application est populaire parmi les fournisseurs de services. Tout client peut disposer d'un réseau virtuel via le réseau MPLS et connecter tous les sites clients, même si les sites sont connectés à différents fournisseurs de services. Le client conserve ainsi sa vie privée et sécurise ses informations.
- **MPLS Traffic Engineering (MPLS - TE):** Cette application est utilisée pour fournir un niveau de service spécifique aux clients, notamment pour garantir la qualité du son et des images et pour assurer une certaine bande passante au client. Cette application permet aux routeurs de connaître la bande passante disponible et de déterminer s'il existe une congestion entre les expéditeurs et les destinataires.
- **MPLS - TE avec VPN :** Cette application est une combinaison des deux applications précédentes.
- **MPLS Any Transport over MPLS (MPLS - AToM):** Comme mentionné précédemment, le réseau MPLS peut charger n'importe quel service L2, tel que Frame-Relay, ATM, Ethernet, PPP et HDLC, et connecter des sites clients à ce protocole, les ordinateurs clients situés à différents endroits se considérant comme directement connectés.

1.4.3.2. Les protocoles ¹⁰

- **Label Distribution Protocol :**
 - LDP: Label Distribution Protocol : Il est utilisé dans : - IP-MPLS - et MPLS AToM.
 - RSVP: Resource Reservation Protocol : Il est utilisé dans MPLS TE.
 - MP-BGP: Multi-Protocol Border Gateway Protocol: Il est utilisé dans MPLS VPN.

⁹ Ghefir Mohamed El Amine, Mémoire de Magister en Systèmes et Réseaux de Télécommunication, « planification, ingénierie des réseaux de nouvelle génération – NGN », Décembre 2013.

¹⁰ Steve Smith, Systems Engineer, « Introduction to MPLS », 2003.

- **MPLS Signaling Protocols** : ¹¹Pour utiliser un LSP, il doit être signalé sur tous vos routeurs. Un LSP est un tunnel à l'échelle du réseau, mais une étiquette n'est qu'une valeur de lien local. Un protocole de signalisation MPLS mappe les LSP sur des valeurs d'étiquette spécifiques. Il existe deux principaux protocoles de routage MPLS en usage aujourd'hui :
 - Label Distribution Protocol (LDP) : Un protocole simple et non contraint (ne prend pas en charge l'ingénierie du trafic).
 - Protocole de réservation de ressources avec ingénierie de trafic (RSVP-TE): Un protocole plus complexe, avec plus de temps système, mais qui inclut également une prise en charge de l'ingénierie du trafic via les réservations de ressources réseau.

1.4.4. Traffic Engineering (TE)

L'une des applications MPLS est l'ingénierie du trafic (TE), utilisée pour manipuler le trafic afin de l'adapter à un réseau particulier. TE est important pour les fournisseurs de services à utiliser leurs réseaux avec une grande efficacité et flexibilité. L'ingénierie de trafic désigne le processus de sélection des chemins LSP choisis par le trafic de données afin d'équilibrer la charge sur liens différents, routeurs et commutateurs du réseau. Ceci est le plus important dans les réseaux où plusieurs chemins parallèles ou alternatifs sont disponibles. L'objectif de l'ingénierie du trafic est de faciliter le fonctionnement efficace et fiable des réseaux IP tout en optimisant simultanément l'utilisation des ressources et les performances du réseau. Avant MPLS TE, cette technique était possible avec IP ou ATM en fonction du protocole utilisé entre une paire de routeurs de périphérie dans un réseau.

Avec l'ingénierie du trafic (TE), au lieu que des décisions d'acheminement soient prises à chaque saut, le routeur d'entrée de tête de l'exploitant du réseau détermine le chemin source à destination pour un trafic spécifique. Ainsi, le trafic qui aurait emprunté un chemin optimal mais encombré peut être dirigé sur des chemins sous-utilisés du réseau, ce qui permet de répartir la charge de bande passante sur différentes liaisons.

¹¹ Richard A Steenbergen <ras@nlayer.net> nLayer Communications, Inc. "MPLS for Dummies".

1.4.4.1. Les avantages :¹²

L'ingénierie du trafic dans MPLS implique la technique de direction du trafic qui circule dans un réseau. Plusieurs procédures de routage implémentent le transfert de paquets pour une transmission sécurisée. Les avantages suivants améliorent l'ingénierie du trafic :

- Minimiser la congestion du réseau : un réseau MPLS peut implémenter TE pour réduire le blocage du réseau et améliorer les performances. Les tunnels dirigent le trafic du chemin encombré vers le chemin sous-utilisé disponible pour alléger la congestion du trafic.
- MPLS Fast Reroute en cas de défaillance de lien / noeud : la fonctionnalité de redirection rapide MPLS permet de gérer les défaillances de liaison ou de noeud en dirigeant le trafic encapsulé vers un chemin secondaire préconfiguré en cas de défaillance du chemin primaire.
- Classe de service (CoS) : ce champ de 3 bits détermine la valeur de la CoS sur la base de laquelle le trafic dans sa file d'attente prioritaire est utilisé pour la transmission.
- Identification du trafic client : l'ingénierie du trafic MPLS classe le trafic client en fonction du fournisseur de service utilisé dans le réseau MPLS. C'est uniquement dû à la fonctionnalité CoS de la technologie qui catégorise le trafic.
- MPLS TE fournit une approche intégrée de l'ingénierie du trafic en combinant les capacités d'ingénierie du trafic d'ATM avec la flexibilité et la différenciation de classe de service (CoS) de l'IP. La nature du MPLS TE permet d'éviter les problèmes associés au modèle de superposition. Comme pour ATM ou Frame Relay, Label Switching Path (LSP) construit automatiquement par MPLS TE contrôle le chemin d'un flux de trafic vers une destination particulière, plutôt que le transfert purement basé sur la destination.

1.4.4.2. Les inconvénients :¹²

¹² <https://www.mplsinfo.org/traffic-engineering.html>, 2008-02-2019.

Bien que MPLS apporte plusieurs avantages à sa mise en œuvre, il existe peu de retraits basés sur le réseau utilisé et la bande passante disponible. Retrouvez ci-dessous les inconvénients techniques :

- Utilisation excessive des liaisons secondaires : en cas de défaillance des liaisons, la redirection rapide de MPLS TE utilise des tunnels de secours pour rediriger le trafic sur la liaison secondaire.
- Configuration de chemin manuelle: pour implémenter l'ingénierie du trafic, les chemins nécessitent une configuration manuelle indépendamment de la présence du protocole Internet pour le routage de paquets.
- Dépendance de protocole pour le réacheminement automatique: Si un réseau utilise le protocole de routage OSPF (Open Shortest Path First), le calcul automatique du chemin et le réacheminement systématique du trafic IP peuvent être effectués dans des chemins TE MPLS. Ça s'applique même aux réseaux utilisant le protocole IS-IS (Intermediate System to Intermediate System).
- Variation des performances dans MPLS Fast reroute : les mécanismes de qualité de service maintiennent la bande passante pour les tunnels fonctionnant en secours. Comme les nœuds intermédiaires du chemin TE ne sont pas configurés manuellement, le trafic utilisant la redirection rapide sur le chemin alternatif trébuchera sur des défaillances de liaison. De plus, la configuration manuelle des nœuds intermédiaires dans le réseau MPLS n'est pas réalisable car la technologie manque de telles options.
- Absence de système de mappage systématique: le mappage dynamique du trafic IP sur des chemins MPLS TE n'est pas réalisable, car les routeurs configurant le chemin ne reconnaissent pas la topologie des paramètres régionaux OSPF suivants.

1.4.5. Travaux de standardisation et de normalisation.

Dans quelques années, la technologie MPLS (Multi-Protocol Label Switching) est passée de la technologie exotique à l'outil principal utilisé par les fournisseurs de services pour créer des services générateurs de revenus. MPLS a été créé dans la seconde moitié des années 1990 afin que les

routeurs puissent éviter de rechercher des itinéraires dans les tables de routage, améliorant ainsi la vitesse de circulation du trafic réseau. En 1994, Toshiba a présenté ses premières idées à l'IETF (Internet Engineering Task Force), qui était des précurseurs de normes MPLS actuelles. Le principe MPLS a été proposé en 1996 par Ipsilon Networks comme une technologie d'IP Switching fonctionnant sur ATM et Cisco comme Tag Switching. Le nom a été modifié pour Label Switch lorsque l'IETF a créé un MPLS working group pour unifier MPLS en 1997, et normalisé sous la norme RFC 3031.

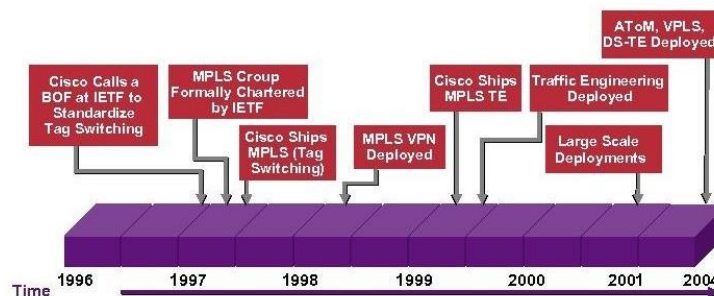


Fig. 1.4 : Evolution MPLS.¹⁰

L'évolution de standard MPLS a marqué par les étapes suivantes :

- Normalisation de la MPLS (Multi Protocol Label Switching) Basé sur le trafic IP. RFC 3031 (architecture), RFC 3036 (LDP)....
- Ajout du service « Traffic Engineering» (MPLS-TE), la possibilité de forcer les paquets à prendre la route la plus courte non IGP. C'est toujours la principale application de MPLS aujourd'hui. RFC 2702.
- Développement de MPLS Basé sur les longueurs d'ondes et ajout d'un nouveau protocole, LMP (Link Management Protocol) pour la gestion des liens et des erreurs. RFC 4327.
- GMPLS (Generalized MPLS) : Extension de MPLS-TE qui permet aux LSR de supporter Plusieurs types de commutation, Paquets, TDM, Lambdas, Fibres ect..., généralisation de la définition d'un label, ajout de la signalisation via le protocole RSVP-TE, et amélioration des protocoles de routage pour décrire la topologie du réseau : OSPF et IS-IS. RFC 3471.

1.5. Problématique

L'ingénierie du trafic est devenue un impératif essentiel pour les fournisseurs de services Internet afin d'optimiser l'utilisation des ressources réseau existantes et de maintenir la qualité de service (QoS) globale souhaitée avec moins de ressources réseau. L'un de ses objectifs principaux est le Load Balancing. Le Load Balancing est un aspect important de l'ingénierie du trafic. Il peut utiliser certains mécanismes pour mapper une partie du trafic sur certaines routes sous-utilisées pour éviter les embouteillages sur le chemin principal choisi dans le réseau (eg. Le chemin le plus court pour certains protocoles) et pour améliorer le débit total du réseau et l'utilisation des ressources du réseau. MPLS présente de nombreux avantages soutenir l'ingénierie du trafic. MPLS permet un routage explicite efficace des LSPs, ce qui peut être utilisé pour optimiser l'utilisation des ressources du réseau et améliorer les performances du trafic.

Load Balancing est un aspect clé de MPLS TE, il offre la capacité à contrôler les flux de trafic avec précision. Par conséquent, la question cruciale est de savoir comment équilibrer le trafic réseau tout en maintenant une allocation de ressources efficace et en améliorant les performances du réseau et la qualité de service Internet et comment réduire au minimum la congestion.

Dans ce PFE, nous proposons d'étudier les techniques de gestion des congestions dont le mécanisme Load Balancing technique d'équilibrage de charge, pour minimiser la congestion dans le contexte des réseaux MPLS.

1.6. Objectives et Contribution

L'objectifs de notre travail est l'étude et la modélisation des congestions dans les réseaux MPLS d'une façon générale et en particulier les mécanismes de gestion de flux pour réduire la congestion, qui permettent d'améliorer l'utilisation des ressources et les performances du réseau, tout en garantissant la qualité de service.

Nous adoptons un regard nouveau sur les approches existantes, cette nouvelle vision adopte des mécanismes nouveaux pour découvrir les itinéraires satisfaisant un certain critère pour réduire la congestion.

1.7. Structure de thèse

Ce manuscrit de thèse est composé de cinq chapitres, organisés comme suit :

- **Le deuxième chapitre** : dans ce chapitre, nous passons en revue les approches de gestion de la congestion existant dans réseau MPLS.
- **Le troisième chapitre** : est dédié à la présentation de nouvel algorithme de gestion de flux basé sur le mécanisme Load Balancing.
- **Le quatrième chapitre** : Dans ce chapitre nous analysons la performance de cet algorithme par simulations en utilisant OMNET++.
- **Dans le dernier chapitre** : nous concluons cette étude par une synthèse de notre contribution et nous montrerons à quel point notre objectif a été atteint. Nous exposerons ensuite les perspectives et les futurs travaux envisageables pour approfondir cette étude.

Conclusion Générale

Aujourd'hui, MPLS est une technologie qui a su prendre une place prépondérante dans les réseaux longue distance opérateurs. MPLS a mis au point un certain nombre de mécanismes pour améliorer la disponibilité, la fiabilité et les améliorations du réseau. La réduction de la congestion est l'un des principaux objectifs de performance axés sur le trafic et les ressources. L'utilisation de MPLS est basée sur l'ingénierie du trafic pour contrôler les flux de trafic réseau, les performances du réseau, et optimiser l'utilisation des ressources et réduire les encombrements.

L'ingénierie du trafic se caractérise par optimiser l'utilisation des ressources du réseau existant et de maintenir la qualité de service. Parmi ses principaux objectifs l'équilibrer les charges sur le réseau, l'équilibrage de la charge étant un aspect important de l'ingénierie du trafic.

L'objectif principal de notre travail était de proposer un nouvel algorithme idéal pour réduire de la congestion dans les réseaux MPLS. , Sur la base des méthodes étudiées et en prenant en compte les problèmes et les conclusions de recherche

Donc nous avons proposé une nouvelle Solution de réduction de l'encombrement utilisant le mécanisme d'équilibrage de charge, appelé LBMPLS, qui vise à déformer efficacement les LSP des liaisons les plus utilisées du réseau en liaisons insuffisamment utilisées. Et pour déterminer la congestion nous avons utilisé le concept de seuil la priorité de flux pour accélérer le temps de transmission élevé du flux prioritaire, réduisons le délai de bout en bout et la capacité libre pour sélectionner le chemin de déviation adéquat.

Références Bibliographiques

- 1.1. D.Awduche, J.Malcolm, J.Agobua, M.O'Dell et J.McManus, "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS," RFC2702 IETF, September 1999
- 1.2. <https://itel.com/what-is-mpls-and-how-does-it-work/>, le 03février 2019.
- 1.3. <https://www.techopedia.com/definition/527/multiprotocol-label-switching-mpls>, le 03 février2019.
- 1.4. Felicia Marie Holness, "Congestion Control Mechanisms with in MPLS Networks", Septembre 2000.
- 1.5. Sanu Mathews, "Multi-Protocol Label Switching (MPLS)", <https://thinkpalm.com/blogs/multi-protocollabel-switching/>, 15 fivrier 2019.
- 1.6. <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/Multiprotocol-Label-Switching-MPLS>; le 03 février 2019.
- 1.7. Petr Grygarek, "Multi-Protocol Label Switching (MPLS)", 2005
- 1.8. Richard A Steenbergen <ras@nlayer.net> nLayer Communications, Inc. "MPLS for Dummies "
- 1.9. Ghafir Mohamed El Amine, Mémoire de Magister en Systèmes et Réseaux de Télécommunication, « planification, ingénierie des réseaux de nouvelle génération – NGN », Décembre 2013.
- 1.10. Steve Smith, Systems Engineer, « Introduction to MPLS », 2003.
- 1.11. Richard A Steenbergen <ras@nlayer.net> nLayer Communications, Inc. "MPLS for Dummies ".
- 1.12. <https://www.mplsinfo.org/traffic-engineering.html>, 2008-02-2019.
- 2.1. Prabhjot Kaur, Satish Devane, "LOAD BALANCING IN MPLS ", International Journal of Computer Engineering & Science, Nov. 2013.
- 4.1. BOUZELATA Hocine, « Étude sur la conservation de l'énergie au niveau MAC des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) et leur Simulation en utilisant le simulateur Castalia sur la plateforme OMNET++ », DIPLOME DE MASTER, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI D'OUM EL BOUAGHI, 2015.
- 4.2. INET Framework User's Guide, OpenSim Ltd, Jan 28, 2019.