الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Département : Génie Electrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de Master

Filière : **Télécommunications**

Spécialité : **: Systèmes Télécommunications et Réseaux**

État de l'art sur la qualité de service QOS dans un réseau de transport IP/MPLS

Réalisé par

BEKKOUCHE Rayane

YALA Rayane

Présenté et soutenu publiquement le (06/07/2023)

Composition du Jury :

Présidente	Mme BOUTARFA Souhila	M.C.B	ENST
Promotrice	Mme ABBAD Leila	M.A.A	ENST
Co-Promoteur	M.BELKSIRA Rochdi Bey	DTV	MOBILIS
Examinatrice	Mme CHIALI Imane	M.C.B	ENST
Examinateur	M. BOUCHACHI Islem	M.C.B	ENST

Année universitaire 2022 –2023

État de l'art sur la qualité de service Qos dans un réseau de transport IP/ MPLS

BEKKOUCHE Rayane
Génie Électrique et Informatique Industrielle
École Nationale Supérieure de Technologie
Alger, Algerie
r-bekkouche@enst.dz

YALA Rayane
Génie Électrique et Informatique industrielle
École Nationale Supérieure de Technologie
Alger, Algerie
r-yala@enst.dz

***Résumé*—À mesure que les réseaux deviennent plus complexes, il est nécessaire de passer des réseaux basés sur des circuits à des réseaux basés sur des paquets. Plus récemment, les réseaux IP utilisent la commutation multi protocole par étiquette (MPLS), qui offre une meilleure commutation et permet la création de réseaux privés virtuels (VPN). Cependant, La qualité de service (QoS) est devenue un défi important dans les réseaux, et MPLS est une solution prometteuse pour de nombreuses applications qui requièrent une gestion différenciée de la QoS tout en partageant le même réseau central. Cet article explorera le rôle et les objectifs de QoS, ses aspects généraux dans les réseaux MPLS, ainsi que sa mise en œuvre ces réseaux. Également, l'implémentation du réseau MPLS TE (Traffic Engineering) et son intégration avec les approches IntServ (Integrated Services) et DiffServ (Differentiated Services) seront examinées. Les avantages et les défis de ces méthodes seront analysés en vue d'optimiser et améliorer la qualité de service.**

***Mots-clés*— Qualité de service, réseaux de commutation multi-protocole par étiquette, ingénierie du trafic, IntServ, DiffServ.**

I. Introduction

Les entreprises dépendent désormais des réseaux et des systèmes d'information pour fonctionner efficacement, et ces outils sont devenus indispensables dans des domaines critiques tels que la sécurité, la santé et les finances. Au fil des années, Internet a évolué pour inspirer de nouvelles applications qui ont des besoins importants en termes de bande passante et de qualité de service. Le trafic continue d'augmenter à un rythme spectaculaire, ce qui a posé des problèmes pour l'architecture classique d'un réseau IP en termes de routage. En réalité, dans les réseaux IP traditionnels, les paquets sont acheminés en fonction de leur adresse de destination. Les routeurs consultent les tables de routage pour déterminer l'interface de sortie. Cependant, les capacités des routeurs conventionnels sont limitées en raison de l'augmentation des tables de routage et du traitement des segments IP[1].

Dans les années 1980, un protocole nommé MPLS (Multi Protocol Label Switching) a été introduit pour simplifier la complexité du routage et résoudre divers problèmes liés à la croissance des réseaux, tels que l'augmentation du nombre d'utilisateurs, la gestion de la largeur de bande et la prise en charge de multiples protocoles [2]. En conséquence, MPLS a réussi de combiner la simplicité d'IP avec l'efficacité d'ATM (Asynchronous Transfer Mode) pour gérer efficacement les services multiples, ce qui permet d'intégrer facilement de nouvelles technologies dans un réseau central existant [3], offrant ainsi des solutions aux problèmes de routage au sein du cœur des réseaux grâce à différentes applications telles que la QoS (Qualité de Service), l'ingénierie du trafic et les réseaux privés virtuels (VPN).

En d'autres termes, MPLS est devenu une technologie clé dans les réseaux de télécommunications, offrant des avantages tels que la qualité de service différenciée, la gestion du trafic et la convergence des réseaux. Il a été largement déployé dans les réseaux des fournisseurs de services, les réseaux d'entreprise. Cependant, bien que MPLS joue un rôle important dans l'amélioration de la QoS, il n'est pas intrinsèquement conçu pour cela. En réalité, MPLS crée un environnement de réseau orienté connexion qui facilite l'ingénierie du trafic dans les réseaux de paquets. L'ingénierie du trafic permet de gérer la bande passante des flux de données, ce qui est une condition préalable pour fournir une QoS satisfaisante. Pour répondre aux exigences majeures de la QoS, telles que le contrôle de la latence et de la gigue pour les applications sensibles au temps, MPLS-TE doit être mis en œuvre pour améliorer davantage la QoS [4].

Le présent article est structuré de la manière suivante : la section II présente la technologie MPLS (Multiprotocol Label Switching), en détaillant son architecture et ses caractéristiques. Ensuite, dans la section III, la qualité de service (QoS) est abordée, mettant en évidence ses mécanismes et son fonctionnement.

II. MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING

MPLS, créé par l'IETF (Internet Engineering Task Force), en 1997 [5], est une norme qui vise à améliorer la transmission de paquets de données sur le protocole Internet (IP) en utilisant une technologie de réseau basée sur des étiquettes. Cette approche permet de guider les paquets sur le bon chemin à travers le réseau en leur attribuant une étiquette contenant des informations sur leur itinéraire. Contrairement aux protocoles réseau traditionnels, MPLS combine les fonctionnalités de la couche liaison de données et de la couche réseau en une seule

entité, ce qui le classe comme un protocole de niveau 2.5. Grâce à l'utilisation des étiquettes, MPLS offre une qualité de service constante et fiable, même pour les applications les plus sensibles à la latence et à la gigue.

A. Structure d'en-tête MPLS

L'en-tête MPLS est conçu pour permettre aux routeurs MPLS de faire circuler rapidement et efficacement les paquets de données dans le réseau en utilisant des étiquettes pour acheminer les paquets vers leur destination. Cet en-tête est constitué des champs suivants :

Label: ce champ se compose d'une étiquette de 20 bits qui permet d'identifier le chemin à emprunter par le paquet de données.

Expérimental (EXP) : C'est un champ de 3 bits qui permet d'attribuer une priorité ou une qualité de service spécifique au paquet de données.

Bottom of Stack (S): C'est un unique bit qui indique si l'étiquette en cours est la dernière dans la pile d'étiquettes. Si ce bit est à 1, cela signifie que l'étiquette actuelle est la dernière de la pile.

Time To Live (TTL) : C'est un champ de 8 bits utilisé pour éviter que les paquets ne circulent indéfiniment dans le réseau.

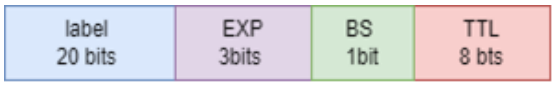


Fig. 1: En-tête MPLS

B. Opération sur label

Les opérations des labels MPLS, telles que le pop, le swap et le push, sont utilisées pour effectuer des manipulations sur les étiquettes des paquets MPLS lors de leur acheminement dans le réseau. Ces opérations permettent d'optimiser la commutation des paquets et de garantir un transfert efficace des données.

Table I: Opération menée par les labels [6]

Action	Description
POP	Opération de suppression, réalisée par routeur de sortie LER, consiste à retirer la dernière étiquette utilisée dans le réseau MPLS et à envoyer le paquet au client.
SWAP	Opération d'échange de label, consiste à remplacer la valeur d'étiquette supérieure d'un paquet par une nouvelle étiquette.
PUSH	Opération d'insertion d'étiquette, réalisée par routeur d'entrée LER, consiste d'ajouter label dans le réseau.

C. Element dans le domaine MPLS

Les éléments impliqués dans les mécanismes du protocole MPLS sont les suivants :

- **LSR (Label Switching Router) :** c'est un équipement de type routeur appartenant au cœur du réseau MPLS qui permet de gérer l'échange des labels ainsi leurs tables de routage associés.
- **LER (label Edge router) :** c'est un type LSR, situé au bord du réseau MPLS, supporte le réseau MPLS et IP à la fois. Il existe deux types :
  - Ingress LER : qui gère le trafic entrant dans le réseau MPLS.
  - Egress LSR : qui gère le trafic sortant dans le réseau MPLS.
- **Label Switched Path (LSP) :** un ensemble de LSR qui forment le chemin emprunté par un paquet pour atteindre sa destination.
- **Classe d'équivalence FEC :** représente un ensemble de paquets transmis sur un réseau MPLS de même manière.

D. Architecture MPLS

L'architecture MPLS, illustré dans la figure 2,a été développée dans le but d'accroître la flexibilité en séparant les plans de données et de contrôle, ce qui facilite la commutation des étiquettes. Grâce à cette approche, il devient possible de traiter les données de manière plus efficiente tout en offrant des fonctionnalités avancées au sein des réseaux.

*1) **Plan de Contrôle**:* Le plan de contrôle joue un rôle crucial en assurant la transmission d'informations de routage et d'étiquetage entre les routeurs voisins. Les protocoles de routage à état de liaison sont utilisés pour partager les informations de routage avec des routeurs qui ne sont pas directement connectés, tandis que les informations d'étiquetage ne sont transmises qu'aux routeurs adjacents. Le plan de contrôle se compose de deux types de protocoles : les protocoles de routage et les protocoles d'échange d'étiquettes, qui sont tous deux des protocoles d'information. Pour faciliter cet échange d'informations, des protocoles de signalisation tels que le LDP (Label Distribution Protocol) ou le RSVP-TE (Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering) sont indispensables[7]. Ces protocoles permettent aux routeurs MPLS de partager des données relatives aux étiquettes et aux chemins. En coordonnant et en mettant à jour les informations de routage entre les nœuds MPLS, ces protocoles de signalisation sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement du plan de contrôle.

*2) **Plan de Données**:* Le plan de donnée, également connu sous le nom de plan de transfert, assure le routage des paquets en utilisant les étiquettes MPLS. Chaque paquet est associé à une étiquette qui indique le chemin de transmission. Les routeurs MPLS exploitent ces étiquettes pour commuter rapidement les paquets, évitant ainsi de consulter les tables de routage traditionnelles à chaque étape. Chaque routeur MPLS est doté de deux tables : la base d'informations d'étiquettes (LIB) et la base d'informations de transfert d'étiquettes (LFIB). Le plan de données se sert du LFIB, maintenu par le routeur MPLS compatible, pour acheminer les paquets étiquetés. La table LIB conserve toutes les étiquettes locales

assignées par les routeurs locaux, ainsi que les correspondances d'étiquettes reçues des routeurs MPLS adjacents[7]. Pour un transfert efficace des paquets, le LFIB utilise un sous-ensemble des étiquettes enregistrées dans la LIB. Les routeurs MPLS compatibles utilisent le LFIB et les informations de valeur des étiquettes pour prendre des décisions d'acheminement.

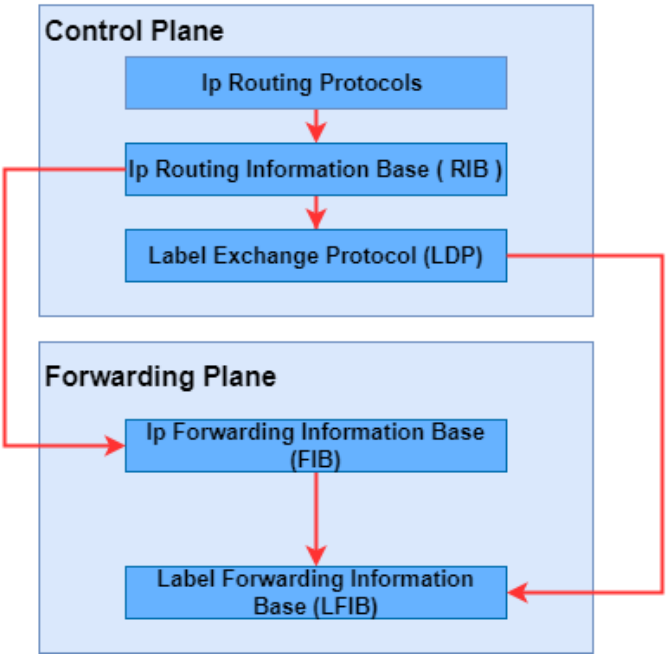


Fig. 2: Architecture de L'MPLS

E. Distrubition des labels

La distribution d'étiquettes implique l'utilisation de différents protocoles pour attribuer des étiquettes et créer des chemins LSP. Dans cette étude, les protocoles les plus couramment utilisés comme protocoles de signalisation avec MPLS, à savoir LDP et RSVP-TE seront abordés.

1) ***Protocole LDP*** *:* C'est un mécanisme de distribution d'étiquettes entre les routeurs dans un réseau MPLS. Chaque routeur génère localement des étiquettes pour ses préfixes, puis diffuse les valeurs des étiquettes à ses voisins. Le tunnel de commutation d'étiquettes (LSP) est utilisé pour le transfert de données dans le réseau MPLS. Lorsqu'un paquet arrive dans le réseau MPLS, le routeur d'entrée lui ajoute une étiquette MPLS et l'envoie au saut suivant en fonction de l'adresse de destination du paquet. À l'arrivée du paquet au routeur de sortie, ce dernier retire l'étiquette et transmet le paquet au destinataire final. Le protocole LDP est largement utilisé pour mettre en place des réseaux MPLS, en particulier pour les opérateurs de télécommunications [7].

2) ***Protocol RSVP-TE****:* Le protocole RSVP-TE étend le protocole RSVP pour les réseaux MPLS, permettant la mise en place de chemins de transport de données à travers le réseau, tout en prenant en compte les contraintes de QoS et d'ingénierie de trafic. Le RSVP-TE garantit ainsi les exigences de bande passante, de latence et de disponibilité nécessaires pour des applications. En tant que l'un des deux principaux protocoles utilisés par le MPLS pour la création des routes, à l'aide deux types de message PATH et réservation RSVP-TE joue un rôle clé dans la gestion efficace du trafic sur les réseaux de communication [8].

3) ***MPLS-TE****:* L'ingénierie de trafic permet aux fournisseurs de services de gérer le flux de données sur leur réseau en fournissant aux utilisateurs le meilleur service possible tout en minimisant les pertes de paquets et les temps de latence, en maximisant le débit et en respectant les accords de niveau de service. Dans ce contexte, la technologie MPLS-TE est souvent déployée pour éviter ou réduire les problèmes de congestion réseau et améliorer la qualité de service offerte aux utilisateurs.

III. QUALITÉ DE SERVICE

Dans les réseaux de communication modernes, la qualité de service revêt une importance capitale. Elle vise à assurer des performances optimales pour les applications critiques, comme la voix sur IP (VoIP) ou la diffusion en continu de vidéos. En réalité, la qualité de service d'un réseau se réfère à sa capacité à transmettre des données dans des conditions favorables, afin de fournir un niveau de performance fiable et prévisible aux applications et services qui y sont exécutés. En d'autres termes, la qualité de service permet de donner des priorités différentes à divers flux de données ou applications, garantissant ainsi que chaque type de trafic soit traité en fonction de ses besoins spécifiques. Grâce à la mise en place de mécanismes de QoS dans les réseaux IP/MPLS, il devient possible d'offrir une expérience utilisateur satisfaisante pour une variété d'applications, telles que la voix sur IP, la vidéo en continu, les services sensibles à la latence, ainsi que d'autres applications à forte consommation de bande passante.

A. Critère de qualité de service

La qualité de service (QoS) MPLS peut être mesurée en fonction de critères tels que le taux de perte de paquets, la gigue (variation de la latence) ou le débit, améliorée par l'utilisation de mécanismes tels que la gestion des files d'attente et la réserve de bande passante.

- **bande passante:**aussi appelée " débit ", est dotée de la quantité maximale de données qui peuvent être transmises entre deux points en une seconde, ou encore la vitesse moyenne à laquelle des données peuvent être transmises entre deux nœuds du réseau. Elle est mesurée en bits par seconde (bits/s).
- **Délai de bout en bout:**correspond à la période de temps qui d'écoule entre l'envoi d'un paquet par la source et sa réception par destinataire, il existe différents types de délai, notamment :
  - **Délai de traitement:** les routeurs ont besoin d'un certain temps pour traiter les en-têtes des paquets.

- **Délai de d'attente:** qui comprend le temps nécessaire pour mettre un paquet en fichier d'attente dans le réseau et l'envoyer à sa destination.
- **Délai de transmission :** correspond au temps nécessaire pour placer la trame sur le support de transmission.
- **Délai de propagation:**représente le temps nécessaire à un signal pour se propager sur un support après avoir été transmis.

- **Gigue:** La gigue fait référence à la fluctuation du délai de bout en bout pendant la transmission. Une gigue trop importante peut affecter les flux multimédias temps-réel en détruisant la relation temporelle entre les trains de données transmis régulièrement par le flux multimédia, ce qui complique leur compréhension par le récepteur. La gigue est généralement imposée par la charge du réseau à un moment donné et les changements dans les itinéraires empruntés dans le réseau [9] .

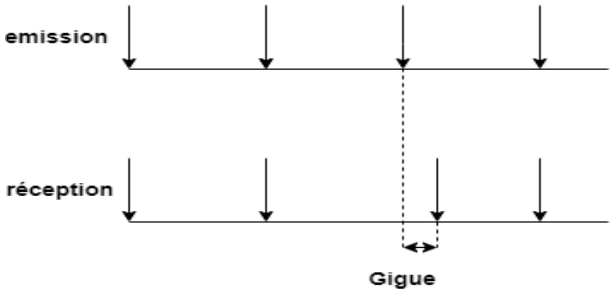


Fig. 3: Illustration du concept de la gigue

- **Perte de paquet:** Ce paramètre indique la proportion d'unités de données qui ne peuvent pas être acheminées vers leur destination dans un intervalle de temps donné. Cette situation peut survenir lorsque le réseau est surchargé, manque d'espace dans une interface, défaillance d'un équipement ou de toute autre raison empêchant la transmission réussie d'un paquet. Dans ce cas, les paquets ultérieurs qui doivent passer par cette interface seront rejetés.

B. Approche de la QOS

Les modèles de service dans les réseaux IP/MPLS sont des approches qui permettent la façon dont les services de communication sont fournis et gérés sur ces réseaux. Ces modèles permettent de définir les caractéristiques, les performances garanties et les fonctionnalités offertes aux utilisateurs et aux applications.

1) ***Modèle Best Effort*** *:* Le modèle "best effort" se réfère à un mode de fonctionnement où le réseau fait de son mieux pour acheminer les données, sans garantir une qualité de service spécifique. Dans le cadre du réseau IP, il n'y a aucune garantie du délai de livraison, à la réservation de bande passante ou à la priorité accordée à certaines données [10]. Il n'existe aucune garantie absolue quant à la livraison des données à leur destination dans un délai fixe et sans perte. Au lieu de cela, toutes les données sont traitées de manière égale et acheminées en fonction des ressources disponibles au moment de leurs transmission. Malgré ses limitations, le modèle "best effort" a été très efficace pour soutenir une vaste gamme d'applications et de services sur Internet, tels que la navigation web, le courrier électronique et la diffusion en continu de vidéos[11].

Afin de répondre aux besoins croissants en matière de QoS, de nouvelles architectures de réseau ont été développées. Ces architectures comprennent le modèle IntServ (Integrated Services) qui intègre les services et le modèle DiffServ (Differentiated Services) qui se concentre sur la différenciation des services.

2) ***Modèle IntServ****:* Le modèle IntServ qui a été introduit en 1994 par l'IETF, est un modèle de qualité de service (QoS) utilisé dans les réseaux IP/MPLS pour fournir une garantie de qualité de service spécifique. En réservant des ressources réseau spécifiques pour chaque flux de données, garantissant ainsi une QoS déterminée. Cela permet d'assurer des performances fiables pour des applications nécessitant une faible latence ou une grande bande passante, telles que la voix sur IP (VoIP) ou la vidéo en temps réel. Le modèle IntServ repose sur deux principes fondamentaux le contrôle d'admission et le mécanisme de réservation de ressources. Le contrôle d'admission détermine si une nouvelle demande de service peut être acceptée en fonction des ressources disponibles et des exigences de QoS prédéfinies. Le mécanisme de réservation de ressources utilise le protocole de signalisation RSVP pour établir cette réservation en transmettant des messages spécifiques de réservation de ressources, qui indiquent aux nœuds du réseau la quantité de bande passante souhaitée pour une communication donnée. Cependant, l'approche IntServ a des limitations en termes de scalabilité et de gestion des ressources, ce qui a conduit au développement du modèle DiffServ.

3) ***Modèle DiffServ****:* Le modèle DiffServ, également connu sous le nom de Services Différenciés, est une approche de gestion de la qualité de service utilisée dans les réseaux IP pour classer et gérer le trafic en fonction de niveaux de priorité différents. Son concept fondamental est de fournir une qualité de service non pas par flux individuel, mais par classe de paquets IP. L'objectif est de réduire autant que possible la complexité du traitement aux frontières du réseau, afin de ne pas surcharger le cœur du réseau.

Dans ce modèle, les paquets IP sont marqués avec Differentiated Services Code Point (DSCP) dans leurs en-têtes, ce qui permet aux routeurs du réseau de les traiter de manière distincte en fonction de leurs exigences de qualité de service[9].

Le modèle DiffServ est couramment utilisé dans les réseaux IP pour fournir une différenciation de service adaptée aux besoins des applications. Il offre une approche évolutive et simplifiée par rapport au modèle IntServ, permettant une

gestion plus fine du trafic sans nécessiter de réservation de ressources spécifiques pour chaque flux de données. DiffServ divise les 8 bits de l'en-tête IP comme présenté dans la figure 4.

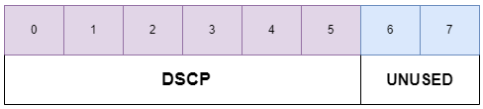


Fig. 4: Le champ DSCP de DiffServ [1]

Actuellement, les codes de différenciation de service utilisent 6 bits, tandis que les deux derniers bits restent inutilisés.

C. Architecture du réseau diffserv

Les routeurs dans l'architecture DiffServ peuvent être catégorisés en deux types : les routeurs "Core" situés dans le cœur du réseau et les routeurs "Edge" situés à sa frontière. Les routeurs "Core" du domaine DiffServ effectuent des opérations de base telles que la mise en tampon et l'acheminement des paquets pour chaque flux, en se basant uniquement sur les marquages et classification effectués par les routeurs "Edge". Les routeurs "Core" intègrent les deux mécanismes essentiels du modèle DiffServ, Scheduling et la gestion des files d'attente (Queuing). C'est à ce niveau que la différenciation de service est mise en œuvre, en fonction des politiques établies [12].

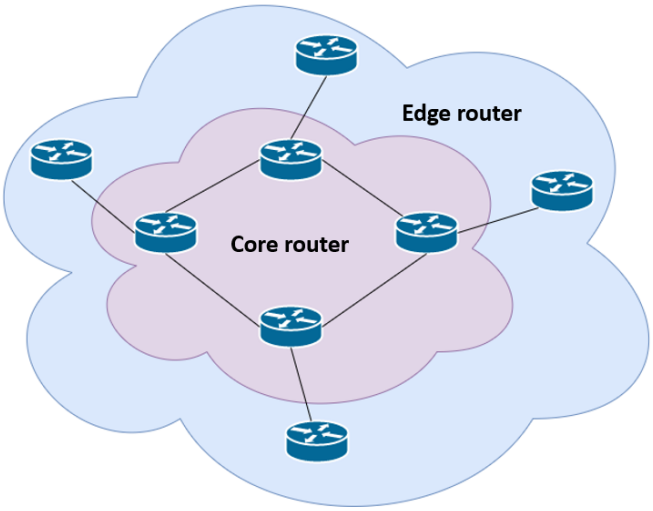


Fig. 5: Aspect général d'un réseau DiffServ[12]

D. Mécanismes QOS

Dans MPLS, il existe plusieurs mécanismes de QoS qui permettent de fournir différentes fonctionnalités pour garantir des performances de réseau différenciées. Ces fonctionnalités incluent généralement les éléments suivants :

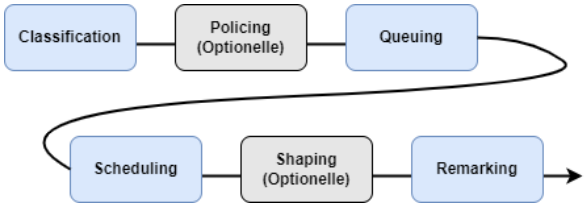


Fig. 6: mécanisme QOS [13]

1) ***Classification****:* La classification des flux de données est un processus qui consiste à regrouper les paquets en fonction de critères prédéfinis, et cela se produit lorsque les paquets atteignent un routeur. Dans le contexte de la QoS dans MPLS, la classification est utilisée pour reconnaître les divers types de trafic présents sur le réseau MPLS, tels que la voix, la vidéo, les données critiques, etc. En d'autres termes, la classification sépare et identifie les différents flux de trafic en se basant sur une variété de champs dans les en-têtes des paquets, tels que les ports TCP/UDP, les protocoles, adresse IP de source et de destination et préfixe de sous réseau.

2) ***Policing*** *:* Dans le cadre de MPLS, le policing est couramment utilisé pour limiter le débit des flux de données à des niveaux préétablis, afin de garantir la conformité aux politiques de QoS établies. Lorsqu'un flux dépasse les limites fixées, différentes actions peuvent être entreprises, telles que la modification de la priorité des paquets ou le rejet des paquets excédentaires, dans le but de préserver les revenus des opérateurs. Il est important de souligner que le policing est une fonctionnalité facultative qui peut être configurée en fonction des besoins spécifiques du réseau. Par exemple, limiter le taux de paquets HTTP à 50 de la capacité du réseau est un exemple de l'application de cette technique[7].

3) ***Queuing****:* Queuing (la file d'attente) est un mécanisme utilisé pour gérer les flux de trafic lorsqu'ils doivent être transmis sur une interface réseau spécifique. Dans MPLS, les files d'attente sont souvent utilisées pour appliquer différentes priorités aux différents types de trafic. Par exemple, des files d'attente peuvent être configurées pour donner la priorité au trafic voix sur le trafic de données moins critique. Cela permet d'assurer un traitement équitable et une allocation appropriée des ressources du réseau en fonction des exigences de QoS définies.

Les files d'attente permettent de contrôler et de prioriser le flux de trafic dans un réseau MPLS. Elles permettent également de résoudre les problèmes de congestion en régulant la vitesse d'envoi des paquets. Par exemple, si une file d'attente est surchargée, les paquets peuvent être temporairement mis en attente dans une autre file d'attente moins sollicitée afin de maintenir un flux de trafic équilibré.

Le Queuing peut se faire en utilisant différentes stratégies :

- **Priority Queuing (PQ):**Dans le contexte des réseaux IP/MPLS, la notion de "queue priority" désigne la

préférence accordée aux paquets de données dans les files d'attente. Cette fonctionnalité permet de donner une priorité à certains types de trafic tout en permettant aux autres d'être éliminés lorsque les files d'attente sont pleins [7]. En situation de congestion, la file d'attente prioritaire est utilisée pour déterminer l'ordre de traitement des paquets lorsque la capacité du lien ou du routeur devient limitée. Les paquets de haute priorité bénéficient d'une plus grande probabilité d'être traités en premier, tandis que les paquets de basse priorité peuvent être éliminés voire supprimés si les ressources sont insuffisantes.

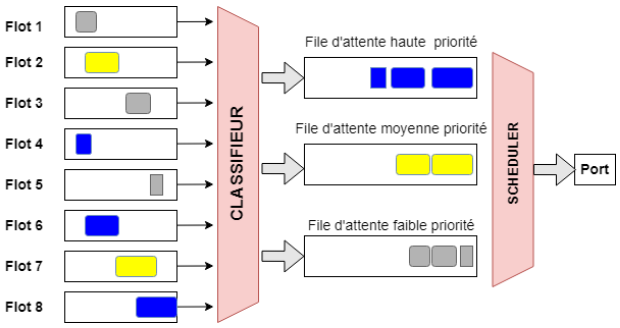


Fig. 7: priority queuing[12]

- **Delay buffer:**Un "delay buffer" se réfère à une mémoire tampon utilisée pour compenser les retards dans la transmission des paquets. Cette mémoire tampon, appelée delay buffer, permet de gérer les variations de délai et d'atténuer les effets de la congestion sur les paquets qui traversent le réseau MPLS. Son rôle est de stocker temporairement les paquets en attente de transmission, ce qui aide à maintenir un flux régulier et à minimiser les retards induits par la congestion.

*4) **Scheduling**:* Une fois que les paquets ont été classifiés et que le contrôle du trafic a été effectué, ils sont dirigés vers les interfaces de transmission, où ils sont mis en attente dans des files d'attente jusqu'à ce qu'ils puissent être transmis. Le "scheduler" est le mécanisme chargé de prendre la décision concernant l'ordre dans lequel les paquets seront transmis. C'est une fonction cruciale pour garantir une qualité de service (QoS) appropriée et une utilisation efficace des ressources du réseau [11].

Dans le contexte du MPLS, l'objectif de l'ordonnancement est d'optimiser l'utilisation des ressources, d'assurer une répartition équitable du traitement entre les différentes classes de trafic, et de respecter les exigences de QoS définies pour chaque type de trafic.

Le scheduling peut se faire en utilisant différentes stratégies ou algorithmes, tels que :

- **FIFO (First-In-First-Out):** Les paquets sont traités dans l'ordre d'arrivée, ce qui signifie que le premier paquet arrivé est le premier à être envoyé [14].

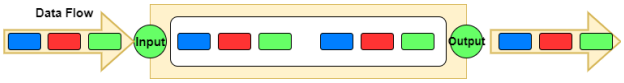


Fig. 8: First In First Out

- **Round Robin :** Les paquets sont traités en suivant un cycle, en alternance entre les différents fichiers d'attente. Chaque fichier d'attente reçoit un tour de traitement équitable avant de passer à la suivante.

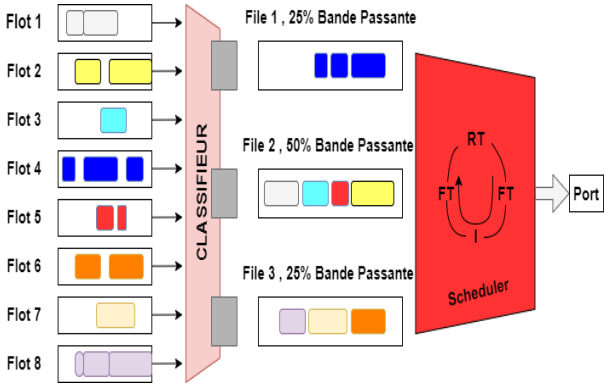


Fig. 9: Round Robin [13]

- **Weighted Round Robin :** Les paquets sont traités en utilisant un algorithme de garrot pondéré, où chaque file d'attente est associé à un poids spécifique. Les dossiers d'attente ayant des poids plus élevés obtiennent une partie de traitement plus importante[14].

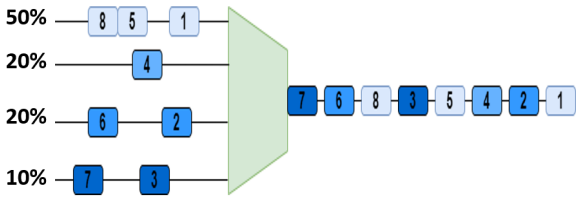


Fig. 10: Weighted Round Robin[13]

- **Priorisation :** Les paquets sont traités en fonction des priorités qui leur sont attribuées. Les paquets à haute priorité sont traités en premier, garantissant un traitement rapide pour les flux critiques.

*5) **Shaping**:* Dans le contexte de l'IP/MPLS, le "shaping" est une technique de gestion du trafic qui vise à contrôler le débit de sortie d'un périphérique réseau. Son objectif est d'éviter les congestions et de garantir une utilisation efficace des ressources du réseau. Une fonction essentielle du "shaping" est de mettre en mémoire tampon les paquets au lieu de les abandonner en cas de congestion. Ainsi, les paquets sont temporairement stockés plutôt que d'être abandonnés lorsqu'il y a une surcharge de trafic.

*6) **Remarking**:* Le marquage du trafic consiste à appliquer une ”marque” aux flux de trafic, telle que la priorité d'un paquet ou une valeur attribuée au champ DSCP, afin de permettre aux équipements du réseau de les traiter selon une politique de gestion spécifique. Il fait référence à la modification ou à la ré étiquette des paquets pendant leur transit sur le réseau. Cela implique de modifier les valeurs des champs d'en-tête des paquets afin de les adapter aux exigences particulières de la politique de qualité de service ou à d'autres fonctionnalités spécifiques du réseau plus simplement de libeller en terme QoS.

IV. Conclusion

En conclusion, MPLS est une technologie puissante qui joue un rôle essentiel dans les réseaux d'entreprise modernes. En fournissant une connectivité fiable, une gestion de la QoS et une consolidation des services, MPLS aide les entreprises à améliorer leurs performances réseau, leur résilience et leur efficacité opérationnelle. Sa large adoption dans les réseaux d'entreprise s'explique par sa capacité à offrir une connectivité prévisible et fiable, ainsi qu'une meilleure gestion de la QoS pour les applications sensibles aux délais, telles que la voix sur IP et la vidéo en streaming.

L'un des principaux avantages de MPLS réside dans sa capacité à fournir des mécanismes avancés de gestion des files d'attente, de priorisation et de routage. Ces fonctionnalités garantissent des délais de transmission cohérents, une faible latence et une bande passante réservée pour les applications critiques telles que la voix sur IP (VoIP) et la vidéo en streaming.

En termes de gestion du trafic, MPLS permet la mise en place de politiques de classe de service (CoS) pour hiérarchiser le trafic en fonction de critères prédéfinis. Cela assure une priorité adéquate aux applications critiques, évitant ainsi les engorgements et les ralentissements du réseau.

En outre, L'avantage majeur de la QoS de MPLS réside dans sa capacité à garantir des performances fiables et cohérentes pour des applications sensibles aux délais, telles que la voix sur IP et la vidéo en temps réel. Grâce à la classification et à la priorisation du trafic, MPLS permet d'attribuer des niveaux de priorité différents aux différents types de données. Ainsi, les données critiques peuvent bénéficier d'une bande passante garantie et d'un acheminement préférentiel, évitant ainsi les retards et les perturbations.

References

[1] Kachou Mohamed Amine and Mazaei Abdessamed. Implementationdes services MPLS (TE, QOS et VPN) dans le reseau coeur sous eNSP. memoire master spécialité Télécommunications, Réseaux et Multimédia, Universite des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, July 2019.

[2] Viswanathan, Arun and Rosen, Eric C. and Callon, Ross.Internet Engineering Task Force. Multiprotocol Label Switching Architecture. RFC3031.2001

[3] Bourahla Asma and Mehenni Manel. Etude et conception d'un reseau IP/MPLS por un operateur de telephonie mobile. memoire master spécialité Télécommunications, Réseaux et Multimédia, Universite des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, June 2016.

[4] Turcanu, Dinu.QUALITY OF SERVICES IN MPLS NETWORKS. September 2020. livre.

[5] Jean-Louis Melin. Qualité de service sur IP, Ethernet, Frame Relay et ATM. Eyrolles, March 2001.livre.

[6] Muhammad Romdzi Ahamed Rahim, Habibah Hashim, and Ruhani Ab Rahman. Implementation of Quality of Service (QoS) in MultiProtocol Label Switching (MPLS) Networks. PhD thesis, Universiti Teknologi Mara (UiTM), 2009.

[7] Bertukan Hussen. Deploying End-to-End Quality of Service in Telecommunication Networks and Multiple Label Switching Virtual Private Networks.Master's thesis, St. Mary's University, February 2023.

[8] GUILLON Samuel et ROBIN David, ≪RSVP-TE: Ressource ReSerVation Protocol Traffic Engineering≫,2005. http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2004/GuillonRobin/public/3rsvpte/31presentation.htm (consulté le 23 mai 2023).

[9] Khodor ABBOUD. Conception et évaluation d'un modéle adaptatif pour la qualité de service dans les réseaux MPLS. PhD thesis, ECOLE CENTRALE DE LILLE , spécialité télecommunication, France, December 2010.

[10] Sabri, Gull Hussain, Master of Electrical Engineering with emphasis

[11] Chaib Wafa and Ben Dania Yasmina. Gestion de la Qualiter de Service dans les reseaux NGN. memoire master, Spécialité Réseaux convergence et sécurité, Universite Kasdi Merbah-Ouargla,2014.

[12] RAMAHAROBANDRO Rahasina Fenomanjato Mariah.étude des performances des mécanismes de qualité de service dans un réseau MPLS avec traffic engineering.mémoire master, université d'Antananarivo.

[13] Juniper Networks. Qu'est-ce que la qualité de service ? — Juniper Networks états-Unis (consulté le 30 mai 2023).

[14] Daniel. Quality of Service (QoS) Queues and Queuing Explained, September 2021(consulté le 01 juin 2023).