

Une nouvelle approche des VLAN basée sur Ethernet et la commutation de labels

Thierry K.Feuzeu, Bernard Cousin
IRISA/INRIA – Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France
tfeuzeuk@irisa.fr bcousin@irisa.fr
<http://www.irisa.fr/armor>

Résumé : L'évolution des réseaux est marquée aujourd'hui par deux grandes tendances : l'utilisation d'Ethernet pour le transport des données sur la couche 2 et l'utilisation de la commutation de labels pour la gestion du trafic (MPLS s'est imposé comme le standard). Avec *LaidaNet*, nous avons voulu combiner ces deux techniques afin d'améliorer les services fournis dans les réseaux locaux, notamment les VLAN.

Les commutateurs dans un réseau *LaidaNet* redirigent les trames grâce aux labels qu'elles contiennent, tandis que les stations ont un comportement standard. La distribution des labels est assurée par un *contrôleur*, qui a en charge la configuration du réseau.

La commutation de labels permet d'offrir dans *LaidaNet* des fonctionnalités avancées de gestion de trafic, telles que l'agrégation de flux et le routage explicite. La présence du *contrôleur* permet de réduire le recours à la diffusion, et de simplifier les fonctions des commutateurs. L'implémentation des VLAN dans *LaidaNet* est particulièrement intéressante, car elle permet une grande flexibilité dans la définition des VLAN, sans toutefois modifier le fonctionnement des commutateurs. Par conséquent, leurs performances ne sont pas dégradées par la présence des VLAN.

Mots clés : VLAN, réseaux locaux, Ethernet, commutation de labels

1 Introduction

Ethernet est la technologie la plus utilisée aujourd'hui dans les réseaux locaux, en raison de son débit de plus en plus élevé, de son faible coût, de sa facilité d'utilisation, de maintenance, et de sa capacité à supporter différents types d'applications. Cependant, du fait du partage d'un support physique unique et des collisions qui en résultent, les réseaux locaux Ethernet offrent une bande passante cumulée limitée à celle du support physique, et qui diminue avec le nombre de stations et l'envergure du réseau.

Pour faire face à ce problème, les techniques de pontage sont généralement employées. Les segments Ethernet sont interconnectés par des ponts ou commutateurs, qui ont pour rôle de filtrer et rediriger le trafic entre les stations. Cette technique permet de réduire les

domaines de collisions, et par conséquent d'améliorer les services offerts dans les réseaux locaux. Associée aux techniques de pontage, la technique de VLAN (*Virtual Local Area Network*) permet de segmenter un réseau local ponté en plusieurs domaines de diffusion. Elle facilite ainsi la gestion, améliore les performances et la sécurité dans les réseaux locaux.

Cependant, les techniques de pontage et les VLAN ne résolvent pas tous les problèmes d'extensibilité d'Ethernet. L'absence de mécanismes avancés de gestion de trafic rend difficile la mise en œuvre de services tels que le routage explicite, la réservation de ressources ou la protection contre les pannes. De plus, pour des réseaux auxquels sont connectées un grand nombre de stations, les commutateurs sont sujets à des risques d'explosion de leurs tables de pontage.

Dans ce document, nous proposons une technique de pontage basée sur la commutation des labels qui permet d'améliorer les services fournis dans un réseau Ethernet, en particulier les VLAN, grâce à la commutation de labels.

Le chapitre 2 présente les techniques de pontage et les implémentations actuelles des VLAN. Le chapitre 3 présente la commutation de labels, et le chapitre 4 décrit l'implémentation des VLAN dans *LaidaNet*, après avoir présenté son architecture et son fonctionnement.

2 Les VLAN dans Ethernet

Les réseaux locaux Ethernet [IEEE 802.3 02] sont limités tant dans leur expansion que dans la quantité de données pouvant y être transportée. Ceci tient au fait qu'un segment Ethernet constitue un seul domaine de collision et un seul domaine de diffusion. Une trame envoyée par une station est reçue par toutes les autres. Toute la largeur de bande est occupée par la seule station émettrice, et une émission simultanée cause une collision et la perte des données transmises.

Il est alors logique de segmenter un réseau local fortement chargé ou très étendu en plusieurs composantes. Chaque composante est un segment, et constitue un domaine de collision distinct, l'ensemble formant un domaine de diffusion unique. C'est la technique du pontage [IEEE 802.1D 98]. L'élément d'interconnexion permettant de relier les différents segments physiques est appelé un commutateur, ou un pont. Un commutateur opère à la couche Liaison de Données (couche 2), où il filtre et redirige le trafic entre les segments interconnectés. La charge de l'ensemble du réseau s'en trouve améliorée car les stations peuvent émettre sur un segment indépendamment du trafic existant dans d'autres segments.

En l'absence d'autre mécanisme, un réseau ponté constitue un seul domaine de diffusion. Une trame diffusée par un hôte sur un segment est propagée à tous les autres segments, saturant la bande passante du réseau entier. Seule la présence d'un routeur permet de restreindre la diffusion, mais cette solution manque de flexibilité car toutes

les stations connectées à une même interface d'un routeur appartiennent forcément à un même domaine de diffusion.

Les commutateurs fournissent une méthode de segmentation nommée VLAN (*Virtual LAN*). Un VLAN est un ensemble de stations, de serveurs et d'autres ressources réseaux qui se comportent comme si elles étaient connectées à un même segment Ethernet, alors qu'elles ne le sont pas en réalité. Les VLAN permettent de regrouper les stations d'un LAN ponté dans des domaines de diffusion distincts, indépendamment de leur emplacement physique dans le réseau. Ce faisant, ils facilitent ainsi la conception, l'administration et la gestion du réseau. Lorsqu'ils sont bien configurés, ils permettent au réseau de s'adapter rapidement et facilement à l'ajout ou la réorganisation des stations.

2.1 Les fonctions des commutateurs

Le filtrage et la redirection des trames constituent les principales fonctions d'un commutateur. Pour remplir ces fonctions, il doit apprendre et noter dans sa table de pontage la position relative des stations du réseau. En outre, la présence de liens redondants dans l'interconnexion crée des problèmes qui sont résolus grâce au protocole du *Spanning Tree*.

2.1.1 Le filtrage

Lorsqu'un commutateur reçoit une trame en circulation sur le réseau local, il interprète l'adresse de destination et décide s'il doit la rediriger ou non vers un autre réseau local. Les informations servant à la décision de redirection sont enregistrées dans une table de pontage (*forwarding database*). Les entrées de la table de pontage indiquent pour chaque destination accessible à travers le commutateur le port sur lequel les trames doivent être redirigées ; elles résultent de la fonction d'apprentissage. Lorsqu'une adresse ne peut être trouvée dans la table de pontage, la trame est re-émise sur toutes les sorties du commutateur à l'exception de son port d'entrée. Il est ainsi possible d'atteindre les stations dont l'emplacement n'est pas encore connu.

2.1.2 L'apprentissage

La fonction d'apprentissage consiste en la création et la maintenance des entrées de la table de pontage. Le commutateur analyse à cette fin l'ensemble du trafic reçu sur tous ses ports. Pour chaque trame reçue, il enregistre dans sa table de pontage l'adresse MAC de l'émetteur et le port local sur lequel elle a été reçue. Cette technique s'appelle l'apprentissage par la source, et part du principe que le port sur lequel une trame est reçue est l'itinéraire le plus probable vers la station émettrice. Pour maintenir les entrées de sa table de pontage constamment à jour, le commutateur associe à chacune d'elles un temps d'activité, qui indique la durée de validité de l'entrée. Le commutateur met cette valeur à jour chaque fois qu'il reçoit une trame émise par la station correspondante. Si le temps d'activité s'est écoulé, l'entrée est supprimée car on suppose que la station est soit éteinte, soit déconnectée du réseau.

2.1.3 Le *Spanning Tree*

Dans un réseau local ponté, il existe souvent des liens redondants. Par exemple pour des raisons de répartition des charges et de sécurité en cas de panne, on peut placer plusieurs commutateurs en parallèle pour relier des réseaux locaux. Or en présence de boucle, la fonction de filtrage duplique inutilement le trafic, et la fonction d'apprentissage produit des entrées erronées dans la table de pontage [Stallings 97].

Pour résoudre ce problème, on met en place le protocole *Spanning Tree* ou arbre de recouvrement [IEEE 802.1D 98]. Son rôle est de reconnaître les liens redondants dans la topologie cyclique et établir une structure arborescente ne contenant plus aucune boucle. Les liens redondants sont désactivés, et peuvent être réactivés au besoin, par exemple en cas de panne d'un port ou d'un commutateur actif : la redondance dans l'interconnexion reste ainsi utile. Les commutateurs échangent des BPDU (*Bridge Protocol Data Units*) et arrivent de manière décentralisée à désactiver les ports qui créent des redondances dans l'interconnexion.

2.2 Mise en œuvre des VLAN

Les implémentations des VLAN diffèrent selon les informations utilisées pour regrouper les stations. Trois modèles existent pour déterminer l'appartenance d'une trame à un VLAN, respectivement basés sur le port, sur l'adresse MAC, et sur le protocole ou l'adresse de niveau 3 [Passmore *et al.* 96].

2.2.1 Les VLAN basés sur le port

Dans ce modèle, chaque port d'un commutateur est attribué à un VLAN, et par conséquent, toutes les stations connectées à un port appartiennent à un même VLAN. Le commutateur détermine l'appartenance du paquet à un VLAN en notant le port sur lequel il a été reçu, et le retransmet alors sur tous les autres ports appartenant au même VLAN. Lorsqu'une station est déplacée sur un autre port, le nouveau port est également attribué au VLAN auquel appartient la station.

Ce modèle de VLAN manque de flexibilité, car toutes les stations connectées à un même port d'un commutateur doivent obligatoirement appartenir à un même VLAN. De plus, l'information sur le port est perdue après le premier commutateur traversé.

2.2.2 Les VLAN basés sur l'adresse MAC

Dans ce modèle, le VLAN est déterminé par l'adresse MAC source ou de destination de la trame. Les commutateurs associent à chaque adresse MAC détectée sur le réseau un VLAN. L'adresse MAC étant inscrite en dur dans les stations, ce modèle permet de conserver la répartition des stations dans les VLAN même après une modification de la topologie. Par conséquent, les commutateurs ne sont pas reconfigurés lorsqu'une station est déplacée sur un autre port. Des stations appartenant à des VLAN différents peuvent aussi être connectées au même port d'un commutateur.

Cependant, on note une dégradation des performances si des membres de plusieurs VLAN différents sont connectés sur le même port d'un commutateur, ou si le nombre de membres des VLAN augmente. Un autre problème inhérent à ce modèle est la mise à jour des tables de correspondance entre adresse MAC et VLAN, tâche qui peut être ardue pour un grand nombre de stations. Enfin, une adresse MAC ne peut facilement être membre de deux VLAN différents.

2.2.3 Les VLAN basés sur le protocole ou l'adresse de niveau 3

Ici, l'appartenance d'un paquet à un VLAN est basé sur le protocole (lorsque plusieurs protocoles sont simultanément utilisés) ou sur les adresses de niveau 3. Ce modèle permet une plus grande flexibilité dans le regroupement des stations en VLAN, car les adresses de niveau 3 sont plus facilement reconfigurables. Une station peut être déplacée sans avoir besoin de changer d'adresse, et une même station peut être facilement associé à plus d'un VLAN, ce qui permet de partager des ressources entre différents VLAN. Ce modèle est particulièrement intéressant pour définir les VLAN en fonction des services ou des applications ; les stations IP et IPX peuvent par exemple être associés à des VLAN différents.

Le principal inconvénient de ce modèle est la dégradation des performances due à la complexité de la fonction d'inspection des données de niveau 3. Pour cette raison, les VLAN basés sur la couche 3 sont généralement les moins rapides. Ils sont particulièrement efficaces dans le cas du protocole IP, mais le sont moins pour des protocoles tels que IPX, DECnet ou AppleTalk qui ne permettent pas la configuration manuelle des stations. Ils éprouvent encore plus de difficultés avec des protocoles *non routables* tels que Netbios, qui ne permettent pas de distinguer les stations par des informations de niveau 3.

2.3 Les limites des VLAN

Les implémentations actuelles des VLAN dans Ethernet souffrent de nombreuses limites. Les premières sont propres aux implémentations, tandis que les secondes sont héritées de la technique de pontage.

2.3.1 Les limites propres aux VLAN

Les implémentations actuelles des VLAN requièrent la modification du comportement des commutateurs. Ils doivent identifier à quel VLAN appartient chaque trame qu'ils reçoivent avant de la rediriger. Cette fonction peut être réalisée de façon implicite ou explicite. Elle est réalisée de façon implicite si l'appartenance à un VLAN est indiquée par un ou plusieurs champs de la trame Ethernet standard. Les commutateurs maintiennent une table d'association entre les valeurs possibles de ces champs et les identificateurs de VLAN. C'est le cas des VLAN basés sur l'adresse MAC ou sur le protocole de niveau 3. Elle est réalisée de façon explicite si un champ *VLAN id* est ajouté à la trame, et utilisé par les commutateurs pour identifier le VLAN auquel elle appartient. C'est la

méthode préférée dans les VLAN basés sur le port. Dans les deux cas, le fonctionnement des commutateurs doit être modifié pour prendre en compte la présence des VLAN.

Les différents types de VLAN souffrent de limitations spécifiques. Les VLAN basés sur le port manquent de flexibilité, car toutes les stations connectées à un même port d'un commutateur appartiennent obligatoirement au même VLAN, et il est difficile pour une station d'appartenir à deux VLAN distincts. Les VLAN basés sur l'adresse MAC subissent des dégradations de performances lorsque le nombre de VLAN est important, ou lorsque des stations appartenant à différents VLAN sont connectées au même port d'un commutateur. De plus, ils sont difficiles à configurer, lorsque le nombre de stations est élevé. Les VLAN basés sur le protocole de niveau 3 sont les moins rapides, à cause de l'inspection des données de niveau 3 dans les commutateurs.

2.3.2 Les limites dues au pontage

Dans un réseau ponté, les commutateurs configurent un arbre de recouvrement (*Spanning Tree*) pour éviter les problèmes liés à la présence de boucles dans l'interconnexion. Dans un réseau Ethernet avec VLAN, il est nécessaire de configurer un arbre de recouvrement pour chaque réseau virtuel. Ceci complique la configuration des arbres de recouvrement et les procédures de gestion de pannes, et augmente le trafic de contrôle dû à ces fonctions. De plus, les temps de reconfiguration du réseau après une panne sont de l'ordre d'une seconde, avec l'algorithme *Fast Spanning Tree*. Cela reste inacceptable pour certaines applications multimédia.

Avec l'utilisation de plus en plus courante des VLAN, le nombre de stations qu'il est possible de connecter à un réseau Ethernet va s'accroître. Cependant, les implémentations actuelles des VLAN dans Ethernet ne réduisent pas la taille des tables de pontage. Les commutateurs risquent par conséquent de subir une dégradation des performances due au grand nombre d'entrées dans leurs tables de pontage, et au fait que certaines entrées sont trop vite remplacées.

3 La commutation de labels

La commutation de labels est basée sur la notion de *FEC* (*Forwarding Equivalence Class*), qui est une généralisation de la notion de flux.

Une *FEC* est un ensemble de paquets qui subissent une même décision de routage et un même traitement. En plus des informations de routage, la création d'une *FEC* peut tenir compte d'autres paramètres tels que le type de flux, la priorité et la politique administrative.

Un label est un identificateur entier de taille fixe et petite qui identifie la *FEC* à laquelle appartient le paquet qui le porte. Il a une signification locale à un lien d'un réseau. Généralement, le label que porte un paquet étiqueté dépend partiellement ou totalement de son adresse de destination.

Un paquet étiqueté est un paquet dans lequel un label a été placé. Dans le cas de MPLS, les labels résident dans un champ spécifique [Rosen *et al.* 01a]. Dans d'autres cas,

ils sont codés dans des champs existants, par exemple les champs VPI/VCI des cellules d'ATM [Davie *et al.* 01] ou DLCI des cellules Frame Relay [Conta *et al.* 01].

Le chemin suivi par un paquet étiqueté est un *chemin commuté*. Le routeur initial est l'*ingress* et le routeur terminal est l'*egress*. Ce sont généralement les points d'entrée et de sortie du réseau, mais pas forcément la source et la destination du paquet.

3.1 Services fournis

Parmi les services offerts par la commutation de labels, ceux qui peuvent améliorer la gestion du trafic dans les réseaux locaux pontés sont l'agrégation de flux, le routage explicite et la protection contre les pannes.

3.1.1 Fusion et agrégation de flux

Un routeur peut allouer plusieurs labels entrants à une seule *FEC*, si plusieurs émetteurs existent en amont. Il peut être souhaitable dans ce cas d'avoir un seul label de sortie, indépendamment de la valeur du label d'entrée : c'est la fusion de labels. Il peut aussi arriver qu'un ensemble de paquets en destination d'adresses différentes suivent le même chemin dans le réseau. Dans ce cas la commutation de labels a pour but de les conduire jusqu'à leur point de sortie commun. Il est alors possible de leur allouer un seul et même label, et d'appliquer ce label à tous les flux de cet ensemble. Cette technique s'appelle l'agrégation de flux.

La fusion et l'agrégation de labels permettent de réduire le nombre de labels nécessaire au traitement d'un ensemble de flux, et par conséquent de réduire le trafic de contrôle nécessaire à leur distribution.

3.1.2 Routage explicite

Il est parfois nécessaire de contraindre le chemin suivi par un ensemble de flux dans un réseau. La mise en œuvre de cette fonctionnalité est complexe dans IP ou Ethernet, car elle nécessite que le chemin entier soit codé dans chaque paquet ou trame émis. Avec la commutation de labels, lorsqu'un chemin est configuré dans le réseau, il suffit de coder les labels correspondants dans un paquet pour le contraindre à suivre ce chemin.

3.1.3 Protection contre les pannes

Les conséquences d'une panne dans un réseau à hauts débits peuvent être très importantes, d'abord en raison du trafic interrompu, ensuite en raison de la nature des applications qui requièrent de plus en plus une qualité de service optimale. De nombreux algorithmes ont été proposés pour minimiser l'impact des pannes sur le niveau de service du réseau [Yetginer *et al.* 02]. Avec la commutation de labels, il est possible de calculer et configurer à l'avance des chemins alternatifs pour les trafics à protéger, que les routeurs utiliseront en cas de panne sur le chemin primaire.

3.2 Mise en œuvre

Pour pouvoir utiliser la commutation de labels dans un réseau, les trois éléments suivants doivent être définis : la sémantique, l'allocation et le codage des labels.

3.2.1 La sémantique des labels

Avant de coder des labels dans des paquets, il est nécessaire de leur associer une sémantique, c'est-à-dire de définir exactement ce qu'ils représentent. La sémantique des labels peut être figée, comme dans les réseaux ATM où ils représentent les circuits et les chemins virtuels, ou bien un peu plus souple, comme dans les réseaux MPLS. Lié à la sémantique, le nombre de labels qu'il est possible de coder dans un paquet peut être fixe (champs VPI et VCI de ATM) ou variable (*shim label* de MPLS).

3.2.2 L'allocation et la distribution des labels

De façon générale, l'allocation d'un label à une FEC est locale à chaque lien traversé par les paquets. Les deux extrémités du lien doivent par conséquent se mettre d'accord sur les labels alloués aux FEC communes. L'allocation de labels est dite *upstream* si les labels sont choisis et distribués par le routeur en amont, et *downstream* si les labels sont choisis et distribués par le routeur en aval. Elle est dite *à la demande* si le routeur qui reçoit les labels l'a explicitement demandé, et *non sollicitée* sinon. Lorsqu'une entité de contrôle est présente dans le réseau, il est possible qu'elle centralise l'allocation et la distribution des labels, sous réserve qu'elle garantisse l'unicité des labels alloués.

3.2.3 Le codage des labels

Il est nécessaire que toutes les entités qui utilisent les labels se mettent d'accord sur leur codage. Dans MPLS/Ethernet par exemple, les labels sont codés dans une entête spécifique (*shim label*). Dans ATM et FR, ils sont codés dans des champs bien précis définis à cet effet (VPI/VCI et DLCI). Dans tous les cas, chaque routeur qui reçoit un paquet étiqueté doit pouvoir identifier la position et le nombre de labels qu'il contient, afin d'éviter les risques liés à une lecture ou une interprétation erronée.

4 Les VLAN dans *LaidaNet*

L'objectif principal des réseaux *LaidaNet* est d'utiliser la commutation de labels pour résoudre les problèmes posés par l'extension des réseaux locaux Ethernet. L'agrégation de flux, le routage explicite et la protection contre les pannes sont les services qu'il sera possible d'ajouter ou d'améliorer dans les réseaux locaux Ethernet.

Les réseaux *LaidaNet* permettent en particulier d'améliorer l'implémentation des VLAN, sans rendre plus complexe les fonctions des commutateurs.

4.1 Les réseaux *LaidaNet*

Un réseau *LaidaNet* est composé d'un ensemble de stations hôtes interconnectées par un ensemble de commutateurs, le tout géré par un *contrôleur*. Les hôtes d'un réseau *LaidaNet* sont des stations standards : elles se comportent de la même manière que si elles étaient connectées à un seul segment Ethernet. Elles diffusent une requête de résolution d'adresse pour connaître l'adresse MAC de leur correspondant, puis inscrivent l'adresse obtenue dans les trames qu'elles émettent. Les commutateurs qui forment le cœur du réseau redirigent les trames en fonction des labels qui y sont inscrits. Lorsqu'une trame étiquetée d'un label (dit label d'entrée) est reçue sur un port d'un commutateur, le label d'entrée est remplacé par un label (dit label de sortie), et la trame est retransmise sur un autre port (dit port de sortie). Le label et le port de sortie sont indiqués par l'entrée de sa table de commutation indexée par le label d'entrée. Le *contrôleur* est l'élément central du réseau *LaidaNet*. Il a pour rôle de configurer les chemins commutés dans le réseau, en fonction de sa topologie et des besoins de communication des stations et des commutateurs.

4.1.1 Configuration

Les réseaux *LaidaNet* sont auto-configurables. Les commutateurs découvrent leur voisinage en échangeant des messages entre eux, et ceux qui sont connectés aux segments Ethernet détectent la présence des stations en analysant le trafic qu'elles génèrent. Ils transmettent ces informations au *contrôleur* qui en déduit la topologie entière du réseau.

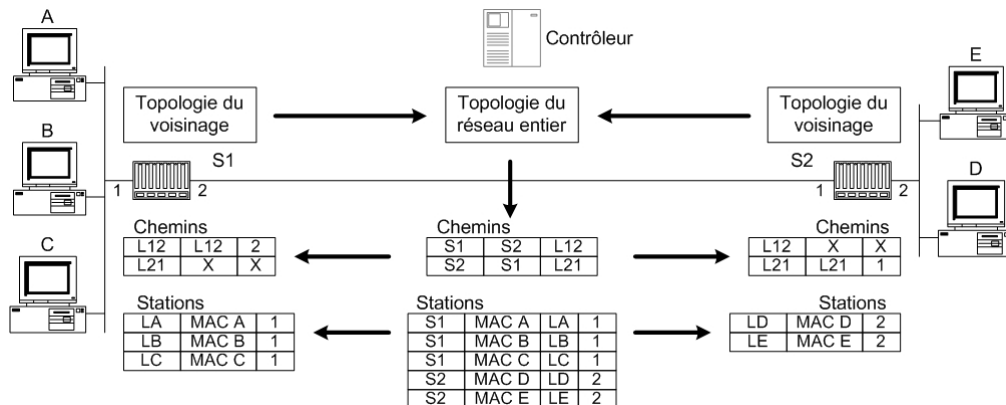


Figure 1 – Configuration d'un réseau *LaidaNet*

Sur la base de cette topologie, des besoins de communication des commutateurs et des stations, et éventuellement d'autres contraintes (sécurité, fiabilité, optimisation des ressources) le *contrôleur* calcule et configure ensuite des chemins dans le réseau. Dans un réseau *LaidaNet* correctement configuré (figure 1), deux chemins existent entre chaque

paire de commutateurs connectés chacun à un segment Ethernet distinct ($S1$ et $S2$), et un label a été associé à chaque station détectée sur le réseau (A , B , C , D et E).

Le *contrôleur* gère l'ensemble des labels dans deux tables : les tables *Chemins* et *Stations*. Une entrée de la table *Chemins* indique qu'un chemin unidirectionnel est configuré entre les commutateurs $S1$ et $S2$, et que une trame reçue sur $S1$ et étiquetée du label $L12$ sera redirigée le long de ce chemin jusqu'à $S2$. Une entrée de la table *Stations* indique que la station A , identifiée par son adresse MAC, est directement connectée au commutateur $S1$, et qu'une trame reçue sur $S1$ et étiquetée du label LA sera retransmise avec l'adresse MAC de A .

4.1.2 Acheminement du trafic

Le *contrôleur* configure les tables *Chemins* et *Stations* dans chaque commutateur du réseau (figure 2). Une entrée de la table *Chemins* indique à un commutateur le label et le port de sortie associée à un label d'entrée donné. Lorsque l'entrée de la table *Chemins* indique à un commutateur de bordure qu'il est l'extrémité terminale du chemin, une entrée de la table *Stations* lui indique l'adresse MAC réelle du destinataire et le port de sortie correspondant. Ainsi, l'adresse MAC réelle du destinataire peut être remplacée dans la trame avant qu'elle lui soit retransmise.

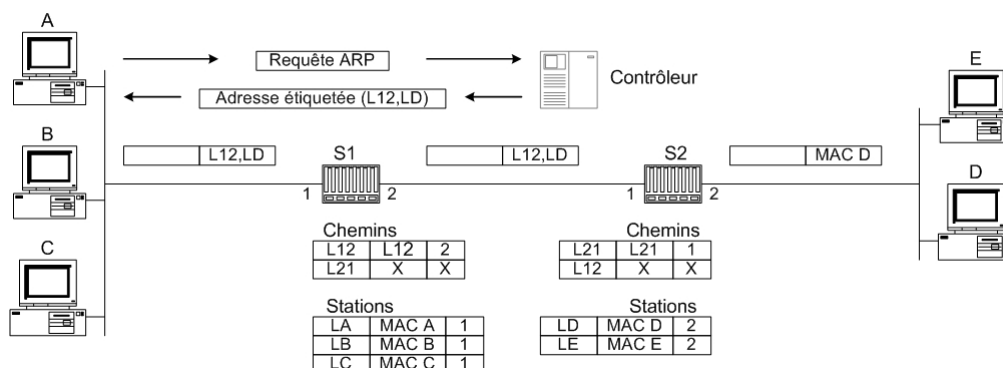


Figure 2 – Acheminement des trames dans *LaidaNet*

Les requêtes de résolution d'adresse diffusées par les stations sont interceptées par les commutateurs de bordure et redirigées vers le *contrôleur*, lorsque la station recherchée est localisée sur un autre segment Ethernet. À la réception d'une telle requête, le *contrôleur* renvoie une adresse MAC étiquetée, c'est-à-dire une adresse dans laquelle des labels ont été codés. La station émettrice envoie la trame à l'adresse indiquée, les commutateurs la redirigent grâce aux labels, le commutateur de bordure situé à l'extrémité terminale du chemin remplace l'adresse MAC réelle du destinataire dans la trame, et la station destinataire peut ainsi reconnaître et accepter la trame qui lui est destinée.

Le *contrôleur* code deux labels dans chaque adresse ainsi renvoyée. Le *label-chemin* qui permet aux commutateurs d'identifier le chemin suivi par la trame, et le *label-station*

qui permet à l'extrémité terminale du chemin d'identifier la station destinataire de la trame. Sur la figure 2 par exemple, une trame émise de *A* vers *D* est étiquetée de la paire de labels (*L12*, *LD*).

4.1.3 Intérêt de *LaidaNet*

Dans *LaidaNet*, deux labels sont codés dans les trames, un label qui identifie un chemin dans l'interconnexion, et un label qui identifie une station. Ces labels sont déterminés par le *contrôleur*, et codés dans le champ *destination address* des trames, grâce à une modification du processus de résolution d'adresse dans le réseau.

La commutation de labels permet d'agréger le trafic dans le cœur du réseau, et par conséquent de réduire la taille des tables de commutation. Ensuite, elle va permettre de mettre en œuvre des techniques avancées de gestion du trafic (équilibrage de charge, réservation de ressources, chemins de secours). Les labels étant codés dans un champ standard de la trame Ethernet, il n'y a pas de charge supplémentaire dans le réseau. Le fonctionnement des commutateurs est simplifié car ils n'implémentent ni l'algorithme du *Spanning Tree*, ni l'apprentissage par la source. En particulier, l'absence de *Spanning Tree* permet une meilleure utilisation des ressources du réseau, puisque tous les ports des commutateurs peuvent être activés simultanément sans risque de boucles. Enfin, le recours à la diffusion dans le cœur du réseau est réduit, car les requêtes de résolution d'adresse sont directement acheminées vers le *contrôleur*.

Le principal inconvénient de *LaidaNet* est la position centrale de son *contrôleur*, dont une défaillance peut perturber le fonctionnement du réseau. Ensuite, bien qu'offrant un service de transport de trame Ethernet (niveau 2), *LaidaNet* est dépendant du protocole de résolution d'adresse. Le *contrôleur* doit comprendre ce protocole pour pouvoir répondre aux requêtes des stations. Enfin, *LaidaNet* offre une compatibilité limitée avec les techniques de pontage actuelles, car la présence d'un commutateur traditionnel est possible dans la périphérie, mais pas dans le cœur du réseau.

4.2 Mise en œuvre des VLAN

Dans *LaidaNet*, chaque VLAN est défini par un ensemble de règles. Les règles indiquent les conditions d'appartenance d'une station à un VLAN. Il existe trois types de règle de base, correspondant respectivement aux trois modèles de VLAN : les règles basées sur le port, les règles basées sur l'adresse MAC, et les règles basées sur le protocole ou l'adresse de niveau 3.

Chacune des règles définissant un VLAN peut être de n'importe quel type de base. Ainsi, il est possible de réunir dans un même VLAN des stations en fonction du port du commutateur sur lequel ils sont connectés, de leur adresse MAC, ou de leur adresse de niveau 3.

4.2.1 Configuration des VLAN

Les règles de VLAN sont définies dans le *contrôleur*, qui les prend en compte lors de la configuration des chemins dans le réseau (figure 3). Un chemin est configuré entre deux commutateurs seulement si ils interconnectent des stations appartenant à même VLAN. Le *contrôleur* ajoute une colonne supplémentaire dans la table *Chemins*, qui indique pour chaque entrée le VLAN pour lequel le chemin est configuré. Il gère aussi une table supplémentaire *VLAN*, qui indique pour chaque VLAN (identifié par un *VLAN id*), toutes les stations qu'il regroupe.

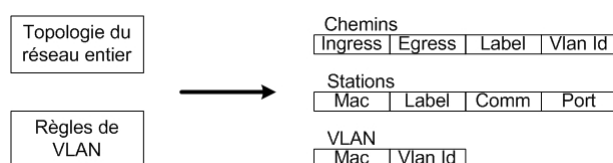


Figure 3 – Configuration des VLAN dans *LaidaNet*

Lorsque le *contrôleur* reçoit une requête de résolution d'adresse, il vérifie dans sa table *VLAN* que les deux stations appartiennent à un VLAN commun. Ensuite il vérifie dans sa table *Chemins* qu'un chemin a été configuré pour les communications dans ce VLAN. Le *label-chemin* renvoyé est celui qui identifie le chemin trouvé, tandis que le *label-station* reste celui qui identifie la station dans le commutateur voisin.

Lorsque le *contrôleur* répond à une requête de résolution d'adresse, il y a ambiguïté si les deux stations concernées appartiennent simultanément à deux VLAN distincts. Le *contrôleur* ne sait pas alors quel VLAN prendre en compte pour traiter la requête. En conséquence, la seule restriction qui s'applique à la répartition des stations dans les VLAN est que deux stations ne doivent pas appartenir simultanément à deux VLAN distincts. Tant que cette condition reste vérifiée, il est possible de définir des VLAN avec toutes les combinaisons de règles de base possibles.

4.2.2 Un exemple pratique

Pour illustrer la mise en œuvre des VLAN dans *LaidaNet*, nous allons présenter la configuration des VLAN dans le réseau représenté par la figure 4. Les utilisateurs accèdent aux ressources disponibles sur les serveurs, à partir de leurs postes de travail ou d'ordinateurs portables. Chaque port du commutateur *S1* est réservé pour un serveur particulier. Les postes de travail sont répartis dans les VLAN en fonction de leur adresse IP, tandis que les ordinateurs portables sont répartis en fonction de leur adresse MAC.

Les règles qui définissent ces VLAN sont représentées dans la table 1.

Les tables 2(a), 2(b) et 2(c) montrent les informations générées par le *contrôleur*.

Chaque VLAN est défini à l'aide d'une combinaison de règles des trois types de base, et la table *VLAN* indique la répartition résultante. Les stations ne peuvent accéder aux

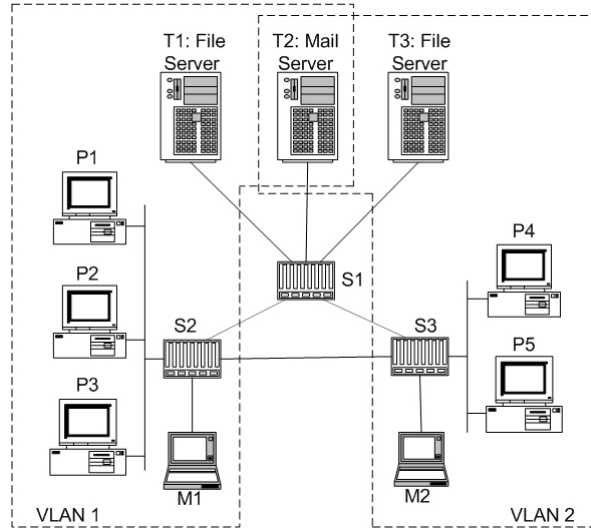


Figure 4 – Exemple de VLAN dans *LaidaNet*

Vlan Id	Libellé
Vlan 1	Port 1 du commutateur S1
	Port 2 du commutateur S1
	Plage d'adresses 192.168.10.16/28
	Adresse MAC M1
Vlan 2	Port 2 du commutateur S1
	Port 3 du commutateur S1
	Plage d'adresses 192.168.10.32/28
	Adresse MAC M2

Table 1 – Règles de VLAN définies dans le *contrôleur*

Ingress	Egress	Label	Vlan Id
S1	S2	L12	Vlan 1
S2	S1	L12	Vlan 1
S1	S3	L13	Vlan 2
S3	S1	L31	Vlan 2

Mac	Label	Com.	Port
T1	LT1	S1	1
T2	LT2	S1	2
T3	LT3	S1	3
P1	LP1	S2	1
P2	LP2	S2	1
P3	LP3	S2	1
M1	LM1	S2	2
P4	LP4	S3	1
P5	LP5	S3	1
M2	LM2	S3	2

Mac	Vlan Id
T1	Vlan 1
T2	Vlan 1
T2	Vlan 2
T3	Vlan 2
P1	Vlan 1
P2	Vlan 1
P3	Vlan 1
M1	Vlan 1
P4	Vlan 2
P5	Vlan 2
M2	Vlan 2

(a) Chemins

(b) Stations

(c) VLAN

Table 2 – Informations générées par le *contrôleur*

serveurs que lorsqu'un chemin est configuré à cet effet. En l'occurrence, la station *M1* peut accéder aux ressources du *VLAN1* à partir du commutateur *S2*, mais pas de *S3*.

4.2.3 Intérêt de l'implémentation des VLAN avec *LaidaNet*

Dans *LaidaNet*, la répartition des stations dans les VLAN est définie une seule fois dans le *contrôleur*, et la gestion du trafic résultante est réalisée grâce aux labels. L'implémentation des VLAN est donc entièrement transparente aux commutateurs, et par conséquent ils ne gèrent pas d'informations supplémentaires et ne subissent pas de dégradation de performances à cause des VLAN. Il est en outre possible d'ajouter, de modifier ou de supprimer la fonctionnalité VLAN dans le réseau sans affecter le fonctionnement des commutateurs.

La répartition des stations entre les VLAN étant centralisée sur le *contrôleur*, elle est plus flexible, car il n'y a pas de contrainte sur la stratégie choisie. Il est alors possible de combiner différents types de VLAN.

Cependant, l'extrême flexibilité permise par la définition des VLAN dans le *contrôleur* peut devenir un inconvénient dans certains cas. Il peut être difficile, lors de la définition de certaines configurations, d'éviter les effets de bord qui peuvent permettre à des stations de se retrouver dans des VLAN auxquels ils n'appartiennent pas du point de vue administratif. Par exemple, dans la configuration de la figure 4, que se passe-t-il si la station *M2*, associée au *VLAN2* par son adresse MAC, est configurée avec une adresse IP de la plage réservée au *VLAN1*?

5 Conclusion

Le succès que connaît Ethernet dans les réseaux locaux est dû en grande partie aux techniques de pontage et aux VLAN, qui permettent d'améliorer les services fournis en segmentant le réseau en plusieurs domaines de collision et plusieurs domaines de diffusion. Cependant, ces techniques souffrent de limites dues à certaines de leurs caractéristiques telles que l'apprentissage par la source, l'utilisation de l'algorithme du *spanning tree*, et l'usage de la diffusion.

Les réseaux *LaidaNet* permettent de profiter des avantages de la commutation de labels dans les réseaux locaux en la combinant avec les techniques de pontage et de VLAN. Il est ainsi possible d'améliorer les services existants, notamment grâce à l'agrégation de flux et une meilleure prise en charge des VLAN. De plus, la présence d'un *contrôleur* dans le réseau permet de simplifier les fonctions des commutateurs, supprimer l'algorithme du *spanning tree*, et réduire le trafic dû à la diffusion.

Cependant, la grande flexibilité dans la définition des VLAN peut devenir un inconvénient, par ses effets de bord. Des stations peuvent se retrouver dans des VLAN dont ils ne sont pas membres du point de vue administratif. Les mécanismes de contrôle nécessaires pour prévenir ces cas restent à définir.

Bibliographie

- [Conta 01] Conta, A., Doolan, P., et Malis, A. *Use of Label Switching on Frame Relay Networks Specification*. RFC 3034, IETF, 2001.
- [Davie 01] Davie, B., Lawrence, J., McCloghrie, K., Rosen, E., Swallow, G., Rekhter, Y., et Doolan, P. *MPLS Using LDP and ATM VC Switching*. RFC 3035, IETF, 2001.
- [IEEE 802.1D 98] IEEE 802.1D. *IEEE Standard for Information Technology – Common Specifications – Part 3 : Media Access Control (MAC) Bridges*. Std, IEEE, 1998.
- [IEEE 802.3 02] IEEE 802.3. *IEEE Standard for Information Technology – Common Specifications – Part 3 : Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*. Std, IEEE, 2002.
- [Kurose 03] Kurose, J., et Ros, K. *Analyse structurée des réseaux. Des applications de l'internet aux infrastructures de communication*. Pearson Education, 2e édition, 2003.
- [Passmore 96] Passmore, D., et Freeman, J. *The Virtual LAN Technology Report*. Rapport technique, <http://www.3com.com/nsc/200374.html>, 1996.
- [Plummer 82] Plummer, D. *An Ethernet Address Resolution Protocol or Converting Network Protocol Addresses to 48 bits Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware*. RFC 826, IETF, 1982.
- [Pujolle 02] Pujolle, G. *Les Réseaux*. Eyrolles, 2e édition, 2002.
- [Rajaravivarma 97] Rajaravivarma, V. *Virtual Local Area Network Technology and Applications*. Proceedings of the 29th Southeastern Symposium on System Theory(SSST). Cookeville, Tennessee, 1997.
- [Rosen 01a] Rosen, E., Rekhter, A., Tappan, D., Farinacci, D., Fedorkow, G., Li, T., et Conta, A. *MPLS Label Stack Encoding*. RFC 3032, IETF, 2001.
- [Rosen 01b] Rosen, E., Viswanathan, A., et Callon, R. *Multiprotocol Label Switching Architecture*. RFC 3031, IETF, 2001.
- [Stallings 97] Stallings, W. *Local and Metropolitan Area Networks*, chapitre 14. Prentice hall, 5e édition, 1997.
- [Tanenbaum 03] Tanenbaum, A. *Réseaux*. Pearson Education, 4e édition, 2003.
- [Yetginer 02] Yetginer, E., et Karasan, E. *Robust Path Design Algorithms for Traffic Engineering with Restoration in MPLS Networks*. Proceedings of the Seventh International Symposium on Computers and Communications (ISCC). Taormina-Giardini Naxos, Italy, 2002.