La commutation de labels

par Bernard Cousin
Laboratoire IRISA
Université de Rennes 1
bcousin@irisa.fr
http://www.irisa.fr/prive/bcousin

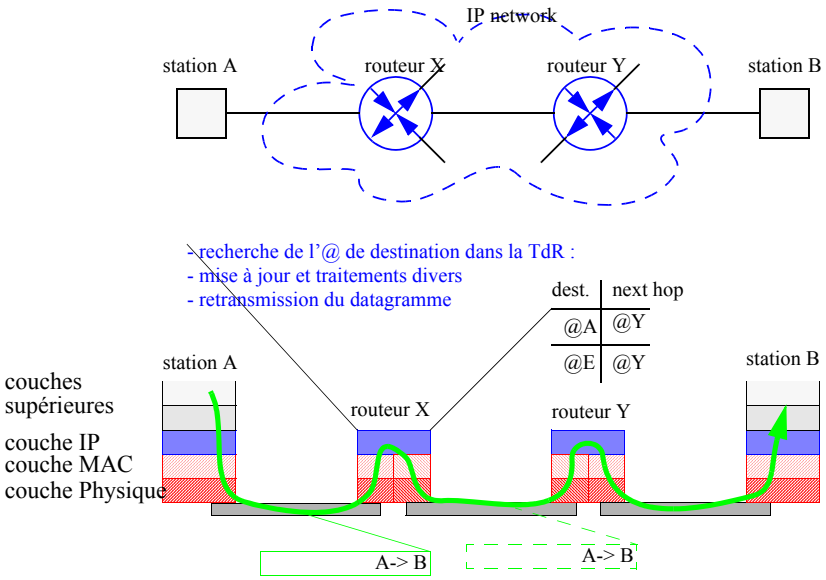
- Plan
  - Introduction à la commutation de labels et à MPLS
  - Gestion des labels
  - Protocole de distribution de labels : LDP ou RSVP-TE
  - MPLS, ATM et les autres réseaux

Présentation

- Acheminement sous Internet
- La commutation de labels
- Comparaison
- Les services de MPLS
- L'historique de MPLS

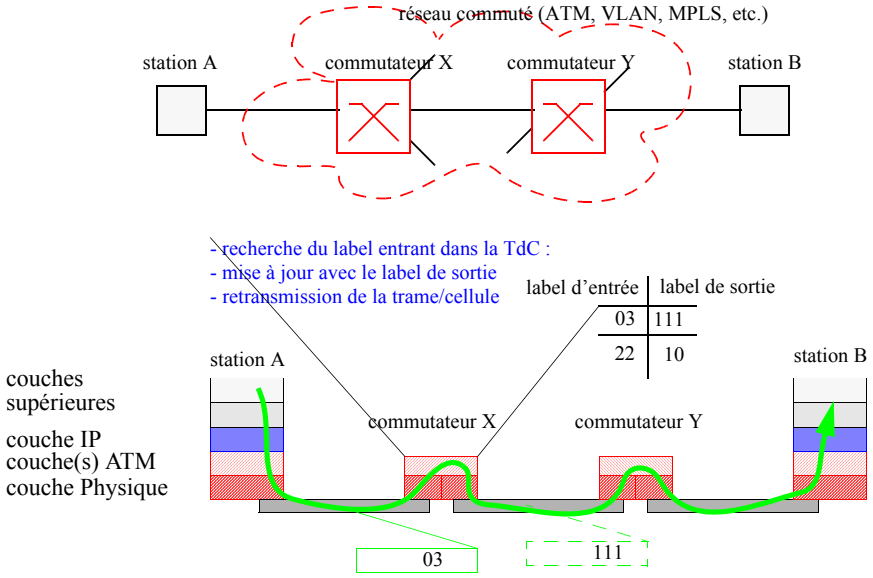
L'acheminement sous Internet

- "IP packet forwarding"



Label Switching

- La commutation de labels



Comparaison

- Niveau Liaison de données/niveau Réseau
  - le “switch” est multi-protocole (idem LANE) !
- Adresse/label
  - longue/courte
  - sémantique :
    . les adresses ont une sémantique globale au réseau
    . les labels ont une sémantique locale au lien
- Longueur des unités de données :
  - longueur variable des paquets
  - longueur fixe et petite des cellules (ATM seulement)
    => traitement plus rapide !
- Flexibilité
  - l’adresse de destination (+ToS) détermine un seul chemin
    . tous les paquets suivront la même route
  - à chaque LSP (label) est associé un flux (FEC). Chaque LSP peut suivre un chemin indépendamment des autres LSP, même ceux ayant même source et même destination

- Traitement :
  - l’échange (“swapping”) des labels est systématique
  - le traitement des adresses varie :
    unicast/multicast;
    netid/subnetid/“longest prefix match”;
    avec/sans options;
    => traitement plus complexe !
- "IP forwarding" versus "label switching"
  - plan de commande => IP !
  - plan de données => "datagram forwarding" ou"label switching"

combiner le meilleur des 2 techniques :
=> flexibilité + performance

Les applications de MPLS

- Une infrastructure d'interconnexion indépendante
- IP over MPLS
- Ingénierie de trafic
  - équilibrage de charge
  - sélection des chemins en fonction des besoins exprimés (QoS)
- "Fast ReRoute"
  - protection et rétablissement d'une route alternative
- "Layer 3 virtual private network"
  - séparation des trafics IP des différents utilisateurs
  - sécurisation des flux
- "Layer 2 virtual private network" (Pseudo-wire / ATOM : "Any Transport over MPLS")
  - idem L3VPN
  - transport de n'importe trames de niveau 2
    . par ex. : FR, Ethernet, ATM, PPP, SDH, etc.

Historique

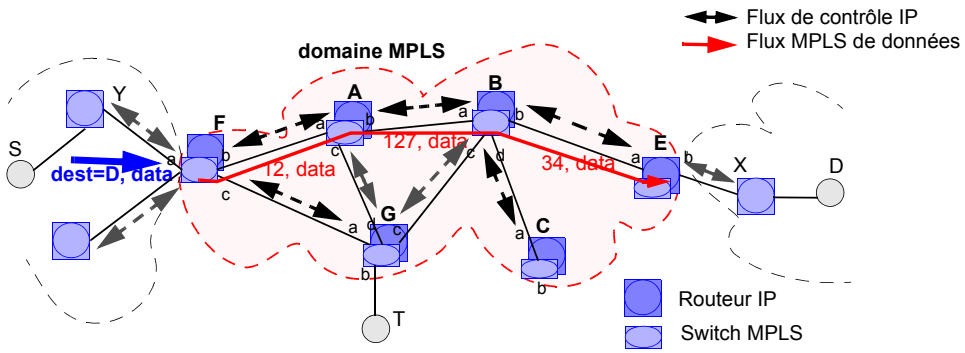
- 95 : Cell switching - Toshiba
- 96 : IP switching - Ipsilon et Nokia
- 96 : Tag switching - Cisco
- 96 : ARIS - IBM

=> Label switching

- MPLS :
  - 97 : IETF working group
  - "MultiProtocol Label Switching"
  - Fusion des techniques précédentes
  - Multi-protocole :
    . n'importe quelle infrastructure sous-jacente (ATM, FR, ...)
    . n'importe quel protocole supérieur (IPv4/v6, IPX, Appletalk)

Principe de MPLS

- Un domaine de routage MPLS
- Un routage rapide par labels
- Plan de données MPLS/Plan de contrôle IP



Label switching

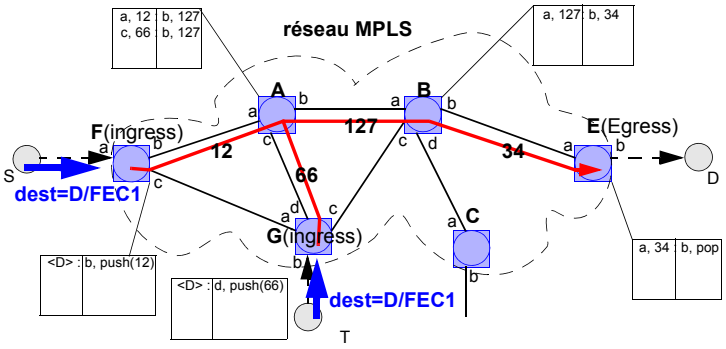
- Définitions
  - FEC, label, LSR, LSP
- La gestion des labels
  - l'allocation, association, distribution
  - label et port
  - associations ordonnées/indépendantes
  - réservation
  - désallocation des labels
  - prise de décision
  - mode de distribution

Définitions

- FEC
  - "Forward Equivalence Class"
  - L'ensemble des paquets qui subissent
    - . la même décision de routage ("next hop")
    - . le même traitement (par ex., même file d'attente)
  - Par exemple, sous IP les paquets ayant
    - . le même préfixe d'adresse de destination
    - . la même adresse de destination
    - . idem + même numéro de port (source ou/et dest.)
- La création d'une FEC peut être basée sur :
  - le type de flux (QoS : RSVP, etc)
  - informations de routage
    - . par ex., tous les paquets convergeant vers le même point

- Label
  - MPLS permet d'associer une FEC à un paquet pour toute sa traversée du réseau.
  - Cette association est déterminée à l'ingress LSR en fonction :
    . des informations contenues par le paquet
    . de la politique de gestion du domaine
  - Pour chaque lien cette association est identifiée par une valeur courte et fixe :
    => le label
    . accélère la prise de décision à chaque noeud lors du routage/de la commutation
- LSR
  - "Label switching router"
  - un routeur IP qui offre les fonctions MPLS
  - routeur "ingress"/"egress" pour un LSR donné

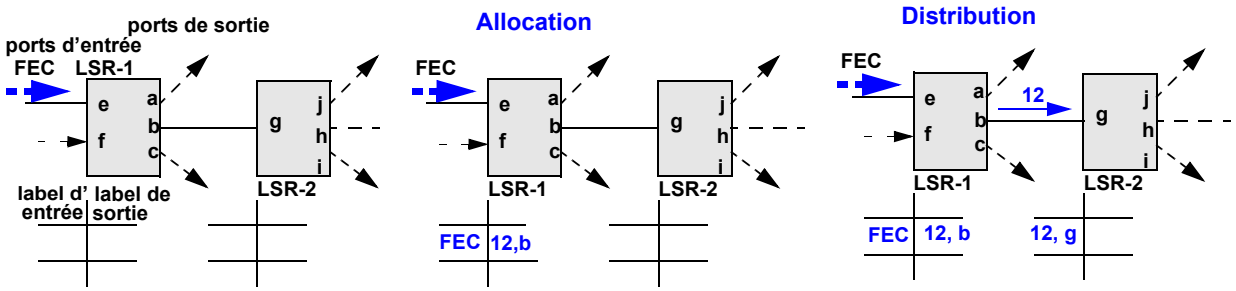
- LSP
  - "Label switch path" :
    . une connexion MPLS



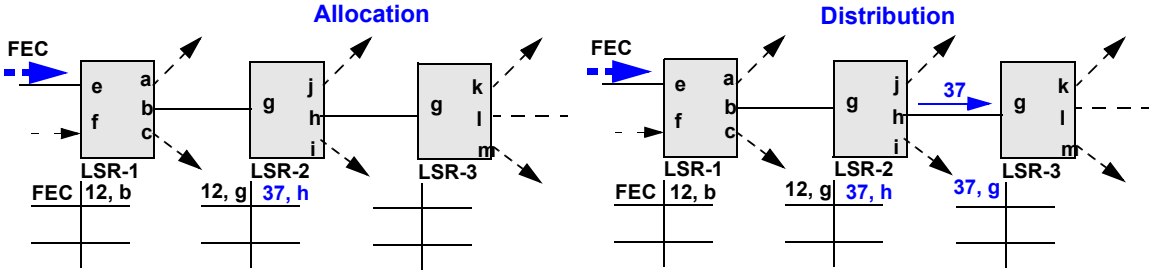
  - défini pour une FEC
    . un chemin dans le réseau MPLS
    . une suite de labels
    . un arbre (racine = 1 egress, feuilles = des ingress)
  - optimisation :
    . l'avant-dernier routeur fait le "pop" : le dernier étiquetage est inutile

Gestion des labels

- Allocation
  - allocation d'un label à un FEC
  - l'association est locale à une liaison, et temporaire
- Association ("binding")
  - association entre un label d'entrée et un label de sortie
  - autour d'une liaison
  - une association nécessite une allocation et une distribution



- Distribution
  - un des LSR doit communiquer à l'autre l'allocation qu'il a réalisée
  - c'est le rôle du protocole de distribution des labels
- Propagation
  - itération sur les LSR suivants constituant le LSP

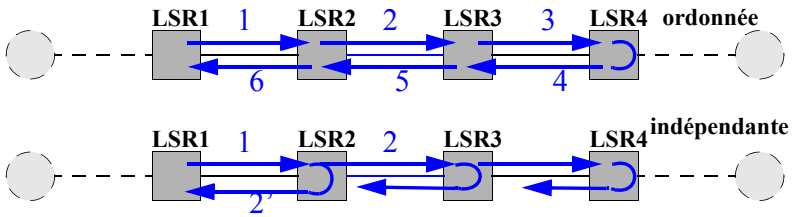


Labels et ports

- Labels et ports
  - un commutateur possède plusieurs ports de sortie et plusieurs ports d'entrée
  - Allocation des labels par port ou par commutateur
- Allocation des labels par commutateur
  - label d'entrée -> (label + port) de sortie
  - une seule table de labels pour tous les ports du commutateur
- Allocation des labels par port
  - (label + port) d'entrée -> (label + port) de sortie
  - augmente l'espace des labels disponibles
  - exemple : ensemble complet de VPI+VCI par liaison ATM
    . un commutateur peut allouer plusieurs fois le même VPCI sur des liaisons différentes.

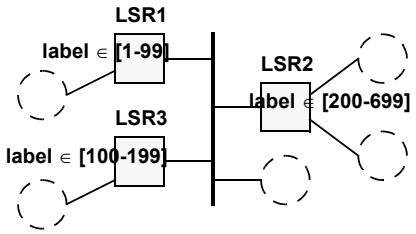
Enchaînement des associations

- La suite d'associations constituant un chemin (LSP) peut être construite de manière ordonnée (en série) ou indépendamment (en parallèle)
- L'enchaînement ordonné :
  - augmentation du délai de mise en oeuvre
  - simplifie la gestion en minimisant les interdépendances



Réservation

- Attribution d'un ensemble (un intervalle) de labels à un LSR
  - partition des labels entre les différents LSR
  - évite les collisions d'allocation d'un même label sur les liaisons multipoints (LAN)
  - les labels réservés à un LSR vont être alloués par celui-ci
  - le partitionnement est mis en oeuvre par un protocole (cf. la phase d'initialisation de LDP)



Libération des LSP

- Problème de détection de l'inactivité de la FEC
- Cause de l'inactivité :
  - modification de routage
  - inactivité des émetteurs
- Explicitement /implicitement
  - surveillance et temporisateur :
    . test de l'activité, test de la connexité
    => **"soft state" !**
  - notification d'événements :
    . protocole de routage, protocole de distribution

Etablissement des LSP

- La décision d'allouer des labels peut être :
  - déterminée par la présence des données contrôlée de manière externe au moyen d'un protocole
- Déterminée par les données ("data-driven")
  - lors de la réception d'un premier paquet de données
  - traitement "normal" par défaut : nécessite la présence obligatoire du composant traditionnel de routage
  - traitements plus fréquents
- Par contrôle explicite ("control driven")
  - lors de la réception d'un message de routage (OSPF, PIM) ou de gestion des ressources (RSVP-TE)
  - simplicité : le composant de contrôle est géré uniquement à partir d'informations de contrôle
  - contrôle explicite : moins d'approximation
  - contrôle + souple : adaptation, pérennité
  - la prise de décision peut dépendre d'événements autres que l'arrivée et le contenu des données

  - l'association peut être anticipée

mais

  - c'est plus lourd à gérer ($N^2/2$ LSP à établir au maximum),
  - les labels peuvent être alloués sans que le flux de données soit actif (sur-allocation des labels).

- MPLS utilise un procédé de contrôle externe :

=> protocole de distribution

Distribution des labels

- La distribution peut se faire en utilisant :
  - un protocole spécifique
  - un protocole pré-existant (par “piggy-backing”)
- Utilisation d’un protocole de routage
  - synchronisation naturelle
    . chg^{t} du routage/modif des associations de labels
  - économie
  - modification de protocole impossible (pas d’option)
  - besoin de transmettre des informations rapidement
- Les propositions
  - PIMv2 :
    nouveau format d’adresse “tagée”, nouvelle option “tag parameter”
  - RSVP-TE ...
  - LDP: “Label Distribution Protocol”

LDP

- Les fonctions de LDP
- Le format des messages
- Agrégation
- MTU
- Optimisation
- Cohérence
- Multicast

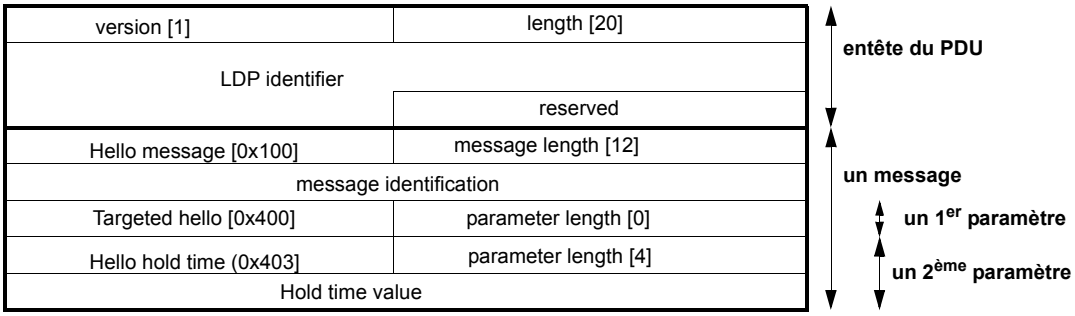
Fonctions de LDP

- 4 fonctions :
  - découverte, session, information, notification

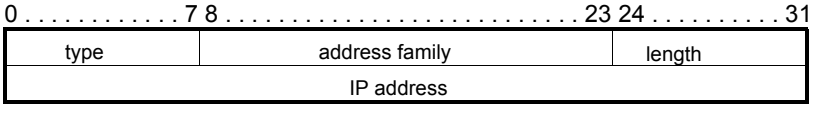
- Fonction de découverte
  - annonce et surveille la présence de LSR dans le réseau
  - utilisation d'UDP ("LDP discovery port")
  - entre LSR adjacents, entre LSR distants
  - messages "Hello" or "Targeted hello"
  - envoi périodique et contrôle par temporisateur
- Fonction de session LDP
  - établissement, maintien et libération de la session LDP
  - utilisation de TCP ("LDP port")
  - message d'initialisation
    version, temporisateur, mode de distribution, intervalle de labels réservés, etc.
- Fonction d'échange d'information sur les labels
  - création, changement ou destruction d'une association
- Fonction de notification
  - erreur ou information

Formats

- Format des LDP PDU
  - plusieurs messages peuvent être mis dans un seul PDU
  - encodage par TLV
    . par exemple :



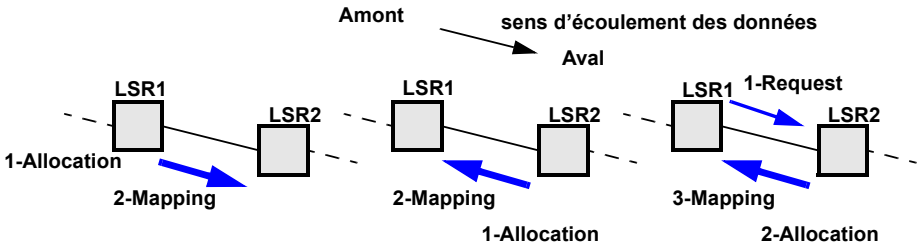
- Les messages de distribution de labels :
  - Label_Request (FEC z)
    . le LSR aval demande un label pour la FEC z
  - Label_Mapping (FEC z, Label l)
    . le LSR amont associe le label l à la FEC z
  - Label_Withdraw(FEC z, Label l or *)
    . le LSR aval informe que ce label ou tout ses labels ne sont plus valides
  - Label_Release(FEC z, Label l)
    . le LSR amont n'utilise plus ce label
- Format de description des FEC



type code : 0x02, 0x03

Mode de distribution des labels

- Origine de l'association :
  - par l'amont ("upstream")
    - Par ex. lors de la réception d'un premier paquet d'un flux (le chemin est connu)
  - par l'aval ("downstream unsollicited")
    - Par ex. lors de l'apparition d'une nouvelle destination (généralement diffusé)
  - par l'aval à la demande ... de l'amont ("downstream on demand")
    - Par ex. lors de la réception d'un premier paquet d'un flux (le chemin est connu)

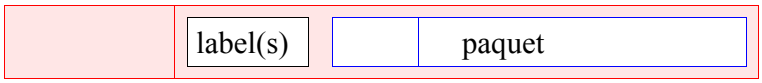


. la terminologie définit le LSR à l'origine de l'association.
. l'amont/l'aval sont définis par rapport au sens du flux de données

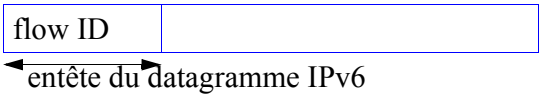
Les différents niveaux de labels

- On définit 3 niveaux d'utilisation des labels
  - niveau Liaison de données
    . par exemple : VPCI d'ATM ou DLCI de Frame relay

  - niveau intermédiaire
    . par exemple : "Shim label"



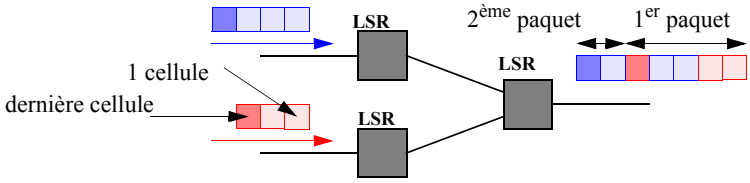
  - niveau Réseau
    . par exemple : identificateur de flot d'IPv6



- GMPLS définit un niveau d'utilisation supplémentaire :
  - les longueur d'ondes

Agrégation

- Regroupement de plusieurs FEC (“Forwarding equivalence class”)
  - éviter la multiplication des labels au sein des LSR
- Problème d’entrelacement des cellules de paquets différents
  - des cellules successives partageant le même label peuvent appartenir à des paquets différents

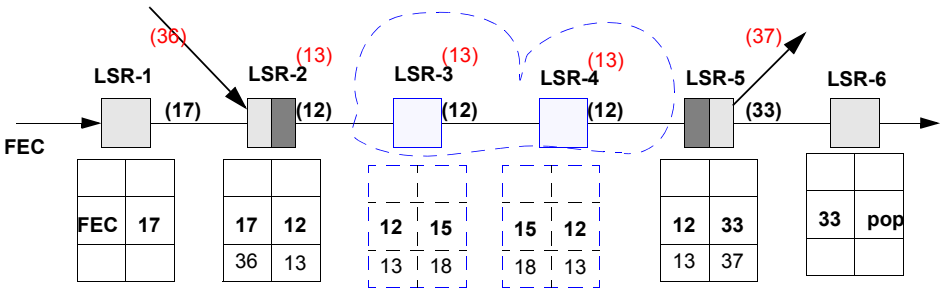


- Solutions
  - stockage et transmission groupée des cellules du même paquet => complexe et coûteux
  - autre solution :

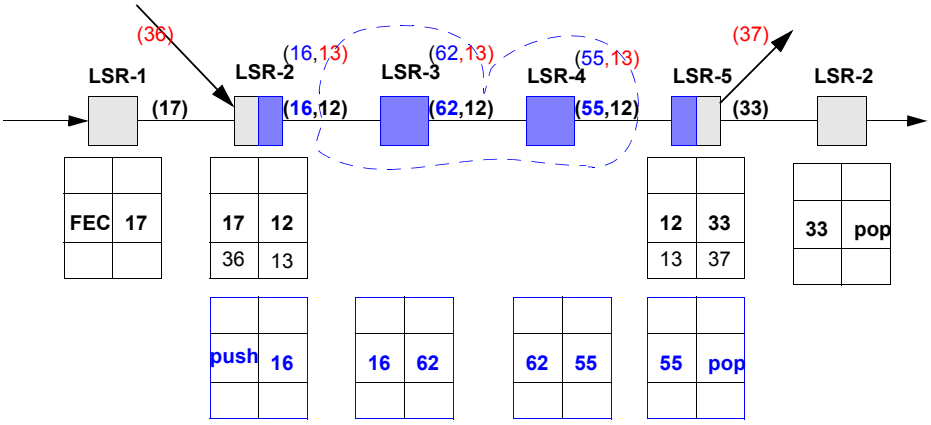
=> l’empilement de labels

Empilement de labels

- Un paquet peut être muni de plusieurs labels
  - seul le premier label est traité (haut de pile) à chaque LSR
  - procédé similaire aux commutateurs de VP d’ATM
  - c’est du “Tunnelling”
  - regroupement de plusieurs flux : accélère la commutation
- Exemple sans empilement de labels :

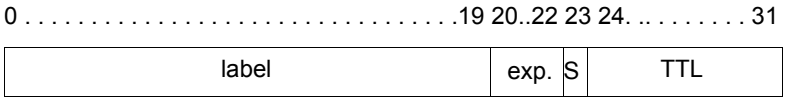


- Exemple avec empilement de labels



“Shim label”

- Format d’un “shim label” :



  - S : indique le bas de pile
- Le label permet de connaître :
  - le prochain routeur
  - les opérations à effectuer :
    . remplacement du label (“swap”), empilement d’un nouveau label (“push”) ou dépilement (“pop”).
- “Time To Live” : durée résiduelle de résidence

MTU et label

- Les labels augmentent la longueur totale du paquet
  - cela peut provoquer leur fragmentation :
    traitement complexe
  - certains paquets à cause de l'interdiction de fragmenter (DF bit) sont détruits alors que sans la labellisation ils auraient pu être transmis
    message ICMP : "Dest. unreachable/Fragt. required"
- "MTU discovery"
  - ne pas perturber le procédé de découverte du "MTU path"
- Franchissement d'un "tunnel"
  - les commutateurs intermédiaires peuvent ne pas connaître l'émetteur, donc la notification est impossible
  - le site en entrée du tunnel doit connaître le MTU effectif interne au tunnel, pour interdire l'accès aux trop longs paquets

Cohérence des entêtes IP

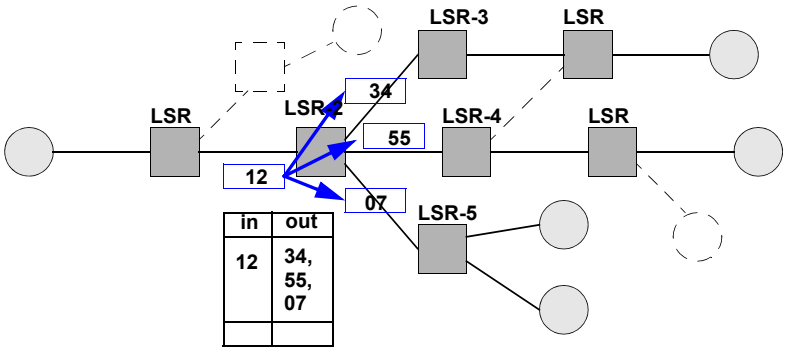
- Les datagrammes IP possèdent certains champs dont il convient d'assurer la cohérence :
  - TTL : décrémenté à chaque "hop"
  - conséquence sur le "ckecksum"
- Selon la disponibilité des informations :
  - soit les LSR assurent cette cohérence
    par ex : champ TTL du "Shim header"
  - soit seuls, les Edge-LSR sont chargés de cette tâche
    par ex : pour ATM
- Les cycles
  - les routes cycliques sont néfastes au trafic et au réseau
  - a posteriori : le TTL sert à détruire les paquets errants
  - a priori : le protocole de distribution des labels peut, en détectant les cycles, refuser d'allouer des labels.

Optimisation

- Il peut être possible d'omettre certaines informations du paquet si celles-ci sont implicitement représentées par le label.
  - par exemple : l'adresse de l'émetteur et de destination, le type de protocole, les numéros de port, le TTL, etc...
- Dans ce cas, ces informations peuvent être retirées des données transmises au sein du réseau de labels.
- On obtient les avantages suivants :
  - la sécurité puisque les informations de l'entête sont tenues secrètes
  - le respect du contrat puisque le détournement du LSP, pour transmettre des données non contractuelles, est rendu impossible.
  - l'optimisation du volume de données transmises

Multicast

- L'acheminement des paquets multicasts peut être réalisé par le "label switching"
  - à un label d'entrée on associe plusieurs branches de sortie. Sur chacune de ces branches des labels quelconques sont utilisés



MPLS et ATM

- ATM-LSR
  - label=VPI+VCI ou au sein d'un "virtual path" label=VCI
  - problème d'entrelacement (n VCI -> 1 VCI)
  - au-dessus d'AAL5
  - "downstream on demand"
  - hétérogène : ATM-LSR/ATM-LSR ou ATM-LSR/frame-based LSR :
    . le chemin suivi par les paquets labellisés peut traverser successivement un nombre quelconque de portions de réseaux ATM ou frame-based
    ... de réseaux utilisant le "label switching" ou non
  - utilisation de LDP
  - utilisation des protocoles de routage : OSPF ou IS-IS
  - possibilité d'avoir un commutateur ATM hybride :
    . compatibilité entre les règles de gestion de l'ATM forum et celles du label switching : partition de l'espace VPI/VCI.
- Une connexion ATM entre 2 ATM-LSR :
  - VPI=0, VCI=32
  - permet d'échanger les paquets LDP
  - permet d'échanger les paquets d'autres protocoles (par ex. OSPF)

  - utilise l'encapsulation LLC/SNAP définie par le RFC 1483
- Empilement des labels
  - afin de permettre l'empilement de labels les paquets transmis au sein d'un domaine d'ATM-LSR peuvent être munis d'un "shim label"
  - le label en haut de la pile est inutilisé, car
  - au sein du domaine d'ATM-LSR seul est utilisé le VPI/VCI
- Traversée d'un nuage VP-ATM :
  - à travers un "virtual path"
  - le label est encodé dans le seul VCI
- LSR de bordure
  - les "frame-based LSR" connectés à un ATM-LSR.
  - lorsqu'ils reçoivent un paquet ils mettent à jour le TTL à partir du "hop count" qui a été obtenu lors de l'établissement de l'association :
    TTL_de_sortie = TTL_d_entree - hop_count
  - si le TTL devient négatif le paquet n'est pas transmis, et un ICMP message est retourné.

MPLS et PPP

- Un seul paquet labellisé par trame PPP
  - au format “shim header”
- Le code du champ “Protocol” de PPP:
  - 0281_{16} = paquet MPLS unicast
  - 0283_{16} = paquet MPLS multicast
  - 8281_{16} = paquet du protocole de contrôle de MPLS

MPLS et LAN

- Exactement un paquet labellisé par trame
  - après l’entête du niveau Liaison de données (tous, par ex. après l’entête 802.1Q), et avant l’entête de niveau Réseau
  - au format standard “shim header”
- 2 formats possibles :
  - soit encapsulation directe (ex. : Ethernet)
  - soit encapsulation par LLC/SNAP
- Le code du champ “protocol type” de la trame :
  - 8847_{16} = paquet MPLS unicast
  - 8848_{16} = paquet MPLS multicast

Références

- “IETF working group” :
  - routing area - MPLS working group
  - “On line” :
    http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html
  - conférence IETF :
    43ème conférence à Orlando, Floride, USA, 7-11 Décembre 1998.
  - proceedings :
    http://www.ietf.org/proceedings/directory.html
- Livres :
  - B. Davie, P. Doolan, Y. Rekhter. Switching in IP Networks. Morgan Kaufmann. 1998.

- Documents techniques sur le “label switching”:

E. Rosen & al. Multiprotocol Label Switching Architecture. IETF MPLS working group. July 1998.

L. Anderson & al. LDP Specification. IETF MPLS working group. August 1998.

E. Rosen & al. MPLS Label Stack Encoding. IETF MPLS working group. September 1998.

B. Davie & al. Use of Label Switching with ATM. IETF MPLS working group. September 1998.

A. Conta & al. Use of Label Switching on Frame Relay Networks. IETF MPLS working group. August 1997.

B. Davie & al. Use of Label Switching with RSVP. IETF MPLS working group. March 1998.

- Documents historiques :

R. Woundy & al. ARIS : Agregate Route-based IP Switching. IETF MPLS working group. November 1996.

P. Newman & al. Ipsilon’s General Switch Management Protocol Specification, version 1.1. RFC 1987. August 1996.

VLAN/Interconnexion de LAN

- Interconnexion de LAN
  - augmentation de l'étendue
  - augmentation du débit si le trafic est localisé
  - flexibilité de la topologie
- Utilise des équipements d'interconnexion
  - ponts/ "bridges"/"switches"
- Méthode d'interconnexion
  - "Transparent Bridging" + "Spanning Tree"
    . pas de configuration
  - pas de différence lors d'une communication si toutes les stations sont connectées à un seul LAN ou à un ensemble de LAN interconnectés
    . les trames sont inchangées, les stations sont inchangées

VLAN

- "Virtual LAN"
  - on définit des réseaux virtuels, auxquels appartiennent un sous-ensemble des stations
  - une station ne communique qu'avec les stations du même réseau virtuel
    . chaque réseau virtuel est identifié par un VID
    . chaque trame est munie du VID
  - par interface /par station/par application
    . une station connectée à une certaine interface d'un commutateur appartient à un VLAN donné
    . une station appartient à un seul VLAN
    . une station peut appartenir à plusieurs VLAN, en fonction de l'application concernée