

# INFRASTRUCTURES des LAN à HAUTS DEBITS

## TABLE DES MATIERES

<b>SYSTEMES DE CABLAGE.....</b>	<b>2</b>
SYSTEME A PAIRES TORSADEES : LE CABLAGE EVOLUE VERS LES CATEGORIES 6 ET 7 .....	2
<i>La catégorie 6 ou classe E.....</i>	2
<i>La catégorie 7 ou classe F.....</i>	2
<i>Tableau récapitulatif.....</i>	2
<b>CARTES D'INTERFACE RESAUX.....</b>	<b>3</b>
ADAPTATEURS " QOS READY " CHEZ INTEL ET CHEZ 3COM.....	3
CARTES DE COMMUNICATION POUR SERVEURS .....	3
<i>Un choix délicat pour l'administrateur réseaux.....</i>	3
<i>Quelques pistes.....</i>	4
<b>LES NOUVEAUX STANDARDS.....</b>	<b>4</b>
LA REGLE DES 80/20 A VECU .....	4
GIGABIT ETHERNET POUR LAN, MAN ET WAN .....	4
ETHERNET 10 GBIT/S .....	6
HSTR PRÉCONISE TOKEN RING À 100 MBIT/S.....	6
FIBRE CHANNEL ET LAN POUR SYSTEMES DE STOCKAGE.....	7
<b>LA COMMUTATION LAN .....</b>	<b>7</b>
LES PRINCIPES DE LA COMMUTATION LAN .....	7
<i>Les différentes phases de l'évolution technologique des LAN.....</i>	8
Segmentation par pont .....	8
Optimisation par routeurs .....	8
Le backbone, dorsale ou réseau fédérateur à 100 Mbit/s.....	8
La commutation LAN.....	8
Les VLAN : rôle du commutateur LAN.....	9
Les 4 niveaux de VLAN.....	9
Adressage des VLAN : l'absence de standard.....	10
<i>Les modes de fonctionnement d'un commutateur LAN.....</i>	10
Mode stockage et retransmission (store & forward).....	10
Mode à la volée (cut through) .....	10
Mode de commutation mixte.....	10
<i>Les apports technologiques.....</i>	10
Le contrôle de flux.....	10
Un commutateur Ethernet sur un seul circuit intégré .....	11
Les facteurs de puissance.....	11
COMMUTATION OU ROUTAGE ? .....	11
<i>Maintien du "statu quo".....</i>	12
<i>Routage distribué .....</i>	12
<i>Serveur de routes.....</i>	12
<i>Commutation ATM .....</i>	12
Commutateurs d'accès ATM.....	13
Glossaire .....	13
<i>Routeurs : un passage obligé.....</i>	13

## SYSTEMES DE CABLAGE

### Système à paires torsadées : le câblage évolue vers les catégories 6 et 7

Il y a 5 ans, la catégorie 5 en était à ses débuts. Deux ans plus tard on avançait déjà que les fréquences de transmission pourraient atteindre 300 MHz et qu'il faudrait choisir des composants meilleurs que ceux de catégorie 5 pour avoir des ACR (Attenuation to Crosstalk Ratio) supérieurs. Les promoteurs du tout fibre optique faisaient alors valoir la supériorité de leur système en garantissant une bande passante de plusieurs Gbit/s. Mais, en même temps, les constructeurs proposaient Ethernet 100 Mbit/s sur câble de catégorie 3. L'électronique venait de rattraper brutalement le cuivre en montrant qu'avec un codage sophistiqué, il était possible d'augmenter le débit sans augmenter la bande passante du support de transmission.

Gigabit Ethernet est aujourd'hui supporté par la catégorie 5 (classe D). Cette performance d'abord limitée à la longueur de 25m, est parvenue, grâce à ces progrès, à 100m. Au même moment, les systèmes de câblage de catégorie 5+, 6 (classe E) et 7 (classe F) garantissant des ACR de plus en plus élevés sont apparus. Une évidence se faisait jour, la catégorie 5 standard ne supporterait pas les futurs réseaux à hauts débits.

Depuis 1997, un groupe de travail ISO travaille sur les nouvelles classes E et F. Les spécifications des nouvelles catégories ne sont pas encore figées. Le gros du marché des systèmes de câblage est aujourd'hui dans les petites configurations qui vont de 1 à 30 postes. Un marché qui peut se contenter de la catégorie 5. C'est donc pour les grands comptes que se pose la question de la catégorie 6 ou 7.

#### *La catégorie 6 ou classe E*

Après quelques hésitations entre le 200 et le 300 MHz, la catégorie 6 ou classe E a été définie pour une fréquence de transmission de 200 MHz. A cette fréquence, il est possible d'utiliser encore du RJ 45 pour les prises terminales et le brassage ainsi que des câbles UTP. Les performances ACR paire à paire à 200 MHz sont identiques au 100 MHz de la catégorie 5. C'est une amélioration par rapport à la catégorie 5+, mais qui ne correspond pas à un saut technologique. Le coût des composants n'est pas très supérieur à celui de la catégorie 5. En termes d'installation, il n'est pas plus difficile de tirer et raccorder des câbles catégorie 6 que des câbles catégorie 5. La catégorie 6 ne sera donc pas plus chère qu'une catégorie 5.

#### *La catégorie 7 ou classe F*

Ici, la prise RJ 45 n'est plus. Dès lors, il n'y a plus d'offre ouverte et l'utilisateur choisit le constructeur et sa connectique spécifique. De plus, le support du 10 Base T et du téléphone par un tel système de câblage exige des adaptateurs et des cordons spécifiques pour le raccordement des terminaux. En clair, avec la catégorie 7, c'est un retour en arrière dans ce domaine comme à l'époque du système de câblage IBM type 1. En termes de coût, les prix des connecteurs ainsi que le temps de mise en œuvre s'envolent par rapport au RJ 45 blindé. Bref, ici on dépasse largement les deux fois le prix de la prise installée en catégorie 5. Mais surtout c'est en terme d'exploitation immédiate alors que les produits de réseaux à 600 MHz n'existent pas que la facture est lourde.

#### *Tableau récapitulatif*

Attention, si les projets de normes précisent un ACR faible à la fréquence maximale, à 100 MHz la catégorie 6 donne plus de 20 dB et la catégorie 7 plus de 50 dB.

Catégorie du câblage	Classe du lien	Fréquence maximum	ACR minimum
5	D	100 MHz	4 dB
6 (*)	E	200 MHz	4 dB
7 (*)	F	600 MHz	4 dB

(\*) projets de norme en cours

## CARTES D'INTERFACE RESAUX

### Adaptateurs " QoS ready " chez Intel et chez 3com

Intel propose ses premières cartes réseaux compatibles avec le protocole IEEE 802.1p précisant une partie des fonctions de qualité de service sur réseau IP-Ethernet. La gamme d'adaptateurs s'appuie sur le contrôleur mono-puce, Intel 82559 Fast Ethernet étudié pour tous les PC, portables et serveurs. Le prix des cartes varie entre 500 fr HT et 2 000 fr HT.

La configuration des filtres est réalisée à l'aide du logiciel baptisé Priority Packet. Les critères pris en compte sont classiques :

- adresse source ou destination,
- type de protocole Ethernet,
- adresse IP, IPX, ou de sous réseaux IP,
- numéros de ports UDP ou de " socket " IPX identifiant les applications ciblées.

La 1ère génération de cartes Fast Ethernet d'Intel équipées du contrôleur 82558 pourra supporter le standard IEEE 802.1p après mise à jour du pilote de l'adaptateur. Les trames 802.1p - 802.1q, plus longue de 4 octets que les trames traditionnelles, ne conviennent pas encore à toutes les infrastructures en place.

Les commutateurs qui travaillent en mode "store and forward" les jugent défectueuses. Les segments de réseaux comportant de tels équipements, ne peuvent donc pas supporter 802.1p. Pour eux, le logiciel Priority Packet se contente de répartir les trames entre deux files, l'une prioritaire, l'autre non, sans effectuer de marquage. Au moins, les trames prioritaires entreront vite sur le réseau.

Les nouveaux coupleurs d'Intel apportent une autre amélioration. Conforme aux spécifications **WfM** (Wired for Management) 2.0, ils sécurisent les opérations de télégestion (détection de virus, changement de Bios, mise à jour de logiciels, etc.) à l'aide d'un processus d'authentification intervenant avant le lancement du système d'exploitation. De quoi éviter qu'un système non autorisé se fasse passer pour le serveur d'activation.

Par ailleurs, les cartes de 3com savent depuis décembre 1998 inscrire, en plus et en cas de besoin, les 12 bits de l'identifiant VLAN 802.1q auquel leur hôte est supposé se rattacher. Le logiciel Dynamic Access de 3com établit la liaison entre l'agent SNMP des cartes coupleur et une plate-forme de supervision Rmon. De quoi remonter par exemple des informations sur le trafic.

### Cartes de communication pour serveurs

Alors que l'offre Gigabit Ethernet prend forme, que par ailleurs se stabilise le standard ATM à 150 Mbit/s, la carte réseau d'un serveur est devenue une pièce critique. Les serveurs doivent être largement accessibles de tous les points de l'entreprise. De ce fait, la carte coupleur qui assure le lien entre le serveur et le commutateur du réseau fédérateur devient un composant majeur.

#### *Un choix délicat pour l'administrateur réseaux*

Le foisonnement technologique actuel oblige l'administrateur réseau à bien choisir. Par exemple, comment tirer plus que 100 Mbit/s de Fast Ethernet d'un serveur équipé de deux cartes, montées en redondance pour se secourir mutuellement ? Si la répartition de charge est gérée par l'OS réseau (Netware par exemple), cela coûte au moins 20% de la charge de l'unité centrale. Pour pallier cet inconvénient, existe-t-il un coupleur à double port Fast Ethernet qui règle la répartition de charge de manière matérielle ? Comment tirer parti de la fonction de transmission bidirectionnelle (full duplex) pour disposer de deux fois 100 Mbit/s ?

### *Quelques pistes*

Intel propose d'installer 4 cartes Fast Ethernet pour disposer en entrée du serveur d'une bande passante de 400 Mbit/s. Une carte sert uniquement à la réception des requêtes. Les autres se répartissent le trafic sortant. Un logiciel placé sur le serveur répartit les trafics entre les cartes. En outre, si une carte tombe en panne, elle est automatiquement secourue.

Pour l'heure, les performances des coupleurs Gigabit Ethernet sont désastreuses. La carte tire beaucoup trop de puissance sur les unités centrales des serveurs", estime Adaptec, société qui propose le logiciel Duralink Port Agrégation, permettant de grouper plusieurs ports.

ATM est la solution à envisager lorsque l'entreprise entrevoit une évolution vers le multimédia. D'ores et déjà, disposer d'un lien ATM à 155 Mbit/s avec le commutateur du réseau fédérateur est devenu un standard.

Pour les cas où plusieurs serveurs sont appelés à coopérer (**cluster**), ou pour assurer les communications entre un serveur et un site de secours, **Emulex**, **Adaptec** ou **Interphase** proposent de les coupler par des liens Fibre Channel. Par exemple, une carte Fibre Channel Interphase pour serveur à bus PCI coûte 8 370 fr au débit de 256 Mbit/s et 9 570 francs au débit de 1 Gbit/s.

## LES NOUVEAUX STANDARDS

### La règle des 80/20 a vécu

Tant que la règle des 80/20 :

#### **80 % des échanges se font au sein d'un même groupe de travail**

restait vérifiée, une segmentation de plus en plus fine des groupes de travail et la mise en oeuvre de commutateurs suffisaient à résoudre les problèmes de saturation des LAN (réseaux locaux).

Mais, l'avènement des applications hypertexte Internet et Intranet ont radicalement remis en cause ce principe de base :

- les échanges intergroupe sont de plus en plus fréquents, et les accès extérieurs à l'entreprise se font courants.
- les performances des PC permettent aux utilisateurs la manipulation et le partage via le réseau de fichiers de plus en plus volumineux, combinant images, données audio et vidéo.
- le nombre et le volume des fichiers produits par les suites bureautiques augmentent sans cesse.
- la messagerie et ses applications complémentaires du groupware et du workflow s'imposent désormais comme moyens indispensables de communication quotidien des entreprises.

D'où la nécessité de trouver sans cesse des solutions techniques qui permettront aux LAN de supporter de plus en plus de flux donc de plus en plus de "bande passante", ici confondu avec les débits offerts aux postes de travail et aux serveurs des LAN. Ethernet s'est doté le premier avec les solutions :

- **FastEthernet** à 100 Mbit/s, puis
- **Gigabit Ethernet** à 1 Gbit/s.

Token Ring avec **HSTR** (High Speed Token Ring) présentent des avantages par rapport à Ethernet, en particulier l'utilisation de trames plus grandes (12,8 Ko au lieu de 1,5 Ko).

### **GIGABIT ETHERNET pour LAN, MAN et ..WAN**

Le but du Gigabit Ethernet est d'éviter aux LAN les goulets d'étranglement, par des liens point à point très hauts débits entre équipements (commutateurs Ethernet 100 Mbit/s et serveurs les plus sollicités). Gigabit Ethernet est intéressant dans 4 cas de figure :

- établir des liaisons ultra performantes de commutateurs à serveurs.
- établir des liens inter-commutateurs hyper rapides.
- Faire migrer le backbone (dorsale du LAN) commuté Fast Ethernet.
- remplacer une artère fédératrice en FDDI partagé.

Gigabit Ethernet entre en concurrence avec la technique de commutation ATM dont l'ambition est toujours d'offrir la solution universelle de bout en bout incluant les réseaux locaux et les réseaux étendus.

Les avantages du mode de commutation ATM sur Ethernet sont connus :

- protocole actuellement plus mature,
- meilleure qualité de service,
- meilleure intégration avec les réseaux étendus opérateurs.

Il sera complexe pour des sites informatiques de migrer vers ATM, synonyme de **changement de culture**. Gigabit Ethernet, moins onéreux, constitue une technologie familière aux administrateurs de réseau. Aujourd'hui, sa qualité principale reste la non-rupture technologique avec la centaine de millions de nœuds Ethernet installés.

Par ailleurs, **Foundry Networks** annonce son commutateur 1 Gbit/s sur une distance de 70 km. **Canarie** teste au Canada des réseaux Ethernet de 50 km et 500 km. **Siemens** a expérimenté une transmission sur 1570 km dans le cadre du projet MOON (Management of Optical Networks) de l'Union Européenne. Dans cette perspective, Gigabit Ethernet s'ouvre désormais aux MAN (réseaux métropolitains) et aux WAN.

La première démonstration faite par la Gigabit Ethernet Alliance, au salon Networld+Interop de 1997, sur fibre optique et déjà en Juillet 1999, la solution **1000 Base T** sur paire torsadée cuivre a obtenu le statut de standard ratifié par les instances de l'IEEE avec la norme IEEE 802.3ab.

Même si les produits se font attendre et seront coûteux, les spécifications de 1000 Base T définissant l'usage de **4 paires symétriques non blindées de catégorie 5** sur une **distance de 100 mètres**, acheminent les flux des roclades secondaires. Pour faciliter les migrations, les équipements conformes à ce standard négocieront automatiquement le débit, 1 Gbit/s ou 100 Mbit/s, suivant l'interlocuteur et la qualité de la liaison.

Les spécifications IEEE 802.3ab viennent compléter, pour les paires torsadées, celles du précédent standard **IEEE 802.3z** (publié en juin 1998) relatif lui-même au **Gigabit Ethernet** sur **fibres optiques** ou **câbles coaxiaux**.

Parce que dans les situations délicates, le Gigabit Ethernet ne peut s'accommoder des câbles de catégorie 5, des câbles de **catégorie 5E** (E comme étendu), ont été définies. Les spécifications limitent les inter-perturbations entre paires et les retards de propagation des signaux. Pour cela, elles précisent les paramètres de paradiaphonie et de télédiaphonie cumulés ainsi que de l'affaiblissement de réflexion.

Pour s'accommoder des câbles de catégorie 5, les interfaces physiques risquent d'embarquer une électronique sophistiquée donc chère. C'est pourquoi, **Lucent** propose la définition d'une nouvelle interface physique spécifique aux câbles de **catégorie 6**, avec comme objectif la fabrication de cartes réseau Gigabit Ethernet **30% moins chères** que celles requises pour les systèmes de catégorie 5 et 5E.

A terme, les progrès des semi-conducteurs permettront de réduire les coûts et conduiront à l'intégration des fonctions MAC (Medium Access Control) et PHY (PHYsique) dans une même puce, comme pour le Fast Ethernet. On envisagera alors d'équiper les postes de travail de coupleur Gigabit Ethernet.

## Ethernet 10 Gbit/s

Le standard 1000 Base T à peine ratifié, le groupe de travail 802 LAN-MAN 3 (High Speed Study Group, HSSG), de l'IEEE définit déjà la norme Ethernet 10 Gbit/s. Avec un tel débit, l'idée est d'implanter Ethernet partout où ce sera possible.

Ethernet 10 Gbit/s servira aussi bien les réseaux s'étendant sur plusieurs dizaines de kilomètres, tels les infrastructures des fournisseurs de services Internet, les réseaux métropolitains, que les grappes de serveurs ou les dorsales LAN congestionnées. Un laboratoire de recherche américain, LBNL prévoit de voir les besoins en bande passante multipliés par mille d'ici à 5 ans. Ils ont été multipliés par 400 ces huit dernières années.

Dans le domaine des télécoms, les opérateurs suivent la chose de près. Leur interrogation est : "les liaisons Ethernet longue, voire très longue distance (de 80 km à 100 km) deviendront-elles plus compétitives que les liaisons IP sur PDH, IP sur SDH ou les liaisons ATM".

Cette nouvelle approche impose la mise au point d'une nouvelle **couche MII** (Media Independent Interface) rendant les couches hautes du protocole Ethernet HSSG indépendantes des médiums (support de transmission). Le standard ne verra de toute manière pas le jour avant 2001. Le groupe de travail HSSG se pose encore de nombreuses questions:

- 10 Gbit/s ou 12,5 Gbit/s ?
- Support ou non de trames de plus grande taille ?
- Transmission série (en TDM) ou en parallèle (avec DWDM) ?
- Conservation du codage 8B/10B ou pas ?
- Longueurs d'ondes autour de 1 310 nm ou de 1 550 nm ?

## HSTR préconise Token Ring à 100 Mbit/s

Avec Token Ring 100 Mbit/s, un serveur doit traiter 700 trames à la seconde, quand le même serveur doit en absorber 8 000 pour saturer la bande passante d'un réseau Ethernet. A 1 Gbit/s, la différence donne un avantage encore plus important à Token Ring qui maintient son débit nominal à pleine charge, alors qu'Ethernet subit une baisse sensible.

Le prix par port de **HSTR** (High Speed Token Ring) est environ le double de celui du Token Ring à 16 Mbit/s, lequel se situe entre 3 000 et 6 000 fr. Une enquête IDC menée début 1998 indiquait que moins de 10 % de responsables réseaux semblent prêts pour évoluer vers HSTR, tant au niveau de la connexion PC ou serveur qu'à celui du backbone.

La base installée des LAN Token Ring reste significative, avec selon IDC, quelques 20 millions de nœuds, principalement dans les grandes entreprises des secteurs bancaires, de la finance et des assurances.

HSTR à 100 Mbit/s a été établi par le groupe de travail IEEE 802.5. Plusieurs options avaient été examinées au regard du débit (100, 128 et 155 Mbit/s). La version 128 Mbit/s permettait l'utilisation de la couche physique du FDDI et du Fast Ethernet, tandis que la version 155 Mbit/s offrait les avantages de la solution adoptée pour ATM. C'est finalement le 100 Mbit/s qui a été retenu.

HSTR supporte la couche physique du standard IEEE 802.3 - 100 Base Tx et offre les mêmes fonctionnalités que les versions précédentes de Token ring en matière de détection d'erreur, de récupération de l'anneau en cas de panne et de routage. Autre point important, cette version peut supporter les câblages paires torsadées catégorie 5 (100 ohms UTP et 150 ohms STP).

La norme fait également référence au support des **réseaux virtuels IEEE 802.1q** et des **classes de services IEEE 802.1p**. Des questions restent sans réponse :

- le support de IEEE 802.1q nécessite la modification du paquet Token Ring afin de placer l'information du **VLAN** (Virtual LAN), au risque de changer la couche MAC.
- les niveaux de gestion des priorités du trafic. Le groupe de travail 802.5 est favorable à l'utilisation des 7 niveaux de priorité de Token Ring natif. Incompatibles bien sûr avec IEEE 802.1p.

Actuellement, le groupe de travail 802.5 travaille à la définition des spécifications du **Gigabit Token Ring**.

### Fibre Channel et LAN pour systèmes de stockage

Dans la bataille qui oppose depuis toujours les standards Ethernet et Token ring, **Fibre Channel** pourrait trouver sa place en faisant émerger une nouvelle variante de LAN regroupant 2 grandes familles :

- les NAS (Network Attached Storage), qui sont en fait de simples systèmes de stockage reliés au réseau.
- les SAN (Storage Area Network) qui sont des LAN spécialisés dans l'interconnexion des systèmes de stockage (baies, bandothèques).

Ces futurs LAN se superposent au LAN traditionnel, autorisent un accès banalisé à partir des serveurs et offre un haut débit (100 Mo/s). Sur ces LAN, le Fibre Channel est la norme, s'imposant face à l'omniprésent bus SCSI et aux bus SSA et Escon à caractère propriétaire. Selon une étude IDC, en 2002, 40 % des serveurs seront livrés avec une unité de stockage exploitant Fibre Channel. Celle-ci, qui ne représente aujourd'hui que 8 % du marché des systèmes de stockage, est unanimement reconnue.

Cette interface série à haut débit (jusqu'à 200 Mo/s en full-reflex sur une distance maximale de 10 km sans répéteur) utilise un câblage en cuivre coaxial ou en fibre optique. Elle répond aux besoins des utilisateurs qui désirent consolider l'archivage de leurs bases de données, de leur messagerie ou de leurs services Internet-Intranet. Associé à un commutateur ou à un concentrateur, Fibre Channel permet de bâtir des boucles locales très perfectionnées dédiés au stockage.

Si on peut très simplement relier un serveur à une unité de stockage (topologie dite de point à point), grâce à un commutateur à 8 ou à 32 ports, on peut aussi créer des combinaisons plus complexes, par exemple en raccordant plusieurs boucles Fibre Channel. Le marché converge aujourd'hui vers l'interface FC-AL, qui remporte tous les suffrages.

Aujourd'hui soutenu par les principaux constructeurs de disques durs (**Quantum, Seagate, Western Digital**) et de contrôleurs (**Adaptec, Buslogic.**), FC-AL permet de relier jusqu'à 127 nœuds (serveur, sous-système de stockage, commutateur). IBM, qui offrait sa technologie **SSA** (Serial Storage Architecture), se rallie à Fibre Channel et à l'interface FC-AL.

D'abord utilisé en environnements Unix, Fibre Channel gagne les plates-formes Windows NT et NetWare. **Dell**, préconise le déploiement de FC-AL sur Windows NT (produits de stockage PowerVault). Redondance (contrôleur RAID, alimentation, ventilateurs, etc.), flexibilité, ses produits s'alignent sur les produits **HP** (Symmetrix et Disques Array FC) et sur les produits **Compaq** (StorageWorks).

## LA COMMUTATION LAN

### Les principes de la commutation LAN

Dès 1997, l'industrie de l'interconnexion de réseaux s'est convertie à la commutation LAN :

- **Cisco** a racheté **Kalpana** et **Grand Junction**, deux jeunes firmes spécialisées dans le domaine.
- **Cabletron** a repris l'activité "commutateur en châssis" à **SMC**.
- **Bay Networks** s'est adjugé **Centillion**.

Elle a révolutionné l'architecture des réseaux LAN en amenant un regain de performances aux LAN saturés sans remettre en cause l'existant, notamment le câblage. Sur sa lancée, elle s'est enrichie de fonctions spécifiques, avec pour objectif essentiel, l'augmentation de la puissance de traitement.

La commutation LAN arrive à point nommé pour désengorger les LAN Ethernet 10 et 100 Mbit/s ou Token Ring 4 et 16 Mbit/s. Leur saturation provenant :

- d'un facteur **quantitatif** comme l'accroissement du nombre de PC connectés.
- d'un facteur **qualitatif** telle la généralisation d'applications gourmandes en bande passante.

### *Les différentes phases de l'évolution technologique des LAN*

#### **Segmentation par pont**

30 stations par segment Ethernet. Les ponts développent un "spanning tree" (l'arbre à diffusion) pour interdire les effets "d'orage de broadcast". Pour cela, les ponts isolent le trafic des différents segments et canalisent leurs flux de données en les remontant vers le "root bridge" (pont racine élu par ses pairs à l'issue d'un échange "en famille" établi à l'aide du protocole 802.1d) qui les rediffuse vers les "designated bridges" ponts désignés sur chaque segment (aussi élus à l'établissement de l'arbre à diffusion) pour traiter son trafic. Ce traitement s'appuie sur les **adresses MAC** (dites **adresses physiques**) présentes dans l'en-tête des **trames** Ethernet. Les trames sont les unités de données que traitent les protocoles de **niveau 2** du modèle ISO de l'OSI.

#### **Optimisation par routeurs**

Pourquoi diffuser les broadcasts ? Les routeurs les filtrent désormais et décident "intelligemment" de la route à faire suivre aux différents flux de données qui les traversent. Pour cela, les routeurs apprennent à connaître la cartographie du réseau global de l'entreprise (à l'aide du protocole de routage, RIP, OSPF, IS-IS...) et la traduit en table de routage. Cette dernière leur précise le plus court chemin qui existe, à l'instant du routage (la table est régulièrement remise à jour), entre les différents segments LAN considérés désormais soit d'un point de vue physique (interconnexion physique), soit d'un point de vue virtuel (interconnexion logique). Ce routage s'appuie sur les **adresses réseau** présentes dans l'en-tête des **datagrammes IP**, IPX... Les datagrammes sont les unités de données que traitent les protocoles de **niveau 3** du modèle ISO de l'OSI.

#### **Le backbone, dorsale ou réseau fédérateur à 100 Mbit/s**

Normalisé dès 1988, **FDDI** (Fiber Data Distribution Interface) ouvre la voie du LAN à haut débit. Il permet grâce à la fibre optique de couvrir une zone géographique étendue à celle d'une métropole (région parisienne couverte par le réseau Racine de la RATP par exemple) pour interconnecter à 100 Mbit/s les LAN traditionnels (Ethernet ou Token ring) des différents sites. On parle de MAN pour désigner les réseaux de campus ou les réseaux métropolitains.

#### **La commutation LAN**

Conçus autour du concept de "**partage du médium**", le support de transmission par l'ensemble des nœuds, les LAN n'offrent à chaque station connectée qu'une fraction de sa bande passante nominale.

Le moyen le plus simple d'offrir toute la bande passante d'un LAN à un nœud est donc qu'il soit seul sur ce réseau avec son correspondant.

C'est le principe de la commutation LAN. Elle dédie chaque port du commutateur à la connexion d'un seul nœud pour lui offrir toute la bande passante de son interface (10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1000 Mbit/s). La matrice de commutation (réalisée comme un bus de fond de panier) commune à tous les ports du commutateur achève l'aiguillage à très haut débit (supérieur au Gbit/s) en transférant les trames (plusieurs communications sont traitées simultanément) de la mémoire tampon d'un port vers la mémoire tampon d'un autre port.

Les commutateurs Ethernet ou Token Ring préservent les cartes réseau des nœuds et le câblage afférent. Le commutateur améliore considérablement les performances LAN en :

- traitant en parallèle la commutation de plusieurs communications.
- réduisant le nombre de collisions de chaque segment (ici chaque port dédié à un nœud particulier).



### *Les VLAN : rôle du commutateur LAN*

Dès qu'une trame est émise vers une **adresse MAC individuelle**, le commutateur la redirige vers le port destinataire. Son fonctionnement s'apparente à celui d'un pont multiport. Il a seulement besoin de connaître les adresses MAC des stations reliées sur chacun de ses ports, ce qu'il peut faire, comme le font les ponts, par auto-apprentissage. Pour cela, le commutateur renseigne **dynamiquement** sa table de commutation. Elle corrèle les adresses MAC capturées et le numéro du port sur lequel elles ont été capturées. Lorsqu'une adresse MAC destination lui apparaît pour la première fois, le commutateur diffuse la trame concernée à l'ensemble de ses ports moins le port source (l'émetteur de la trame). La performance globale du commutateur dépend de son architecture interne et de sa technologie.

Mais, qu'advient-il des broadcasts ? Par définition le broadcast possède une adresse MAC non affectée à un nœud précis. Il doit donc, pour respecter le principe énoncé plus haut, le diffuser sur tous ses ports. Si les commutateurs se diffusent systématiquement les broadcasts on recrée les orages de broadcasts... Pour éviter cela, on va recréer les **domaines de diffusion restreinte** que l'on définira comme LAN virtuel ou VLAN.

Le VLAN n'est rien d'autre qu'un **groupe logique de nœuds** Il facilite la partition logique des utilisateurs en groupes de travail, quelque soit la localisation des nœuds Dans cette perspective, on le comprend, le terme "local" n'a plus beaucoup de signification. Appartenance à un site donné ou à un serveur d'applications particulier, peu importe, l'administrateur réseaux est placé face à un univers virtuel autorisant le morcellement géographique des groupes de travail sur des distances de plus en plus importantes.

### *Les 4 niveaux de VLAN*

**Niveau 1** : chaque VLAN regroupe des ports de connexion physique de commutateurs interconnectés entre eux. La configuration nécessairement manuelle suppose une intervention humaine pour toute modification (passage d'un groupe logique à un autre, déménagement d'un nœud, etc.).

**Niveau 2** : chaque VLAN regroupe des adresses MAC de nœuds raccordés aux LAN. La configuration reste manuelle. Le nœud se déplaçant avec son adresse MAC, il n'est donc plus nécessaire de modifier la configuration en cas de déménagement des nœuds Un routeur (pouvant constituer un goulet d'étranglement) est indispensable à l'acheminement des flux inter-VLAN pour les commutateurs de niveau 1 et de niveau 2.

**Niveau 3** : chaque VLAN regroupe des adresses réseau de nœuds raccordés aux LAN. La configuration est automatique en fonction de l'identifiant (l'adresse IP typiquement). Le routage peut donc se faire à partir d'une fonction intégrée au sein même du commutateur, mais au prix d'une consommation non négligeable de l'unité de traitement, donc au prix d'un ralentissement de la vitesse de commutation. La mise en correspondance des adresses IP et des ports associés aux adresses MAC est effectuée par des circuits dédiés travaillant "à la vitesse de l'interface numérique".

**Niveau 4 à 7** : le trafic sur Internet génère des embouteillages. La difficulté d'attribuer une priorité aux applications provoque des goulots d'étranglements freinant à tous les niveaux les échanges. Les commutateurs de niveau 3 (et en dessous) sont arrivés à leurs limites d'optimisation. Les commutateurs "**web switch**" qui exploitent les couches ISO 4 à 7 prennent la relève. Le bénéfice de la solution : au lieu d'aiguiller le trafic en fonction des adresses IP et des numéros de ports, le système se base sur l'adresse **URL** de destination, voire sur les **cookies** (variables de personnalisation propres aux pages web). Conséquence, les priorités s'organisent en fonction d'une gestion basée sur les profils utilisateurs et sur l'importance des applications en transit. Ici, le commutateur joue en quelque sorte le rôle d'un cache et d'un gestionnaire de trafic en s'aidant du contenu des sites demandés. Son choix s'effectue en fonction de tables contenues dans une base ou un annuaire. Elles lui indiquent le degré d'importance d'un flux en fonction du contenu comme de l'application. Pour les applications multimédia, ce type de procédé mène à une gestion de la qualité de services, jusqu'à présent, le point faible des commutateurs LAN. La tendance est de traiter la QoS au-delà du niveau de trame, en tenant compte du niveau applicatif. **Alteon** ou **Arrowpoint** sont en concurrence avec des constructeurs plus connus, comme **Radware**, **Lucent** ou encore **Foundry Networks**.

### **Adressage des VLAN : l'absence de standard**

Une pièce maîtresse manque pour bâtir les structures de communication à base de VLAN : le standard d'adressage pour VLAN. Chaque constructeur de commutateurs développe donc le sien.

### **Les modes de fonctionnement d'un commutateur LAN**

#### **Mode stockage et retransmission (store & forward)**

Technologie la plus répandue, elle s'inspire de la commutation de paquets. Chaque trame entrant dans le commutateur est stockée sur une mémoire tampon, puis contrôlée à l'aide du CRC, avant d'être aiguillée. L'intégrité des données étant respectée, toutes les trames erronées sont filtrées. Ce traitement allonge le délai de transit des trames dans le commutateur (**temps de latence**) et affecte ses performances globales.

#### **Mode à la volée (cut through)**

Plus courante dans le monde Ethernet que dans celui de Token Ring, cette technique se contente de :

- lire l'en-tête de la trame pour identifier l'adresse MAC destination.
- acheminer la trame vers le port de destination.

Le temps de latence du commutateur est plus court. Mais, contrairement au mode précédent, il transmet les trames erronées, puisqu'il ne contrôle leur CRC.

S'ils éliminent le stockage temporaire des trames entrantes, les commutateurs "à la volée" disposent d'importantes mémoires tampon en sortie. Bien que les méthodes d'accès soient différentes, l'expédition des trames vers leur destination suppose que la voie soit libre en Ethernet ou que le jeton soit disponible en Token Ring. Si ce n'est pas le cas, il est indispensable de stocker temporairement les trames sortantes.

#### **Mode de commutation mixte**

Des variantes ont été développées par certains fabricants de commutateurs. IBM et Cisco ont mis au point une commutation qui combine les deux techniques. Elles sont alternativement utilisées en fonction du taux d'erreurs constaté sur les trames commutées. Contrairement au principe énoncé précédemment, ici, en mode de commutation "à la volée", lorsqu'une trame est acheminée vers son port de sortie, son CRC est contrôlé : si elle s'avère erronée, elle est éliminée. Si le nombre de mauvaises trames devient trop élevé, le commutateur bascule en mode de commutation "stockage-retransmission", et vice versa.

### **Les apports technologiques**

L'architecture interne des commutateurs Ethernet ou Token Ring a bénéficié d'évolutions améliorant leurs performances :

- la première génération de commutateurs s'apparente à des ponts multiport,
- la deuxième génération comprend des circuits intégrés Asic (Application Specific Integrated Circuits) avec mémoire partagée,
- la troisième génération est en gestation, celle des commutateurs intégrés sur un seul circuit.

La conception de la matrice interne de commutation importe beaucoup. La technologie la plus répandue repose sur un bus partagé. En revanche, les matrices inspirées de l'ATM, qualifiées de non bloquantes au sens où une trame peut toujours atteindre son port de destination, sont plus aptes à traiter des débits très élevés. Des capacités de mémoire importantes sont aussi requises pour stocker les trames avant leur réexpédition. Ces caractéristiques justifient le coût onéreux des commutateurs LAN à hauts débits.

#### **Le contrôle de flux**

La fonction de contrôle de flux ralentit le transfert de trames pour parvenir à un meilleur écoulement via le commutateur. Ces équipements sont sujets aux surcharges se traduisant par des mémoires internes pleines ou des ports de destination saturés. Deux ports chargés à 60 % peuvent émettre vers un seul autre qui aura à supporter une charge de 120 %. Il y a alors risque de perte de trames, ce qui entraîne une retransmission, donc une perte de temps.

Avec le contrôle de flux, le trafic est ralenti mais sans perte de trames. En cas de saturation de la mémoire d'un port de sortie, certains commutateurs Ethernet envoient des trames simulant une collision aux stations émettrices. Cela permet de stopper l'émission de ces sources. En les empêchant momentanément d'emprunter le médium, les mémoires ont le temps de se vider.

### *Un commutateur Ethernet sur un seul circuit intégré*

Les fabricants qui ne maîtrisent pas les technologies de commutation de niveau 3 peuvent désormais acheter les composants nécessaires. N'importe quel fabricant de commutateurs est donc en mesure de proposer des commutateurs de niveau 3. **Ils tendent à remplacer les routeurs**, pour l'acheminement des trames IP.

**Radlan**, et le groupe **Acer** sont les architectes de la vulgarisation de ses produits. Tous deux mettent à la disposition de tout un chacun les technologies nécessaires à la transformation de commutateurs traditionnels en commutateurs de niveau 3. Cela pourrait intéresser des opérateurs de télécommunications.

Radlan offre 3 composants :

- le logiciel **ROS** (Routing Operating System).
- le circuit **Opal**, accélérateur de routage.
- l'autre circuit **Ruby**, interface pour matrices de commutation.

Un commutateurs de niveau 2 exploitant les contrôleurs de matrice de commutation de **Galileo**, est transformé moyennant le logiciel, et une carte prête à monter. De nombreux fabricants sont concernés : les circuits de Galileo équipent de nombreux commutateurs (**Cisco**, **Lannet**, etc.).

Acer s'apprête à commercialise son propre premier commutateur de niveau 3. Ses circuits sont disponibles sur le marché. Le prix des commutateurs de niveau 3 devrait chuter dans les mêmes proportion que ceux de niveau 2, à savoir d'au moins 20 à 30% par an.

### *Les facteurs de puissance*

La performance d'un commutateur, qui inclut plusieurs critères (délai de transit, gestion de perte de trames, etc.) peut se résumer par le fait que :

- le commutateur Ethernet "à la volée" ne s'occupe que des premiers octets de chaque trame afin d'en effectuer l'aiguillage. Les commutateurs Token Ring, eux, doivent chercher plus loin dans la trame pour obtenir l'intégralité du champ de routage. Ce qui implique, donc, un temps d'examen plus long.
- le temps de traitement de la trame dans le commutateur est proportionnel à sa taille. Ce facteur est aggravé pour les commutateurs fonctionnant en mode "stockage-retransmission".
- la fonction de contrôle de congestion ralentit le trafic, mais évite des pertes de trames. C'est elle qui prend en charge les situations "de crise", lorsque les flux de données sont trop importants et occasionnent des blocages.
- l'architecture interne à base de circuits intégrés dédiés à la commutation accroît, dans l'absolu, ses performances intrinsèques.
- la rapidité avec laquelle le commutateur construit sa table d'adresses (elle corrèle les adresses des trames entrantes avec leur port de destination) joue un rôle clé. Si l'adresse de destination n'a pas été enregistrée, la trame est diffusée à tous les ports ce qui peut saturer la bande passante.

## **Commutation ou routage ?**

Déchargé de certaines fonctions par le commutateur, le routeur conserve ses tâches de haut niveau. Ses jours sont cependant comptés, avec l'incorporation d'une partie de la fonction de routage dans des commutateurs plus "intelligents". A terme, il pourrait être détrôné, comme équipement dédié, par le **serveur de route**.

Lorsque, dans une entreprise, près d'une dizaine de VLAN sont à interconnecter, le routage s'impose. Qu'elle prenne l'apparence d'une boîte dédiée ou d'un logiciel embarqué, la fonction de routage se maintiendra dans les futures architectures à base de commutation.

**4 scénarios** se profilent, du plus "minimaliste" à celui qui intègre la commutation ATM.

### *Maintien du "statu quo"*

Les routeurs traditionnels sont toujours utilisés pour structurer le réseau d'entreprise, reliant au backbone (réseau fédérateur) les commutateurs LAN. Ce schéma minimise les changements (postes de travail et cartes d'interface). Les commutateurs traitent les trames MAC qu'ils acheminent à l'intérieur du même réseau local virtuel, constitué d'un ou plusieurs commutateurs. Le routeur interconnecte les LAN virtuels, mais son intervention ralentit les performances globales du réseau.

### *Routage distribué*

Il s'effectue à la fois sur des commutateurs de niveau 3 et sur des routeurs classiques. S'il intègre les routeurs, ce scénario réduit toutefois leur nombre dans le réseau. Certains constructeurs se sont orientés vers le concept de commutateurs incorporant des fonctions de routage :

- **Bay Networks**, intègre des fonctions de routage distribué dans ses modules de commutation.
- **Digital Equipment**, ajoute le routage de plusieurs protocoles aux commutateurs.
- **Cisco Systems** rend les commutateurs plus "intelligents". La fonction d'analyse - découverte automatique du réseau, choix du meilleur chemin, reroutage automatique, etc. reste dans le routeur, et le résultat de l'analyse est téléchargé dans le commutateur. Il devient alors possible d'optimiser les investissements en ayant, d'un côté, un équipement dédié au routage, de l'autre, un commutateur très performant. Les nouveaux routeurs multiprotocoles jouent le rôle de « serveur de routes ». Mais, l'exécution de tâches de niveau élevé n'est pas sans incidences sur les performances du commutateur. Lorsque la fonction de routage est activée, il en résulte une diminution des performances en commutation pure. Ainsi, sur le Lanplex, la vitesse de commutation passe de 750 000 à 450 000 paquets/s.

### *Serveur de routes*

Le routage peut être concentré dans un serveur spécialisé qui calcule les routes pour le compte des commutateurs qui acheminent les trames :

- **Newbridge Networks** en commercialise un avec la gamme Vivid.
- **Cabletron** propose déjà des modules de commutation de niveau 3, annonce la sortie du Securefast Virtual Network Server Route.
- **IBM** prévoit de lancer des produits destinés à répartir la fonction de routage dans l'ensemble des équipements de réseaux : commutateurs de trames et ATM, cartes de communication des postes de travail. En remplaçant le gros routeur central par du routage distribué dans le réseau, le coût des investissements peut être divisé par 4 ou 5.

### *Commutation ATM*

La commutation ATM présente une variante. Cette technique véhicule les données en encapsulant dans des cellules de 53 octets les datagrammes, principe du mode Classical IP, ou les trames Ethernet ou Token ring, principe du mode **LANE** (LAN Emulation over ATM).

En ATM, il n'y a plus de routeurs, mais des serveurs de route se chargeant de traduire l'adresse réseau en adresse ATM. De fait, le routage est plus performant, mais pas forcément plus riche. Sauf, bien entendu, si l'on tient compte des fonctions de qualité de services propres au mode de commutation ATM.

- le standard **Classical IP sur ATM** permet d'intégrer les LAN IP (et seulement eux) dans un réseau ATM. Le routeur recompose les paquets à partir des cellules entrantes, lit leur adresse ATM, reconstitue les cellules sortantes et les dirige vers leur destination.
- le standard **MPOA** (Multiprotocol Over ATM) limite le rôle du routeur à celui de serveur de route de haut niveau intervenant notamment pour assurer des fonctions de sécurité.

Ce standard ratifié par l'ATM Forum, définit une architecture qui caractérise la manière dont les protocoles de la couche réseau **IP**, **IPv6**, **Appletalk** ou **IPX** sont acheminés au travers des infrastructures ATM. A la base

de MPOA, les mécanismes **NHRP** (Next Hop Routing Protocol) permettent à une station d'atteindre son destinataire sans "passer" au travers des routeurs.

### *Commutateurs d'accès ATM*

**CS Télécom** sort son premier commutateur d'accès ATM, le Safecom 4000, pour accompagner les 2 000 à 3000 sites français qui ont besoin de connexions haut débit. Sa bande passante de 1,2 Gbit/s est accessible à partir d'interfaces ATM de 2 Mbit/s, 34 Mbit/s et 155 Mbit/s.

Les flux téléphoniques, de données et vidéo émis par les utilisateurs des LAN sont aiguillés en sortie vers le réseau WAN privé de l'entreprise, en étant orienté sur LS, liaisons ATM, Frame relais ou Internet. Pour exécuter toutes ses tâches, le commutateur intègre un commutateur ATM, un équipement d'accès frame relay, un routeur IP d'une capacité de 50 Mbit/s et son firewall... L'intérêt, un seul produit à gérer. L'équipement gère jusqu'à 2000 files d'attente (trafics différents) par connexion ATM.

### *Glossaire*

**NHRP** issue des travaux de l'IETF permet d'ouvrir un circuit virtuel direct à travers plusieurs sous-réseaux, sans passer par un routeur, en utilisant plusieurs serveurs d'adresse NHS (Next Hop Server), répartis sur les sous-réseaux.

**MPOA**, mis au point par l'ATM Forum, peut être vu comme une évolution du LANE et comme un surensemble de NHRP. Il exploite simultanément l'efficacité et la simplicité du niveau 2, tout en offrant les possibilités de filtrage et de sécurité du niveau 3. Il peut être mis en oeuvre à travers les techniques de Route Server, de Multicast Server, de IASG Coordination (Internet Address Summarization Group).

**P-NNI** (Private Network-to-Network Interface), gère le dialogue entre commutateurs ATM. Elle permet l'ouverture de circuits virtuels à travers plusieurs groupes de commutateurs ATM ainsi que le reroutage de circuits virtuels en cas de problèmes, en s'appuyant sur la bande passante disponible et sur la qualité de service.

**Integrated P-NNI** intègre en plus des fonctions de routage P-NNI d'autres de niveau 2 et 3, telles qu'elles existent dans les routeurs.

### *Routeurs : un passage obligé*

Sur un réseau de protocoles IP, IPX... le routeur analyse les trames reçues. Avant de les réexpédier, il lit les en-têtes des paquets de la couche réseau et extrait les adresses des réseaux destinataires. Pour accomplir cette tâche, le routeur a "appris" la topologie logique de l'installation constituée de LAN et de subnets. La découverte du chemin à prendre s'effectue en interrogeant les routeurs voisins, selon un protocole de routage. Si l'on ajoute la capacité d'analyser différents protocoles, on comprend que le fonctionnement des routeurs s'appuient sur un logiciel complexe et une unité centrale très puissante.

Pour l'acheminement des trames, le routeur respecte des règles déterminées par l'administrateur du réseau, touchant au filtrage du trafic au niveau des applications, à la protection des données et à la sécurité. Le routeur est aussi le point de passage obligé pour assurer l'interconnexion de réseaux distants à travers des lignes télécoms. Son rôle de filtrage (coût de la communication, sécurité des accès, etc.) et ses fonctions de compression de données sont déterminants.