# Partie 5 : Réseaux Locaux

Olivier GLÜCK
Université LYON 1 / Département Informatique
Olivier.Gluck@univ-lyon1.fr
http://perso.univ-lyon1.fr/olivier.gluck

# Copyright


- Copyright © 2025 Olivier Glück; all rights reserved
- Ce support de cours est soumis aux droits d'auteur et n'est donc pas dans le domaine public. Sa reproduction est cependant autorisée à condition de respecter les conditions suivantes :
  - Si ce document est reproduit pour les besoins personnels du reproducteur, toute forme de reproduction (totale ou partielle) est autorisée à la condition de citer l'auteur.
  - Si ce document est reproduit dans le but d'être distribué à des tierces personnes, il devra être reproduit dans son intégralité sans aucune modification. Cette notice de copyright devra donc être présente. De plus, il ne devra pas être vendu.
  - Cependant, dans le seul cas d'un enseignement gratuit, une participation aux frais de reproduction pourra être demandée, mais elle ne pourra être supérieure au prix du papier et de l'encre composant le document.
  - Toute reproduction sortant du cadre précisé ci-dessus est interdite sans accord préalable écrit de l'auteur.

# Remerciements

- Certains transparents sont basés sur des supports de cours de :
  - Danièle DROMARD (PARIS 6)
  - Andrzej DUDA (INP Grenoble/ENSIMAG)
  - Shivkumar KALYANARAMAN (RPI/ECSE)
  - Alain MILLE (LYON 1)
  - CongDuc PHAM (LYON 1)
  - Laurent Toutain (ENST Bretagne)
  - Michel RIVEILL (Université de Nice/ESSI)
  - L'Institut National des Télécommunications (INT)
  - Cisco Networking Acadamy
- Des figures sont issues des livres cités en bibliographie

# Bibliographie


- « *Réseaux* », 4ième édition, Andrew Tanenbaum, Pearson Education, ISBN 2-7440-7001-7
- « *Réseaux et Télécoms* », Claude Servin, Dunod, ISBN 2-10-007986-7
- « *Analyse structurée des réseaux* », 2ième édition, J. Kurose et K. Ross, Pearson Education, ISBN 2-7440-7000-9
- « *TCP/IP Illustrated Volume 1, The Protocols* », W. R. Stevens, Addison Wesley, ISBN 0-201-63346-9
- « *TCP/IP, Architecture, protocoles, applications* », 4ième édition, D. Comer, Dunod, ISBN 2-10-008181-0
- « *An Engineering Approach to Computer Networking* », Addison-Wesley, ISBN 0-201-63442-6
- « Réseaux locaux et Internet, des protocoles à l'interconnexion », 3ième édition, Laurent Toutain, Hermes Science, ISBN 2-7462-0670-6
- Internet…

# Plan de la partie 5 (1)

- Généralités sur les réseaux locaux
  - définitions, caractéristiques et constituants d'un LAN
  - normalisation
- Etude générale des couches 1 et 2
  - services physiques
  - couche MAC
  - couche LLC
- Les réseaux à accès aléatoires (CSMA/CD)
  - principe du CSMA/CD
  - format des trames Ethernet/IEEE 802.3

# Plan de la partie 5 (2)

- Différentes versions d'Ethernet
- La commutation dans les réseaux locaux
- Les réseaux locaux virtuels (VLAN)

# Généralités sur les réseaux locaux

Qu'est ce qu'un réseau local ?

Evolution des réseaux informatiques

Caractéristiques et constituants d'un LAN

Couches 1 et 2 dans les LAN

Normalisation

# Qu'est ce qu'un réseau local ? (1)

- C'est un ensemble de **moyens autonomes de calculs** reliés entre eux pour s'échanger des informations et partager des **ressources matérielles ou logicielles**
- Moyens autonomes de calcul
  - micro-ordinateurs
  - stations de travail
  - imprimantes, fax, …
  - PDA, téléphones portables, …

# Qu'est ce qu'un réseau local ? (2)

- Ressources matérielles partagées
  - imprimantes, photocopieurs, scanners, graveurs
  - espaces disque, ...
- Ressources logicielles partagées
  - programmes, fichiers, ...
  - bases de données
  - messagerie
- On trouve généralement dans un réseau local
  - un serveur de fichiers, d'impressions, de messagerie, de gestion des comptes utilisateur, de licences, de routage sécurisé vers Internet, web ...

# Qu'est ce qu'un réseau local ? (3)

- LAN - Local Area Network
  - un réseau local couvre en principe une surface géographique peu étendue (étage ou bâtiment) dans la classification LAN/MAN/WAN
- RLE - Réseau Local Etendu ou d'Entreprise
  - un réseau local qui peut s'étendre sur plusieurs bâtiments ou sites
  - abstraction de la notion d'étendue géographique

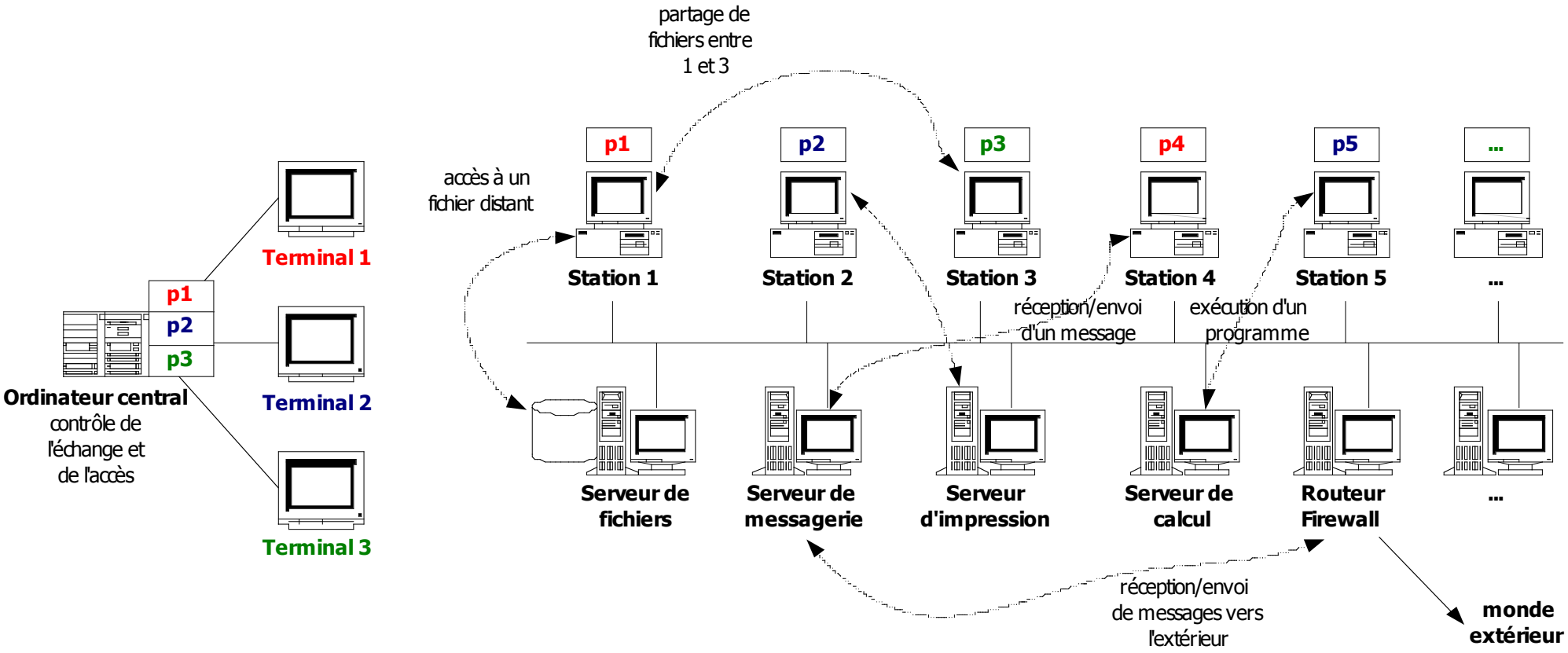
# Evolution des réseaux informatiques (1)

- Deux problèmes majeurs dans les réseaux informatiques
  - Où s'effectuent les traitements (exécution des programmes) ?
  - Quelle est la politique d'accès au réseau ?
- Les premiers réseaux informatiques…
  - un ordinateur central qui effectue tous les traitements
  - des terminaux passifs dotés d'aucune puissance de calcul mais qui permettent uniquement de lancer certains programmes sur l'ordinateur central -> partage du temps CPU de l'ordinateur central entre les différents terminaux
  - l'ordinateur central contrôle les échanges et les accès des terminaux secondaires (relation maître/esclave)

# Evolution des réseaux informatiques (2)

- Les réseaux locaux…
  - des **serveurs** mettent à disposition des **clients** certaines ressources partagées
  - les postes client (ou stations) disposent d'une puissance de calcul -> ils exécutent certains programmes en local et émettent des requêtes vers les serveurs pour disposer d'un service particulier non disponible localement
  - le contrôle d'accès au réseau est décentralisé
  - il est maintenant fréquent que chaque station mettent à disposition des autres un certain nombre de ressources (on parle alors de système *peer-to-peer*, chaque poste est à la fois client et serveur)

# Evolution des réseaux informatiques (3)



# Caractéristiques d'un réseau local

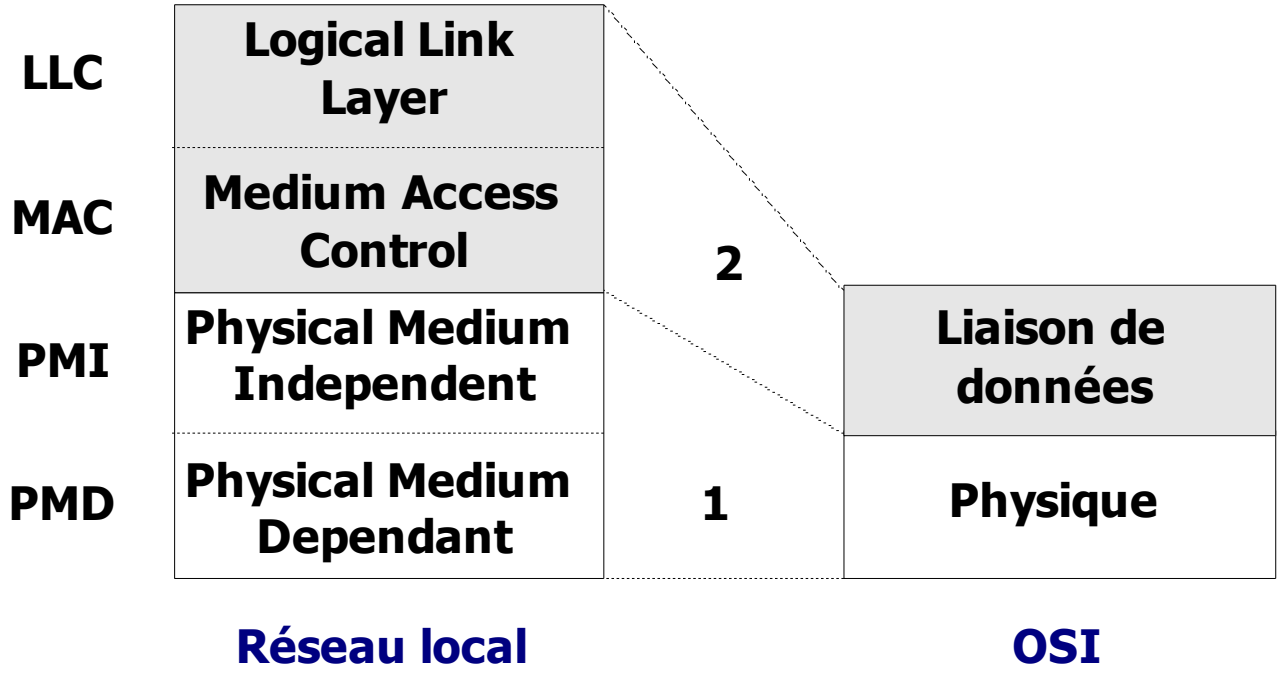
- Distances courtes entre les terminaux
  - entre 100 m et 1 km
- Bande passante élevée
  - 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s
- Médium de communication partagé
  - il faut gérer l'accès au médium (différentes méthodes)
- Environnement distribué
  - chaque élément peut mettre des ressources à disposition des autres et/ou accéder à des ressources distantes
  - les équipements et les données sont partagées

# Constituants d'un réseau local

- Un câblage reliant les différents nœuds suivant une certaine topologie
- Une méthode d'accès au support pour assurer son partage
- Une méthode d'adressage pour identifier chaque entité du réseau
- Un ensemble de protocole pour permettre la communication
- Des applications qui utilisent les protocoles de communication

# Les couches 1 et 2 des LAN (1)

- LAN / OSI
  - OSI : mode point à point au niveau des couches 1 et 2
  - LAN : un support unique en mode diffusion



# Les couches 1 et 2 des LAN (2)

- PMD - *Physical Medium Dependent*
  - assure le transfert des données (bits) sur des supports variés
    - câble coaxial, paire torsadée, fibre optique, sans fil
- PMI - *Physical Medium Independent*
  - détection de la présence d'un signal, codage, récupération d'horloge (synchronisation)
- MAC - *Medium Access Control*
  - contrôle de l'accès partagé au support et contrôle d'erreur
- LLC - Logical Link Control
  - établissement/rupture de la connexion, gestion de la liaison logique

# L'adressage

- OSI : adressage au niveau de la couche réseau (3)
- LAN : un niveau d'adressage supplémentaire
  - chaque interface (point d'accès au réseau) est distinguée par une **adresse physique** ou **adresse MAC**
  - le message n'est transmis à la couche réseau que s'il concerne l'interface destinataire
  - -> évite d'interrompre le processeur hôte de chaque poste raccordé pour chaque message transmis et pour s'apercevoir finalement que le message ne lui était pas destiné…

# Normalisation (1)

- février 1980 : groupe de travail 802 de l'IEEE chargé de définir des standards relatifs aux LAN
- 1998 : l'ISO normalise la plupart de ces standards
- Les sous-groupes du groupe 802
  - **802.1** : architecture générale des réseaux locaux, format d'adressage, techniques d'interconnexion et d'administration
  - **802.2** : protocole LLC divisé en trois classes de services
    - LLC1 : mode non connecté (pas de reprise sur erreur, pas de contrôle de séquencement et de duplication)
    - LLC2 : mode connecté proche d'HDLC
    - LLC3 : mode non connecté mais avec acquittement (détection d'erreur)

# Normalisation (2)

- Les sous-groupes du groupe 802
  - **802.3** à **802.6** et **802.11** à **802.14** : spécifications des différentes méthodes d'accès
  - **802.7** et **802.8** : coordination des autres sous-groupes pour les besoins large bande (802.7) et fibre optique (802.8)
  - **802.9** : intégration de la voix et des données
  - **802.10** : sécurité des transmissions (chiffrage des données)
  - **802.11** : sans fil (WLAN) infrarouge ou hertzien
  - **802.15** : Bluetooth
  - …

# Normalisation (3)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LLC**<br>couche 2 OSI<br>**MAC** | **802.2 LLC Logical Link Layer** | | | | | | |
| | **802.3**<br>**CSMA/ CD** | **802.4**<br>**Token bus** | **802.5**<br>**Token ring** | **802.6**<br>**DQDB MAN** | **802.9**<br>**Voix/ Data** | **802.11**<br>**Sans fil** | **802.12**<br>**Any LAN** |
| couche 1 OSI | **Bus** | **Bus à jeton** | **Anneau à jeton** | **Double bus** | | | **Etoile** |
| | **support physique** | | | | | | |

Et maintenant 802.16 → WiMAX…

# Etude générale des couches 1 et 2

Services physiques

Couche MAC

Couche LLC

# Topologies et méthodes d'accès (1)

- La méthode d'accès utilisée dépend de la topologie du réseau sous-jacent
- Topologie en bus
  - les messages sont reçus par l'ensemble des stations connectées (diffusion)
  - une station peut accéder à tout moment au support -> problème si deux stations décident d'émettre en même temps (collision)
  - 802.3 (Ethernet) : une station vérifie avant d'émettre qu'aucune autre station n'est déjà en train d'émettre
  - 802.4 (Token Bus) : chaque station se voit attribuer tour à tour le droit d'émettre (circulation d'un jeton)

# Topologies et méthodes d'accès (2)

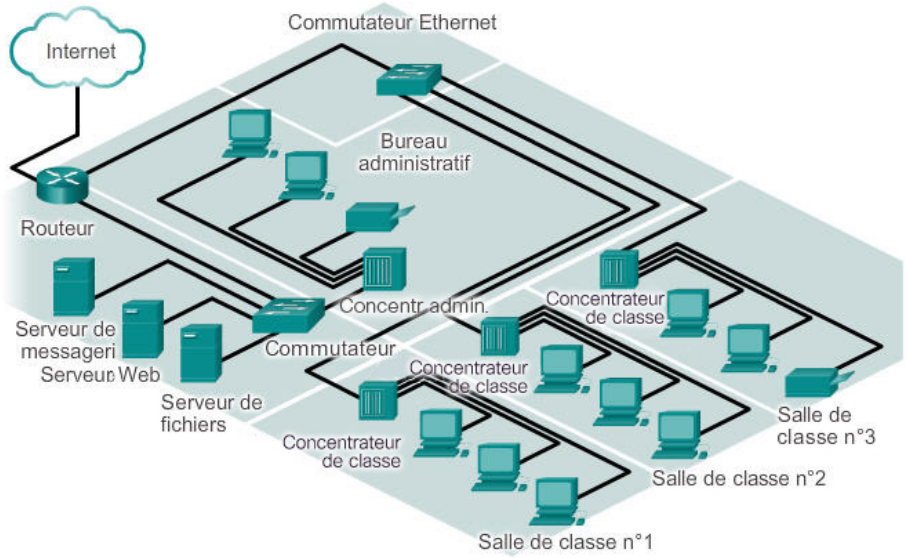
- Topologie en anneau
  - circulation unidirectionnelle du message de proche en proche jusqu'à atteindre le destinataire
  - 802.5 (Token Ring) : le droit d'émettre est transmis par l'intermédiaire d'un jeton qui circule de station en station sur l'anneau
- Topologie en étoile
  - N liaisons point à point autour d'un concentrateur qui peut éventuellement participer à la distribution de l'accès au support
  - Une station qui désire émettre peut formuler une demande au concentrateur (802.12)

# Topologies et méthodes d'accès (3)

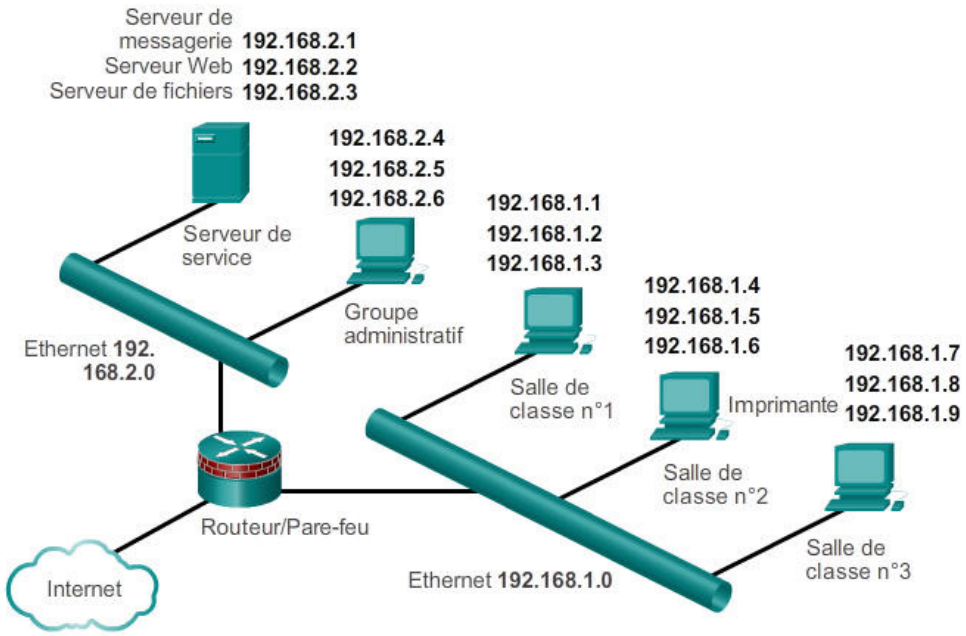
- Récapitulatif des méthodes d'accès
  - accès aléatoires avec écoute du canal (802.3/Ethernet)
    - protocole très simple à mettre en œuvre (pas d'échange d'information entre les équipements pour gérer le droit de parole) -> peu coûteux
  - accès contrôlés
    - gestion centralisée par un concentrateur (802.12)
    - gestion décentralisée : systèmes à jeton
      - jeton adressé (Token bus) - protocole complexe qui garantit une borne maximale pour le temps d'émission
      - jeton non adressé (Token ring) - circulation plus simple du jeton

# Topologie physique/logique (1)

Topologie physique

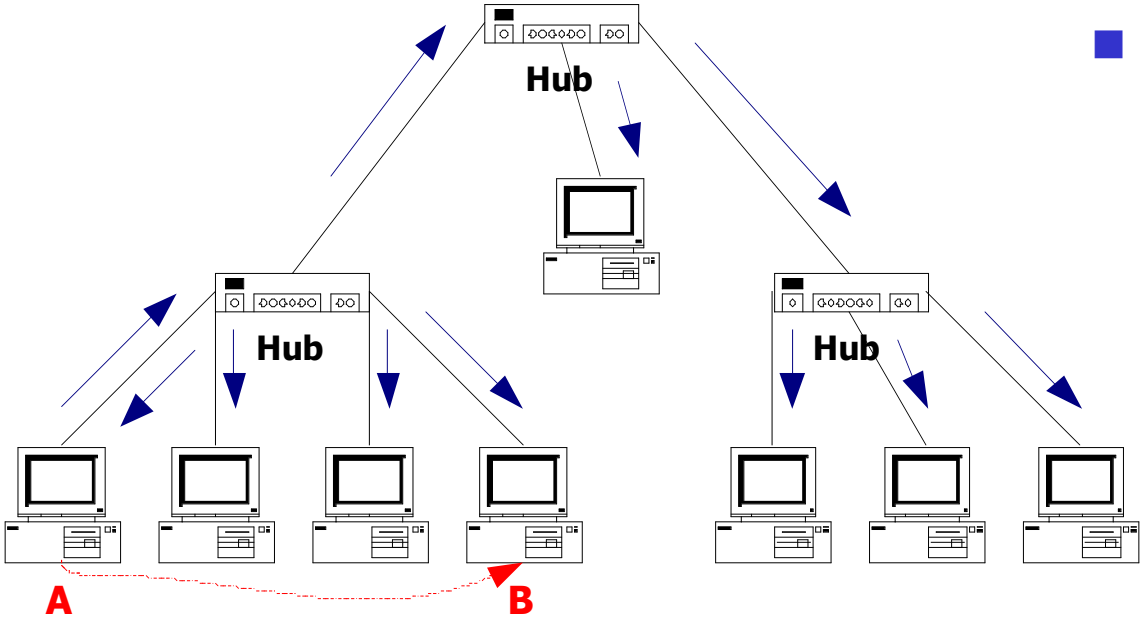



Topologie logique



# Topologie physique/logique (2)

- La topologie physique indique comment les différentes stations sont physiquement raccordées (câblage)
- La topologie logique décrit comment est distribué le droit d'émettre

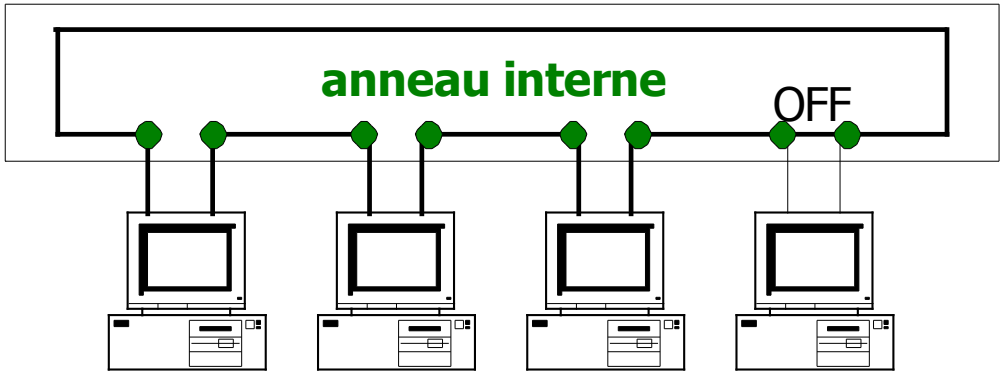



- Exemple 802.3
  - topologie physique en étoile
  - topologie logique en bus

# Topologie physique/logique (3)

- Dans un anneau, si une station tombe en panne, tout l'anneau est interrompu
- Utilisation d'un concentrateur MAU qui détecte les stations hors service

**MAU - Multiple Access Unit ou Media Attachement Unit**



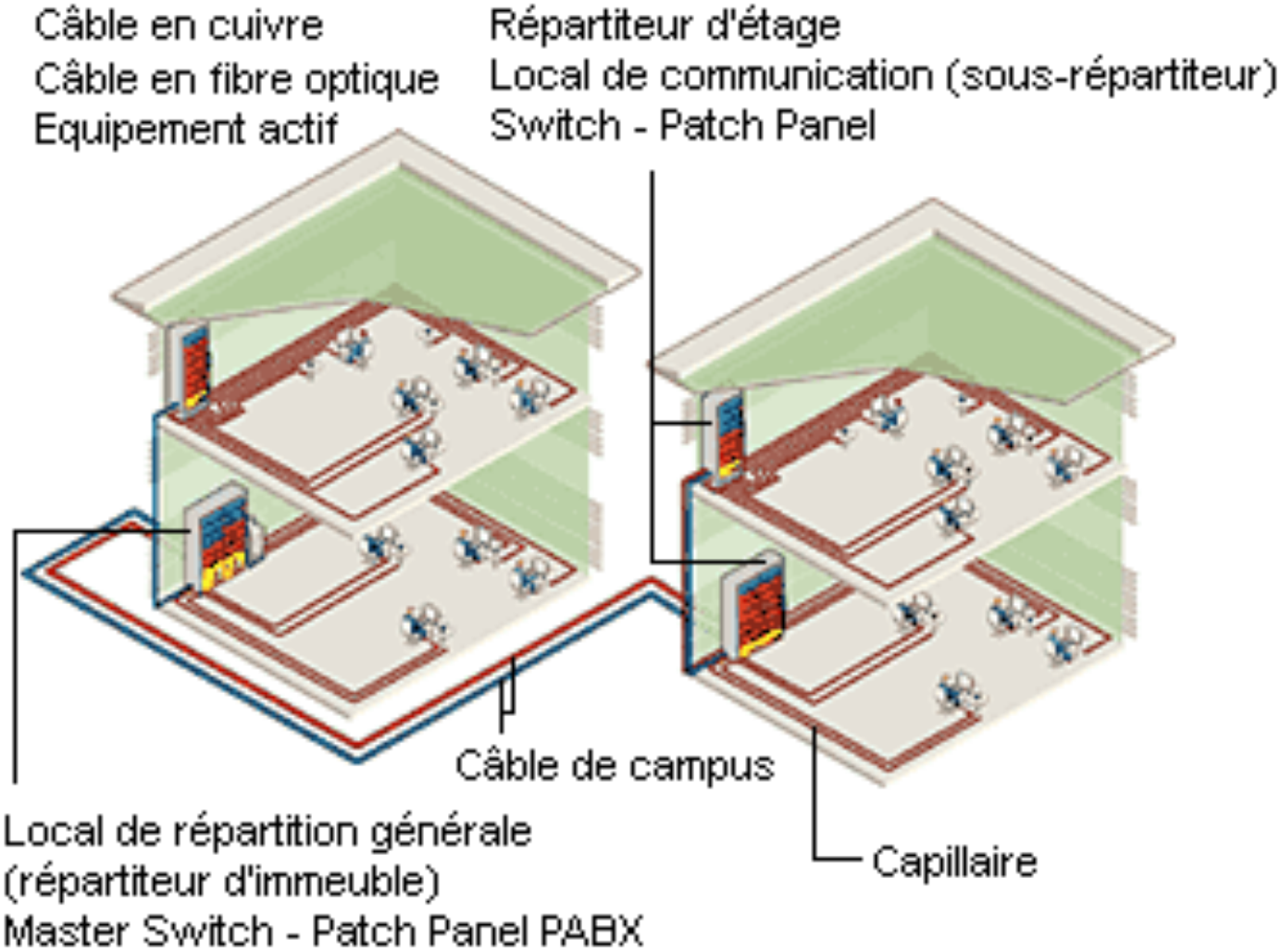

**Lobe actif** **Lobe inactif**

- Exemple 802.5
  - topologie physique en étoile
  - topologie logique en anneau

# Câblage des bâtiments (1)

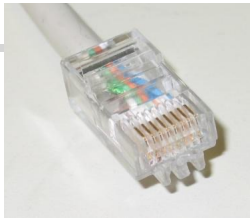
- Le plus souvent, topologie physique en étoile vers un local technique qui assure l'interconnexion
  - permet de construire des sous-réseaux indépendants entre eux
- Le pré-câblage qui permet une gestion très souple
  - les câbles vont d'un bureau vers un panneau de brassage (100 m maximum) ; de ce panneau partent d'autres câbles vers l'équipement d'interconnexion qui utilise la technologie de réseau appropriée
  - pour modifier la topologie physique du réseau, il suffit de re-câbler le panneau de brassage
  - il y a abstraction du type de réseau et de la topologie

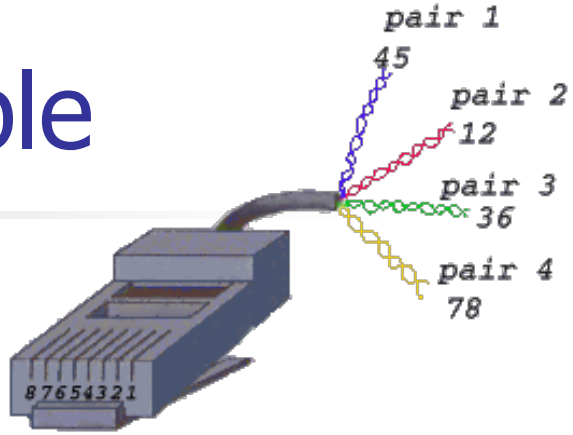
# Câblage des bâtiments (2)




source 3M-France

# Les différents types de câble

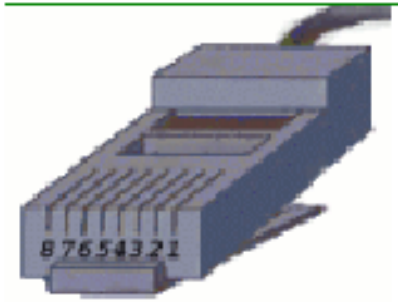




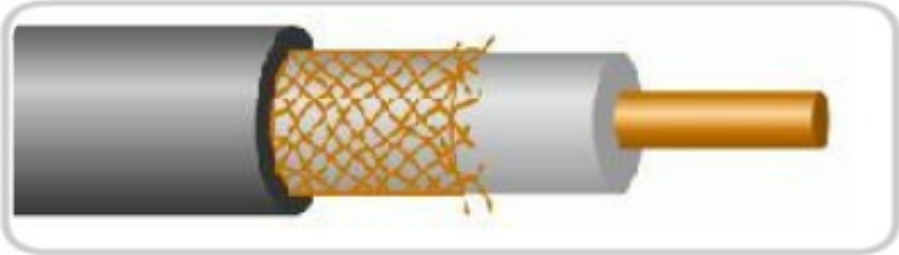

- Paires torsadées (ex. Ethernet)
  - peu coûteux, facile à mettre en place
  - très utilisées dans les réseaux locaux et la téléphonie
  - longueur limitée à 100 m (relativement sensible aux perturbations électromagnétiques)

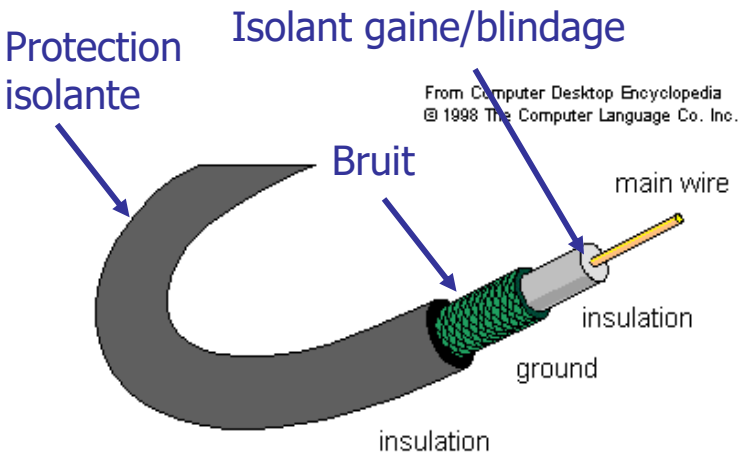
| Broche | nom | description pour 10baseT |
|---|---|---|
| 1 | TX+ | Transmission de données + |
| 2 | TX- | Transmission de données - |
| 3 | RX+ | Réception de données + |
| 4 | n/c | 100BaseT4 uniquement |
| 5 | n/c | 100BaseT4 uniquement |
| 6 | RX- | Réception de données - |
| 7 | n/c | 100BaseT4 uniquement |
| 8 | n/c | 100BaseT4 uniquement |
| | Note | Sur les hubs, TX et RX sont intervertis |

La paire torsadée se branche à un RJ-45. Le RJ-45 se compose de huit broches.



# Les différents types de câble



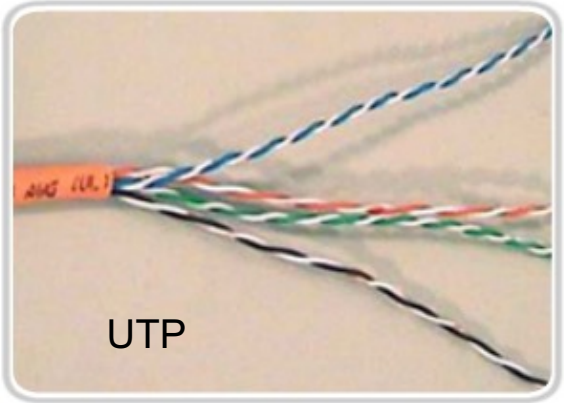


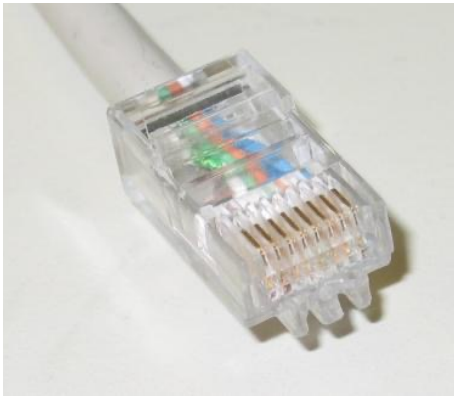

- Câble coaxial (ex. LAN, TV, Câble, …)
  - supporte des distances plus grandes, plus résistant aux perturbations
  - relativement coûteux, plus difficile à installer (rigidité du câble, encombrant)

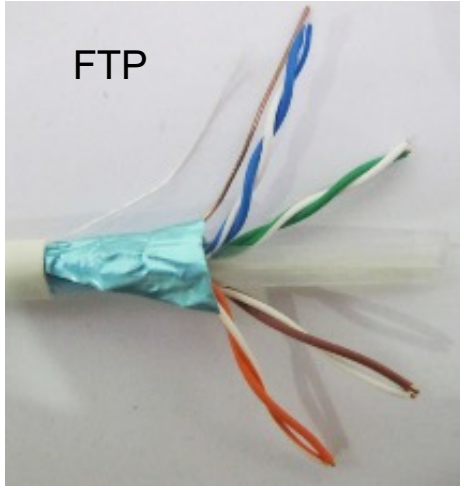
- Fibre optique
  - très coûteux, faible atténuation, très grande BP
  - utilisée principalement dans le cœur des réseaux
  - multimode (~1km) et monomode (~60km)

# Les câbles en paires torsadées (1)

- Trois principaux types de câble
  - paires torsadées non blindées (UTP) : les fils sont regroupés deux à deux et torsadés -> réduit la diaphonie (passage du signal d'un fil à l'autre)
  - paires torsadées écrantées (FTP) : idem mais écran aluminium
  - paires torsadées blindées (STP) : chaque paire possède son propre écran





# Les câbles en paires torsadées (2)

- Différentes catégories (standard ISO 11801) selon la bande passante sur 100 m
  - Catégorie 2 : Utilisation jusqu'à 1 MHz, téléphonie
  - Catégorie 3 : Utilisation jusqu'à 16 MHz, Ethernet 10Mbps, Token Ring 4 Mbps, Localtalk, téléphonie
  - Catégorie 4 : Utilisation jusqu'à 20 MHz, Ethernet 10Mbps, Token Ring 4 et 16 Mbps, Localtalk, téléphonie
  - Catégorie 5 : Utilisation jusqu'à 100 MHz, Ethernet 10 et 100 Mbps, Token Ring 4/16 Mbps, ATM 155 Mbps
  - Catégorie 6, 7 : En cours de normalisation, GigabitEthernet, ATM 1,2Gbitps

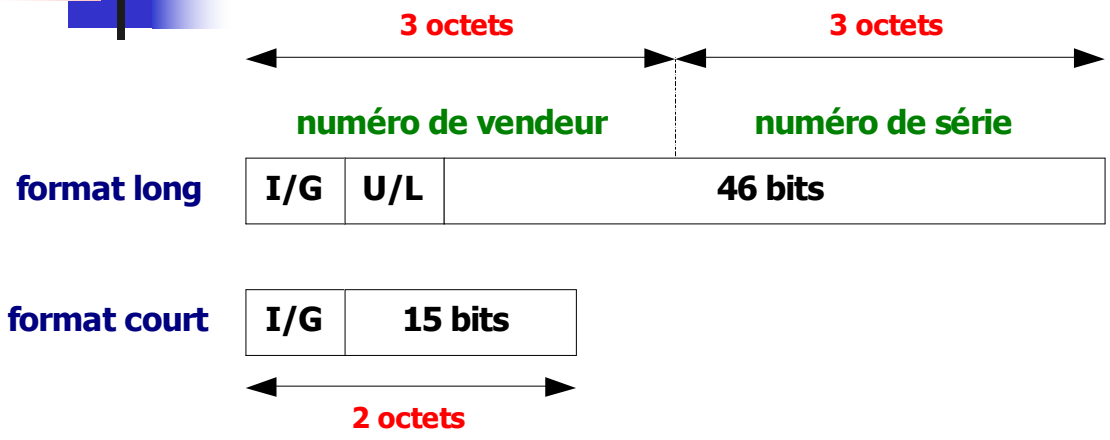
# La couche MAC

- Gestion de l'accès au support, problèmes d'adressage (adresse MAC), contrôle d'erreurs (FCS)
- Les méthodes d'accès aléatoires (ou à contention) **CSMA** - *Carrier Send Multiple Access* (accès multiple avec écoute de la porteuse)
  - **CSMA/CA** - *Collision Avoidance* (AppleTalk, 802.11, …)
    - prévention de collision
    - AppleTalk obsolète : 230,4 kbit/s pour le partage d'imprimantes
  - **CSMA/CD** - *Collision Detection* (Ethernet)
    - détection de collision
    - normalisé par IEEE 802.3 et ISO 8802.3

# L'adressage MAC IEEE 802.1 (1)

- L'adresse MAC désigne de façon unique une station sur le réseau (unicité assurée par l'IEEE)
- Adressage à plat : l'adresse ne donne aucune information sur la localisation de la machine
- Elle est gravée sur la carte d'interface réseau ou l'équipement par le fabriquant
- Deux formats
  - adresse courte sur 16 bits pour réseaux locaux non interconnectés (n'est plus utilisée)
  - adresse longue sur 48 bits pour les réseaux interconnectés

# L'adressage MAC IEEE 802.1 (2)




**I/G=0** : adresse individuelle (unicast)

**I/G=1** : multicast ou broadcast

**U/L=0** : adresse universelle IEEE

**U/L=1** : adresse locale (unicité garantie par l'administrateur local)

- Numéro de vendeur attribué par l'IEEE (RFC 1340)
  ex: Cisco (00-00-0C), Sun (08-00-20), Xerox (00-00-AA)
- Numéro de série attribué par le constructeur
- Adresse de *broadcast* : FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - utilisée par les protocoles de résolution d'adresses
  - la trame est délivrée à la couche supérieure
  - utilisation néfaste pour les performances (IT CPU)

# L'adressage MAC IEEE 802.1 (3)

- Ecriture de l'adresse (voir RFC 2469)
  - I/G est le 1er bit transmis
  - Format IEEE (forme canonique) utilisé par Ethernet. Le 1er bit transmis est le bit $2^0$, les octets sont séparés par - 03-00-00-00-00-00 signifie I/G=1 et U/L=1
  - Format non canonique utilisé par Token Ring. Ecriture inversée, le 1er bit transmis est le bit $2^7$, les octets sont séparés par :, 80:00:00:00:00:00 signifie I/G=1 et U/L=0

```
In memory,        12        34        56        78        9A        BC
 canonical:   00010010 00110100 01010110 01111000 10011010 10111100

                  1st bit appearing on LAN (group address indicator I/G)
                  |
On LAN:          01001000 00101100 01101010 00011110 01011001 00111101

In memory,
MSB format:  01001000 00101100 01101010 00011110 01011001 00111101
                 48        2C        6A        1E        59        3D
```

# L'adressage MAC IEEE 802.1 (3)

- Adresse de diffusion restreinte (multicast)
  - bit I/G=1 -> désigne un ensemble de stations
  - chaque station stocke une liste d'adresses de groupe (fournies par des applications qui utilisent le multicast) auxquelles elle doit répondre
  - le filtrage est réalisé au niveau MAC contrairement à la diffusion généralisée (broadcast)
  - par exemple pour IP multicast (adresses de classe D), la plage d'adresses MAC s'étend de 01-00-5E-00-00-00 à 01-00-5E-7F-FF-FF (RFC 1112)

# L'adressage MAC IEEE 802.1 (4)

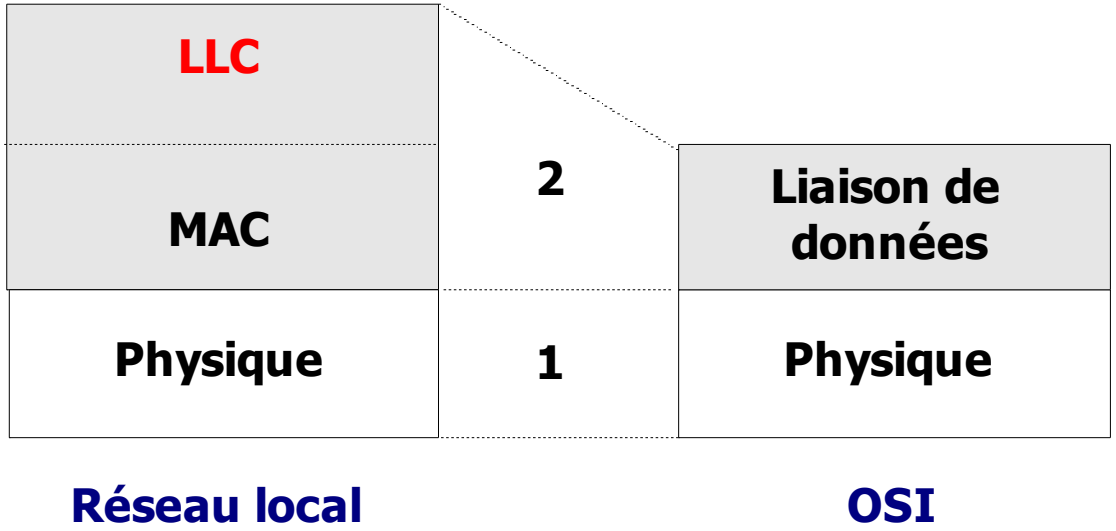
- En 1995, la norme IEEE 1394 a défini une nouvelle structure d'adresse MAC sur 64 bits (EUI-64)
- Le numéro de série est étendu à 5 octets pour répondre à la pénurie d'adresses
  - du fait des quantités de matériels vendus
  - extension aux applications domestiques grand public (téléviseurs, magnétoscopes, …)
- L'IEEE n'attribue une nouvelle adresse a un constructeur que si ce dernier a déjà utilisé plus de 90% de ses valeurs possibles

# Le contrôle d'erreur

- La trame MAC contient une en-tête et en-queue spécifiques à chaque type de réseau
- L'en-queue contient 4 octets pour le champ CRC ou FCS normalisé par l'IEEE : le polynôme générateur est le même quelque soit le réseau utilisé
- La couche MAC rejette les trames erronées mais ne fait pas de reprise sur erreur (éventuellement réalisée par les couches supérieures)

# La couche LLC - IEEE 802.2

- Rôle : masquer aux couches supérieures le type de réseau utilisé, contrôle de la transmission des données une fois que la station a gagné son droit à la parole (couche MAC)
- Sous-ensemble (parfois très réduit) d'HDLC



# La trame LLC (1)

- Format général de la trame LLC
  - SAP (*Service Access Point*) permet de désigner la (ou les) couche(s) supérieure(s) destinataire(s) (DSAP) et la couche supérieure émettrice (SSAP)
  - permet de faire cohabiter plusieurs protocoles sur une même interface réseau (IP/IPX/NETBIOS/X.25/…)
  - 7 bits de poids fort = @ du SAP (RFC 1700)
  - le bit de poids faible (C/R ou I/G)
    - SSAP : trame de commande (C/R=0) ou de réponse (C/R=1)
    - DSAP : trame destinée à un SAP unique (I/G=0) ou à un groupe (I/G=1)

| **DSAP**<br>**8 bits** | **SSAP**<br>**8 bits** | **Commande**<br>**8 ou 16 bits** | **Données**<br>**M octets** |
|---|---|---|---|

# La trame LLC (2)

- Le champ commande de la trame LLC
  - champ commande similaire à celui d'HDLC
  - trames (I) et (S) sur 2 octets, trames (U) sur 1 octet
  - trames (S)
    - 4 bits sont réservés pour un usage futur (mis à 0)
    - 3 types : RR, RNR et REJ
  - trames (U) : SABME, DISC, UA, DM, FRMR, UI…

| DSAP<br>8 bits | SSAP<br>8 bits | Commande<br>8 ou 16 bits | Données<br>M octets |
|---|---|---|---|

| bit15 | bit14 | bit13 | bit12 | bit11 | bit10 | bit9 | bit8 | bit7 | bit6 | bit5 | bit4 | bit3 | bit2 | bit1 | bit0 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nr** | | | | | | | **P/F** | **Ns** | | | | | | | **0** | **(I)** |
| **Nr** | | | | | | | **P/F** | r | r | r | r | **S** | **S** | **0** | **1** | **(S)** |
| | | | | | | | | **U** | **U** | **U** | **P** | **U** | **U** | **1** | **1** | **(U)** |

# Quelques valeurs de SAP

| SAP hexa. | SAP décimal | SAP Binaire | signification | Equivalent Ethernet |
|---|---|---|---|---|
| 0x00 | 0 | 0000 0000 | SAP Nul | |
| 0x02 | 2 | 0000 0010 | Gestion de la couche LLC | |
| 0x06 | 6 | 0000 0110 | Réseau IP | 0x800 |
| 0x42 | 66 | 0100 0010 | Gestion du *Spanning Tree* | |
| 0x7E | 126 | 0111 1110 | X.25 niveau 3 | 0x805 |
| 0xAA | 170 | 1010 1010 | SNAP | |
| 0xE0 | 224 | 1110 0000 | IPX: (protocole du réseau NetWare de Novell) | 0x8137 |

**source L. Toutain**

# Les réseaux à accès aléatoires

Réseaux IEEE 802.3 et Réseaux Ethernet

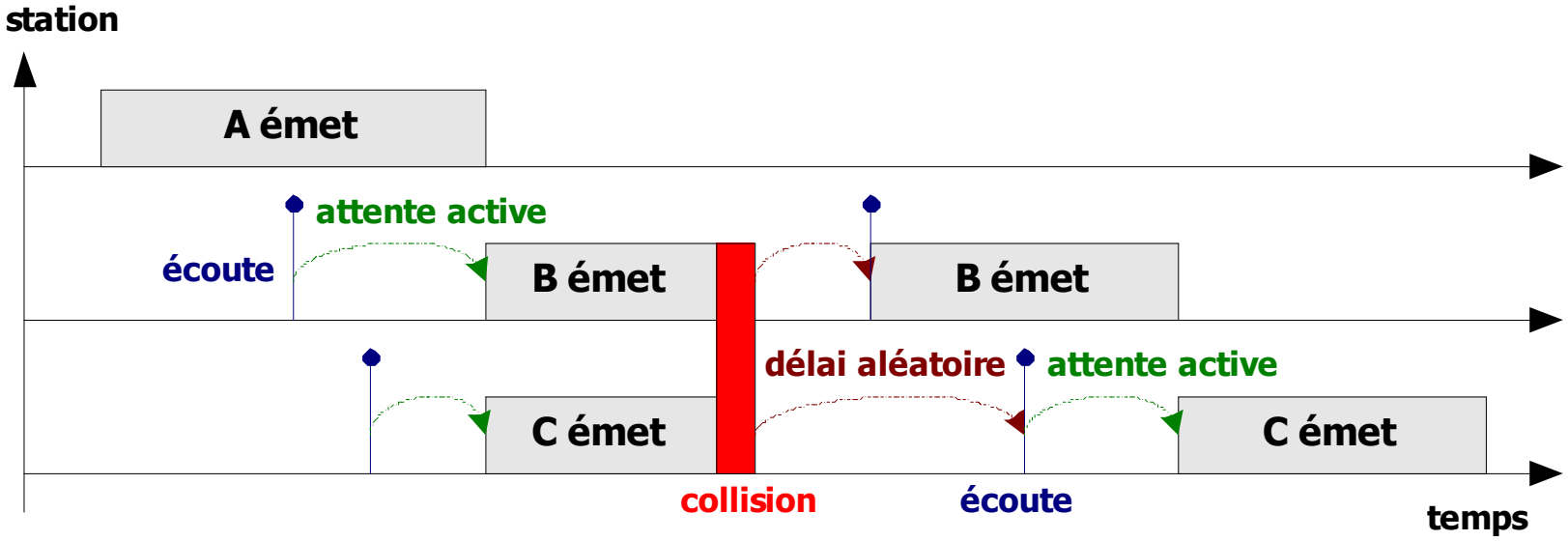
# La petite histoire d'Ethernet

- 1970 : protocoles à contention pour des accès radio à l'université d'Hawaii
- 1973 : première version d'Ethernet (Xerox) - 3Mbit/s sur câble coaxial
- 1980 : Ethernet DIX (Digital/Intel/Xerox) 10Mbit/s
- 1982 : spécifications définitives d'Ethernet V2
- 1985 : IEEE 802.3 10 Base 5
- 1989 : ISO 8802.3
- Aujourd'hui, Ethernet=90% des réseaux locaux et développement du 802.11

# Principe du CSMA/CD (1)

- Rappel : à un instant donné, une seule trame circule sur le câble
  - pas de multiplexage, pas de full-duplex (pendant l'émission, la paire de réception sert à l'écoute du canal)
  - diffusion des messages à toutes les stations
  - avant d'émettre, une station écoute le réseau pour s'assurer que le support est libre
  - si deux stations émettent simultanément car elles ont détecté un silence sur le support, il y a collision : chaque message est pollué par l'autre
  - en cas de collision, une station cesse ses émissions et essaie d'émettre ultérieurement
  - la couche MAC réalise la reprise sur collision

# Principe du CSMA/CD (2)




- Principe de la détection de collision
  - chaque station écoute son propre message et compare les niveaux électriques du message qu'elle a émis et du message écouté

# Principe du CSMA/CD (3)

- Après 16 tentatives d'émission d'un même message, l'émetteur abandonne l'émission
- Si deux stations entrent en collision, la probabilité pour que l'une des stations en subisse une deuxième est 0,5
- Impossible de borner le temps d'attente avant une émission d'un message
  - méthode d'accès probabiliste et non déterministe
  - ne convient pas aux applications temps réel et aux transferts isochrones (voix/données)
  - CSMA/CD efficace sur un réseau peu chargé, pas adapté aux réseaux chargés

# La détection de collision (1)

- Si A et B émettent simultanément, pour que A détecte la collision, il faut que A soit encore en train d'émettre quand le premier bit de B lui parvient
- Fenêtre de collision : temps minimal pendant lequel une station doit émettre pour détecter une éventuelle collision (dans le cas des 2 stations les plus éloignées sur le réseau)
- Ce temps est fixé à 51,2µs pour un réseau à 10Mbit/s avec comme plus grande distance 2500m

# La détection de collision (2)

http://wps.aw.com/aw_kurose_network_2/0,7240,227091-,00.html.

- Conclusion : il y a une taille minimale de trame qui dépend
  - du débit du réseau
  - de la distance maximale entre deux stations (diamètre du réseau)
  - 512 bits (64 octets) pour 10Mbit/s et 2500m
- Pour assurer la compatibilité entre les différentes versions et ne pas pénaliser les performances, la taille minimale est fixée à 64 octets
  - -> il faut ajuster le diamètre du réseau en conséquence

| | | |
|---|---|---|
| 10Mbit/s | 2500m | 51,2µs |
| 100Mbit/s | 250m | 5,12µs |
| 1000Mbit/s | 25m | 0,512µs |

# Trames IEEE 802.3 et Ethernet (1)

## Trame IEEE 802.3

| Préambule | SFD | @MAC dest | @MAC src | Lg | Données utiles | Bourrage | FCS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 octets | 1 octet | 6 octets | 6 octets | 2 octets | min 46 octets - max 1500 octets | | 4 octets |

min 64 octets - max 1518 octets

## Trame Ethernet

| Préambule | SFD | @MAC dest | @MAC src | Type | Données utiles | Bourrage | FCS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 octets | 1 octet | 6 octets | 6 octets | 2 octets | min 46 octets - max 1500 octets | | 4 octets |

min 64 octets - max 1518 octets

- Préambule : 7 fois 10101010 pour la synchronisation bit
- SFD (*Start Frame Delimitor*) : 1010101**1**1 pour la synchronisation octet
- Bourrage si Lg < 46 octets pour détection collision
- FCS sur 4 octets pour la détection d'erreur
- Différence IEEE 802.3/Ethernet : champ Lg/Type

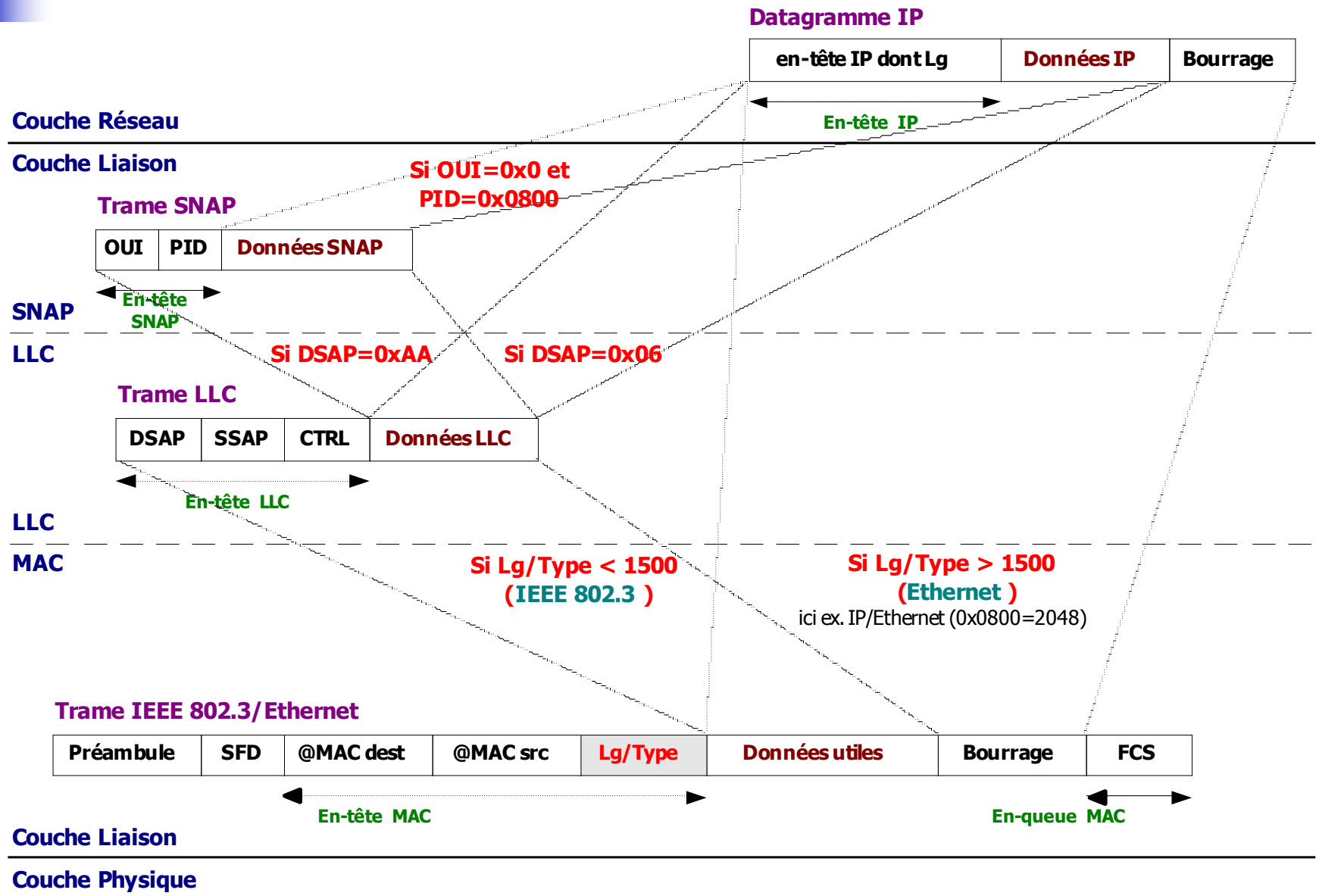
# Trames IEEE 802.3 et Ethernet (2)

- Le champ Lg/Type et compatibilité
  - 802.3 : le champ Lg désigne la longueur des données utiles (sans le *padding*) et Lg < 1500
  - Ethernet : le champ Type désigne le type des données (i.e. le protocole à qui il faut délivrer les données)

    exemples : IP=0x0800, ARP=0x0806, IPX=0x8137

    la couche supérieure véhicule la longueur des données
  - Compatibilité assurée par le fait que le champ Type ne commence la numérotation des protocoles qu'à partir de la valeur décimale 1500

# Compatibilité IEEE/Ethernet



# Différentes versions d'Ethernet

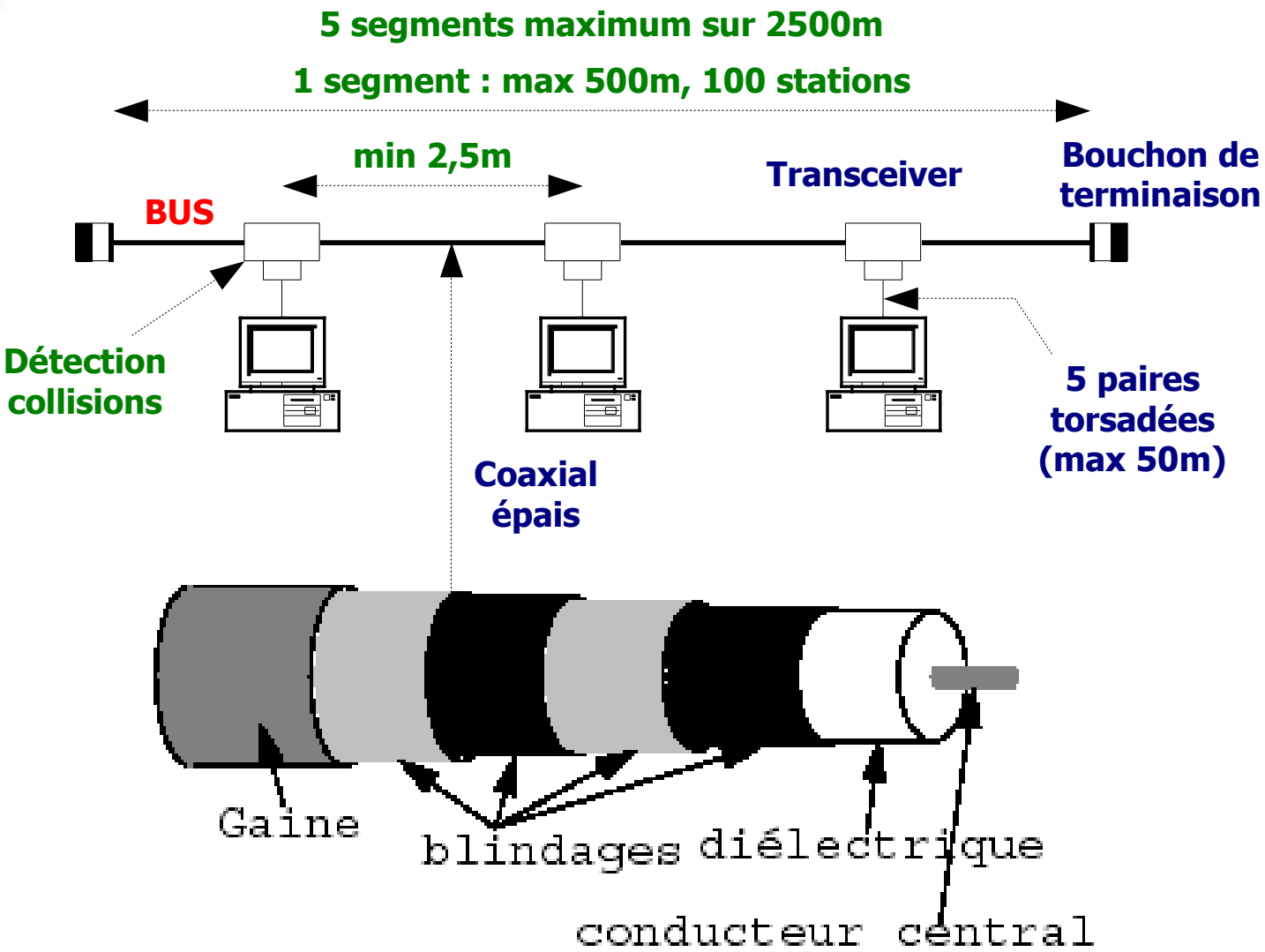
# Pourquoi différentes versions ?

- Protocoles évolutifs
  - 2Mbit/s, 10Mbit/s, 100Mbit/s, 1Gbit/s
  - coaxial, paires torsadées, fibres optiques
- Les appellations normalisées IEEE 802.3 sont désignées par un code qui indique
  - le débit
  - le type de modulation (bande de base ou large bande)
  - la longueur maximale d'un segment pour un câble coaxial ou une lettre donnant le type du support (T pour la paire torsadée, F pour la fibre optique)
  - Exemple : 10Base5 = 10Mbit/s en bande de base sur câble coaxial d'une longueur maximale par segment de 500m

# Ethernet épais, IEEE 802.3 10base5 (1)

- Première version d'Ethernet normalisée (1985)
- Pratiquement plus utilisée
- 10Mbit/s en bande de base sur câble coaxial d'une longueur maximale par segment de 500m
- Matériel
  - codage Manchester
  - topologie physique = bus
  - câble coaxial épais (10mm), câble de liaison, bouchons de terminaison (limite échos), connecteur DB15, répéteurs entre deux segments
  - transceiver (ou MAU) : conversion des signaux, détection collisions
  - carte Ethernet : gère l'algorithme CSMA/CD, …

# Ethernet épais, IEEE 802.3 10base5 (2)

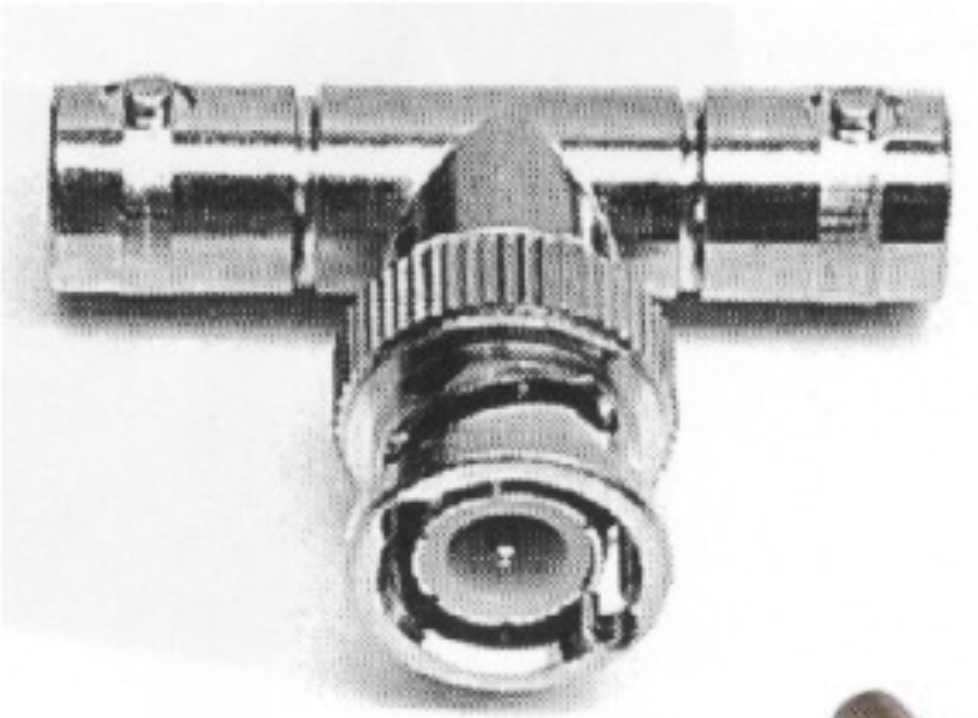


# Ethernet fin, IEEE 802.3 10base2 (1)

- Moins coûteux et plus facile d'installation
- Architecture la plus économique pour des petits réseaux (dizaines de stations)
- Matériel
  - codage Manchester
  - topologie physique = bus
  - câble coaxial fin (5mm), bouchons de terminaison (limite échos), connecteur BNC en T, répéteurs entre deux segments (30 stations max par segment)
  - longueur maximale d'un segment : 185m
  - distance minimum entre 2 nœuds : 0,5m
  - transceiver intégré à la carte Ethernet

# Ethernet fin, IEEE 802.3 10base2 (2)

câble thin ethernet



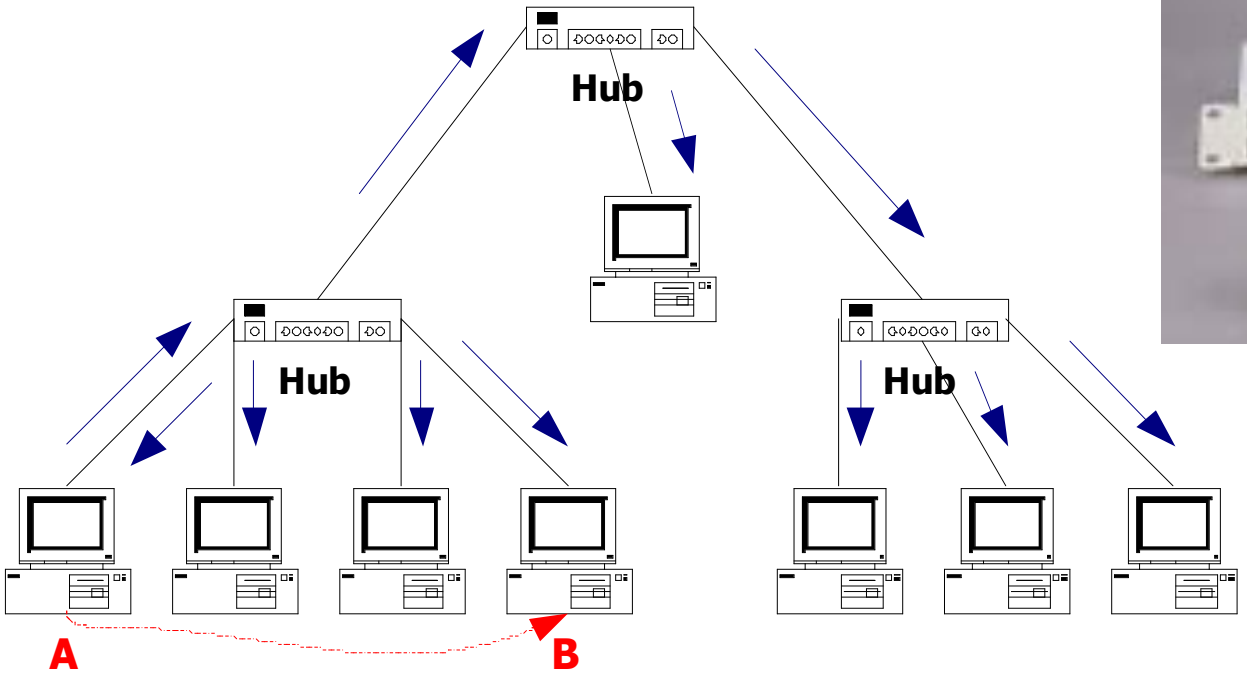
prise BNC en T

# Ethernet en paires torsadées

- Réutilisation du câblage téléphonique (AT&T)
- Topologie physique en étoile
- Connecteurs RJ45
- Un Hub émule un bus
  - concentrateur/répéteur
  - diffusion des messages sur tous les ports
  - détection des collisions (le signal de collision est retransmis à l'ensemble des stations)
  - LED de status + test du lien toutes les 8 secondes
- Liaison Hub/Station ou Hub/Hub en paires torsadées (1 pour l'émission, 1 pour la réception)
- Nombre de niveaux limités par la fenêtre de collision

# Ethernet, IEEE 802.3 10baseT

- Longueur d'un maximale d'un brin (liaison hub/station ou hub/hub) : 100m ou 150m
- 2 paires torsadées UTP catégorie 5
- 3 niveaux de Hub au maximum



# Récapitulatif Ethernet 10 Mbit/s

| paramètres | 10base5 | 10base2 | 10 base T |
|---|---|---|---|
| médium de transmission | coaxial (50 ohm) | coaxial (50 ohm) | paire téléphonique |
| technique de signalisation | Manchester | Manchester | Manchester |
| vitesse de transmission | 10 Mbits/s | 10 Mbits/s | 10 Mbits/s |
| longueur maximale du segment | 500 m | 185 m | 100 m (étoile) |
| couverture maximale du réseau | 2500 m | 925 m | 400 m |
| nb max de nœuds par segment | 100 | 30 | dépend de l'équipement actif |
| espacement min entre les nœuds | 2,5 m | 0,5 m | * |
| diamètre du câble | 10 mm | 5 mm | * |

source L. Toutain

# FastEthernet

- Evolution du 10baseT vers le 100 Mbit/s (IEEE 802.14)
- Hub et cartes avec ports 10/100Mbitps (auto-négociation)
  - le signal de *link status* est remplacé par un mot de 16 bits qui décrit les caractéristiques de l'équipement
  - le port et la carte s'auto-configurent sur le plus grand dénominateur commun (permet la mixité 10/100)
  - hub type I (mixité) ou type II (plus rapide)
- Plusieurs versions
  - 100baseT4 (4 p. cat. 3,4,5) , 100baseT2 (2 p. cat. 3,4,5) , 100baseTX (2 p. cat. 5), 100baseFX (fibre)

# Gigabit Ethernet (1)

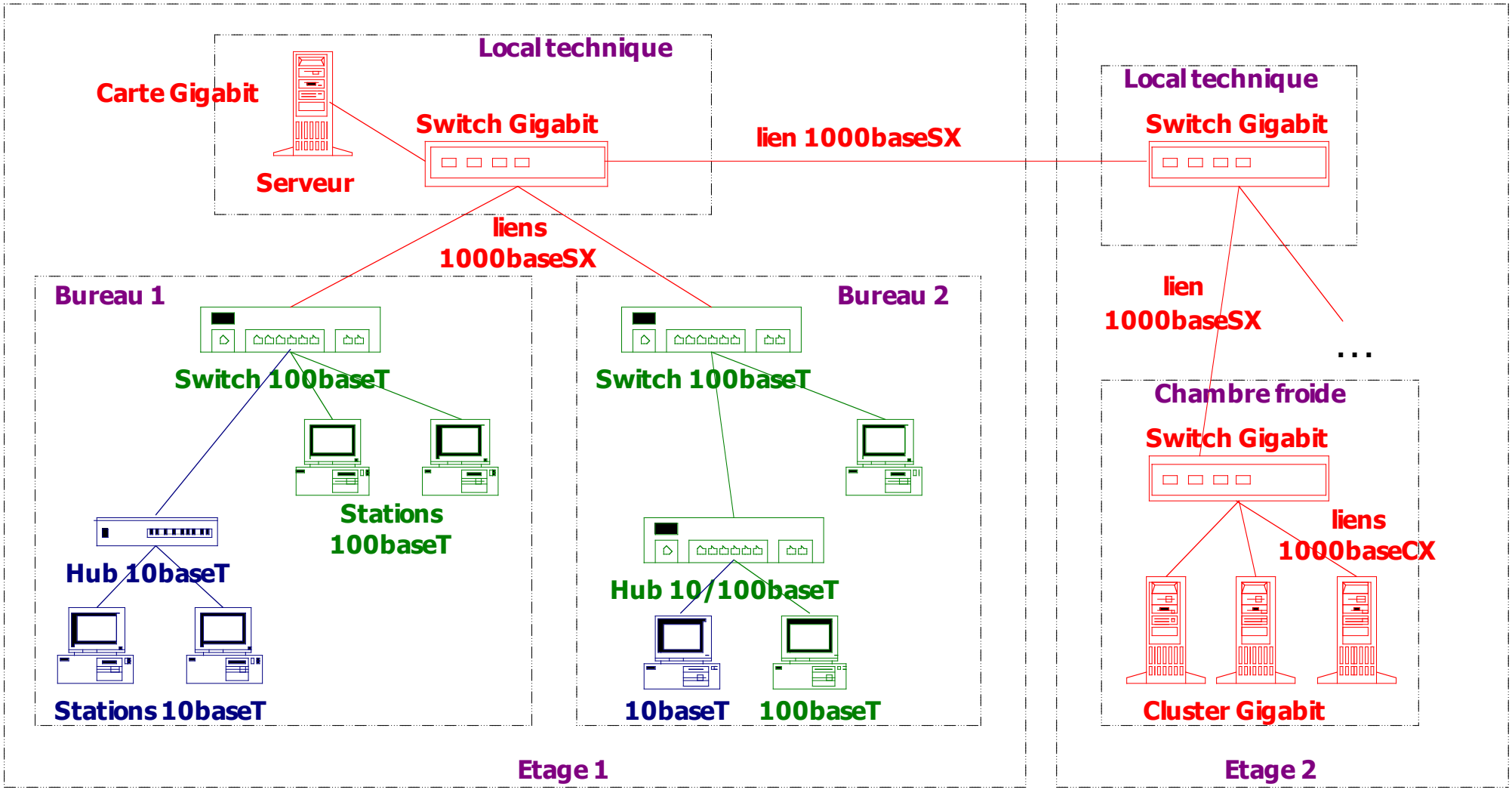
- Avec un commutateur Gigabit Ethernet
  - mise en relation de type point-à-point : pas de diffusion, pas de détection de collision (pas CSMA/CD)
  - la taille de trame minimale reste de 64 octets
- Avec un répéteur (hub) Gigabit Ethernet
  - pour garder un diamètre du réseau suffisant (200m), la trame minimale peut être augmentée à 512 octets
  - pour ne pas gaspiller la bande passante par le bourrage, un mécanisme de groupage de trames (*burst*) est mis en place
- Généralement utilisé pour l'interconnexion de réseaux à 10 ou 100 Mbit/s
- Support de prédilection : fibre optique

# Gigabit Ethernet (2)

- Un équipement Gigabit Ethernet contient généralement des ports 10, 100 et 1000 avec des ports pour la fibre optique
- Les différents types
  - 1000baseCX : 2 paires blindées (STP) sur 25m -> limité à l'interconnexion de hub ou clusters
  - 1000baseSX : fibre optique courte longueur d'onde sur 260/550m -> interconnexion à l'intérieur d'un bâtiment
  - 1000baseLX : fibre optique grande longueur d'onde sur 3km (monomode) -> interconnexion sur un campus
  - 1000baseT : 4 paires cat. 5/6 UTP sur 100m, coûteux car traitement du signal complexe

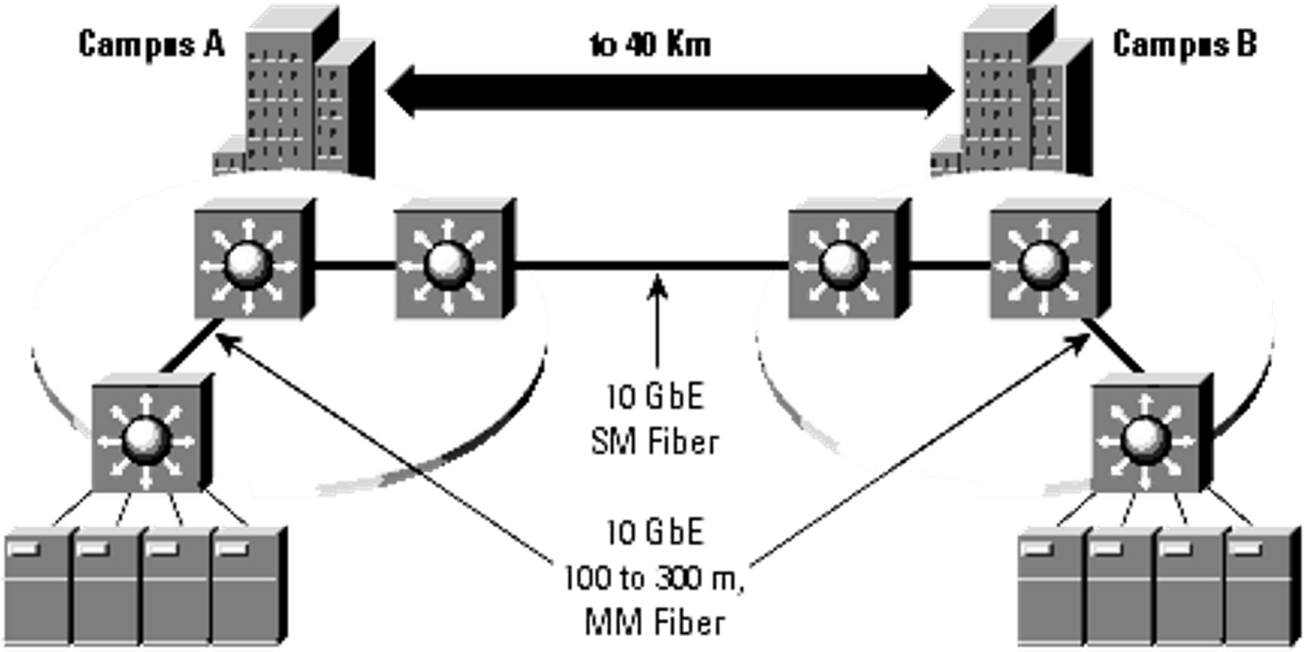
# Gigabit Ethernet (3)

## Utilisation typique actuellement



# 10 Gigabit Ethernet

- Ethernet 10Gbit/s en cours uniquement sur fibre avec technique de multiplexage en fréquences




- Cost-Effective Bandwidth for the LAN, Switch-to-Switch
- Used to Aggregate Multiple Gigabit Ethernet Segments
- 10 Gigabit EtherChannel Will Enable 20 to 80 Gbps (future)

source Cisco Systems

# Evolutions d'Ethernet

- Pour certaines applications, une augmentation de la taille de la trame Ethernet serait nécessaire (champ données > 1500 octets) mais problème de compatibilité avec la trame IEEE 802.3
  - remplacer le champ longueur de la trame IEEE 802.3 par le numéro de protocole Ethernet quand les données font plus de 1500 octets (pour ces trames le champ longueur est inutile, il n'y a pas de bourrage)
  - problème : les équipements considèrent comme une erreur une trame de plus de 1518 octets (perte de compatibilité avec les équipements existants)

# La commutation dans les LAN

Principe de la commutation

Matrices de commutation

Problème de congestion

Techniques et modes de commutation

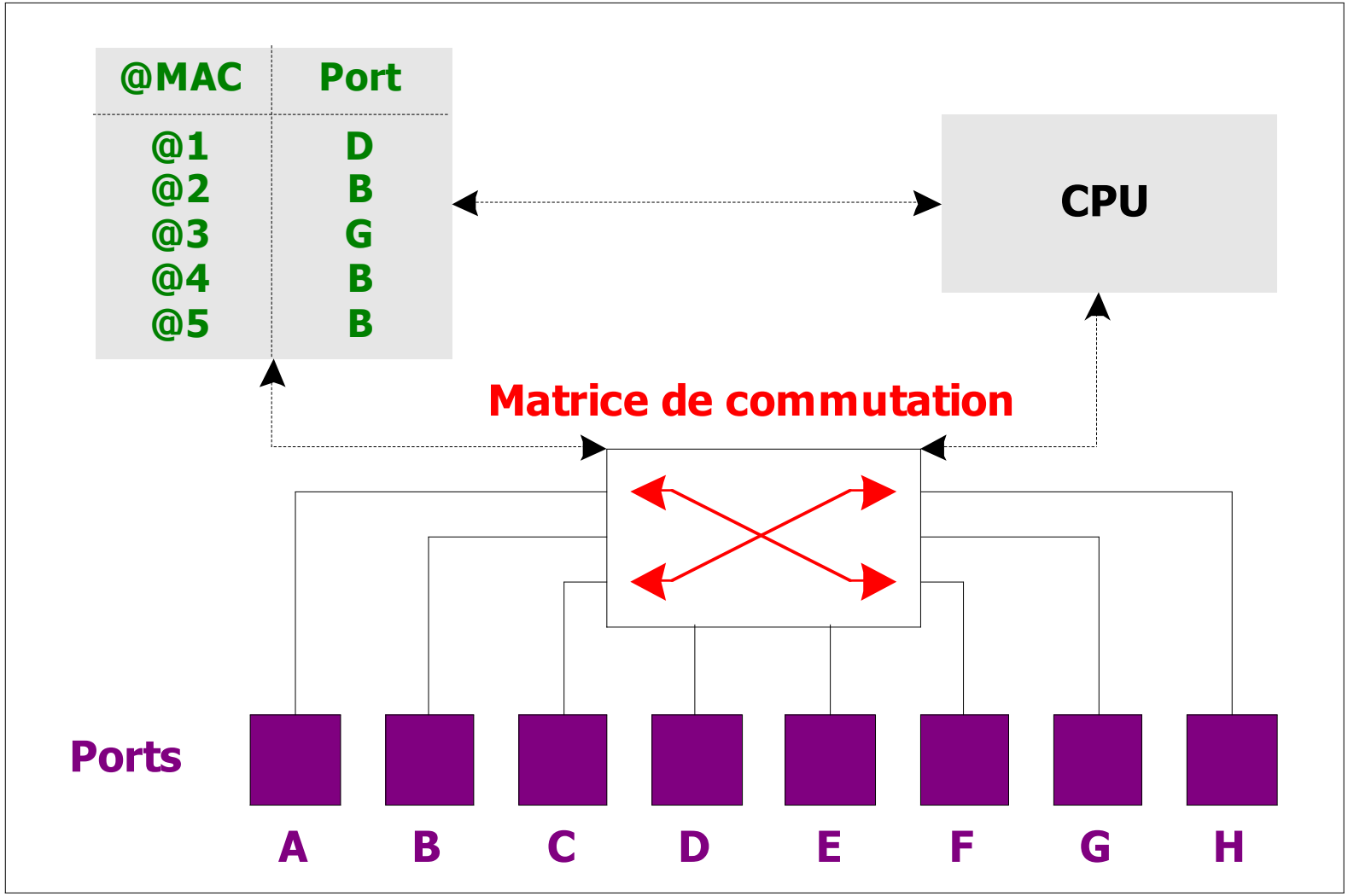
# Commutation dans les LAN

- Issue de la téléphonie (RTC) et des réseaux grande distance (WAN)
- Apparition dans Ethernet (*Switched Ethernet*)
  - garantit une certaine bande passante
  - évite les problèmes d'effondrement dans le cas des réseaux CSMA/CD chargés
  - permet des communications full-duplex
- Aujourd'hui, les commutateurs sont largement utilisés dans les réseaux Ethernet

# Principe de la commutation (1)

- Commutation = mise en relation directe d'un port d'entrée avec un port de sortie
  - établissement d'une liaison point à point
    - avant chaque communication par un protocole de signalisation spécifique (circuit virtuel)
    - dynamiquement (réseaux locaux) en fonction d'une table d'acheminement (FDB : *Forwarding Data Base*)
  - plus de problème d'accès multiples au support (évite les collisions)
- Comment établir cette mise en relation ?
  - plus ou moins complexe, plus ou moins coûteux
  - nécessite de l'intelligence dans l'équipement

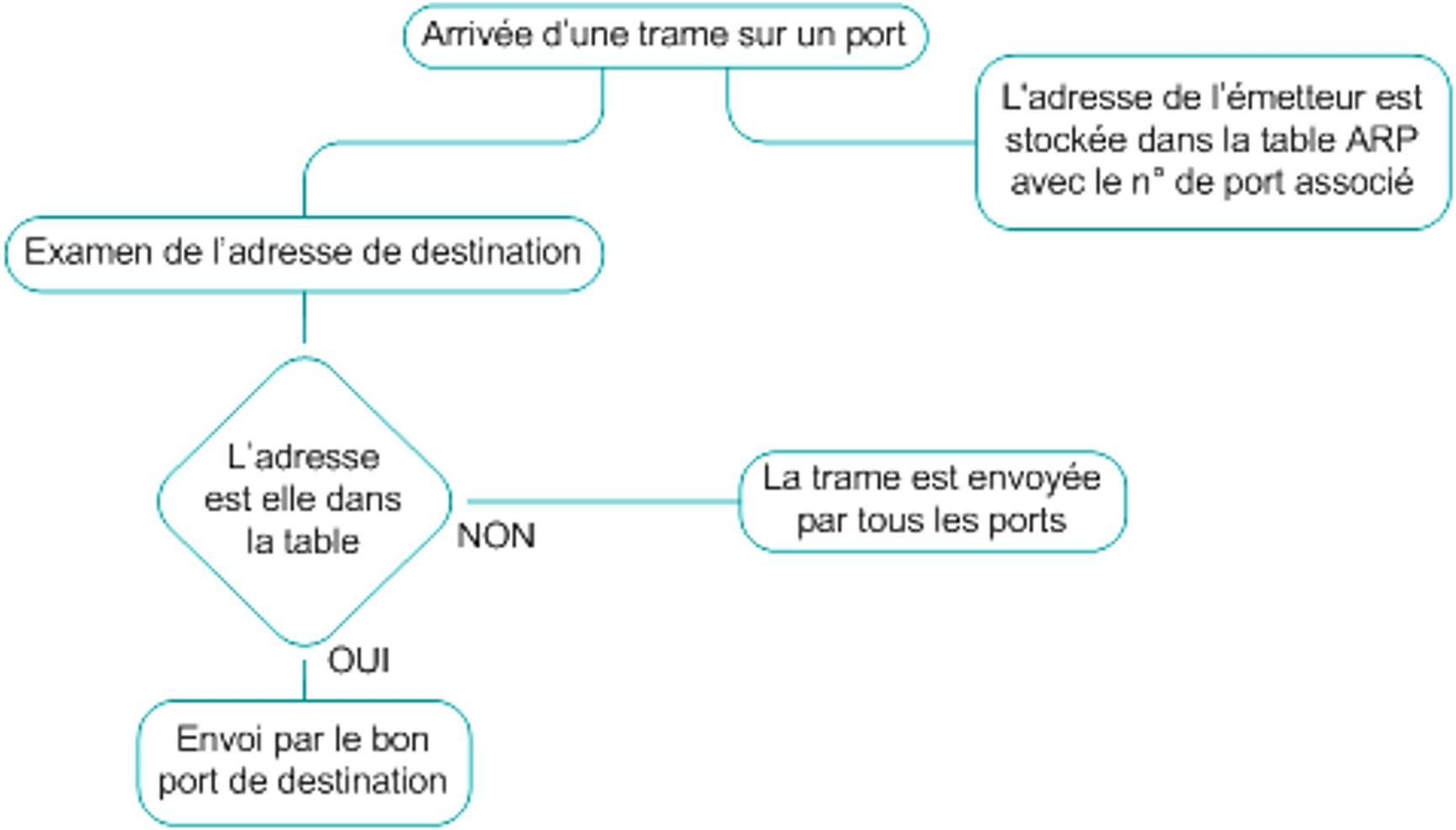
# Principe de la commutation (2)



# Principe de la commutation (3)

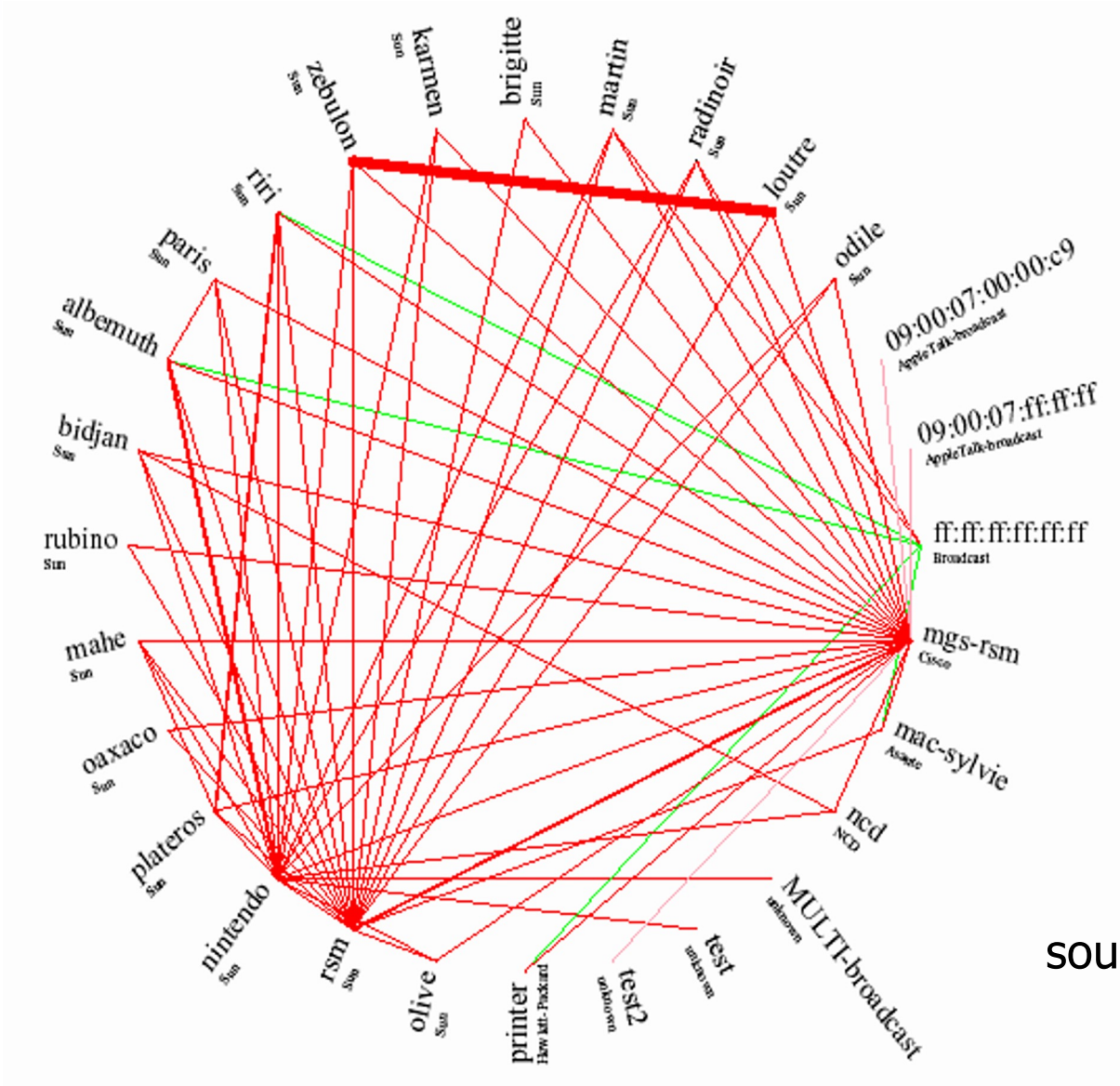
- Table construite par analyse du trafic entrant (@MAC source)
- Les trames à destination d'une @ non présente dans la table sont répétées sur tous les ports sauf le port d'entrée
- Plusieurs trames peuvent être traitées simultanément
- Mémoire limitée dans le commutateur
  - les entrées les plus anciennes sont effacées
  - un timer est associé à chaque entrée de la table
  - il est réinitialisé lors de la réception d'une trame de cette provenance

# Principe de la commutation (4)




source http://www.labo-cisco.com

# Exemple de trafic sur un switch



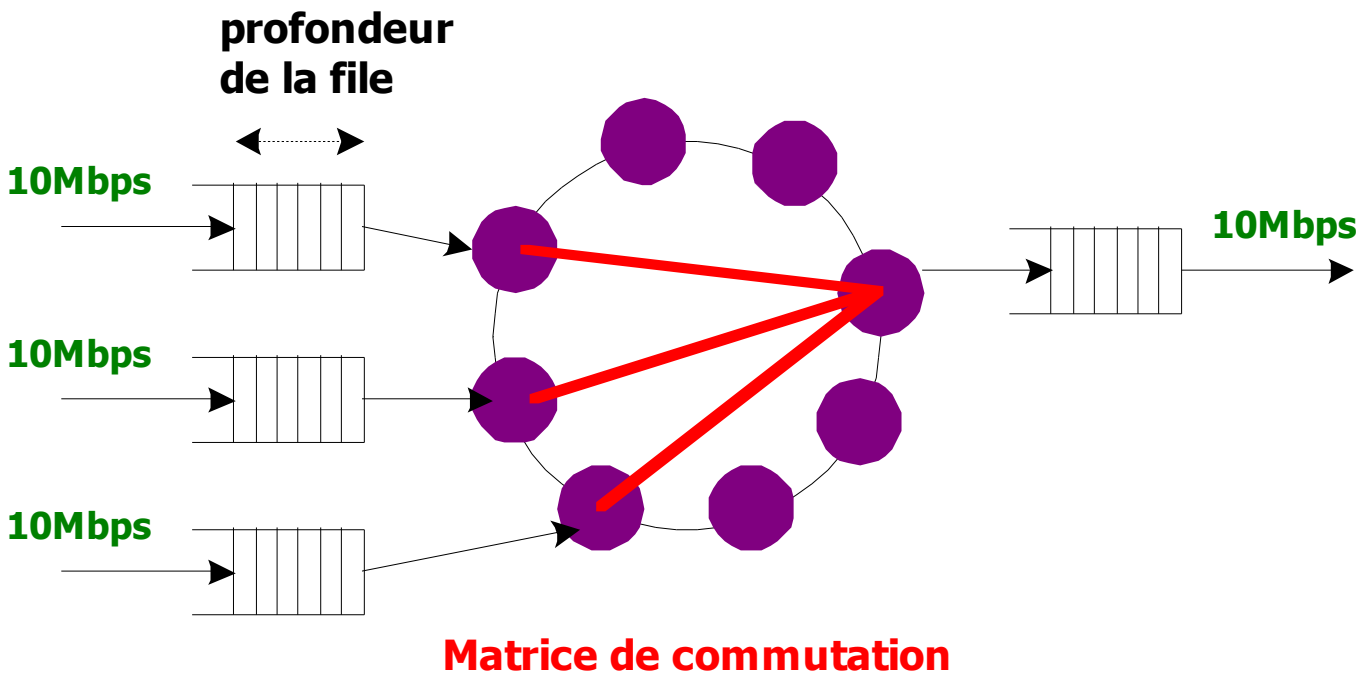

source Laurent Toutain

# Matrices de commutation

- Comment mettre en relation N ports d'entrée avec N ports de sortie ?
  - cross-bar complet : $N^2$ transistors passants ou bloqués, complexe, efficace, coûteux
  - commutation type Banyan : N.LogN points de connexion (traversée de plusieurs étages, pas adapté à la diffusion)
  - architectures à bus interne ou à mémoire partagée avec gestion des accès multiples simultanés

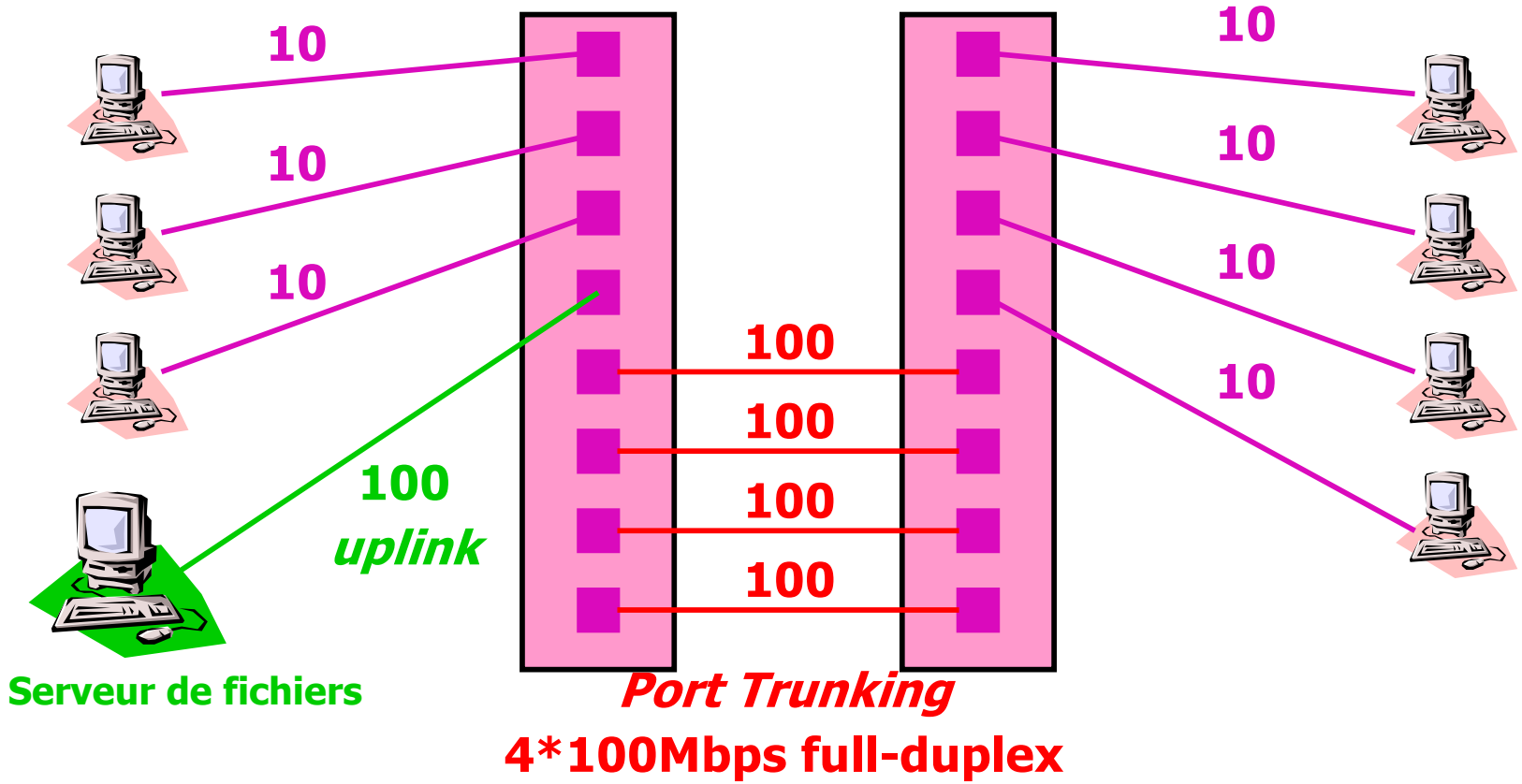
# Problème de congestion (1)

- Plusieurs ports d'entrée peuvent simultanément être dirigés vers un même port de sortie
  - saturation des files d'attente (perte de trames)



# Problème de congestion (2)

- Solution partielle : attribuer plus de bande passante aux liens qui risquent d'être saturés



# Problème de congestion (3)

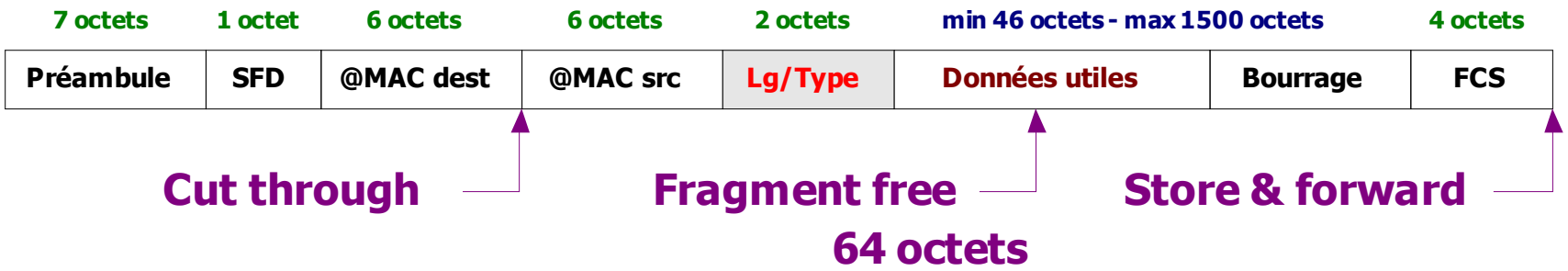
- Contrôle de flux "*back pressure*" dans certains commutateurs
  - émission de données vers les liens qui consomment trop de ressources du commutateur -> provoque l'arrêt des émissions (collisions) en CSMA/CD (ne fonctionne que pour du half-duplex)
  - en full-duplex, émission d'une trame particulière indiquant un délai pendant lequel l'équipement ne doit plus émettre de trames

# Techniques de commutation (1)

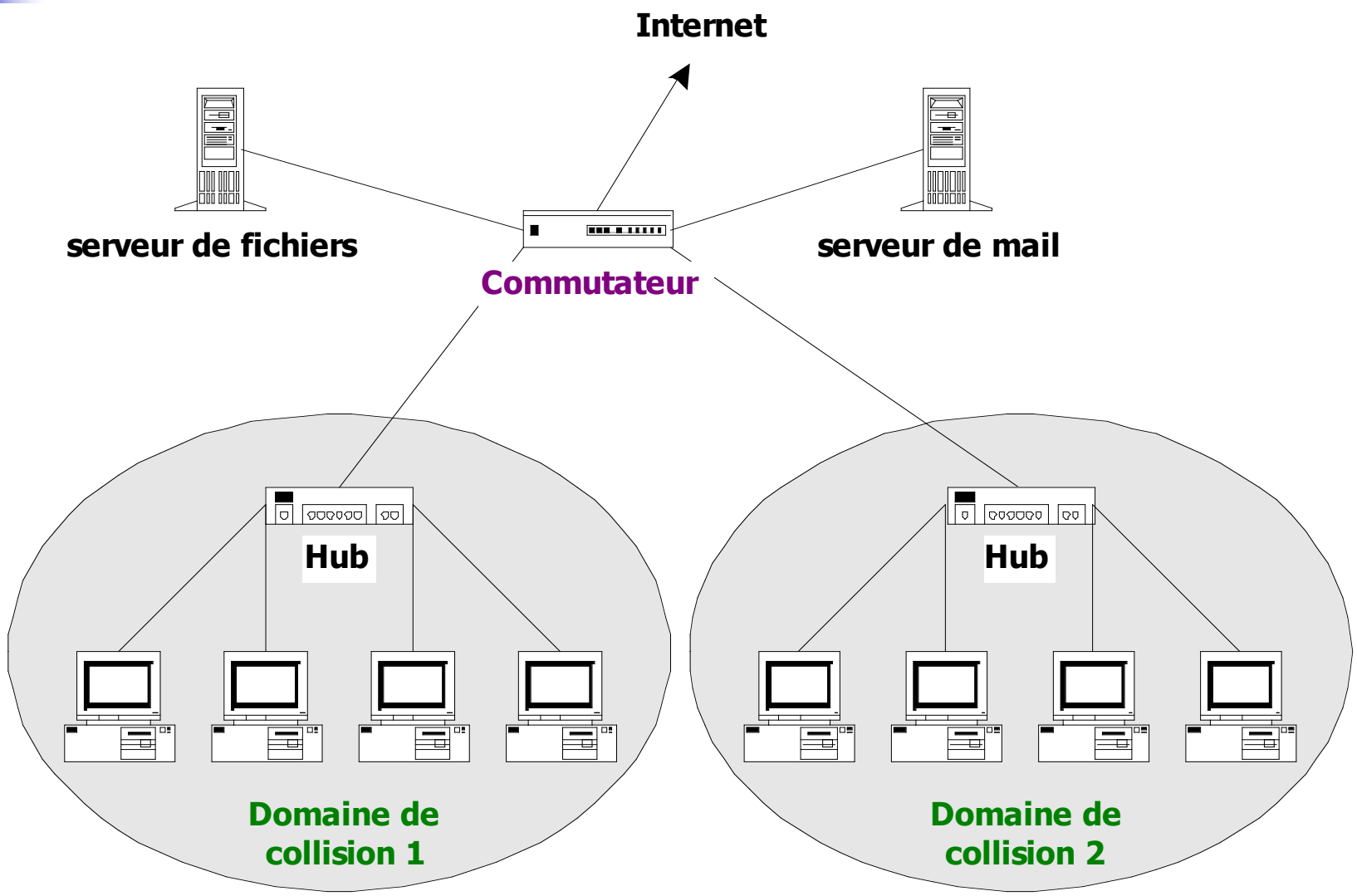
- "*Cut through*" - commutation rapide à la volée
  - dès que le port de destination est connu (premier champ de la trame Ethernet), les données sont recopiées directement vers le port de sortie
  - rapide mais pas appropriée si un port est relié à un hub standard (transmission des trames de collision erronées)
- "*Store & Forward*" - stockage avant retransmission
  - une trame est entièrement mémorisée avant retransmission
  - permet vérification du CRC, des longueurs minimales et maximales des trames, détection des trames de collision
  - mais : mémoire sur le commutateur, délai supplémentaire
- Le commutateur fait du CSMA/CD sur un port relié à un hub -> mémorisation obligatoire (retransmissions)

# Techniques de commutation (2)

- Variantes
  - méthode "*fragment-free*" : équivalent au "*cut-through*" mais supprime les trames trop courtes (collisions)
  - méthode au choix de l'administrateur du commutateur : la méthode est fixée par une commande
  - méthode adaptative :
    - démarrage en mode "*cut-through*"
    - passage en "*store & forward*" au delà d'un certain seuil de taux d'erreurs calculé par vérification des CRC (paramétrable ou non)
    - retour en mode "*cut-through*" en dessous du seuil



# Séparation des domaines de collision




**Un port du commutateur = un domaine de collision**

# Critères de choix du commutateur

- Quelle est la bande passante globale ?
- Commutateur de segments ou de stations ?
- Quelles performances ?
  - Temps de latence
    - cut-through : 1er bit entré - 1er bit sorti
    - store & forward : dernier bit entré - 1er bit sorti
- Le coût par port dépend
  - architecture (matrice de commutation)
  - nombre d'adresses MAC gérées par port
  - taille des buffers en entrée/sortie pour chaque port
  - présence de ports 10/100/1000

# Ethernet full-duplex

- Ethernet *full-duplex* impossible sur un support partagé avec accès CSMA/CD
- Ethernet *full-duplex* nécessite une liaison point à point, utilisable dans les deux sens de comm., sans méthode d'accès
- Fast Ethernet et Gigabit Ethernet utilisent des commutateurs qui émulent des liaisons point à point full-duplex pour
  - garantir la bande passante (elle n'est plus partagée)
  - diminuer les problèmes de limitation de distance
  - nécessite des cartes d'interface full-duplex sur les stations

# Conclusions sur la commutation

- Meilleur accès au média
  - meilleur contrôle de la bande passante : le trafic est dirigé vers la station spécifiée uniquement
  - la charge du réseau est mieux répartie (segmentation du trafic)
  - moins de conflits d'accès, collisions réduites
- Les trames de diffusion sont répétées sur tous les ports
- Intelligence dans le port du commutateur
  - analyse des trames, mémorisation, prises de décision
  - temps de traversée de l'équipement plus élevé
- Deux techniques : "store & forward" et "cut through"

# Réseaux Locaux Virtuels (VLAN)

Principe des VLAN

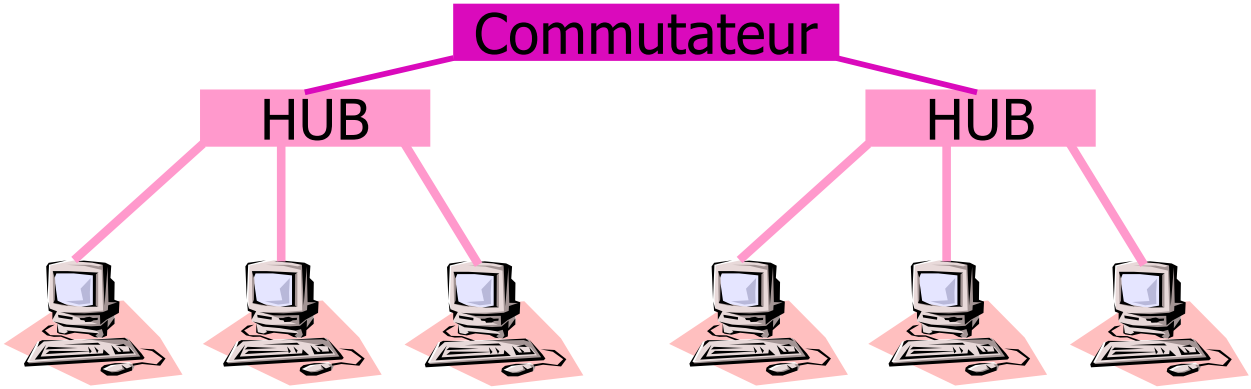
Intérêts

Appartenance à un VLAN

Etiquetage des trames (802.1p/Q)

# Pourquoi les VLANs ? (1)

- Dans les réseaux locaux partagés
  - les sous-réseaux sont liés aux hubs
  - les utilisateurs sont groupés géographiquement
  - pas de sécurité sur un segment : n'importe quelle station du segment peut capturer l'ensemble du trafic réseau
  - la mobilité entraîne un changement d'adresse et/ou un re-câblage
  - les *broadcasts* interrompent tous les matériels réseau avec traitement au niveau du CPU



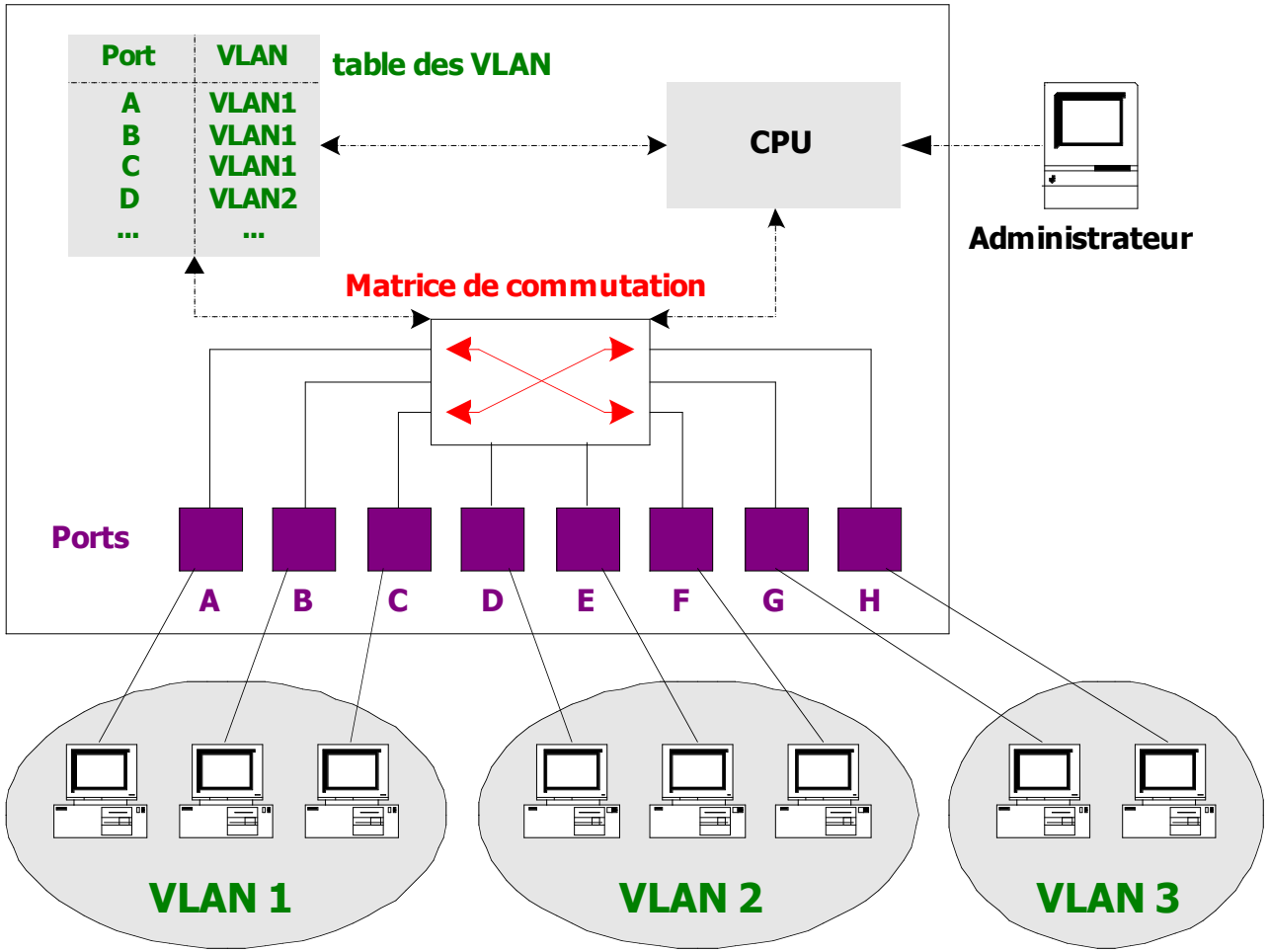
# Pourquoi les VLANs ? (2)

- Trois nécessités auxquelles un LAN commuté ne répond pas
  - Limitation des domaines de diffusion
  - Garantir la sécurité par isolement de certains trafics
  - Permettre la mobilité des utilisateurs
- Les VLANs : une nouvelle manière d'exploiter la technique de la commutation en donnant plus de flexibilité aux réseaux locaux
- -> segmentation du réseau un peu à la manière de la commutation mais de façon logique (indépendamment du câblage physique)

# Principe des VLANs (1)

- Créer des réseaux logiques indépendants les uns des autres

**Une diffusion provenant d'une station du VLAN2 ne sera répercutée que sur les ports D, E, F**



# Principe des VLANs (2)

- L'administrateur configure statiquement la table des VLAN
- Les communications inter-VLAN ne sont possibles qu'à travers un routeur
- L'appartenance à un VLAN est indépendante de la localisation géographique - un VLAN peut s'étendre sur plusieurs commutateurs
- Un segment Ethernet est un domaine de collision
- Un VLAN est **un domaine de diffusion**

# Intérêts des VLAN

- Confidentialité et sécurité
  - le trafic entre les réseaux virtuels est isolé
  - permet de limiter l'accès à certains équipements ou services (VLAN des machines en libre service, VLAN des accès à Internet, …)
- Performance
  - limite la portée des *broadcast* (ARP)
  - répartition de la charge du réseau
- Facilité de mise en œuvre et souplesse
  - logiciel d'administration du commutateur
  - on peut retirer ou donner l'accès à un VLAN sans modifier le câblage dans les armoires de brassage, voire sans déplacer la station
  - une station peut appartenir à plusieurs VLANs

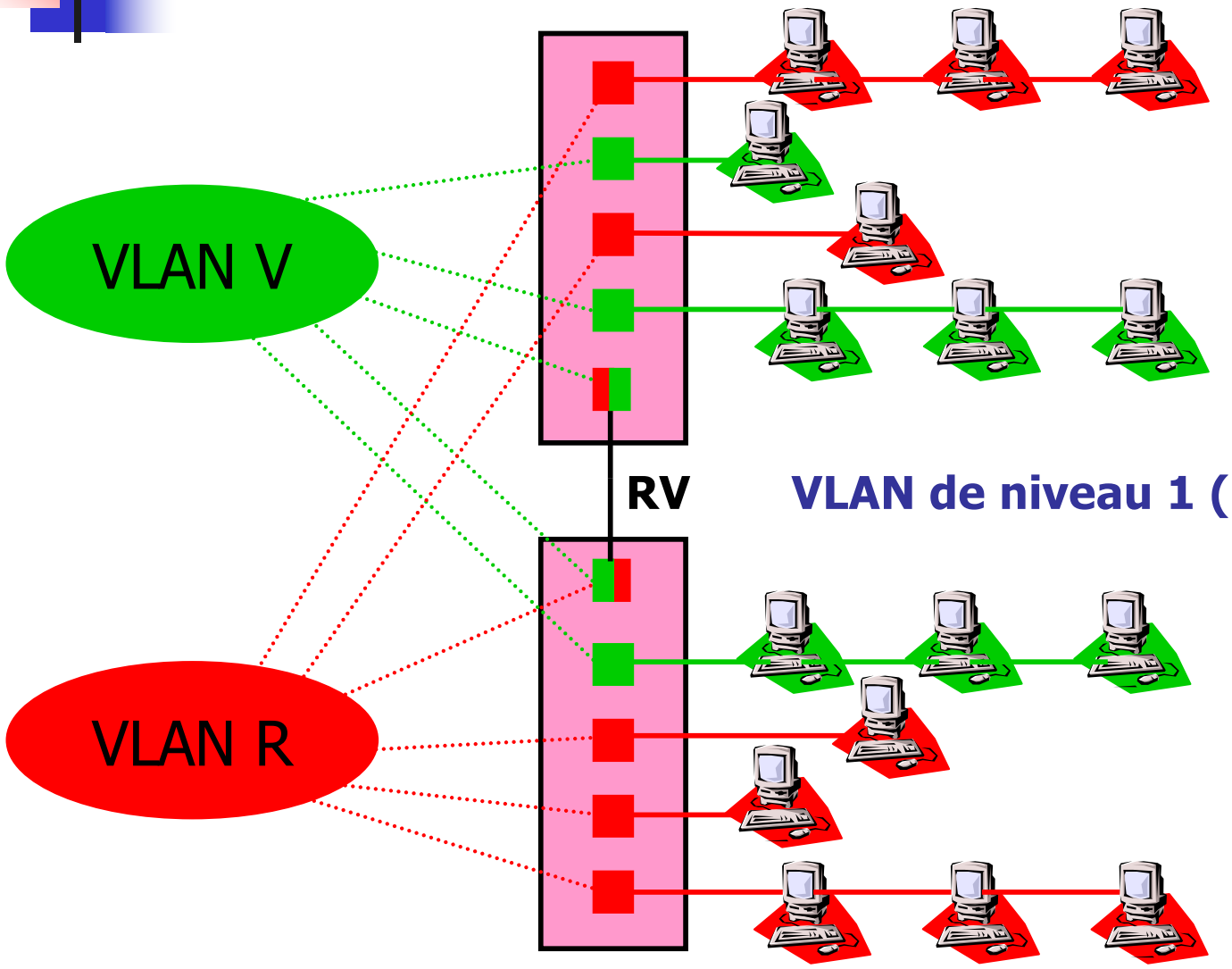
# Appartenance à un VLAN (1)

- définie par le port physique du commutateur
  - chaque port est associé à 1 ou plusieurs VLAN
  - configuration statique fixée par l'administrateur
  - inconvénient : le déplacement d'une machine nécessite la reconfiguration du port du commutateur
  - sécurisé : un utilisateur ne peut pas changer de VLAN
- définie par l'adresse MAC
  - plus souple : permet la mobilité des machines sans reconfigurer les VLAN
  - l'administrateur doit connaître les @ MAC…
  - deux stations du même segment Ethernet peuvent appartenir à des VLAN distincts
  - moins sécurisé : un utilisateur peut changer son @ MAC

# Appartenance à un VLAN (2)

- définie par les adresses de niveau 3 (IP)
  - très souple : association d'un préfixe IP (@ de sous-réseau ou plages d'@) et d'un numéro de VLAN
  - un routeur permet de passer d'un VLAN à l'autre
  - perte de performance : il faut analyser les trames au niveau 3 pour déterminer l'appartenance à un VLAN
  - ne respecte pas l'indépendance des couches...
  - non sécurisé : l'utilisateur peut facilement changer son @ IP
- définie par protocoles de niveau 3 (permet d'isoler le trafic de chaque protocole)
- définie par numéro de port TCP (permet d'isoler le trafic de chaque type d'applications)

# Appartenance à un VLAN (3)



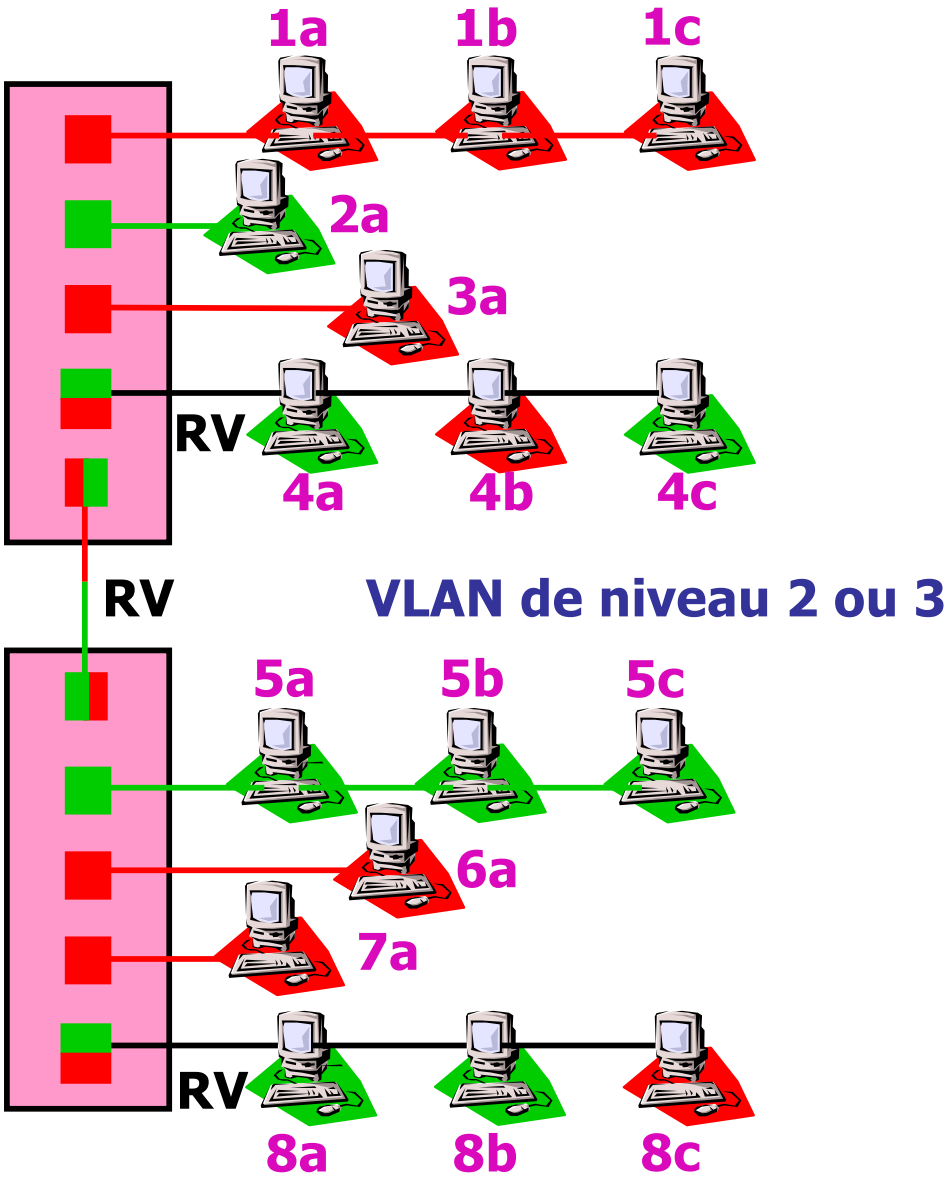

**Pas de filtrage des broadcasts sur un même segment**

**VLAN de niveau 1 (par port ou segment)**

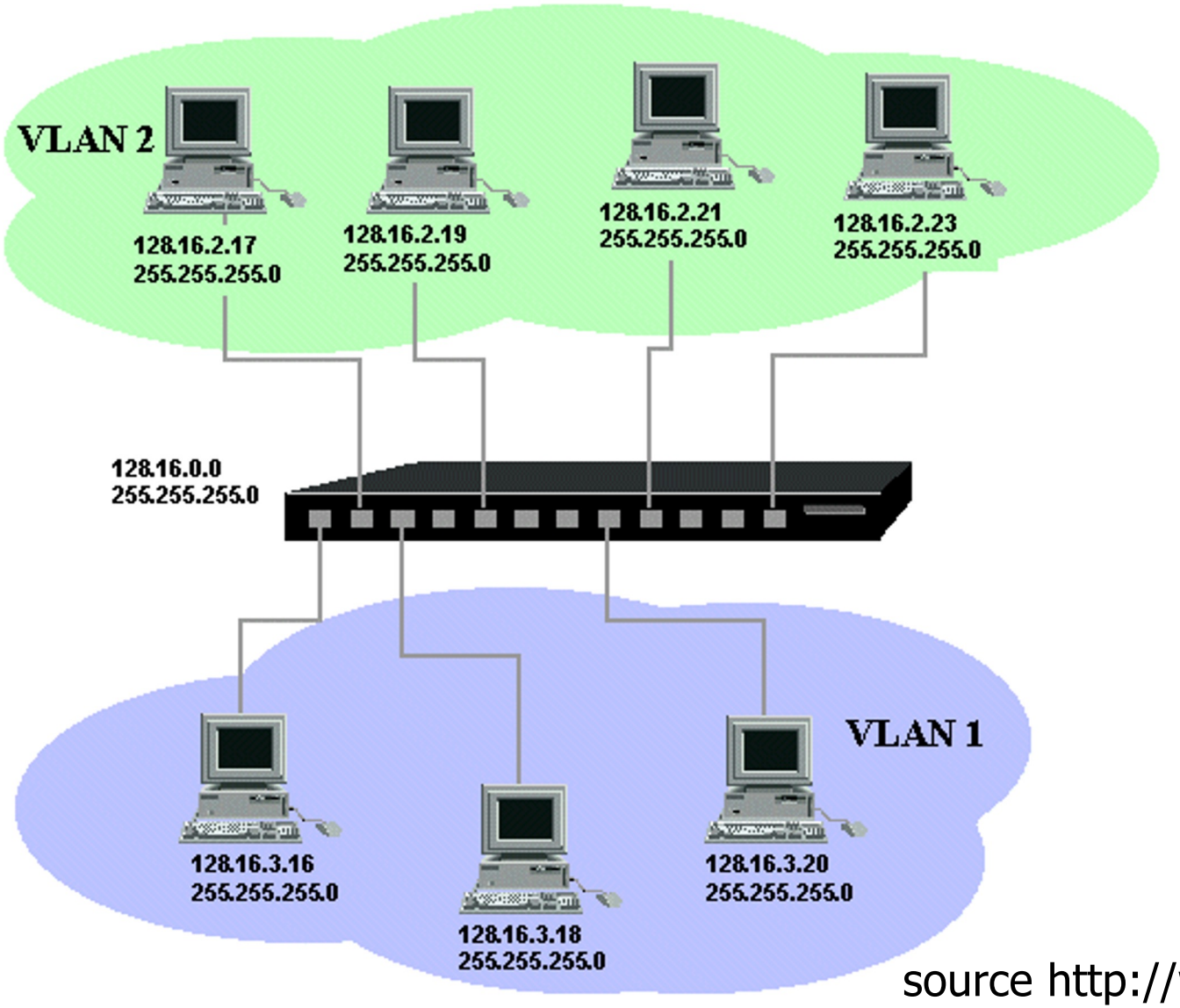
**Pas d'analyse de la trame pour déterminer l'appartenance à un VLAN**

# Appartenance à un VLAN (4)

- Une adresse MAC ne peut appartenir qu'à un seul VLAN
- Plusieurs VLAN par port autorisés
- Nécessite une analyse de chaque trame
- Echange des tables de correspondances @MAC/VLAN entre les commutateurs ou étiquetage des trames nécessaires



# Appartenance à un VLAN (5)




source http://www.univ.edu.dj/cours

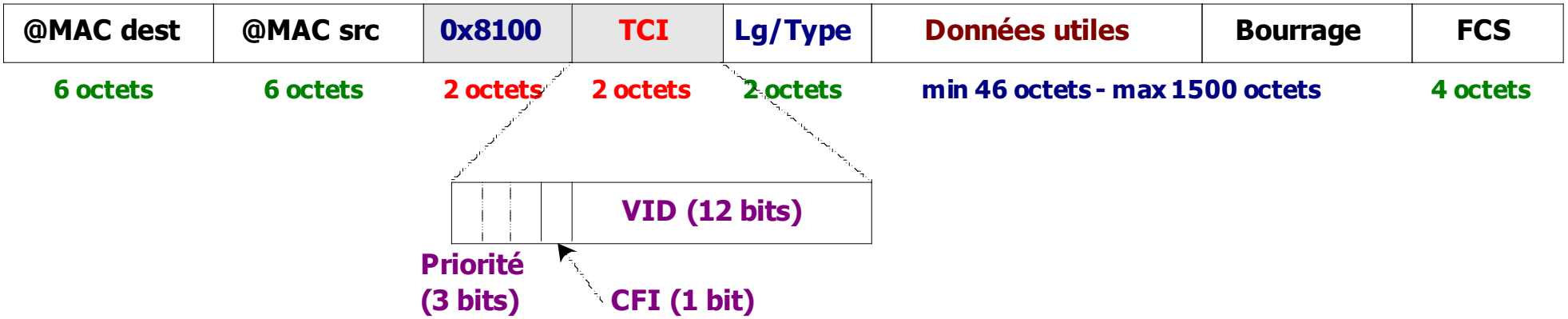
# VLAN sur plusieurs commutateurs (1)

- Il faut transporter l'information d'appartenance à un VLAN (chaque commutateur doit connaître le VLAN associé à la source et au destinataire)
- Deux possibilités
  - chargement des tables de VLAN dans tous les équipements (problème de facteur d'échelle)
  - ajout d'une étiquette aux trames transportées entre les commutateurs uniquement (côté émetteur)
    - l'étiquette identifie le VLAN de la station source
    - norme IEEE 802.1p/Q : format des étiquettes indépendant du constructeur de l'équipement

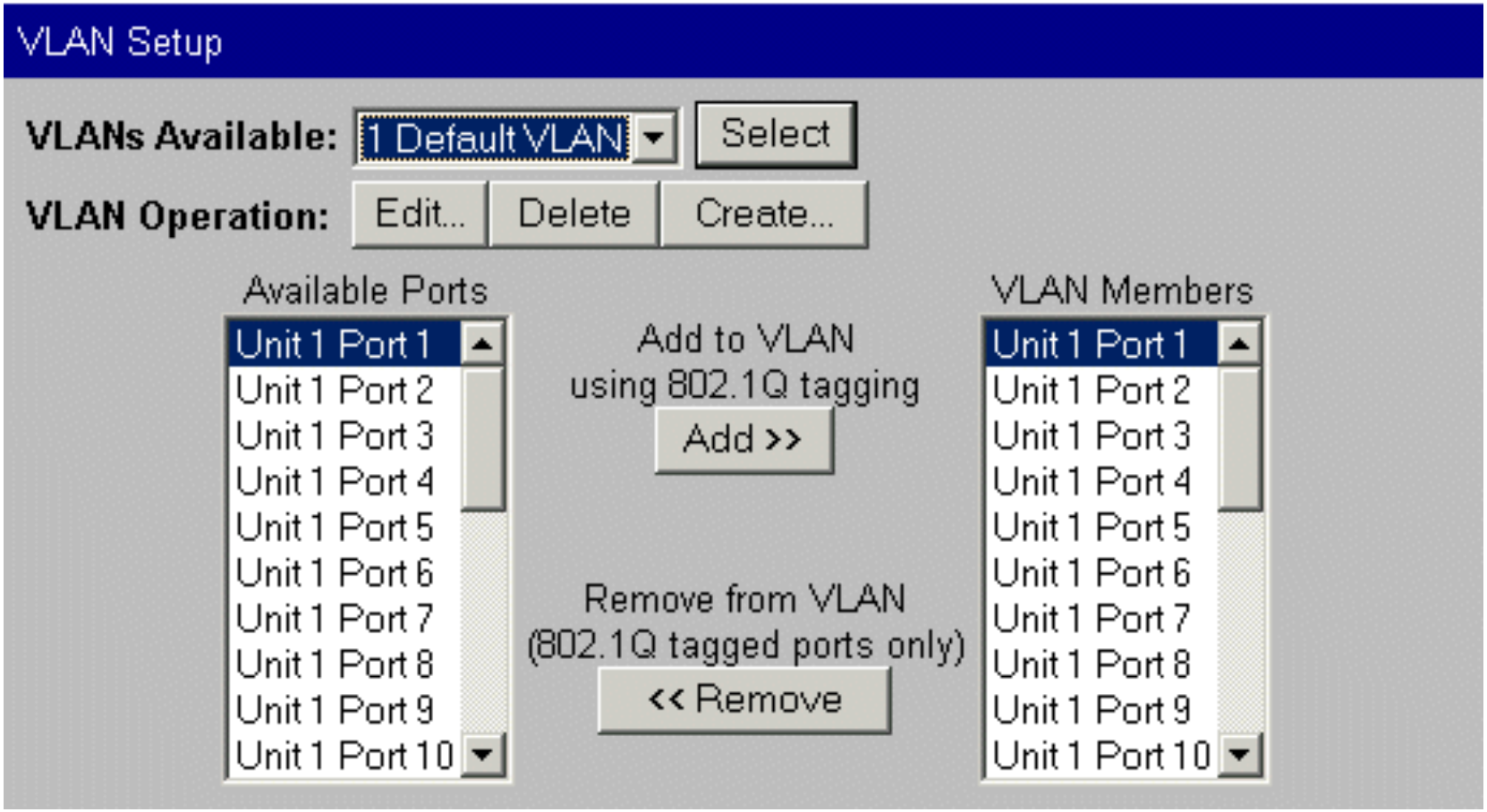
# VLAN sur plusieurs commutateurs (2)

- Modification transparente de l'en-tête MAC (compatibilité avec les anciens équipements)
  - un niveau d'encapsulation 802.1p/Q identifié par 0x8100
  - la trame 802.3 est allongée de 4 octets (nécessite de recalculer le FCS)
  - champ priorité sur 3 bits : files d'attente plus ou moins prioritaires dans les commutateurs (QoS - voix par ex.)
  - bit CFI pour le routage par la source

**Trame IEEE 802.1p/Q**

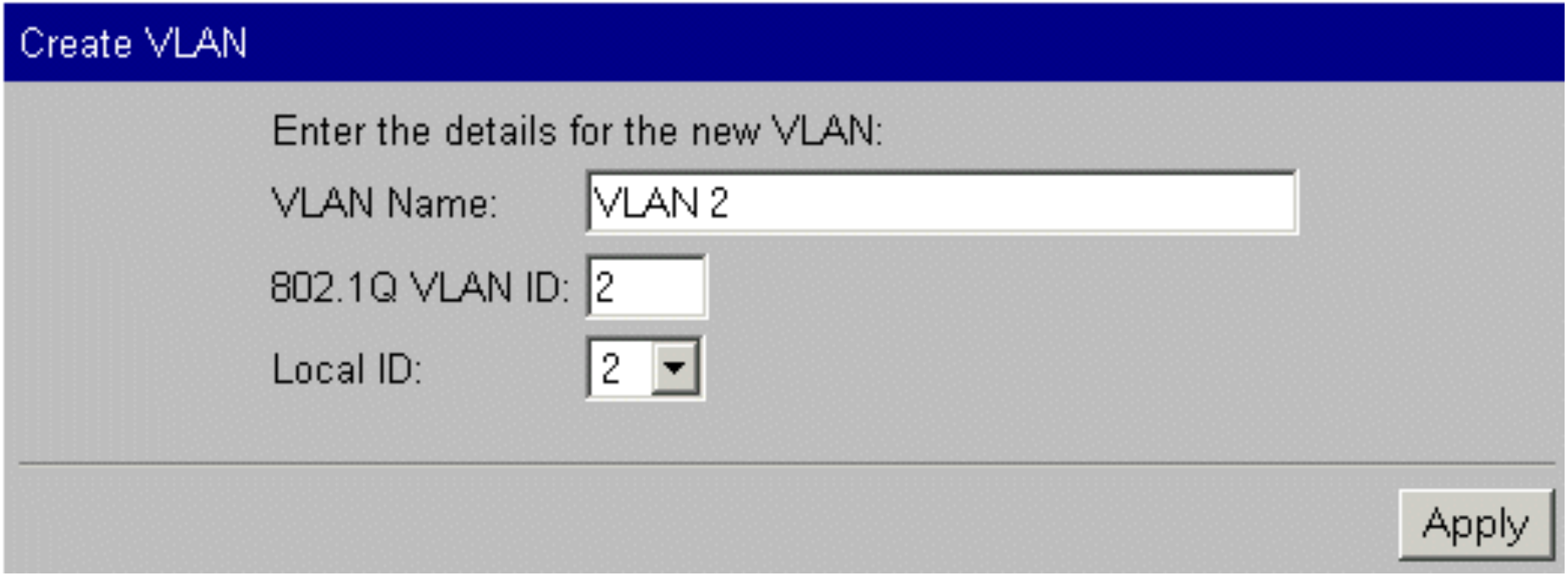


# Administration des VLANs (1)




- Création/suppression d'un VLAN
- Ports supportants l'étiquetage 802.1Q des trames

# Administration des VLANs (2)




- Paramétrage d'un VLAN

# Administration des VLANs (3)

Port 7 Setup

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Port:** | 7 | **Media Type:** | 10 BASE-T/100 BASE-TX |
| **Link State:** | Disabled | **Port Speed:** | 10Mbps FD |
| **Auto-negotiation:** | Enabled | **Port State:** | Enabled |
| **Speed/Duplex:** | Auto | **Security:** | Disabled |
| **FD Flow Control:** | Auto | **PACE:** | Stack Default |
| **HD Flow Control:** | Enabled | **VLT Tagging:** | Disabled |
| **802.1p Multicast Learning:** | Stack Default | **802.1Q VLAN Learning:** | Stack Default |
| **Untagged VLAN:** | 2 VLAN 2 | | |
| **Fwd Unknown VLAN Tags:** | Auto | | |

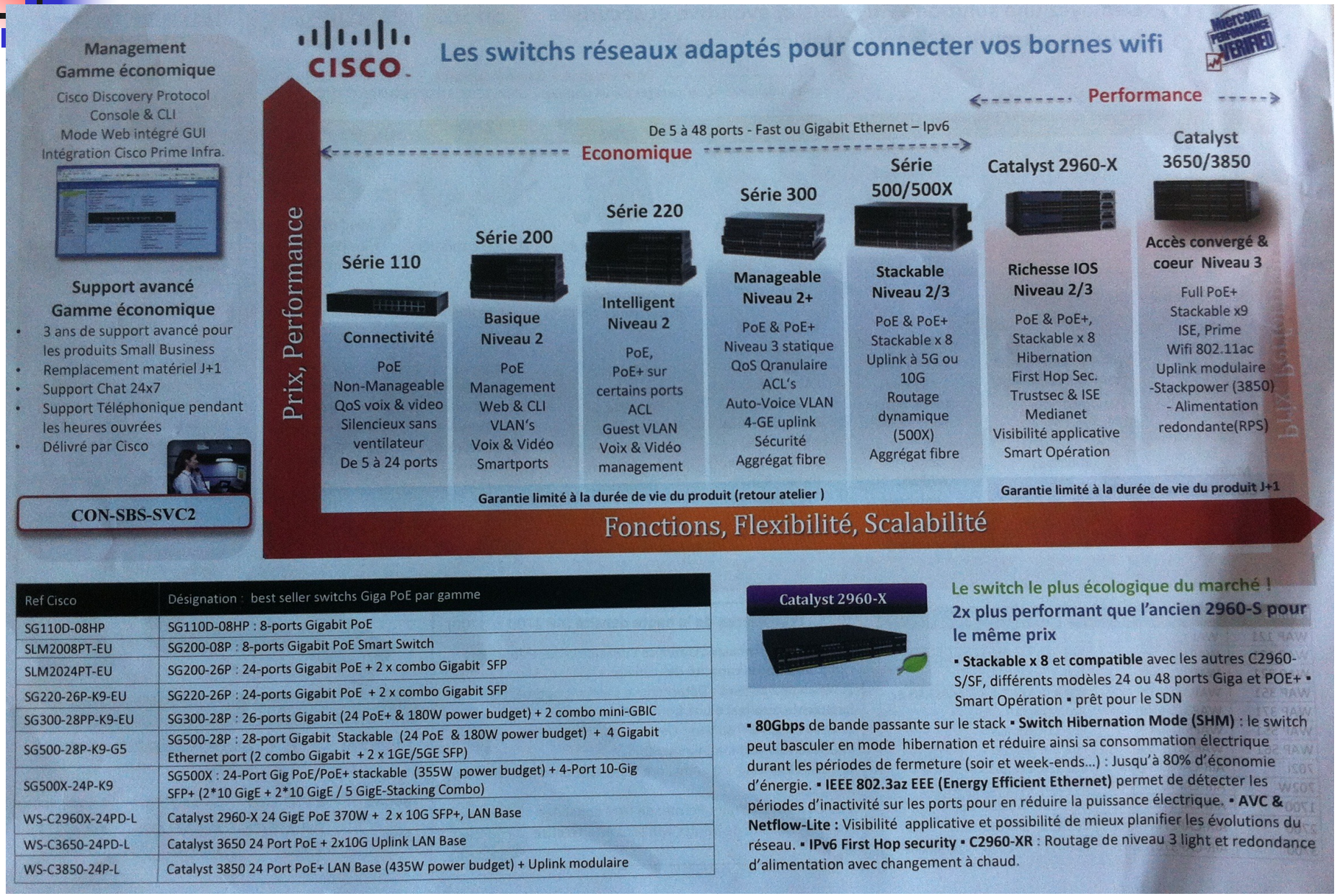
Apply

- Configuration d'un port

# Règles de design des VLAN

- Les questions qu'il faut se poser
  - nombre d'utilisateurs du réseau ?
  - plan du campus et plan de câblage ?
  - partitions des utilisateurs partageant des données ou des services ?
  - les utilisateurs qui partagent des données sont-ils géographiquement proches ?
  - la mobilité se fait-elle par département ou par éléments isolés ?
  - répartition du trafic sur le réseau ?
  - ressources centralisées ou distribuées ?

# Exemples de matériels (1)



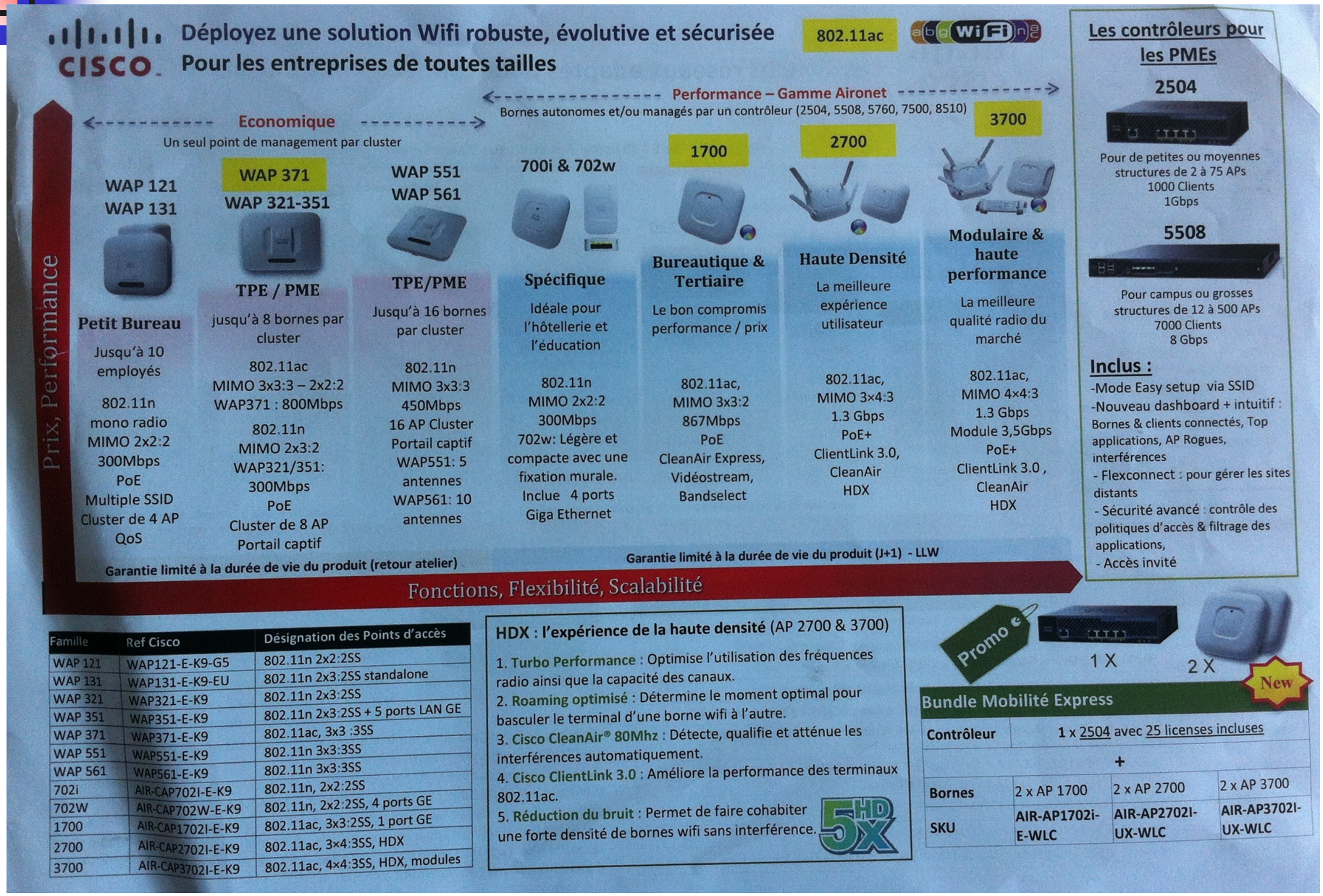

| Ref Cisco | Désignation : best seller switchs Giga PoE par gamme |
|---|---|
| SG110D-08HP | SG110D-08HP : 8-ports Gigabit PoE |
| SLM2008PT-EU | SG200-08P : 8-ports Gigabit PoE Smart Switch |
| SLM2024PT-EU | SG200-26P : 24-ports Gigabit PoE + 2 x combo Gigabit SFP |
| SG220-26P-K9-EU | SG220-26P : 24-ports Gigabit PoE + 2 x combo Gigabit SFP |
| SG300-28PP-K9-EU | SG300-28P : 26-ports Gigabit (24 PoE+ & 180W power budget) + 2 combo mini-GBIC |
| SG500-28P-K9-G5 | SG500-28P : 28-port Gigabit Stackable (24 PoE & 180W power budget) + 4 Gigabit Ethernet port (2 combo Gigabit + 2 x 1GE/5GE SFP) |
| SG500X-24P-K9 | SG500X : 24-Port Gig PoE/PoE+ stackable (355W power budget) + 4-Port 10-Gig SFP+ (2*10 GigE + 2*10 GigE / 5 GigE-Stacking Combo) |
| WS-C2960X-24PD-L | Catalyst 2960-X 24 GigE PoE 370W + 2 x 10G SFP+, LAN Base |
| WS-C3650-24PD-L | Catalyst 3650 24 Port PoE + 2x10G Uplink LAN Base |
| WS-C3850-24P-L | Catalyst 3850 24 Port PoE+ LAN Base (435W power budget) + Uplink modulaire |

Catalyst 2960-X

**Le switch le plus écologique du marché !**
**2x plus performant que l'ancien 2960-S pour le même prix**

▪ **Stackable x 8** et **compatible** avec les autres C2960-S/SF, différents modèles 24 ou 48 ports Giga et POE+ ▪ Smart Opération ▪ prêt pour le SDN ▪ **80Gbps** de bande passante sur le stack ▪ **Switch Hibernation Mode (SHM)** : le switch peut basculer en mode hibernation et réduire ainsi sa consommation électrique durant les périodes de fermeture (soir et week-ends…) : Jusqu'à 80% d'économie d'énergie. ▪ **IEEE 802.3az EEE (Energy Efficient Ethernet)** permet de détecter les périodes d'inactivité sur les ports pour en réduire la puissance électrique. ▪ **AVC & Netflow-Lite :** Visibilité applicative et possibilité de mieux planifier les évolutions du réseau. ▪ **IPv6 First Hop security** ▪ **C2960-XR** : Routage de niveau 3 light et redondance d'alimentation avec changement à chaud.

# Exemples de matériels (2)




| Famille | Ref Cisco | Désignation des Points d'accès |
|---|---|---|
| WAP 121 | WAP121-E-K9-G5 | 802.11n 2x2:2SS |
| WAP 131 | WAP131-E-K9-EU | 802.11n 2x3:2SS standalone |
| WAP 321 | WAP321-E-K9 | 802.11n 2x3:2SS |
| WAP 351 | WAP351-E-K9 | 802.11n 2x3:2SS + 5 ports LAN GE |
| WAP 371 | WAP371-E-K9 | 802.11ac, 3x3 :3SS |
| WAP 551 | WAP551-E-K9 | 802.11n 3x3:3SS |
| WAP 561 | WAP561-E-K9 | 802.11n 3x3:3SS |
| 702i | AIR-CAP702I-E-K9 | 802.11n, 2x2:2SS |
| 702W | AIR-CAP702W-E-K9 | 802.11n, 2x2:2SS, 4 ports GE |
| 1700 | AIR-CAP1702I-E-K9 | 802.11ac, 3x3:2SS, 1 port GE |
| 2700 | AIR-CAP2702I-E-K9 | 802.11ac, 3×4:3SS, HDX |
| 3700 | AIR-CAP3702I-E-K9 | 802.11ac, 4×4:3SS, HDX, modules |