

La couche liaison

Christophe LOHR

Automne 2023

1 Introduction

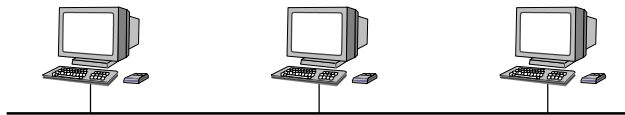
Les réseaux locaux

3/75

- ▶ Les réseaux de l'entreprise
- ▶ Caractéristiques :
 - ▶ Topologie
 - ▶ Bus, avec ou sans fil
 - ▶ Anneau
 - ▶ Étoile
 - ▶ Bande de base ou large bande
 - ▶ Caractéristiques physiques des supports (les média)
 - ▶ Cuivre
 - ▶ Fibre optique
 - ▶ radio
 - ▶ Méthode d'accès au médium
 - ▶ Comment une station peut-elle émettre ses données sur le réseau

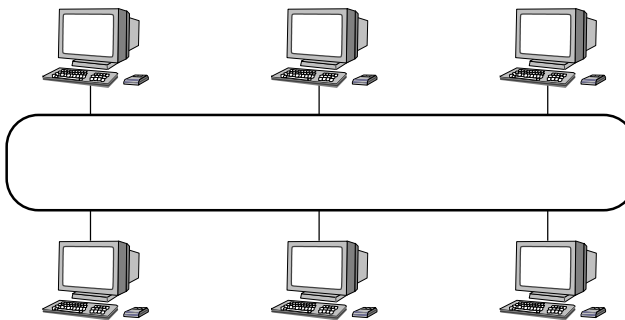
- ▶ Les réseaux locaux : LAN : Local Area Network
 - ▶ Réseaux d'entreprise
 - ▶ Courtes distances : de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres
- ▶ Les réseaux métropolitains : MAN : Metropolitan Area Network
 - ▶ Interconnexion de réseaux locaux
 - ▶ Quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres
- ▶ Les réseaux grande distance : WAN : Wide Area Network
 - ▶ Les réseaux nationaux et internationaux
 - ▶ Les réseaux d'opérateurs

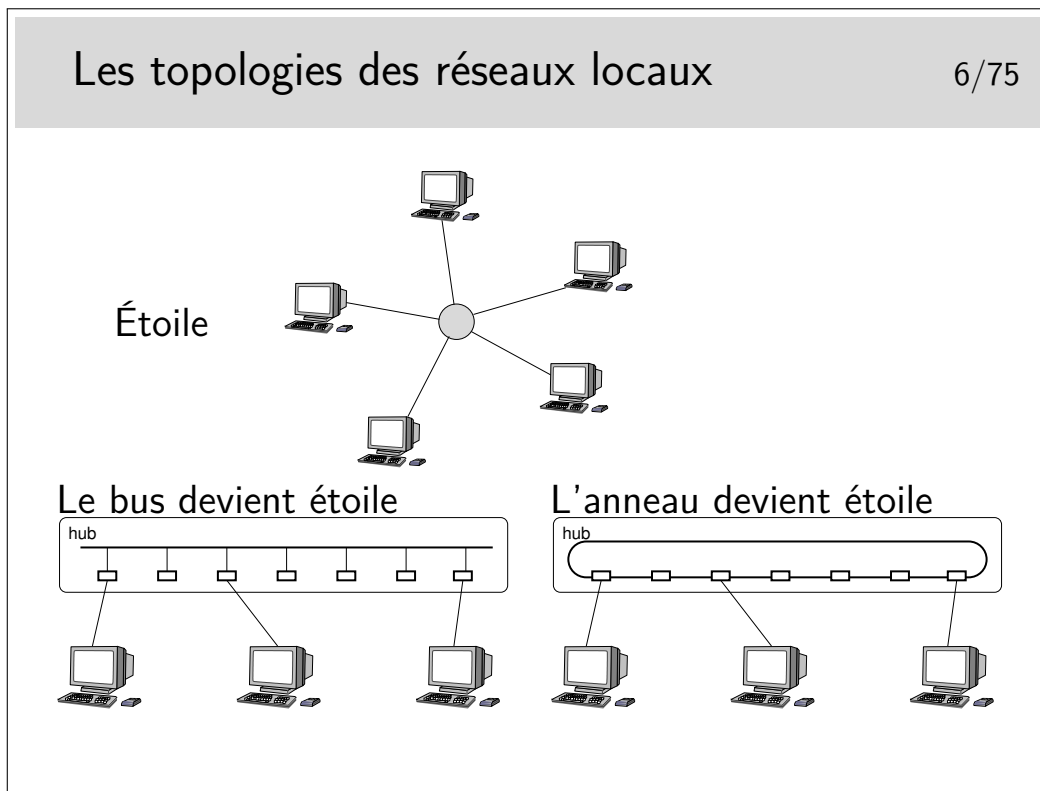
Bus



Remarque : un canal radio partagé peut être considéré comme un bus

Anneau





La topologie en étoile repose sur un nœud actif central qui contrôle le «droit de parole» des stations et achemine l'information. Cette structure n'a jamais vraiment été fortement déployée à grande échelle, on peut noter cependant les réseaux locaux basés sur le protocole X25, au début des années 80 et les ceux basés sur la technologie ATM dans les années 90 (mais c'était pour émuler Ethernet, c'est à dire un bus).

Les topologies à succès sont le bus (Ethernet, qui a gagné la bataille) et l'anneau (Token Ring, d'IBM, en cours d'abandon).

Au cours du temps, le réseau en bus Ethernet a, cependant, évolué vers une structure en étoile, où les nœuds (appelés «hubs») sont des boîtiers électroniques qui émulent un bus. Le «hub» fonctionne comme un bus.

La technologie Token Ring a, elle, été très rapidement implémentée dans des boîtiers électronique renfermant la structure d'anneau.

Aujourd'hui, donc, la topologie est en étoile, mais l'ensemble fonctionne comme un bus (ou encore parfois comme un anneau).

- ▶ Transmission en bande de base
 - ▶ Un seul canal physique pour toutes les stations
 - ▶ Problème d'accès concurrent
- ▶ Transmission en large bande
 - ▶ Plusieurs canaux sur le médium
 - ▶ Un canal est caractérisé par une bande de fréquence
 - ▶ Les signaux émis par les stations sont transposés dans la bande de fréquence qui est assignée aux stations
 - ▶ Un canal donné peut être vu comme un canal en bande de base (émulation d'un bus Ethernet par exemple)

Très liées à la topologie (topologie logique)

- ▶ Bus
 - ▶ Tout le monde partage le canal sans priorité
 - ▶ Chaque station peut, à priori, émettre lorsqu'elle le désire
 - ▶ Il en résulte des collisions
 - ▶ Il faut gérer le problème des collisions
 - . Algorithme spécifique de contention (CSMA CD ou CA...)
 - . Émulation d'un anneau logique
- ▶ Anneau
 - ▶ Le droit d'émettre est transmis sur l'anneau dans une trame spécifique contenant un bit spécial appelé «jeton»
 - ▶ Les trames circulent dans un sens donné

- ▶ Menée à bien par l'organisme IEEE
 - ▶ Plus particulièrement le comité 802 de l'IEEE
 - ▶ Chaque topologie et les divers protocoles et caractéristiques sont étudiés et standardisés par un sous-comité 802
 - ▶ Exemples : 802.3 pour Ethernet, 802.5 pour Token Ring
- ▶ Modèle en couches spécifique
 - ▶ Comparable au modèle OSI pour ses deux premières couches
 - ▶ Trois couches
 - ▶ La couche physique (comme pour OSI)
 - ▶ La couche «Medium Access Control» (MAC)
 - ▶ La couche «Logical Link Control» (LLC)

- ▶ 802.1 : architecture des réseaux locaux
 - ▶ Architecture générale, interconnexion (niveau 2), QoS, etc...
- ▶ 802.2 : la couche LLC
- ▶ 802.3 : Ethernet
 - ▶ 802.3u : Ethernet 100Mb/s
 - ▶ 802.3ab, z : Ethernet 1Gb/s
 - ▶ 802.3ae : Ethernet 10Gb/s
- ▶ 802.4 : le bus à jeton
- ▶ 802.5 : l'anneau à jeton (Token Ring)
- ▶ 802.11 : les réseaux sans fils (WiFi)
- ▶ 802.15 : les WPAN : Wireless Personal Area Network

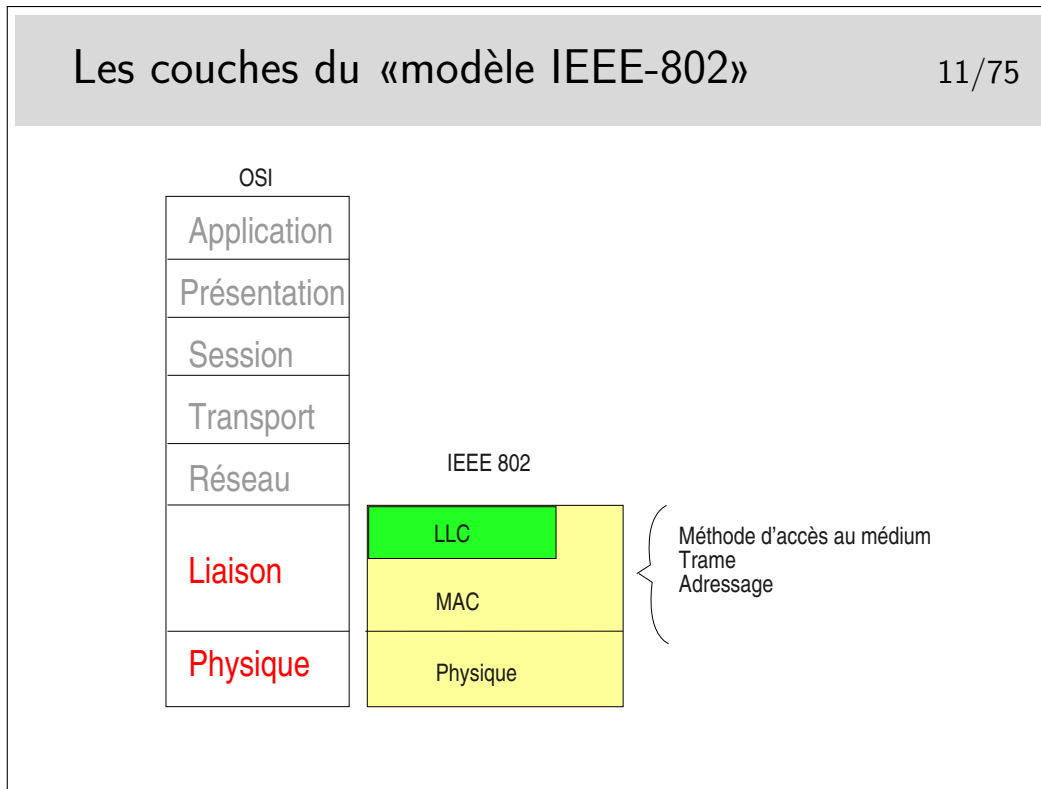
Beaucoup de sous comités :

- 802.1d : techniques de pontage
- 802.1p/q : classes de service, techniques des VLANs (Virtual LAN)
- 802.3u : Ethernet
- 100Mb/s 802.3z : Ethernet 1Gb/s
- 802.3ab : Ethernet 10Gb/s
- 802.11a : sans fils, 5Gz (projet)

— 802.11b : sans fils, 11Mb/s

— 802.11g : sans fils, 54Mb/s

Note : WiFi est une dénomination commerciale pour le 802.11



La couche LLC permet de définir différents types de liaisons (avec/sans connexion et avec/sans acquittement). Elle n'est pas toujours obligatoire, en Ethernet elle est optionnelle, certains protocoles de niveau 3 l'utilisent, d'autre pas. Par exemple IP, sur Ethernet, n'emploie pas, par défaut, la couche LLC (mais peut le faire, le choix se fait par paramétrage au niveau du système d'exploitation).

La couche MAC est centrale, elle définit l'algorithme gérant l'accès concurrent au support. Elle définit aussi une structure de trame ainsi qu'un mécanisme d'adressage (les adresses MAC, nous verrons cela plus loin).

2 La technologie Ethernet

2.1 Fondements d'Ethernet

Les méthodes d'accès sur Bus

14/75

- ▶ L'ancêtre : ALOHA de l'université de Hawaï
 - ▶ Tout le monde a le droit d'émettre quand il veut
 - ▶ Les collisions sont nombreuses
- ▶ Améliorations CSMA Carrier Sense Multiple Access
 - ▶ On écoute le canal, s'il est silencieux on peut émettre
 - ▶ Les collisions ne sont pas absentes, elles sont moins nombreuses
- ▶ Méthodes de contention des collisions
 - ▶ CA : Collision Avoidance
 - ▶ On envoie une trame test (TRS : Request To Send), si elle ne collisionne pas, on peut émettre
 - ▶ CD : Collision Detection
 - ▶ On émet et on écoute, il y a collision si le signal écouté est différent de celui qu'on émet, on arrête l'émission qu'on retente après un temps aléatoire

Une autre méthode consiste à créer un anneau virtuel. Les stations s'échangent un jeton dans un ordre donné (la station A passe le jeton à la station B qui le passe à C, etc. La station qui désire émettre doit attendre de voir arriver le jeton). Ce type de réseau a été développé par des industriels des mondes de l'automobile et de l'aviation américains. Il fait partie des «réseaux locaux industriels». Il a été standardisé sous le numéro 802.4 par l'IEEE. Il ne s'est pas développé de manière importante.

- ▶ La technologie impérialiste, elle a écrasé toutes les autres (ou les autres s'adaptent à elle, exemple le WiFi)
- ▶ Topologie logique : le bus
 - ▶ Aujourd'hui, topologie physique en étoile avec hubs et commutateurs (switches)
- ▶ Méthode d'accès
 - ▶ CSMA-CD : Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
- ▶ Origine : Intel, Xeros, Digital, première idée en 1976 (Bob Metcalfe)
- ▶ Standardisation générale : IEEE-802.3
- ▶ Des débits divers : 10, 100, 1Gb/s, voir 10Gb/s

La technologie WiFi (IEEE-802.11) n'a rien à voir, à priori, avec Ethernet, mais on commence à l'appeler couramment «l'ethernet sans fil», c'est dire... Elle s'adapte, en effet, très bien à Ethernet via des ponts simples à mettre en place.

La technologie Ethernet évolue de manière souple où chaque étape d'évolution ne remet pas en cause les versions antérieures. On peut raccorder une interface 10Mb/s sur une interface 100 ou 1000Mb/s. Les matériels d'interconnexion sont compatibles avec les trois débits.



- ▶ La station A écoute le réseau, il n'y a pas de signal, elle peut émettre
- ▶ Le signal se propage
- ▶ La station B écoute le réseau, le signal de A ne lui est pas encore parvenu, elle décide d'émettre
- ▶ Les deux signaux vont collisionner, le signal résultant va se propager de part et d'autre et va parvenir aux deux stations qui **continuent d'écouter**
- ▶ Chaque station continue à émettre quelques instants pour renforcer la collision et s'arrêtent
- ▶ Chacune tire un temps aléatoire au bout duquel elles tentent une ré-émission

- ▶ Si une station émet pendant au moins 1 RTT alors il n'y aura plus de collision non détectée
- ▶ Si une collision est détectée, chaque station en cause arrête son émission
 - ▶ Chaque station considère alors 2 intervalles de temps de valeur RTT et tire aléatoirement 1 ou 2 et ré-émet tout de suite (si 1 est tiré) ou un RTT plus tard (si 2 est tiré)
 - ▶ Si une nouvelle collision intervient, on considère alors 4 RTT, et on tire aléatoirement entre 1 et 4. On tente une émission au début de l'intervalle de temps tiré
 - ▶ En Ethernet, on peut tenter jusqu'à 16 réémissions mais on ne multiplie par 2 que jusqu'à 10 fois le nombre de RTT

Bus Ethernet : quel est le diamètre du réseau ?

Ou encore : quelle est la distance maximale entre deux stations ?

- ▶ Pour détecter une collision il faut que les deux stations soient encore en émission lorsque le signal de collision leur revient
- ▶ Cas le plus défavorable : elles sont situées aux deux extrémités du réseau et la station B émet un court instant avant que le signal de A ne lui parvienne. La collision a lieu près de B
 - ▶ Pour que A détecte la collision il lui faut attendre un temps égal à la durée de propagation de A jusqu'à B et retour
 - ▶ On appelle ce temps le Round Trip Delay, le Round Trip Time (RTT), la «tranche canal» ou encore la fenêtre de collision
 - ▶ Ce temps dépend : de la taille du segment de données (trame), de la durée d'émission de cette trame et de la distance entre les deux stations les plus éloignées

Quelle est la dimension du réseau (son diamètre ou encore la distance maximale entre deux stations) si la taille minimale des trames est de 512 bits (64 octets), le débit de 10Mb/s et la célérité du signal sur le câble de 200Km/s (c'est sous évalué...)?

Vous devez trouver 5,12Km, ce qui est trop. Dans la réalité il faut tenir compte de l'affaiblissement en ligne qui ne permet pas de propager un signal sur une telle distance sans pertes de puissance et distorsion en ligne. Ces phénomènes obligent à placer des organes régénérateurs à des distances bien plus courtes. On appelle ces organes de répéteurs car ils «répètent» les bits, ils les régénèrent. Ce ne sont pas des amplificateurs car alors les distorsions seraient elle-mêmes

amplifiées.

Les premiers réseaux Ethernet pouvaient compter des segments de 500m maximum, reliés par des répéteurs.

Les répéteurs apportent un retard, les câbles de raccordement de ces répéteurs au câble principal aussi. Le bilan des délais est tel que la taille maximale est de 2,5km pour les valeurs suivantes :

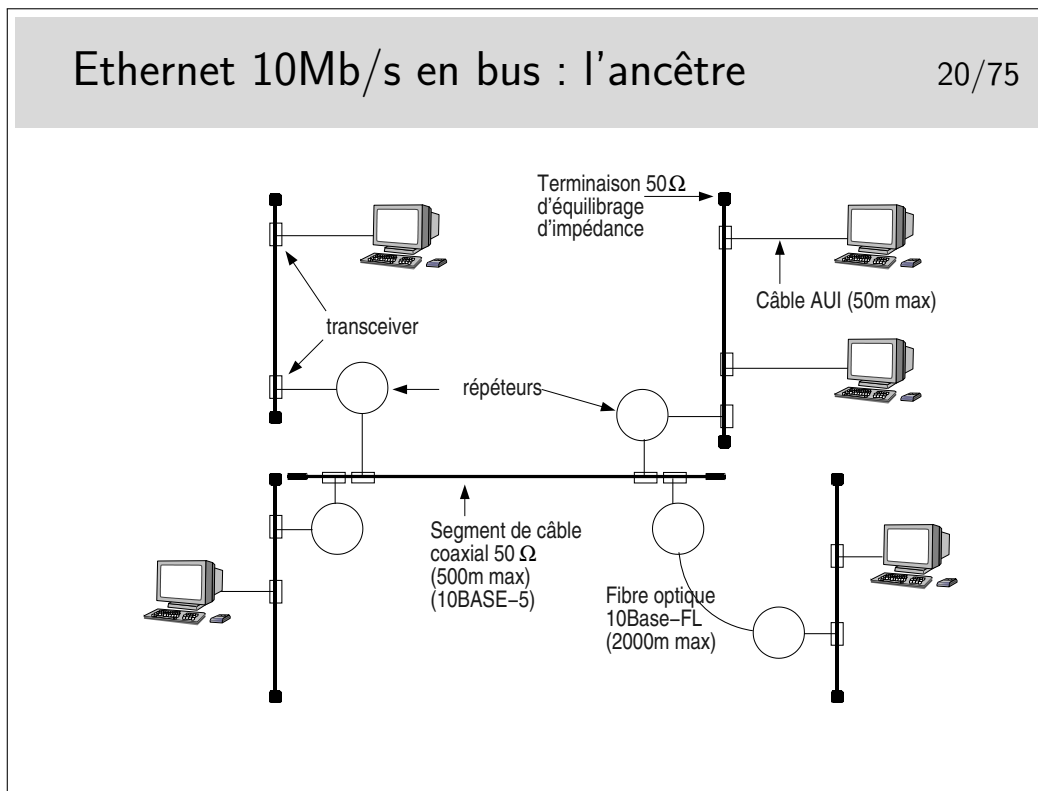
- taille minimale des trames : 512 bits
- débit d'émission : 10 Mb/s
- célérité sur les segments de câble principaux : $0,77c$
- 5 segments de 500 m maximum et 4 répéteurs maximum entre deux stations.

Ethernet : les caractéristiques générales au débit de 10Mb/s

19/75

- ▶ Taille minimale de la trame : 64 octets (512 bits)
- ▶ Taille maximale : 1518 octets
 - ▶ 1500 octets de charge utile (SDU) pour Ethernet pur
 - ▶ 1497 ou 1496 ou même 1492 en format 802.3 où la couche LLC est nécessaire
- ▶ Taille minimale : 64 octets
 - ▶ Bourrage dans le champ «données» si la longueur de celles-ci est inférieure à 46 octets
- ▶ Silence inter-trame de $9,6\mu s$
- ▶ Tentatives de réémission en cas de collision : 16

Comptez bien : 18 octets pour l'entête (6 address destination + 6 adresse source + 2 longueur/type) + 2 checksum. Le préambule à la trame ne compte pas (ce n'est pas vraiment la trame).



Le médium principal est constitué par des segments de câble 50Ω de 500m maximum, reliés entre eux par des répéteurs. Il ne peut y avoir plus de 5 segments entre deux stations (4 répéteurs). Les câbles sont terminés par un «bouchon» constitué par une résistance de 50Ω permettant d'équilibrer l'impédance caractéristique du support.

Un répéteur est un organe qui «répète» sur tous les ports les bits qui arrivent sur un port. Ce n'est pas une amplification car si cela était les altérations du signal seraient amplifiées. Les bits entrant dans un port sont reconnus et régénérés sur tous les autres ports et même sur les fils émission du port sur lesquels ils arrivent.

Les stations et les répéteurs sont raccordés au câble principal via des câbles de 50m maximum. Le câble arrive sur un organe de raccordement directement fixé sur le médium appelé le «transceiver».

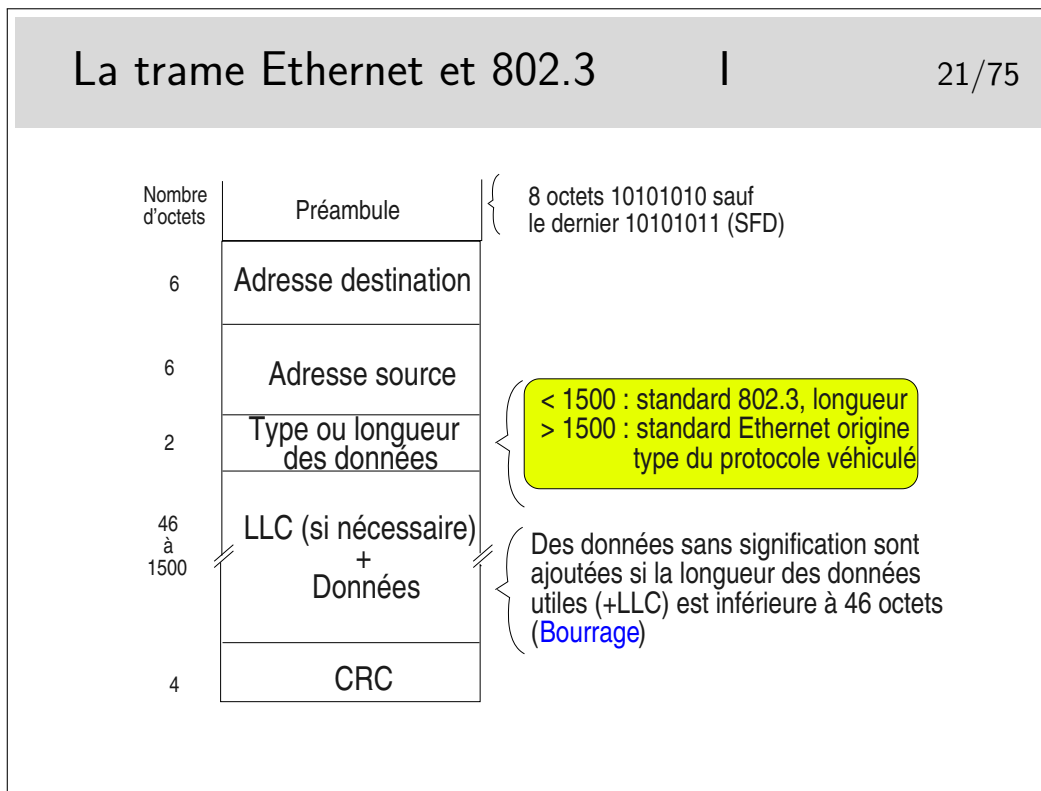
Les transceivers doivent être placés à des distances multiples de 2,5m pour des contrer le phénomène des ondes stationnaires. Un point ou un anneau de couleur noire sur le câble (qui lui est jaune) indique les emplacements possibles.

Deux segments principaux peuvent être reliés par une fibre optique de longueur 2000m maximum. Les deux répéteurs aux extrémités de la fibre ne comptent alors que pour 1.

Ce type de réseau est aujourd'hui abandonné. Les segments de câble sont remplacés par des hubs (ou des switches) et l'architecture physique est devenue ainsi une étoile tout en continuant à fonctionner avec une technique de bus. Le hub peut être comparé à une boîte dans laquelle on aurait enfermé le câble et les transceivers.

Les dénominations 10BASE-5 et 10BASE-FL sont explicitées plus loin.

Il existe une version «cheaper net» comportant des câbles coaxiaux fins (de couleur noire), avec un raccordement par prises de type BNC. Ces câbles font 185m max (10BASE-2).



SFD : Start Frame Delimitator

Les créateurs d'Ethernet (Bob Metcalfe et Intel/Xeros/Digital) ont défini le champ «Type» pour porter l'identité du protocole véhiculé dans les données (le champ type est le SAP). Pour des soucis d'interopérabilité avec des réseaux locaux dont les trames n'ont pas ce champ type (Token Ring 802.5), le comité 802 a décidé qu'il serait obligatoire d'utiliser la couche LLC pour porter l'identité du protocole véhiculé et a transformé le rôle de ce champ en indicateur de longueur des données. Ce n'est pas une mauvaise idée en soi.

Et en pratique ?...

En pratique les deux coexistent sur les mêmes supports. Une machine peut émettre en 802.3 pour certaines applications et en Ethernet pur pour d'autres.

Par défaut IP est véhiculé en Ethernet pur (type 0800hexa), il peut être véhiculé en mode 802.3 en paramétrant l'interface.

- ▶ C'est un datagramme
 - ▶ Elle contient l'adresse de la station destinataire ainsi que l'adresse de la station qui émet
 - ▶ Elle contient un CRC, on peut donc vérifier son intégrité en réception
 - ▶ Si cette vérification montre une altération, la trame est jetée
- ▶ Il n'est pas prévu à ce niveau (MAC) d'échange préalable pour établir une relation entre l'émetteur et le récepteur
 - ▶ Il n'y a pas de connexion
 - ▶ Il y a pas de contrôle de flux
 - ▶ Il n'y a pas de récupération sur erreur

2.2 Les adresses MAC

- ▶ Définies dans la couche MAC (adresses MAC)
 - ▶ 6 octets
- ▶ 3 types d'adresses
 - ▶ Les adresses de stations, dites aussi «unicast» :
 - ▶ une adresse unique par interface matérielle (une machine peut avoir plusieurs interfaces matérielles)
 - ▶ L'adresse d'une interface est affectée par son constructeur
 - ▶ L'adresse globale, dite aussi «broadcast»
 - ▶ Permet d'envoyer une trame à toutes les stations du réseau, en une seule opération
 - ▶ Les adresses de groupes, dites aussi «multicast»
 - ▶ Permettent d'adresser un groupe de stations

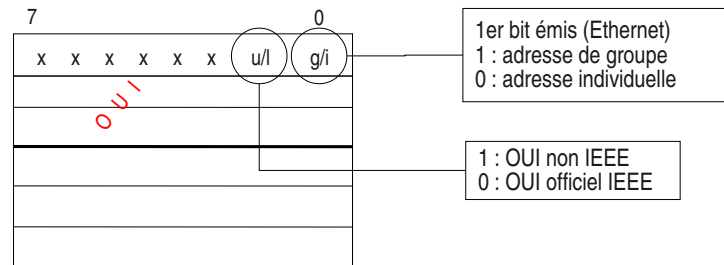
En terminologie anglo-saxonne les interfaces matérielles sont appelées NIC pour *Network Interface Card*.

Une interface voyant passer une trame de broadcast (diffusion) doit prendre en compte cette trame.

Une interface voyant passer une trame de multicast ne la prend en compte que si elle a été paramétrée pour cela.

▶ Format IEEE-48

- ▶ 6 octets
 - ▶ Les 3 premiers affectés au constructeur par l'IEEE (OUI : Organisation Unit Identifier)
 - ▶ Les 3 derniers affectés par le constructeur



Les adresses de broadcast et de multicast

- ▶ Le groupe total : la diffusion ou broadcast
 - ▶ ff:ff:ff:ff:ff:ff : les 48 bits à 1
- ▶ Les groupes restreints : le multicast
 - ▶ Le bit de poids faible du premier octet est à 1
 - ▶ Quelques exemples :
 - ▶ 01:00:5E:xx:xx:xx : multicast IP
 - ▶ 01:80:C2:00:00:00 : spanning tree (protocole de gestion automatique des ponts et commutateurs)
 - ▶ 09:00:4E:00:00:02 : multicast IPX

Information sur les OUI et adresses multicast :
<http://standards.ieee.org/regauth/oui/oui.txt>

Exemples d'OUI, d'adresses multicats, de types

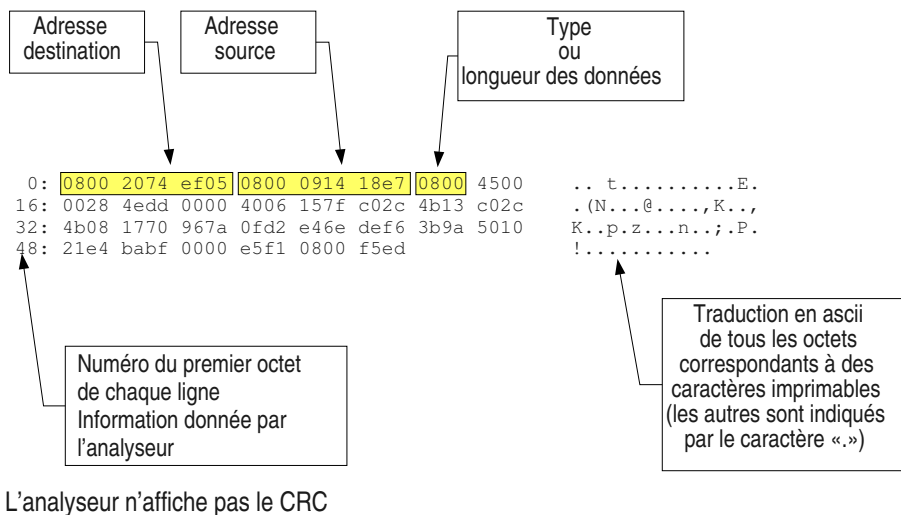
27/75

- ▶ Quelques OUI
 - ▶ 08-00-07 Apple
 - ▶ 00-00-0C Cisco
 - ▶ 08-00-08 HP
 - ▶ 08-00-20 Sun
- ▶ Quelques adresses multicast
 - ▶ 01-00-5E-xx-xx-xx Multicast internet
 - ▶ 01-80-C2-00-00-00 spanning tree

<http://standards.ieee.org/regauth/oui/oui.txt>

Une trame Ethernet capturée par un analyseur

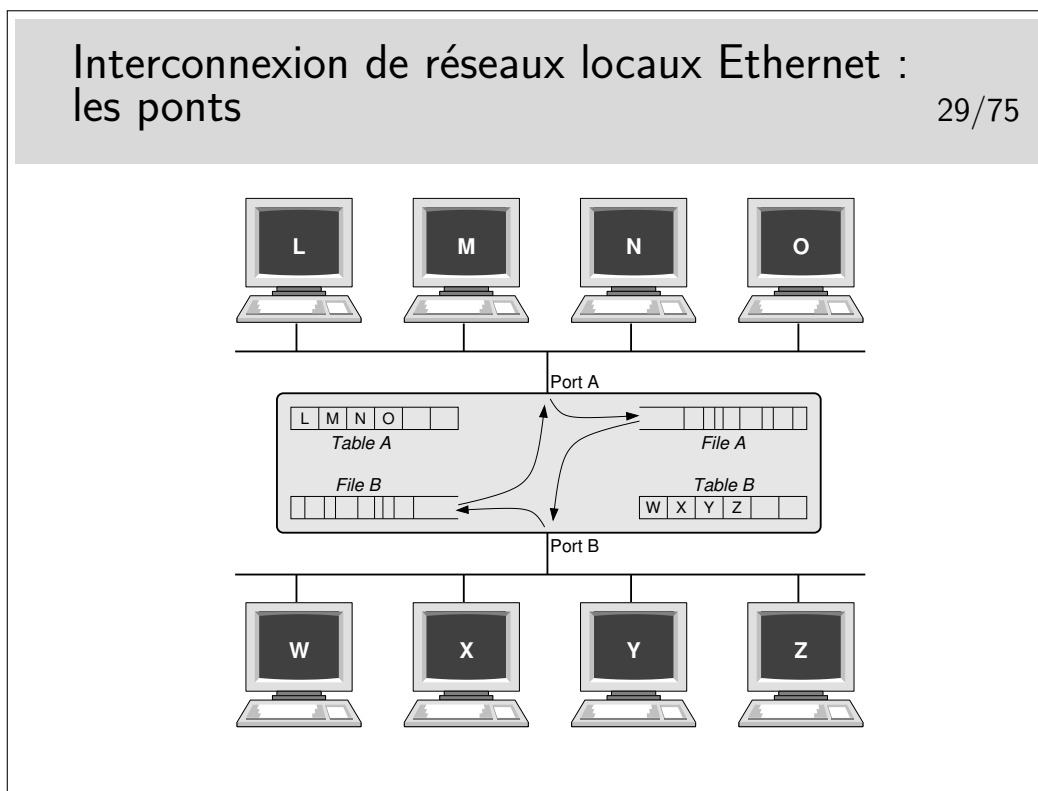
28/75



Cette trame est au format 802.3 ou Ethernet pur ?

Interconnexion de réseaux locaux Ethernet : les ponts

29/75



Le pont fonctionne tout seul sans paramétrage préalable. Il écoute le réseau sur son port A et son port B et «voit» passer des trames. Il enregistre les adresses sources de celles-ci et détermine ainsi que L, M, N et O sont du côté A. Ces adresses sont «appprises» par le pont et enregistrées dans sa table A. De même il «apprend» que, coté B, existent les stations W, X, Y et Z. Ces dernières adresses sont stockées dans la table B.

Si une trame est émise par L à destination de O, il reconnaît que ces deux stations sont du côté A, il ne fait rien. De même pour des trames de M vers N ou X vers Z par exemple.

Par contre si une trame est émise de A à destination de Z, alors cette trame est enregistrée dans la file A puis une tentative d'émission de celle-ci sera effectuée coté B. La trame ne sera mémorisée dans la file A que si elle n'a pas collisionné. Elle pourra peut-être collisionner coté B lors de sa ré-émission de ce coté mais la collision ne sera pas détectée coté A.

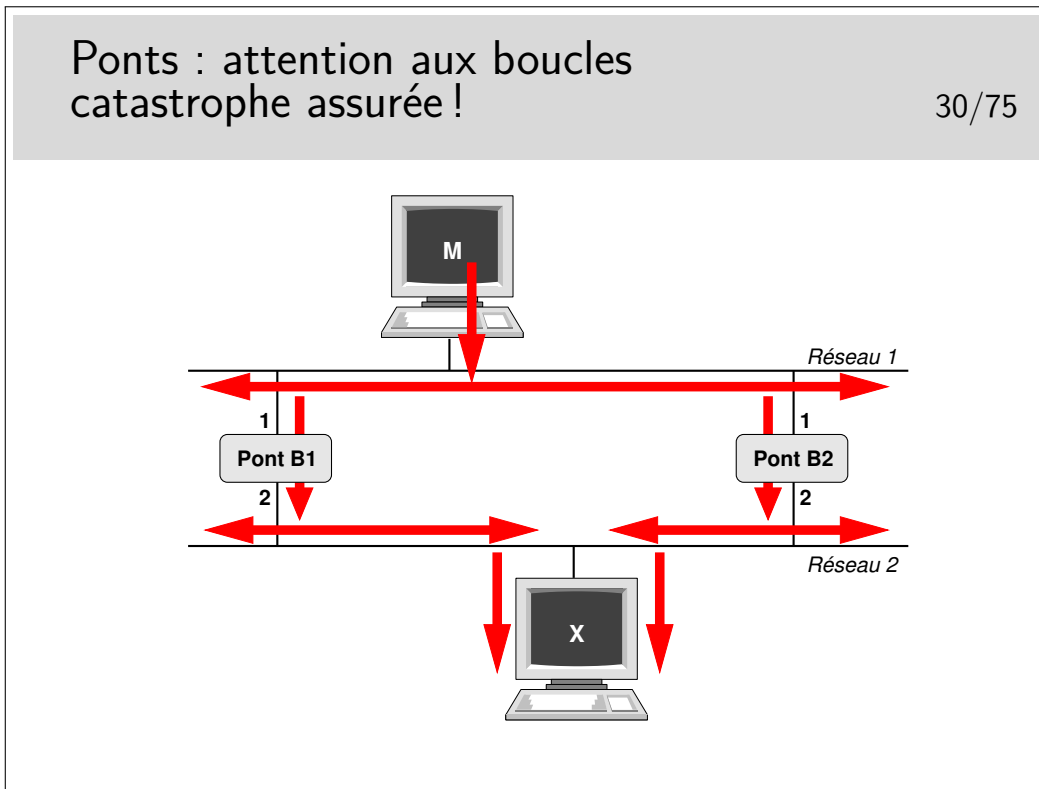
Si le pont ne connaît pas la station destinatrice (elle n'a rien émis encore) il retransmet les trames vers cette destination sur le port opposé de celui sur lequel il reçoit ces trames.

Avantages :

- le trafic est segmenté
- la connectivité totale est maintenue
- le réseau est divisé en «domaines de collisions»
- le diamètre du réseau peut être doublé

Ponts : attention aux boucles catastrophe assurée !

30/75



Pour des raisons de fiabilité on peut être amené à doubler les ponts entre deux réseaux. Se pose alors le problème de boucles comme l'exprime l'exemple présenté ici.

La machine M émet une trame à destination de la machine X.

Premier point négatif : multiplication des copies de trames...

Le pont B1 enregistre la trame et la réémet sur son port 2. La trame arrive à destination.

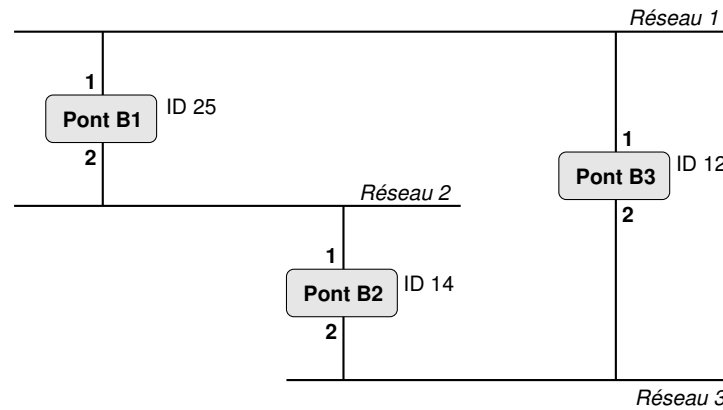
Le pont B2 fait de même. Une seconde copie arrive à destination.

Second point négatif : les trames font des boucles...

Si la station X n'a rien émis encore les ponts ne la connaissent pas. La station M émet une trame vers X. Les ponts ne connaissant pas X retransmettent cette trame comme précédemment. Il y a donc deux copies. Mais...

La copie faite par B1 arrive à destination et aussi en B2 port 2. B2 croit alors que la machine M a changé de réseau, elle est maintenant en bas. Comme il ne connaît pas X il recopie cette trame sur son port 1. Cette trame sera vue par B1 port 1 qui va la relayer vers son port 2 et va à nouveau arriver en X puis en B2 port 2 et ainsi de suite. Mais une trame tournera aussi dans le sens contraire car au début la copie faite par B2 arrive à destination.. etc... etc... Une seule trame émise suffit alors à saturer le réseau.

Pour éviter ce phénomène il faut transformer le réseau. De graphe avec des boucles il faut le transformer en arbre complet, en anglais en «spanning tree».

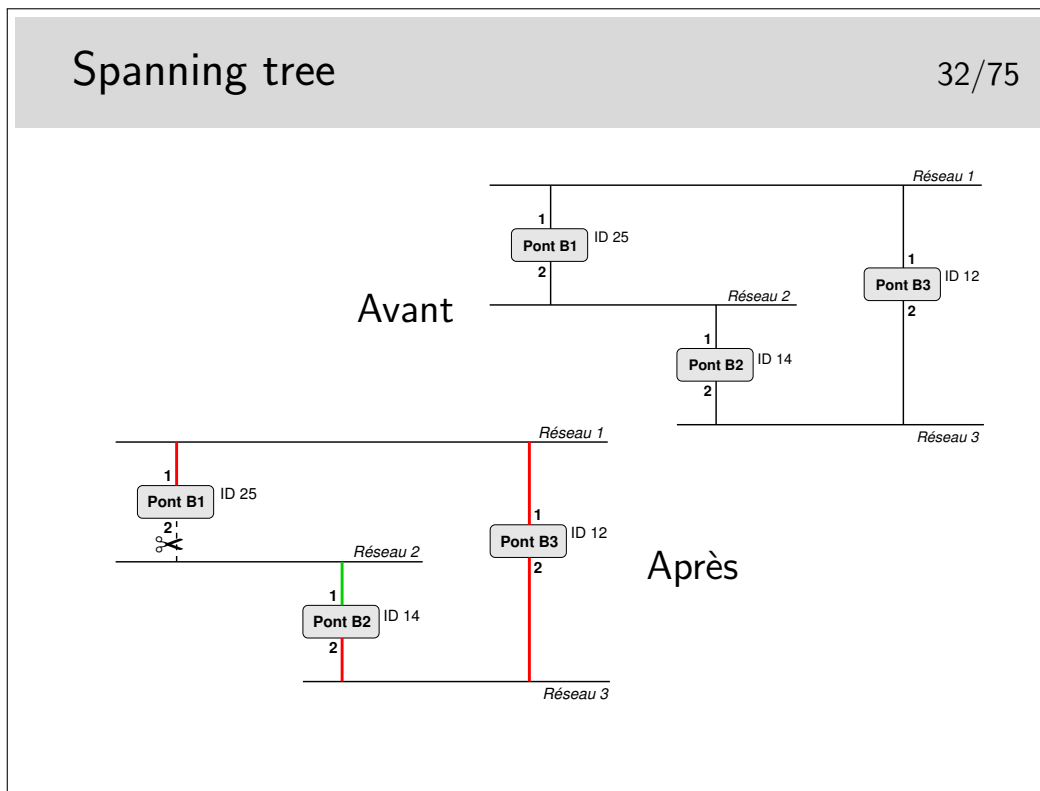


Les ponts (ou les commutateurs Ethernet) administrables peuvent mettre en œuvre cet algorithme. Sur chacun de ses ports, chaque pont annonce un identificateur qui lui est propre via une trame de type multicast (seuls les ponts sont configurés pour prendre en compte ce type de trame). Cet identificateur signifie en quelque sorte «c'est moi le pont racine». Tous les ponts commencent par annoncer qu'ils sont racine. Lorsqu'un pont reçoit un message comportant un identificateur «inférieur» au sien (on dira «meilleur»), il s'aperçoit qu'il n'est pas «racine» mais qu'un autre pont l'est plus certainement et que celui-ci est accessible via l'interface par laquelle est parvenue ce message «meilleur».

L'ensemble des ponts exécute le même algorithme, celui-ci converge finalement car un seul pont se trouve être le «meilleur», la racine (celui dont l'identificateur est le plus petit). Chaque pont sait par quelle interface atteindre le pont racine par le «plus court chemin», seule cette interface reste active pour le trafic de données, les autres interfaces permettant, elles aussi d'atteindre la racine, mais avec un chemin plus long sont inhibées pour le trafic de données. Les boucles sont ainsi évitées.

Les messages échangés s'appellent des BPDU (Bridge_PDU) et comportent les informations suivantes : **<id_pont_supposé_racine, coût_supposé, id_pont_émetteur, port_émission>**.

Les messages du protocole Spanning tree sont portés par des trames en adressage multicast. Leur adresse destination est (en standard) **01:80:c2:00:00:00**. Ce sont des trames de type 802.3. Les DSAP et SSAP de la couche LLC supérieure (voir plus loin) sont égaux à **0x42**. Les messages sont émis toutes les 2 secondes par défaut. Les identificateurs, les délais sont généralement paramétrables.



B1 émet : $\langle 25, 0, 25, 1 \rangle$ sur son port 1 et $\langle 25, 0, 25, 2 \rangle$ sur son port 2.

Il reçoit $\langle 12, 0, 12, 1 \rangle$ par son port 1 et $\langle 14, 0, 14, 1 \rangle$ par son port 2. Il constate qu'il n'est pas racine et que la racine doit être 12 (B3) accessible par son port 1. B1 considère que son port 1 est «root port».

Il émet alors : $\langle 12, 1, 25, 1 \rangle$ sur son port 1 et $\langle 12, 1, 25, 2 \rangle$ sur son port 2.

B2 émet $\langle 14, 0, 14, 1 \rangle$ sur son port 1 et $\langle 14, 0, 14, 2 \rangle$ sur son port 2.

Il reçoit : $\langle 12, 0, 12, 2 \rangle$ port 2 et $\langle 25, 0, 25, 2 \rangle$ port 2 dans une première phase indiquant ainsi que le pont racine doit être accessible par son port 2 plutôt que par son port 1. B2 considère que son port 2 est «root port».

Il émet alors : $\langle 12, 1, 14, 2 \rangle$ sur son port 2 et $\langle 12, 1, 14, 1 \rangle$ sur son port 1.

B3 ne reçoit pas de «meilleure» configuration que celles qu'il émet. Il est donc la racine.

Comment vont alors se départager B1 (port 2) et B2 (port 1) ?

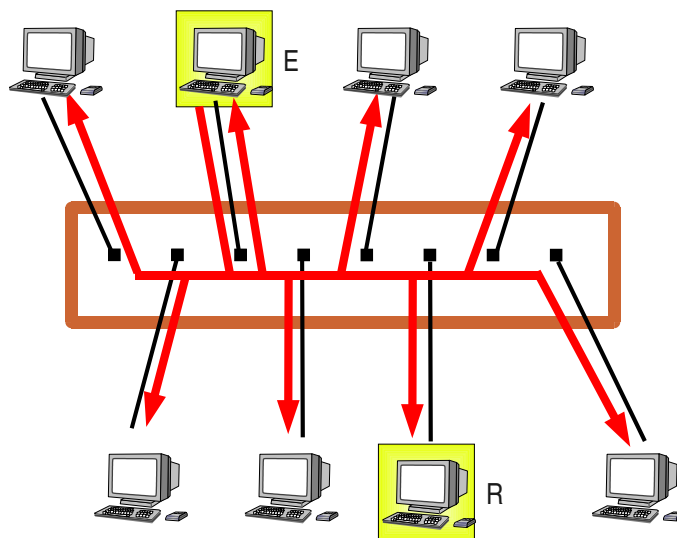
B1 reçoit port 2 : $\langle 12, 1, 14, 1 \rangle$ ce qui est meilleur que ce qu'il émet sur ce même port $\langle 12, 1, 25, 2 \rangle$. Il inhibe son port 2 (pour le trafic de données, pas pour les messages de spanning tree). B2 reçoit sur son port 1 un message «moins bon» que ce qu'il émet sur ce même port, donc B2 port 1 reste actif.

Excellent tutorial animé à :

http://www.cisco.com/warp/public/473/spanning_tree1.swf

Le bus devient étoile : raccordement par hubs

33/75



On prend le câble et les transceivers, on ramasse le tout dans un petit boîtier et le tour est joué. D'une topologie en bus nous passons à une topologie en étoile.

En fait ce n'est pas si simple car les raccordement changent, ce ne sont plus des transceivers mais des prises de type RJ45 et les câbles sont de type 10/100 BASE-T, à paire torsadée, de longueur max 100m.

Exemple de fonctionnement : La station E émet vers la station R. Toutes les stations reçoivent le signal, même E pour des raisons de détection de collision.

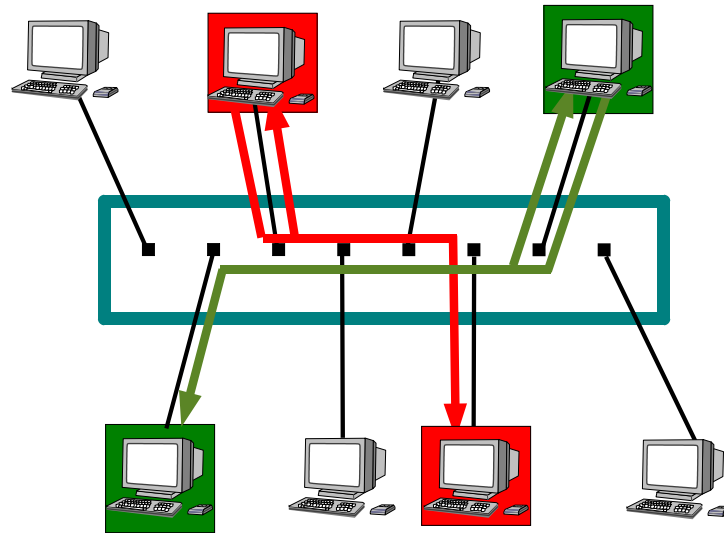
Un hub se comporte donc comme un bus.

Il est très facile d'espionner tout ce qui passe sur le hub à partir d'une machine raccordée sur un des ports.

Les hubs sont des **répéteurs**. Ce sont des organes de la **couche physique** (selon le modèle OSI), ils ne s'intéressent qu'au niveau bit.

Le bus devient étoile : raccordement par commutateurs (switch)

34/75



Le commutateur ressemble à un hub mais se comporte comme un pont. Il connaît les adresses (MAC) des machines qui sont raccordées sur chacun de ses ports (raccordées directement ou via d'autres d'autres commutateurs ou hubs). C'est un pont multiport.

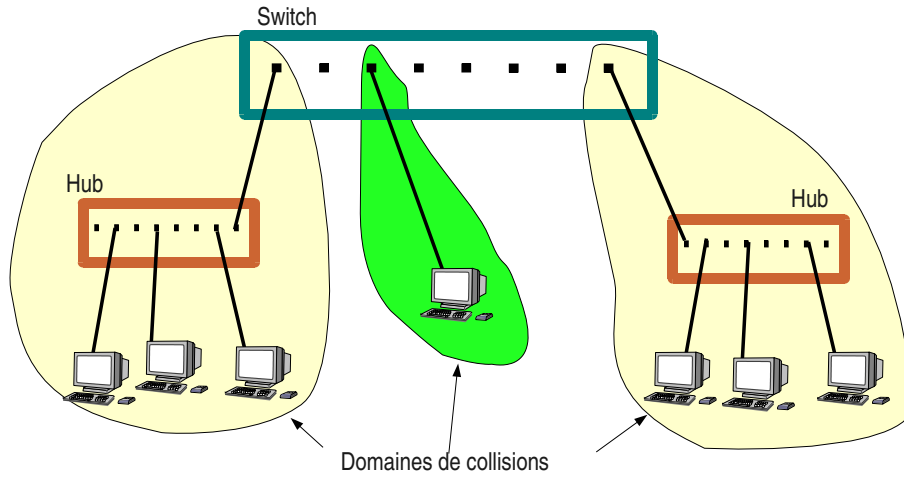
Il ne recopie une trame que sur le port qui mène vers la destination.

Il peut faire ce travail pour plusieurs trames simultanément à condition qu'elles n'aillent pas vers le même port de sortie, auquel cas elles sont traitées les unes après les autres. Il se comporte donc comme s'il était capable d'établir des circuits entre deux ports pour de courts instants, d'où son nom de commutateur (switch en anglais).

C'est une **commutation de niveau 2** (plus exactement de niveau MAC), à ne pas confondre avec la commutation de niveau 3 qu'on rencontre dans d'autres réseaux comme X25 ou ATM.

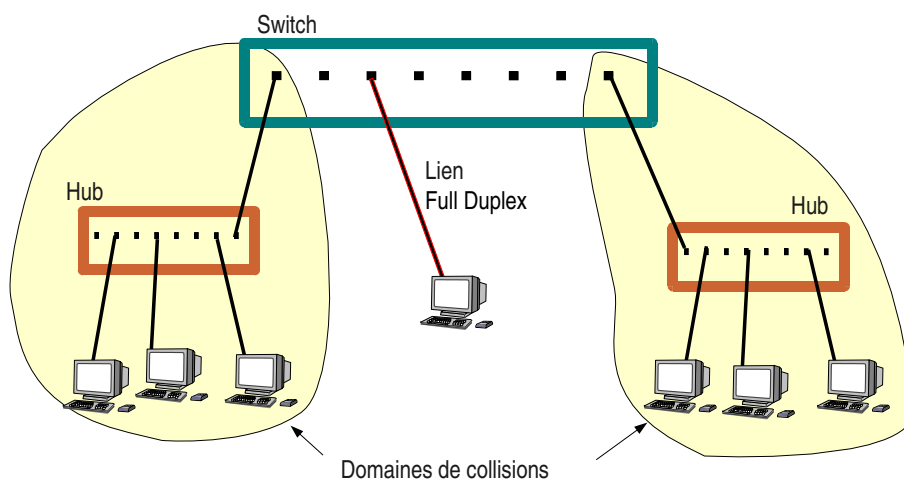
L'espionnage sur ce type d'appareil est plus difficile, sur un port donné on ne peut voir que les trames destinées à ce port ou les trames de *broadcast*, l'intérêt pour «l'espion» est donc très limité. Le «malfaisant» persévérant et cultivé en Réseaux peut cependant trouver des solutions...

Un switch est un pont multiports



Un switch se comporte comme un pont. Sur chacun de ses ports il enregistre les adresses sources des trames qu'il voit passer. Chaque port se comporte comme un port de pont. Chaque port délimite donc un domaine de collision.

On voit sur la figure ci-dessus qu'un de ces domaines ne comporte que deux machines (un port du switch et une machine seule), Voir le transparent suivant pour une utilisation plus efficace du lien en question.



Lorsqu'une machine terminale est reliée directement à un switch le domaine de collision est restreint à la machine et au port du switch sur lequel elle est raccordée. Si on considère en plus que le lien physique de raccordement est un câble comportant un circuit différent pour chaque

sens (deux fils par pour l'émission, deux autres fils pour la réception, ou deux fibres optiques), il devient alors intéressant d'inhiber le mécanisme de détection et contention de collision pour tirer partie pleinement de la paire émission et de la paire réception présente dans le câble de raccordement en les utilisant simultanément pour véhiculer des données utiles.

On peut ainsi passer de 10/100/1000 Mb/s à l'alternat à 10/100/1000 Mb/s dans chaque sens simultanément (10 ou 100 ou 1000 MB/s selon le matériel).

Attention, en général il faut gérer le full duplex, c'est à dire qu'il faut se connecter au switch pour l'administrer (sur son port console via un PC et l'application HyperTerminal ou via telnet en IP) et configurer les ports qu'on désire voir fonctionner dans ce mode. Il faut aussi vérifier sur la machine terminale qu'elle est bien en full duplex et, éventuellement, la forcer dans ce mode. Si le full duplex n'est pas positionné des deux cotés il en résultera un fonctionnement très ralenti, une des deux extrémités détectant alors des collisions qui n'en sont pas.

2.3 Les VLANs

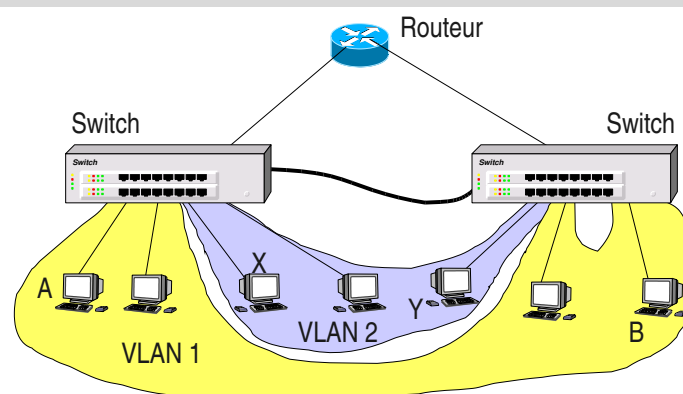
Le concept de LAN virtuel ou VLAN | 38/75

- ▶ Un VLAN est construit à l'aide des commutateurs dont on restreint les possibilités de commutation à des groupes de ports, la commutation peut être totale entre les membres d'un groupe mais devient impossible entre les membres de groupes différents

Un groupe définit un **domaine de broadcast**
domaine de broadcast \Leftrightarrow VLAN (plus petite commune définition)

- ▶ suivant les possibilités matérielles des switches, un VLAN peut être défini par **port**, par **adresse MAC**, par **adresse IP** (dans ce dernier cas, ce n'est toutefois pas assimilé à de la commutation niveau 3)

- ▶ routeur obligatoire entre VLANs, même s'il n'y a qu'un commutateur
- ▶ l'attribution d'un élément (port, adresse MAC, adresse IP) à un VLAN est réalisée par une opération de gestion
- ▶ un VLAN peut être réparti sur plusieurs commutateurs reliés entre eux
- ▶ l'interconnexion de switches impose de marquer les trames sur les liens d'interconnexion afin de les associer à un VLAN.
Exemple figure suivante : les trames échangées entre A et B ou entre X et Y doivent être différenciées sur le lien entre les deux switches. Solution : étiquetage des trames ; normes IEEE et solutions propriétaires



- ▶ Sur un commutateur ou plusieurs interconnectés
 - ▶ On subdivise l'espace d'interconnexion en sous espaces étanches
 - ▶ On construit ainsi une architecture logique sur une topologie physique
 - ▶ Standardisation : IEEE-802.1p et 1q

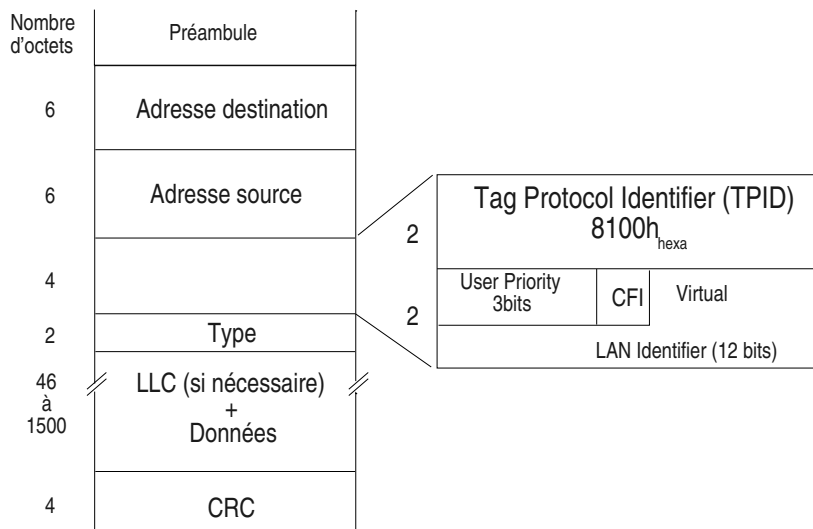
Imaginons que la machine A veuille émettre vers toutes les machines de son VLAN, elle doit émettre une trame de *broadcast* qui devra être relayée par le switch de gauche vers le switch de droite. Cependant, le switch de droite devra connaître l'identité du VLAN vers lequel diffuser la trame. Il ne faudra pas, par exemple, émettre vers la machine Y du VLAN2. Pour cela, sur le lien entre les switches, la trame devra être complétée par un champ porteur de l'identité du VLAN.

Le transparent suivant indique comment est modifiée la trame ethernet de base.

Le lien d'interconnexion des commutateurs est parfois un «trunk». Selon les constructeurs et les types de switches, des ports spécifiques peuvent être réservés pour le «trunking».

La trame Ethernet revisitée par IEEE-802.1p/q

41/75



Le champ TPID est tout simplement une valeur de champ Type spécifique. Le champ «User Priority» apporte une possibilité de privilégier certains flux.

Le bit CFI (Canonical Format Indicator), s'il est à 1, indique que le champ information comporte des indications de routage par la source.

Le champ «Virtual LAN Identifier» indique à quel VLAN appartient la trame.

Compléments du standard 802.1p/q

42/75

- ▶ GARP : Generic Attribute Registration Protocol
 - ▶ mécanisme de signalisation permettant aux stations de fournir des indications (par des valeurs d'attributs) affectant les paramètres de filtrage des switches.
 - ▶ 3 attributs déjà définis :
 - ▶ groupe d'adresses MAC, facilite les mécanismes du multicast,
 - ▶ mode de filtrage des ports,
 - ▶ VLAN
- ▶ GMRP : Garp Multicast Registration Protocol
 - ▶ mécanisme permettant aux stations terminales et aux switches de s'enregistrer (et se retirer) comme participants à un groupe multicast et de diffuser cette information à l'ensemble de switches du réseau,
 - ▶ les switches utilisent cette information comme paramètre de filtrage,
 - ▶ utilise GARP comme protocole support.

2.4 Évolutions

Les évolutions d'Ethernet	44/75
<ul style="list-style-type: none">▶ Années 80 : le 10Mb/s, 802.3, en bus sur câbles coaxiaux▶ Années 90 :<ul style="list-style-type: none">▶ 10Mb/s sur paires torsadées, raccordement sur hub▶ 100Mb/s▶ Fin des années 90 : le 1000Mb/s▶ Années 2000 : la 10Gb/s arrive<ul style="list-style-type: none">▶ Support physique revisité, utilisation du support Sonet (OC192)▶ Distances visées : 40Km et plus▶ Interopérabilité totale ascendante	

Sonet (Synchronous Optical Network) est un type de multiplexage mis au point par la société américaine Bellcore et standardisée par l'ITU-T sous l'appellation SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

À l'origine, Sonet/SDH est destiné au transport des voies téléphoniques numériques. Les concepts mis en œuvre permettent un multiplexage et un démultiplexage facilité par rapport aux techniques plus anciennes. C'est le support privilégié pour les réseaux de type ATM.

Les débits courants sont de 155Mb/s (Sonet : OC3, SDH : STM1) sur cuivre (100m) ou fibre optique et 622Mb/s. Le débit de 1,2 Gb/s est possible. Un bond technologique est réalisé pour l'Ethernet 10Gb/s.

Le câblage cuivre, les différents types de câbles

45/75

- ▶ Le standard : ANSI/TIA/EIA 568 B
- ▶ Câbles à 4 paires torsadées, connecteurs RJ45
- ▶ Catégories
 - ▶ 5 : 100MHz, 100Mb/s sur 100m
 - ▶ 5e : 100 Mhz
 - ▶ 6 : 250MHz : 1Gb/s sur 100m
 - ▶ 7 : 600MHz : 10Gb/s sur 100m (15Gb/s sur 15m)
- ▶ Blindés ou écrantés
 - ▶ UTP : Unshielded Twisted Pair : non blindé
 - ▶ FTP : Foilded TP : écranté
 - ▶ STP : Shielded TP : blindé
 - ▶ SFTP : écranté et blindé

Un lien : <http://cablingdb.com/GlossaryPages/GlossaryC/CGlossary.asp>

2.5 Dénomination

Les dénominations des différentes versions d'Ethernet

| 47/75

- ▶ Format : x BASE/BROAD y
 - ▶ x : le débit
 - ▶ BASE : bande de base, BROAD : large bande
 - ▶ y : indication sur la topologie (et/ou la longueur du câble)
- ▶ Bande de base :
 - ▶ Le 10 Mb/s
 - ▶ 10 BASE-5 : 10 Mb/s, topologie en bus constitué de segments de 500m
 - ▶ 10 BASE-2 : 10Mb/s, topologie en bus constitué de segments de 185m
 - ▶ 10 BASE-T : 10Mb/s, topologie en étoile, câbles en paires torsadées (T pour *Twisted pair*), longueur 100m

Les matériels à 10Mb/s tendent à disparaître aujourd'hui (2004). Les cartes interfaces sont toutes en 100-BASE-T, même en premier prix.

Les dénominations des différentes versions d'Ethernet

II 48/75

- ▶ Le 100Mb/s
 - ▶ 100BASE-T4 : 4 paires utilisées, catégorie 3 à 5
 - ▶ 100BASE-TX : 2 paires torsadée, catégorie 5
 - ▶ 100BASE-FX : 2 fibre optique
- ▶ Le 1000Mb/s
 - ▶ 1000BASE-LX : fibre optique, grande (Long) longueur d'onde
 - ▶ 1000BASE-SX : fibre optique, courte (Short) longueur d'onde
 - ▶ 1000BASE-CX : paire torsadée, 25m max
 - ▶ 1000BASE-TX : 4 paires torsadées de catégorie 5

2.6 Câblage

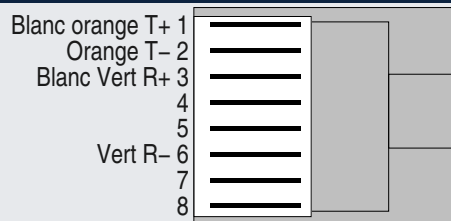
Les câblages : les câbles catégorie 5 et leurs connecteurs

50/75

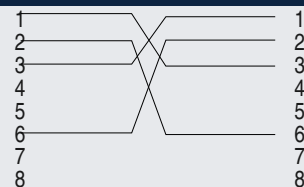
- ▶ Les câbles sont classés par catégories en fonction de leurs caractéristiques (en particulier les débits maximum)
- ▶ Aujourd'hui on recommande la catégorie 5 voire 5e ou 6 pour des câblages cuivre permettant d'atteindre le 100Mb/s

Les câbles pour le 10BASE-T et 100BASE-T (EIA/TIA 568 A)

La prise RJ45



Câble croisé (interconnexion de machines hubs switches)



Un document bien illustré sur le câblage... En italien, mais Mhz et nm et Km s'écrivent comme en français... <http://www.garr.it/ws4/pdf/Montessoro.pdf>

Un câble croisé permettra de raccorder :

- deux machines directement entre-elles
- deux hubs ou deux switches entre-eux

— un hub et un switch

Les hubs et les switches peuvent être munis de ports directement croisés, on les repère généralement par la mention «Up Link». Un port peut aussi avoir deux prises RJ45, une droite et une croisée «up-link».

Un port peut être muni d'un petit commutateur appelé **MDI-MDIX** permettant de positionner le port en mode normal (MDI) ou en mode croisé (MDIX).

Et enfin, la fonction MDI-MDIX peut être à auto-détection : le switch détecte automatiquement s'il a à faire à un câble droit ou croisé.

Les câblages : la fibre optique 51/75

Multimode

Gradient d'indice

Monomode

La fibre et Ethernet gigabit 52/75

Transceiver	Fiber Diameter (microns)	Bandwidth (MHz*km)	Minimum Range (meters)
1000BASE-SX	MM 62.5	160	2-220
	MM 62.5	200	2-275
	MM 50	400	2-500
	MM 50	500	2-550
1000BASE-LX	MM 62.5	500	2-550
	MM 50	400	2-550
	MM 50	500	2-550
	SM 9	NA	2-5000

Transceiver	Fiber Diameter (microns)	Wavelength (nm)	Minimum Range (meters)
1000BASE-LH (Extended distance)	SM 9	1310	1 km - 49 km
1000BASE-LH (Extended distance)	SM 9	1550	50 km - 100 km

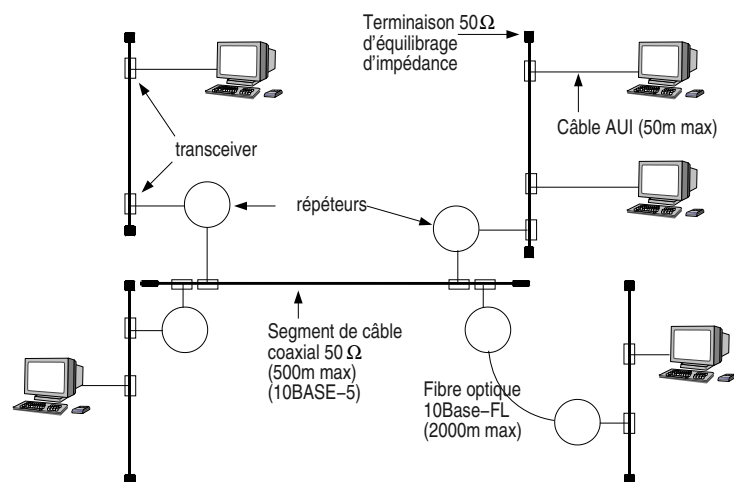
- ▶ 1000 BASE-SX : (S pour Short), $\lambda = 850nm$, codage en ligne 8B/10B
- ▶ 1000 BASE-LX : (L pour long), $1270nm < \lambda < 1355nm$, codage en ligne 8B/10B
- ▶ 1000 BASE-LH (Long Haul), fibre mono mode (SM : Single Mode), 9

- ▶ Les hubs et les switches acceptent aujourd'hui les deux débits de base 10Mb/s et 100Mb/s
- ▶ Les switches comportant des ports à 1Gb/s se généralisent
 - ▶ Un mécanisme d'autonégociation entre les extrémités de la liaison permettent de détecter le débit maximal accepté (10 ou 100, 1000)
 - ▶ L'autonégociation permet aussi de détecter la possibilité du full-duplex et de contrôle de flux

- ▶ Disponible sur certains commutateurs
- ▶ Trames «pause»
 - ▶ Adresse multicast 01-80-c2-00-00-01
 - ▶ Type 0x8808
 - ▶ Information : sur deux octets (<65536), contient le nombre de «pause_times» (périodes de 512 bits)
 - ▶ Indiquent la durée pendant laquelle l'extrémité ne désire pas recevoir de nouvelle trame

Transciever Ethernet 10-BASE-5

55/75



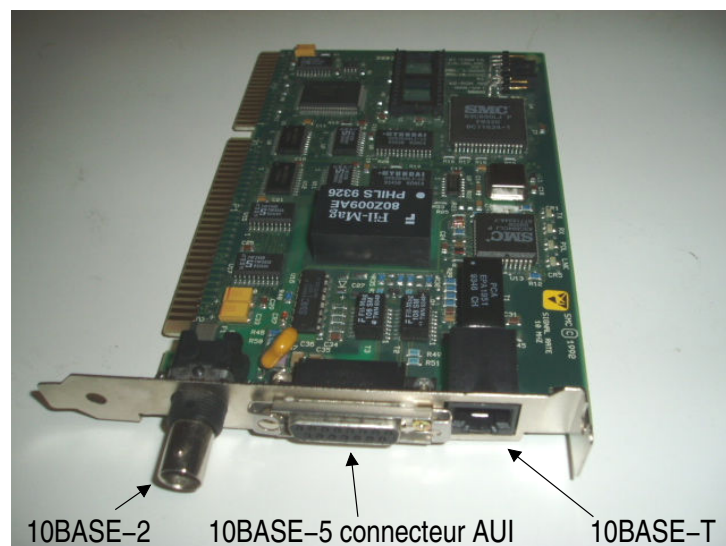
Source :

<http://tech.mattmillman.com/projects/10base5/>

https://petri.kutvonen.net/index_files/ethernet.html

Une carte interface «multimedium»

56/75

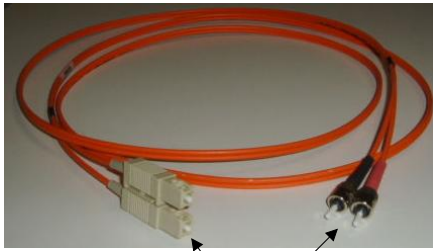


Technologie des débuts 90.

Aujourd'hui on ne trouve plus que du 10/100/1000 BASE-T, à quelques Euros...

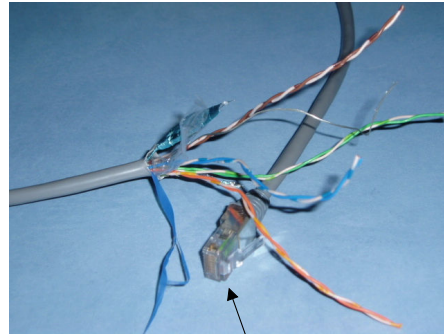
Et en plus il y a beaucoup moins de composants...

Fibre optique

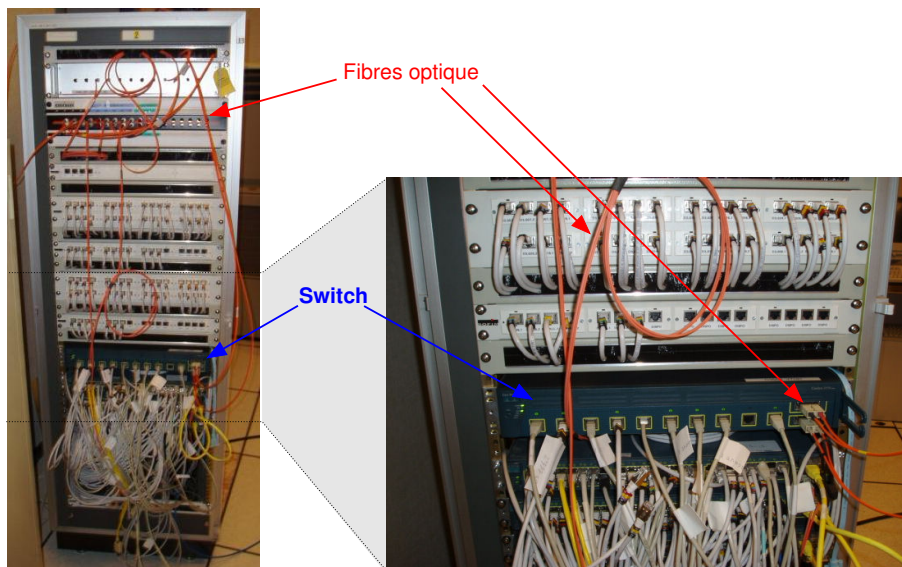


Connecteurs SC et TS

Paires torsadées



Connecteur RJ45



L'envers du décor :



Administration des commutateurs

59/75

- ▶ Les commutateurs de bas de gamme ne s'administrent pas
- ▶ On peut se connecter sur les autres
 - ▶ Par port série dédié (et hyper-terminal sous Windows ou minicom sous linux)
 - ▶ Par telnet sur une adresse IP configurée dans l'appareil
 - ▶ Par page Web sur une adresse IP configurée dans l'appareil
 - ▶ Par SNMP
- ▶ Les actions d'administration peuvent être
 - ▶ Mettre en place ou inhiber la fonction spanning-tree et gérer cette fonction (priorités du switch, QoS, ...)
 - ▶ Mettre en place et gérer des VLANs
 - ▶ Monitorer des ports
 - ▶ Surveiller les adresses MACs enregistrées
 - ▶ Surveiller le trafic

La fonction « monitoring » consiste à rediriger le trafic normal d'un port vers un port dédié à la fonction et sur lequel on place une machine munie d'un analyseur de flux. Toutes les trames entrantes et sortantes du port surveillé sont recopiées sur le port de monitoring.

3 Les autres techniques autour des LANs

3.1 Le sans fil IEEE-802.11 (WiFi : Wireless Fidelity)

IEEE-802.11 - WiFi	62/75
<ul style="list-style-type: none">▶ Canal radio à 2,4GHz (5GHz pour 802.11a)<ul style="list-style-type: none">▶ 11b : jusqu'à 11Mb/s – 11g : jusqu'à 54 Mb/s▶ Distance relativement courte : une centaine de mètres dans de bonnes conditions de propagation, ce qui est rarement le cas en intérieur▶ Méthode d'accès au médium : CSMA/CA<ul style="list-style-type: none">▶ Les collisions sont évitées par un mécanisme de délai avant d'émettre▶ Contrôle d'accès<ul style="list-style-type: none">▶ Sécurité possible avec chiffrement : Wired Equivalent Privacy (Wep)▶ Type d'application :<ul style="list-style-type: none">▶ raccordement de mobiles à des réseaux de type LAN dans les entreprises et lieux publics	

Un tutorial correct :

<http://www.intelligraphics.com/articles/80211.article.html>

Un lien sur la sécurité en 802.11 :

<http://www.iss.net/wireless/WLAN.FAQ.php>


Autre lien intéressant :

http://wireless.ictp.trieste.it/school.2002/lectures/ermanno/HTML/802.11_Architecture.pdf#search='802%2011%20ssid'

3.2 Les courants porteurs

Technique Courant Porteur 64/75




- ▶ **CPL : courant porteur en ligne**
 - ▶ Le réseau d'alimentation électrique est le medium
 - ▶ Interfaçage simple avec Ethernet ou USB : le câble catégorie 5/RJ45 est relié à une prise spéciale enfichable sur une prise de courant
 - ▶ Débits annoncés : 5-20 Mb/s
 - ▶ Des produits arrivent annonçant 200Mb/s (théorique) !
 - ▶ Modulation en ligne OFDM (certains utilisent CDMA)
 - ▶ Solutions propriétaires, pas de compatibilité entre produits
 - ▶ Pourtant un standard : Home Plug
 - ▶ Des travaux à l'ETSI
 - ▶ Applications : «émulation Ethernet», raccordement de quartiers résidentiels, d'entreprises, etc...



Un lien intéressant <http://vlan.org/breve123.html>

3.3 Autres

Autres techniques Réseau 66/75

- ▶ **Les PANs : Personal Area Network**
 - ▶ Très courtes distances
 - ▶ Typiquement :  **Bluetooth**  **ZigBee**
 - ▶ Interconnexion de petits portables (téléphones, PDAs, etc.), domotique (capteurs, actionneurs)
 - ▶ Standardisation en cours : IEEE-802.15
- ▶ **Les bus spécialisés**
 - ▶ USB
 - ▶ IEEE-1394  (FireWire ou iLink selon les constructeurs)
 - ▶ Raccordement d'appareils multimédia (caméra vidéo numériques, audio)
 - ▶ Canaux synchrones et asynchrones
 - ▶ 800Mb/s
 - ▶ Distance : 100m annoncée entre nœuds et hubs (4,5m en standard)
 - ▶ En standard sur les PCs aujourd'hui

Les canaux synchrones de IEEE-1394 (FireWire/iLink) sont adaptés à la transmission de flux sons et images.

Ces réseaux utilisent des protocoles spécifiques pour les couches supérieures, par exemple

AMDTP (Audio and Music Data Transmission Protocol. IEC61883-6) pour IEEE-1394. IP n'est pas implémenté en standard sur ces réseaux.

Une émulation Ethernet existe pour IEEE-1394 en utilisant les canaux asynchrone.

FireWire : IEEE-1394 chez Apple.

ilink chez Intel

3.4 La couche LLC

La couche LLC – IEEE-802.2

I

68/75

- ▶ Permet de combler les manques de la couche MAC par rapport au niveau 2 OSI standard (si nécessaire)
- ▶ Permet d'indiquer le SAP du protocole véhiculé dans les données utiles de la trame MAC

La couche LLC – IEEE-802.2

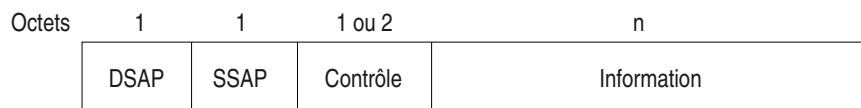
II

69/75

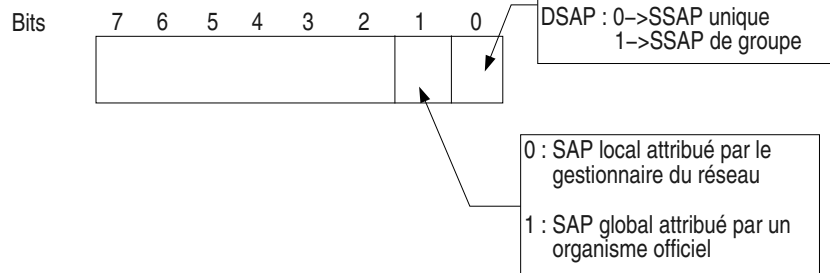
- ▶ Trois types LLC
 - ▶ LLC type 1 : mode datagramme, sert uniquement à véhiculer le SAP des données utiles
 - ▶ LLC type 2 : mode connecté, en plus de la fonctionnalité du type 1 on assure des contrôles identiques au HDLC LAPB (avec numérotation des trames modulo 128 : champ contrôle sur 2 octets), sert à véhiculer des paquets X25 par exemple
 - ▶ LLC type 3 : mode datagramme avec acquittement. Prévu pour les réseaux industriels

Format du PDU LLC

70/75



Codage des DSAP et SSAP



- DSAP : Destination Service Access Point
- SSAP : Source Service Access Point (i.e. *comment* interpréter le champ contrôle)

Et donc ... il reste combien de SAP possibles, donc de protocoles identifiables ?
64! C'est bien peu et c'est un problème...

LLC : quelques SAP

71/75

- ▶ 0x06 : IP
- ▶ 0x42 : Spanning Tree
- ▶ 0x7E : X25
- ▶ 0xE0 : Novell IPX
- ▶ 0xAA : SNAP (voir plus loin)

La notation 0x... est celle du langage C ou Java pour les nombres en hexadécimal.
Le SAP 0x7E ne vous rappelle rien concernant X25 et surtout sa couche 2 standard ?

LLC : le champ contrôle

72/75

- ▶ LLC type 1
 - ▶ Le champ contrôle est codé sur un octet et vaut 0x03
- ▶ LLC type 2
 - ▶ Format identique au champ contrôle (ou commande) de HDLC LAPB
 - ▶ Trames numérotées modulo 128
 - ▶ Longueur du champ : 2 octets pour les rames I, RR, RNR et REJ
 - ▶ La trame d'établissement de la connexion s'appelle SABME (Set Asynchronous Balanced Mode *Extended*)

LLC SNAP

73/75

- ▶ SNAP : Sub Network Access Protocol
- ▶ Les champs DSAP et SSAP standards sont trop courts
 - ▶ Le champ type de la trame Ethernet pur est très bien...
 - ▶ Si on le réutilisait... En le plaçant après le champ contrôle ?
 - ▶ Oui mais sa longueur n'est que de deux octets !
 - ▶ Le tout ferait donc 5 octets (Contrôle sur 1 octet), ce n'est pas optimum pour une architecture 32 bits (l'architecture de la plupart de nos machines encore pour l'instant)
 - ▶ Et si on complétait à 8 octets en rajoutant l'OUI du concepteur du protocole ?

SNAP : même traduit un français, ça ne veut rien dire (humour (?!!!))

OUI : Organizational Unit Identifier

LLC SNAP : le format

74/75

Octets					
1	1	1	3	2	n
DSAP 0xAA	SSAP 0xAA	Contrôle 0x03	OUI	Type	Données

- ▶ DSAP = SSAP = 0xAA
- ▶ Contrôle = 0x03 (trame UI : Unnumbered Information)
- ▶ OUI : code attribué par l'IEEE à la société créatrice du protocole. Identique aux 3 octets de début des adresses Ethernet. Souvent à 0
- ▶ Type : identifie le protocole : identique au champ Type de la trame Ethernet

Mais non !... Ce n'est pas si compliqué !...

Et en plus tout peut être justifié... Il y a une bonne raison pour qu'il en soit ainsi. Simplement il faut chercher cette raison parfois profondément...

Exemples de trames LLC

75/75

```

0: 0900 07ff ffff 0040 9c00 0294 0022 aaaa .....@....."..
16: 0308 0007 809b 001a 0000 0000 03e8 ffe1 .....
32: 0101 0103 e808 e103 e880 03e8 8201 9400 .....

0: 0180 c200 0000 0000 1d07 2c63 0026 4242 .....,c.&BB
16: 0300 0000 8000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
32: 0000 0000 0000 00c0 0f00 0050 0000 0000 .....P....
48: 0000 0000 ....
    
```

Décodons... Et répondons aux questions :

- pourquoi peut-on dire que ces trames sont de type multicast ?
- que nous enseignent les adresses destination utilisées dans ces trames ?
- pourquoi peut-on dire qu'elles sont au format 802.3 et non Ethernet pur ?
- quels sont les protocoles véhiculés ?