

Réseaux - Cours 3

Ethernet / IEEE 802.3

ou la star des LAN qui n'a pas fini de grandir

Cyril Pain-Barre

IUT Informatique Aix-en-Provence

version du 11/2/2013

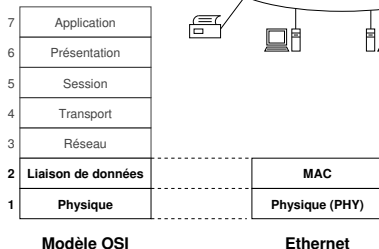
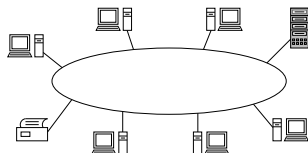
Aperçu d'Ethernet

- technologie LAN développée pour mettre localement en réseau les équipements informatiques d'une entreprise

- correspond aux couches 1 et 2 du modèle OSI :

- service simple (et efficace) rendu à la couche 3 :

- adressage MAC pour unique identifiant d'une interface réseau
- envoi/réception de trames sans garantie de remise ni de délai
- plusieurs possibilités (d'adresse) de destination d'une trame :
 - unicast : un seul hôte est destinataire ;
 - multicast : un ensemble d'hôtes sont destinataires ;
 - broadcast : tous les hôtes (actifs) sont destinataires.
- multiplexage : plusieurs (protocoles) réseaux peuvent fonctionner simultanément au dessus d'Ethernet sans interférer (ni même le savoir)



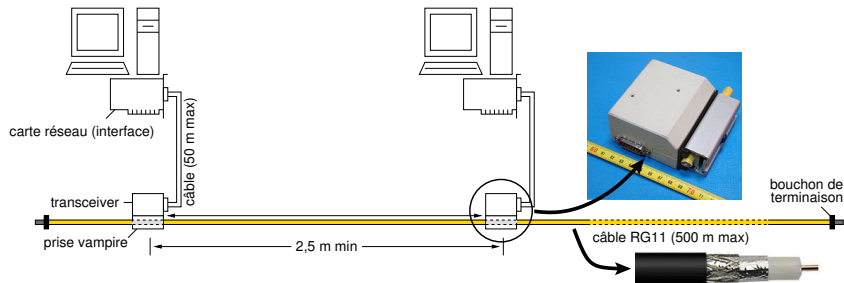
- 1973 : première version développée par Xerox (3 Mbit/s)
- Ethernet 10Base5 (10 Mbit/s), première version commercialisée qui connaît le succès, et établit les bases de l'**Ethernet partagé**
- 1979 : Digital (DEC), Intel et Xerox publient la norme DIX, favorisant la fabrication du matériel
- 1982 : Ethernet V2 établit le format définitif de la trame Ethernet
- de nos jours : l'**Ethernet commuté** a remplacé l'Ethernet partagé pour des réseaux bien plus performants, et sortant du cadre LAN !

L'Ethernet Partagé

Caractéristiques de l'Ethernet partagé

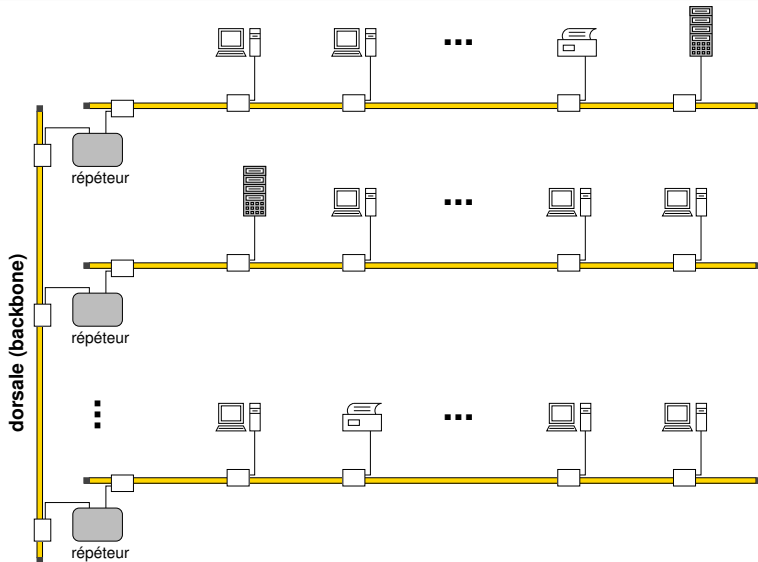
- plusieurs stations se partagent un unique canal de communication
- une trame envoyée par une station est reçue par toutes les autres
- des collisions de trames peuvent se produire (et sont détectées)
- nécessite la gestion de l'accès au canal : méthode CSMA/CD appliquée par la (sous) couche MAC (*Medium Access Control*)
- chronologiquement 10Base5 puis 10Base2 et 10BaseT en sont les versions majeures

Topologie en bus :



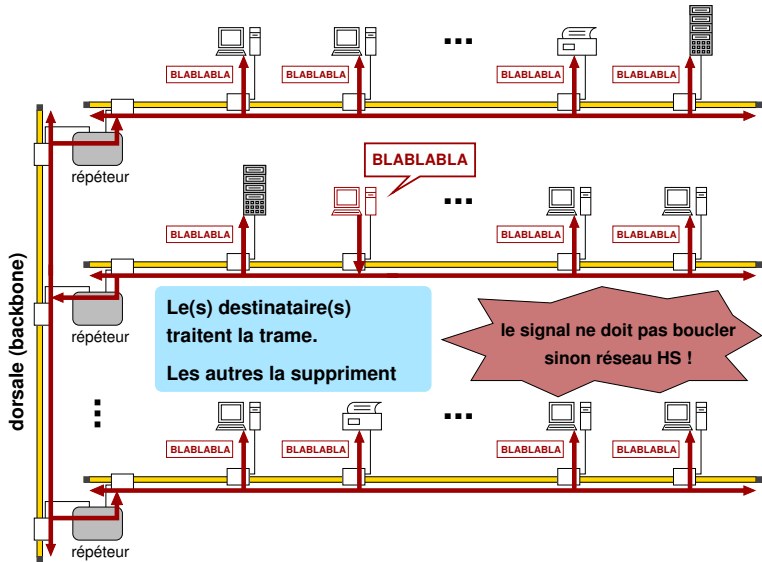
- **segment** : câble coaxial épais (RG11) d'au plus 500 mètres
- repères tous les 2,5 mètres pour prises vampires (*transceiver*)
- 100 stations max par segment
- extension par **répéteurs** (couche 1) reliant 2 segments
- entre 2 stations, max 5 segments et 4 répéteurs (diamètre max 2,5 km)
- 1000 stations max au total

10Base5 : câblage classique d'un bâtiment



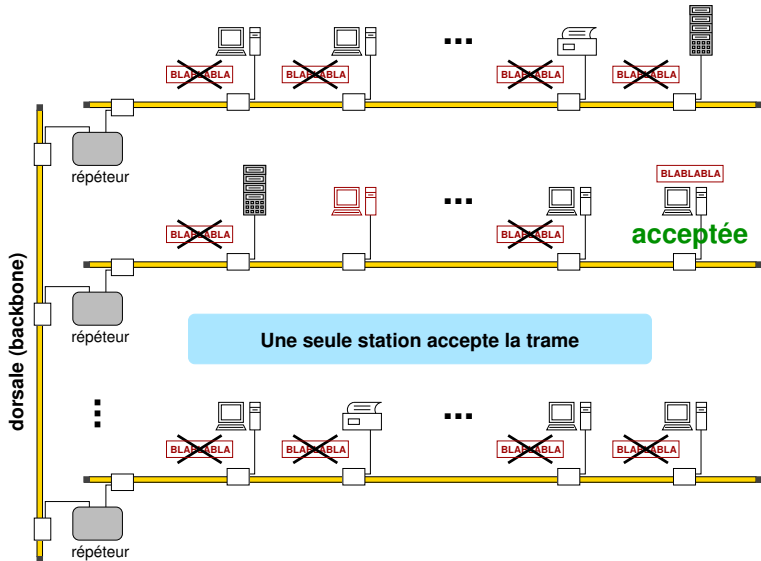
La **dorsale** sert à relier les segments (équipés de stations)

10Base5 : transmission d'une trame



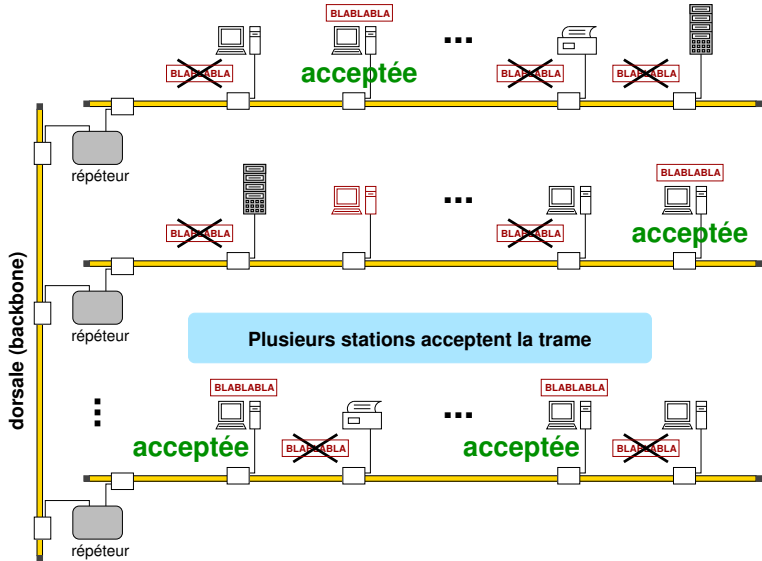
Trame émise (sans collision) reçue par tous, acceptée par certains.

10Base5 : transmission d'une trame unicast



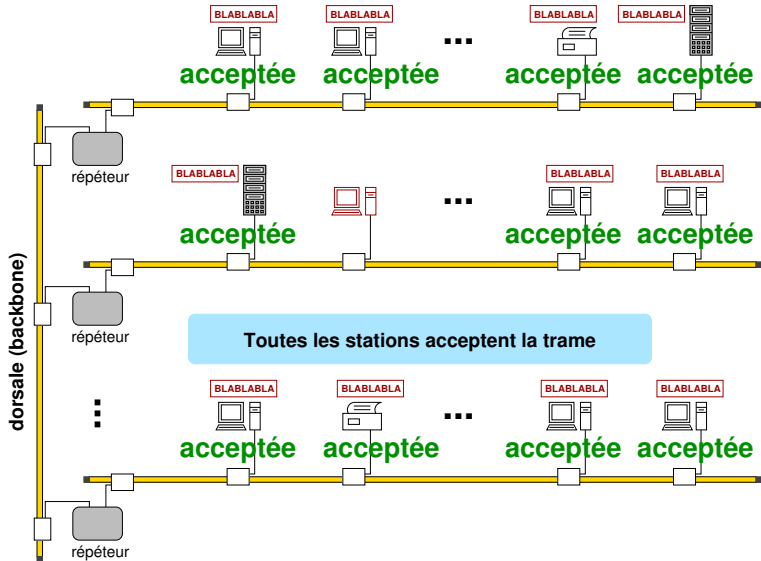
Trame unicast : un seul destinataire

10Base5 : transmission d'une trame multicast



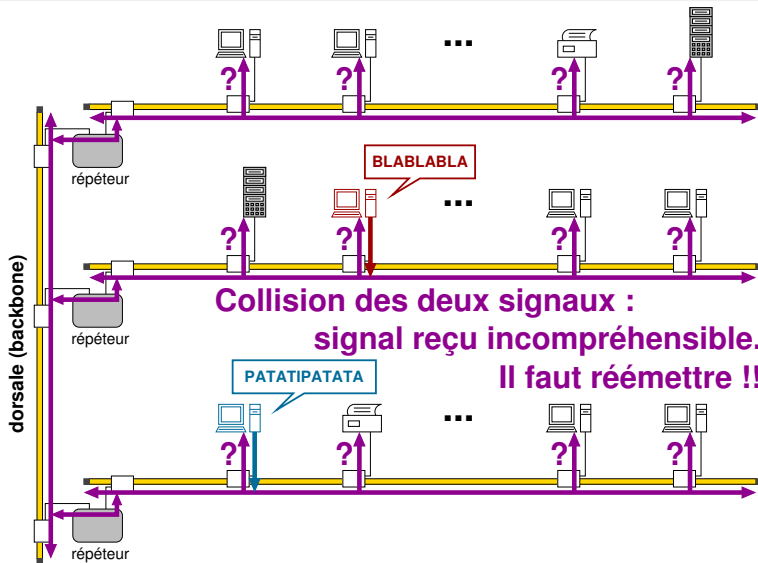
Trame multicast : groupe de plusieurs destinataires

10Base5 : transmission d'une trame broadcast



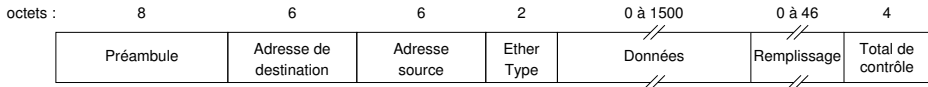
Trame broadcast : toutes les stations sont destinataires

10Base5 : exemple de collision dans le réseau



Si deux stations parlent en même temps, il y a collision.

Format de la trame Ethernet V2



Longueur totale comprise entre 64 et 1526 octets :

- Préambule :
 - 7 octets contenant 10101010 pour la synchronisation
 - puis 1 octet contenant 10101011 annonçant le début de la trame
- Adresse de destination : adresse MAC (IEEE 802) de la destination (unicast, multicast ou broadcast)
- Adresse source : adresse MAC (IEEE 802) de l'émetteur (source)
- Ether Type : indique au récepteur (couche Ethernet) à qui (couche réseau) remettre les données. Ex : **0x0800 (IP)** ; **0x0806 (ARP)** ; 0x8137 et 0x8138 (IPX) ; 0x809B (AppleTalk)...
- Données : contient un paquet (PDU) de la couche réseau
- Remplissage : utilisé si Données < 46 octets (trame de 64 octets min)
- CRC : code de redondance cyclique (degré 32) pour détection d'erreur

Accès au canal : CSMA/CD

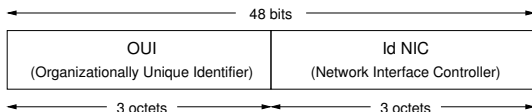
Les contraintes topologiques et de taille minimale de trame sont dues au protocole **CSMA/CD** implémenté par la couche MAC

- **CSMA** (*Carrier Sense Multiple Access*) : écouter la porteuse et n'envoyer que si elle est libre (absence de signal), sinon attendre
- **CD** (*Collision Detection*) : si une collision est détectée **pendant la transmission**, attendre une durée aléatoire avant de retenter.
Temps d'attente final avant envoi imprévisible, mais marche bien !
- Contrainte : temps d'émission de trame doit être supérieur au temps de traversée aller-retour (RTT) du signal entre 2 points d'extrémité
 - sur 2500 m avec 4 répéteurs, le temps d'aller retour $\simeq 50\mu\text{s}$
 - à 10 Mbit/s, correspond au temps d'émission de 500 bits \Rightarrow longueur minimale de trame portée à 512 bits (64 octets)
- Note : une station détectant une collision émet un *jam* pour l'amplifier

Adressage MAC IEEE 802

Les adresses Ethernet sont normalisées par le comité IEEE 802 :

- occupent 48 bits (6 octets)
- se représentent sous forme hexa, comme 00:21:9b:da:bc:91
(éventuellement 00-21-9B-DA-BC-91, ou 0021.9bda.bc91)
- ff:ff:ff:ff:ff:ff est l'adresse de **broadcast** (diffusion générale)
- le premier bit indique si l'adresse est unicast (0) ou de groupe (1) multicast ou broadcast
- pas de gestion particulière du broadcast, mais nécessaire pour le multicast (adhésion au groupe)
- les adresses unicast sont uniques car composées d'un identifiant de fabricant (OUI) et d'un identifiant de carte du fabricant (NIC) :



⇒ toutes les cartes Ethernet ont des adresses MAC (d'usine) différentes

Trop contraignant, assez cher et de manipulation délicate, 10Base5 a cédé la place à 10Base2 bien meilleur marché et plus simple à installer :

- segment : câble coaxial fin plus maniable (RG 58) de 185 m max
- 30 stations max par segment
- hôtes directement reliés au câble par connecteurs BNC en "T"
- toujours 4 répéteurs max entre 2 stations ($\simeq 1$ km)



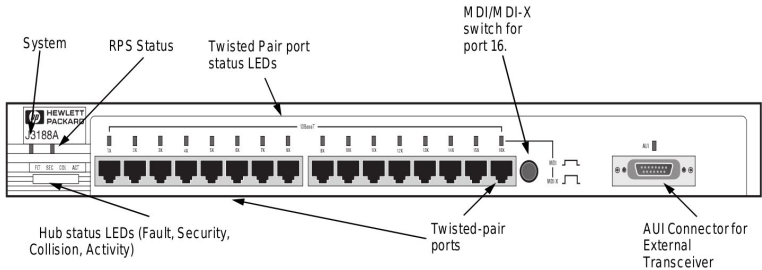
câble RG 58 avec
connecteur BNC



connecteur BNC en "T"
et bouchon de terminaison

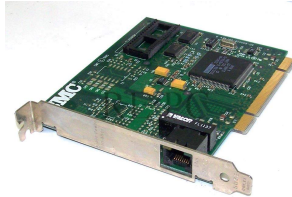
Encore plus simple d'installation, offre une meilleure résistance aux pannes :

- basé sur l'utilisation de **hubs** :



- opère uniquement au niveau physique : **matériel de la couche 1**
- **répéteur multiports** offrant des ports de connexion RJ-45 d'interface **MDI-X**
- **simule un bus** (un signal reçu sur un port est répercuté sur tous les autres)

- carte NIC d'**interface MDI** avec connecteur RJ-45 sur les équipements terminaux :



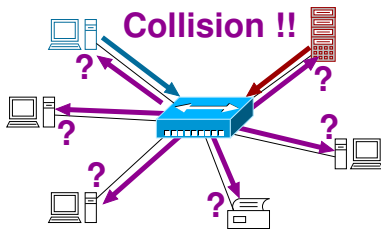
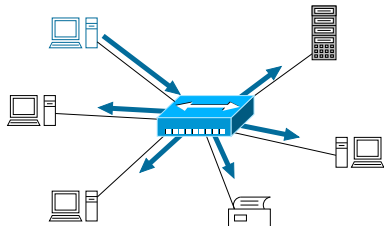
- câblage UTP (paires torsadées non blindées) de catégorie 3 ou 5 (100 m max) avec prises RJ-45 :
 - 2 paires sur 4 sont utilisées :
une pour l'émission, l'autre pour la réception
 - exploité en **half-duplex** ou en **full-duplex**
- deux variantes de câbles pour connecter les équipements :
 - **câble droit** "standard" : pour MDI à MDI-X
 - **câble croisé** : pour MDI à MDI ou MDI-X à MDI-X



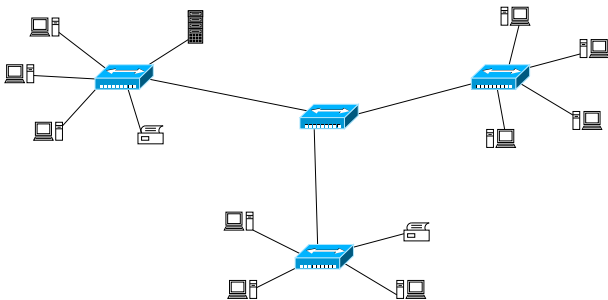
- topologie physique en étoile mais bus logique :

(200 m max entre 2 stations d'un hub)

- connexion/déconnexion des hôtes sans manipulation supplémentaire et sans perturber le réseau
- les collisions sont possibles dans le hub (comme sur un bus) :



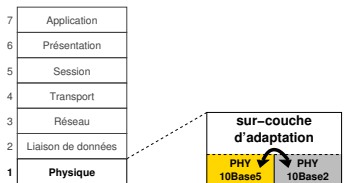
Extension du réseau en **cascadant** (reliant) des hubs :



- au plus 4 hubs entre 2 stations pour un diamètre max de 500 m
- certains hubs ont un **port uplink** d'interface MDI éventuellement commutable (MDI/MDI-X)
- liaison inter-hubs :
 - câble droit pour **port uplink** (MDI) vers normal (MDI-X)
 - **câble croisé** si pas de *uplink* disponible

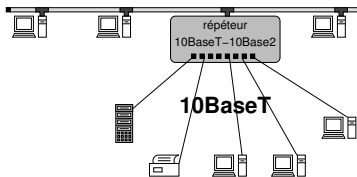
Cohabitation 10Base5/10Base2/10BaseT

Pont (ou répéteur) 10Base5/10Base2/10BaseT : matériel de la **couche physique** faisant le lien entre deux interfaces physiques en reproduisant le signal d'une interface sur l'autre (après adaptation).

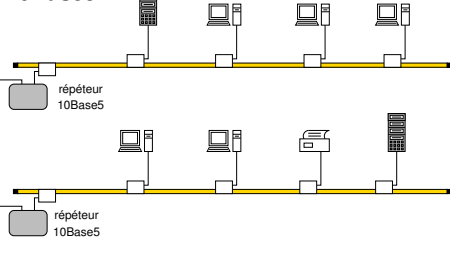


Exemple de cohabitation des 3 réseaux et mise en perspective OSI de l'architecture du pont 10Base5-10Base2 :

10Base2



10Base5



Défaut majeur de l'Ethernet partagé

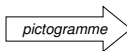
- les collisions sont un élément clé de la performance d'Ethernet :
 - elles rendent imprévisible le temps réel avant transmission effective d'une trame
 - quand le réseau est très utilisé (en particulier avec de petites trames), il s'effondre sous le poids de trop nombreuses collisions et devient peu performant
- dans l'Ethernet partagé, le **domaine de collision** est l'ensemble du réseau : il y a collision si deux trames y circulent en même temps
- réduire les possibilités de collision améliore considérablement les performances en permettant à plusieurs trames de circuler
- pour cela, il faut scinder le domaine de collision en sous-domaines distincts avec de **l'Ethernet commuté** (voire des ponts qu'on ne traitera pas)

L'Ethernet Commuté

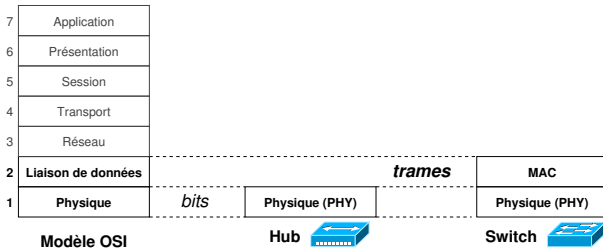
Ethernet commuté : les switches

Apparu dans les années 1990, l'Ethernet commuté réduit (voire élimine) les domaines de collision en utilisant des **commutateurs (switchs)** :

- matériel d'apparence similaire à un hub, avec lui aussi des interfaces MDI-X :



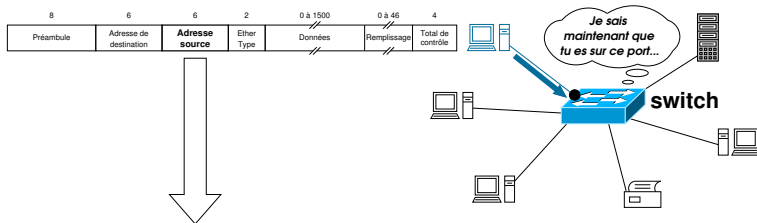
- mais **dispositif de niveau 2** (jusqu'à couche liaison) qui **examine les trames** qui lui parviennent et les **commute** en décidant de leur(s) port(s) de sortie :



Les switches professionnels offrent aussi des fonctions de filtrage.

Principe de l'Ethernet commuté

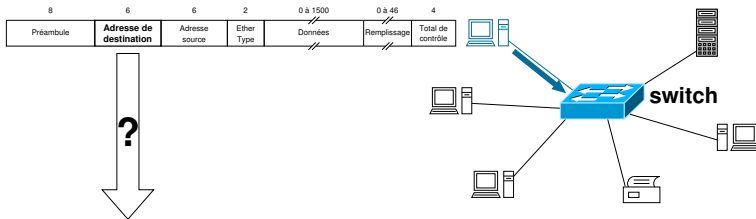
Traitement par un switch d'une trame reçue en entrée sur un port donné :



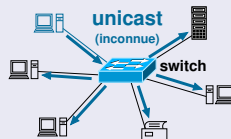
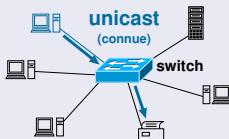
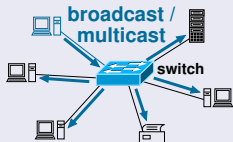
auto-apprentissage de la source : mémoriser dans un cache (pour une durée limitée, comme 300 secondes) que l'adresse source de cette trame est accessible via son port de réception.

Principe de l'Ethernet commuté

Commutation de la trame par le switch **selon l'adresse de destination** :



- broadcast ou multicast : renvoyer la trame sur tous les ports ;
- si unicast : renvoyer la trame vers **le port** menant à cette destination s'il a été auto-appris, sinon sur **tous** les ports.

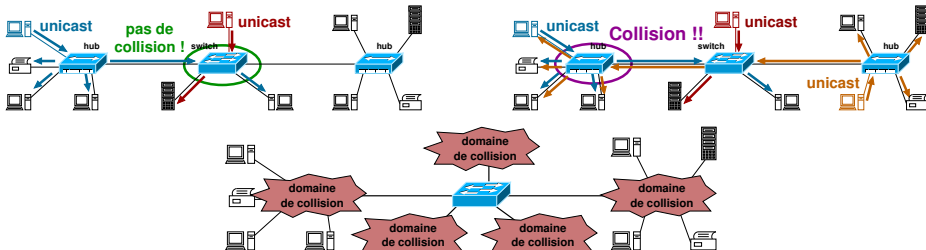


En aucun cas, la trame est retransmise sur son port d'entrée.

Ethernet commuté et domaines de collision

Séparation des domaines de collision avec un switch :

- **dans un switch, les trames se croisent sans collision**
- **chaque port** du switch est attaché à un **segment**, qui possède **son propre domaine de collision**
- le switch gère les collisions des trames qu'il transfère : une fois reçue, il en devient responsable !
- le diamètre du réseau peut être augmenté sans limite de switches
- un sous-réseau constitué uniquement de switches et de liaisons full-duplex ne possède aucun domaine de collision (CSMA/CD inutile)



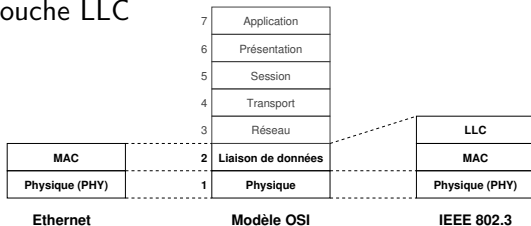
Un switch a essentiellement deux modes de fonctionnement :

- **store and forward** : un trame doit être complètement reçue (et vérifiée) avant de la transférer.
La réception complète de la trame prend du temps mais elle ne repart que si elle est valide.
C'est le mode de fonctionnement le plus courant.
- **cut through** (ou **on the fly**) : commence le transfert dès que la destination est décodée (comme sur l'exemple précédent). Réduit la latence mais peut occuper le segment de sortie (et provoquer une collision) pour une trame invalide sans intérêt

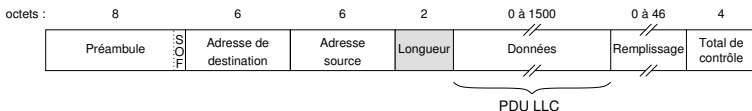
Certains switchs peuvent basculer d'un mode à l'autre selon les observations.

Le rôle de l'IEEE

- 1983 : l'IEEE "s'empare" d'Ethernet et publie le standard IEEE 802.3, légèrement différent de DIX mais compatible Ethernet V2
- depuis, le sous-comité IEEE 802.3 n'a cessé d'améliorer ses performances (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, etc.)
- IEEE 802.3 ajoute une couche LLC au dessus de MAC :



et utilise une trame légèrement différente :



où le champ Longueur remplace le champ EtherType qui est déporté dans l'en-tête de la (sur) couche LLC.

- les trames Ethernet V2 et IEEE 802.3 diffèrent par le champ EtherType/Longueur
- les deux types de trame cohabitent sur le réseau. On les différencie par la valeur de ce champ :
 - si sa valeur < 1500 , il s'agit du champ Longueur d'une trame IEEE 802.3
 - sinon, il s'agit du champ EtherType d'une trame Ethernet V2
- la trame IEEE 802.3 est principalement utilisée pour les échanges entre équipements intermédiaires (essentiellement commutateurs)
- les stations utilisent toujours le format Ethernet V2
- rien n'oblige un hôte à tenir compte d'une trame IEEE 802.3 mais les équipements intermédiaires doivent relayer Ethernet V2

Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

1995 : norme IEEE 802.3u pour Ethernet 100 Mbit/s (Fast Ethernet) :

- *exit* les câbles coaxiaux (prises vampires et BNC), ne restent que des hubs, des switches
- principales versions :
 - 100BaseTX : câble UTP de catégorie 5 (2 paires utilisées) de 125 m max (codage 4B/5B)
 - 100BaseFX : deux fibres multimodes, d'au plus 2 km
- autonégociation de la vitesse (10 ou 100 Mbit/s) et du mode de transmission (half-duplex ou full-duplex) pour autoriser le matériel 10BaseT

Cette version a porté un coup fatal à ses concurrents (Token Ring et Token Bus) qu'on ne rencontre presque plus

1999 : norme IEEE 802.3ab pour Ethernet 1 Gbit/s (Gigabit Ethernet) :

- autonégociation 10/100/1000 half-duplex ou full-duplex
- Hubs admis (half-duplex) et collisions possibles. Pour permettre des câbles de 100 m :
 - extension de trame : remplissage jusqu'à 512 octets
 - mode rafale : trames se suivant (pour atteindre 512 octets min)
- mais l'idéal est de se passer de hubs. . .
- Variantes :
 - 1000BaseCX : câble STP de catégorie 5 (2 paires utilisées) de 25 m
 - 1000BaseT : câbles UTP de catégorie 5 (4 paires utilisées) de 100 m
 - 1000BaseLX : fibre monomode ou multimode de 5000 m max
 - 1000BaseSX : fibre multimode de 550 m max

- entre 2002 et 2006 : normalisation du 10 Gbit/s (10 Gigabit Ethernet) sur fibres puis câbles de cuivre
- duplex intégral, plus de CSMA/CD (donc de hubs)
- depuis 2007 : travaux sur Ethernet 40 et 100 Gbit/s

La disparition des contraintes de diamètre avec les switchs et la longueur des liaisons optiques en font un candidat sérieux pour les artères des opérateurs (ATM prends garde. . .)

Spanning Tree Protocol

(IEEE 802.1d)

Virtual LAN

(IEEE 802.1q)