# Ethernet

## La sous-couche MAC

#### • MAC

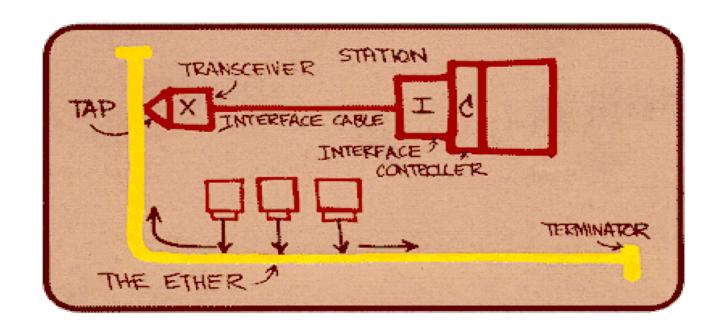
# Les objectifs

- Être à même de donner les fonctions de la couche MAC dans Ethernet
- Être à même d'expliquer les deux méthodes d'accès (CSMA/CD or Half-Duplex, et Full Duplex)
- Être à même d'utiliser correctement les termes CSMA/CD, halfduplex, full-duplex
- Connaître la structure et les différences entre les trames
  - DIX, Ethernet II, Raw 802.3, SNAP
- Être à même d'expliquer la significations des champs dans les trames Ethernet II et 802.3
- Être à même d'interpréter correctement la signification des deux bits les LSB de l'octet de plus forte valeur (les bits I/G et L/U, individual/group Local/Uniersal)

# MAC dans Ethernet (Medium Access Control)

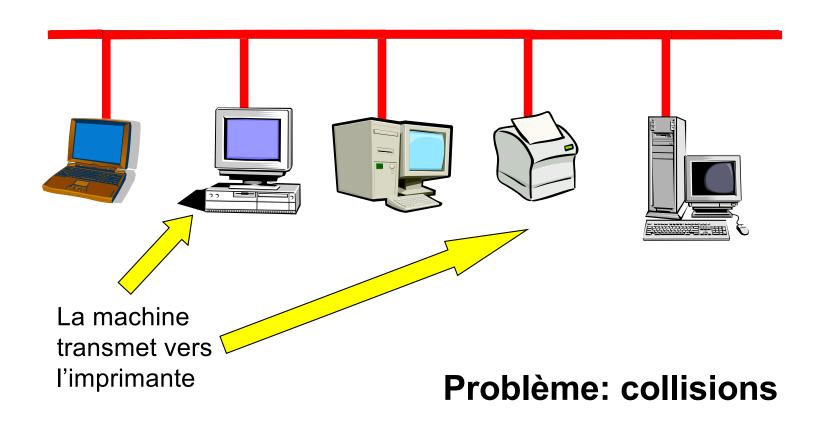
- Structure le flot de bits de la couche 1 en trames
- Contrôle d'accès au médium physique
  - CSMA/CD (half duplex)
  - Full Duplex
- Utilise LLC 1 (sans connexion, sans acquittement)

## Ethernet de Metcalfe

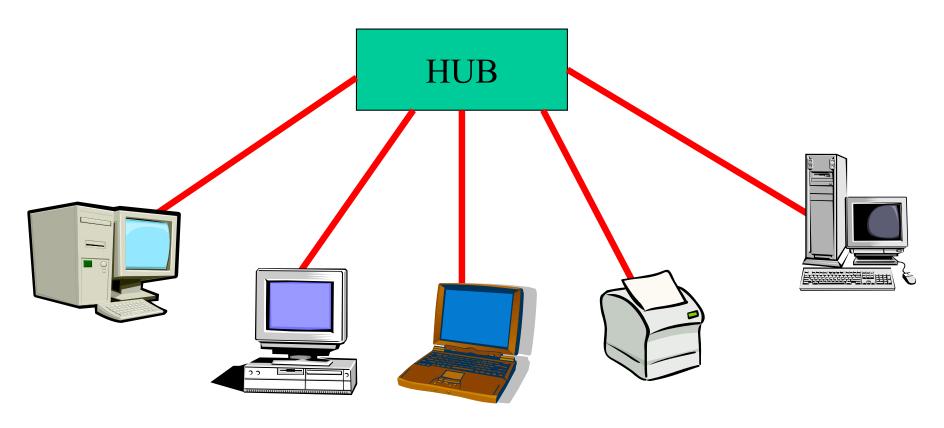


Connexion de toutes les stations à un même câble

# Topologie en bus



# Topologie en Etoile « Hubée »



Problème: collisions

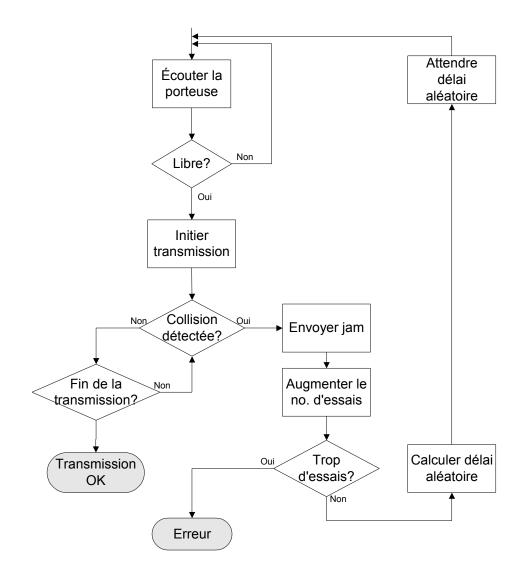
## La méthode d'accès

- Les méthodes d'accès que nous avons vu dans ce cours jusqu'à maintenant subissent les collisions de manière passive (p.e. CSMA/CA)
- On obtient une amélioration substantielle des performances si l'on arrête la transmission dès qu'une collision se produit
- Ceci implique que la station doit pouvoir détecter les collisions
- CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collition Detection)

# L'algorithme CSMA/CD

- Écouter le canal
- Si un signal est présent (une autre station transmet), continuer à écouter
- Si le canal est libre, envoyer la trame et regarder pendant la transmission s'il y a une collision
- S'il n'y a pas de collision, considérer que la trame a été livrée
- Dans le cas d'une collision, arrêter la transmission de la trame et envoyer un signal de jam de 32 bits
- Attendre un temps aléatoire selon l'algorithme TBEB avant de transmettre la trame une nouvelle fois

# Algorithme CSMA/CD



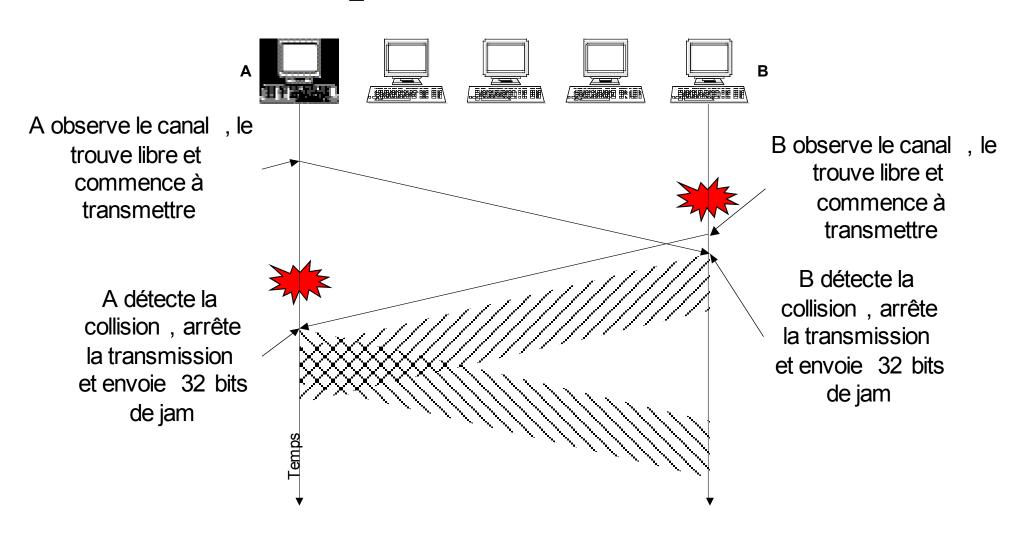
On utilise aussi le terme

Half-Duplex pour décrire le mode

CSMA/CD dans les réseaux

Ethernet

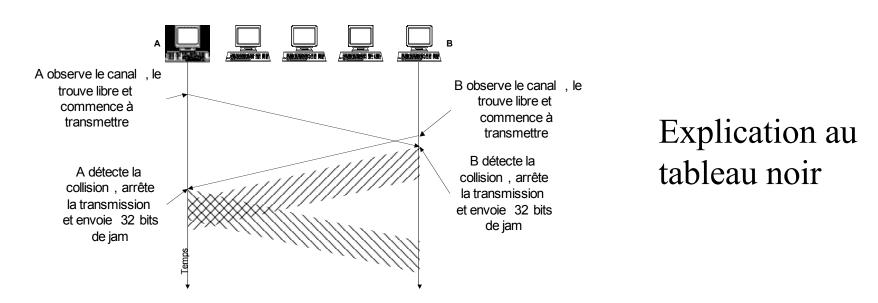
# Exemple d'une collision



L'utilisation de la méthode CSMA/CD détermine la relation entre le diamètre maximum des réseaux 802.3 et la taille minimum des trames

## Paramètres d'IEEE 802.3

- Pour que chaque station détecte correctement ses collisions :
  - Temps de propagation aller-retour maximal: 512 bits (51.2 μs 10 Mbps, 5.12 μs à 100 Mbps)
  - Taille minimum d'une trame : 512 bits



## Gestion de collisions

- Dès qu'une collision est détectée, arrêter la transmission de la trame et envoyer le signal de jam de 32 bits
- Le but est que l'autre station responsable de la collision sache ce qui s'est passé
- Ensuite attendre un back-off aléatoire en utilisant le Truncated Binary Exponential Backoff (TBEB)

#### Truncated Binary Exponential Back-off (TBEB)

- 1. Temps aléatoire est un nombre de slots N\*S
- 2. Un slot est égale à 512 bits
- 3. Le nombre de slots N est choisi entre 0 et 2<sup>i</sup> 1 i est le nombre de collisions consécutives ou

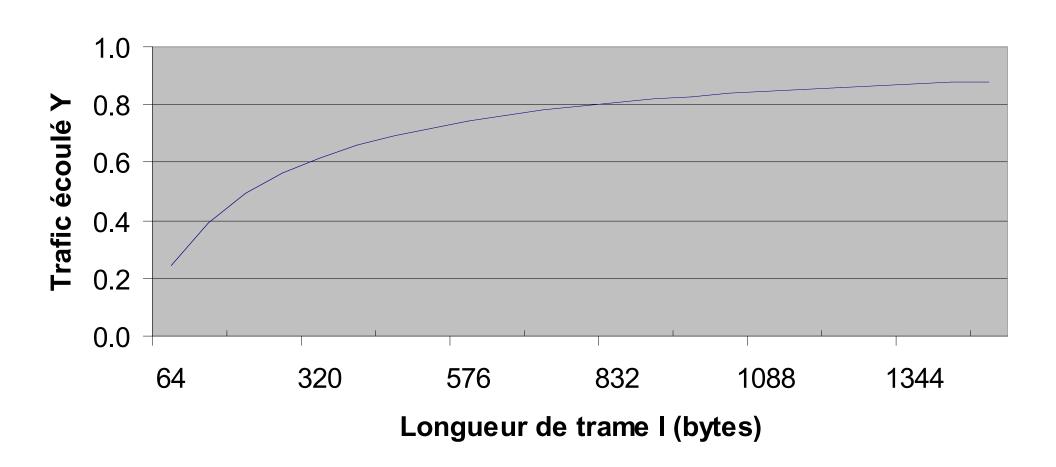
Aprél la première collision, i=1 et N est choisi parmi les valeurs 0,1

Après la deuxième collision, i=2 et N est choisi parmi les valeurs 0,1,2,3

Quels sont les valeurs possibles après la cinquième collision ?

- 4. Après 10 collisions, i n'augmente plus
- 5. A la 16ème collision, on abandonne la transmission

## Performances de CSMA/CD



# Deuxième méthode s'accès : full-duplex

- Un grand nombre de cartes Ethernet peuvent travailler en mode full-duplex
  - Transmissions simultanées dans les deux sens sur un lien point à point
  - Pas de collisions
  - Pas de retransmission
  - Pas de CSMA/CD!

# Avantages du full-duplex

- Double la bande passante d'un lien point à point
- Pas d'attente avant d'émettre
- La limitation de la longueur d'un segment due à CSMA/CD tombe
  - Délai aller-retour n'est plus important
  - L'atténuation limite la taille d'un segment mais elle peut être compensée à l'aide de répéteurs

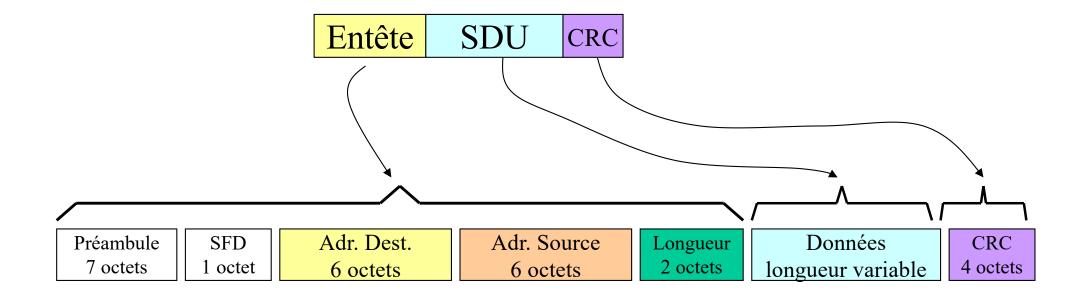
## Régulation de flux en mode full duplex

- En full duplex, les trames peuvent être envoyées à une grande cadence
- Si une station n'arrivent pas à suivre lo flot de trames d'une autre, elle peut envoyer une trame spéciale appelé PAUSE
- Elle contient un temps mesuré en unités de 512 bits pendant lequel la station ne désire recevoir aucune trame
- La stations peut utiliser un temps égale à zéro si elle est prête à recevoir des trames à nouveau

## Le format de la trame MAC

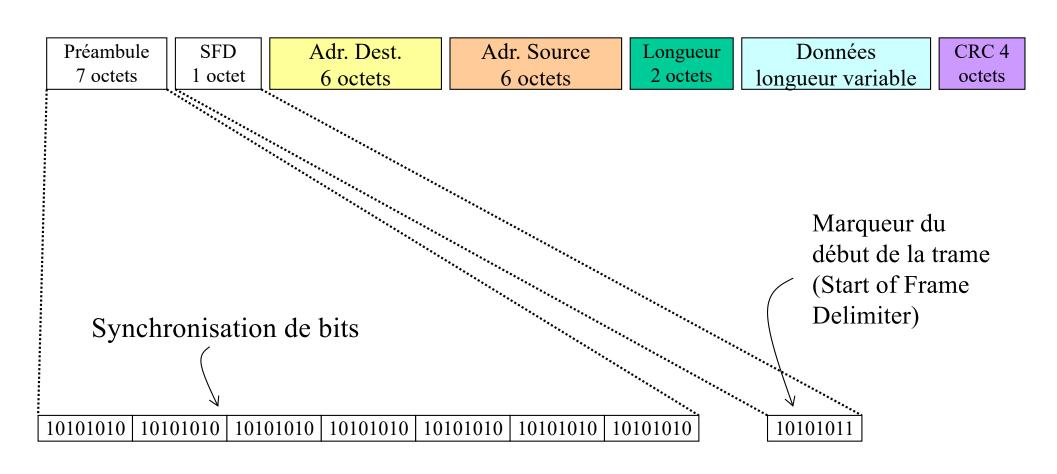
- Il y a deux types de trames MAC:
  - -802.3
  - Ethernet II (ou DIX)
- Elles sont essentiellement identiques
- On peut ajouter d'autres types de trames si l'on considère aussi les différentes entêtes LLC (trame SNAP, trame « Raw 802.3 »)

## Format de la trame 802.3



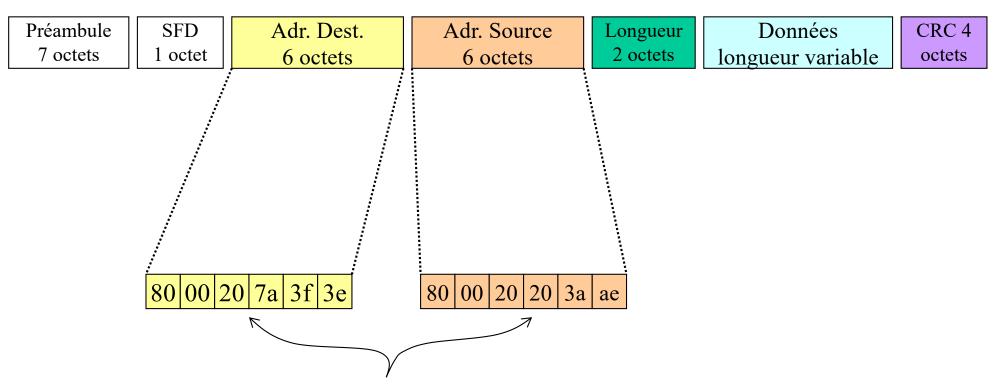
#### Trame 802.3

## Préambule et SFD (Start of Frame Delimiter)



#### Trame 802.3

## Adresses Source et Destination



Adresses MAC ou physiques

### Adresses MAC

- Adresse physique d'une carte réseau
  - Unique : Toutes les cartes de réseaux ont une adresse différente
  - Fixe: configurée dans la mémoire ROM de la carte
- Longueur: 48 bits  $(2^{48} = 281.474.976.710.656 \text{ adresses})$ 
  - 3 premiers octets : Identification du constructeur (définie par l'IEEE)
    - 00-00-0C-xx-xx-xx: Cisco
    - 08-00-20-xx-xx-xx: Sun
    - 08-00-09-xx-xx-xx: HP
  - 3 derniers octets : Identification de la carte (gérée par le constructeur)
  - Bit le moins significatif du premier octet: Indique une adresse de groupe
  - Deuxième bit le moins significatif du premier octet indique si l'adresse est gérée localement ou globalement

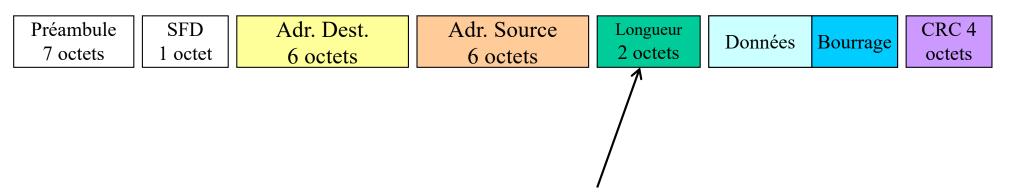
# Adresses de groupe

- Broadcast (diffusion)
  - Adresse FF-FF-FF-FF-FF
  - Les cartes réseau écoutent cette adresse et les stations doivent traiter les trames reçues
  - Commutateurs et ponts : transmettent une trame reçue sur tous les ports
  - Applications
    - ARP: conversion adresses IP --> MAC)

#### Multicast

- 1<sup>er</sup> bit transmis de l'adresse vaut 1
   (1<sup>er</sup> octet de l'adresse est impair)
  - Exemple : 09-00-2B-00-00-0E
- Une station doit configurer la carte réseau pour écouter une adresse multicast
- Applications:
  - Configuration automatique de l'acheminement dans un LAN (Spanning Tree Protocol)
    - Tous les ponts font partie d'un groupe multicast

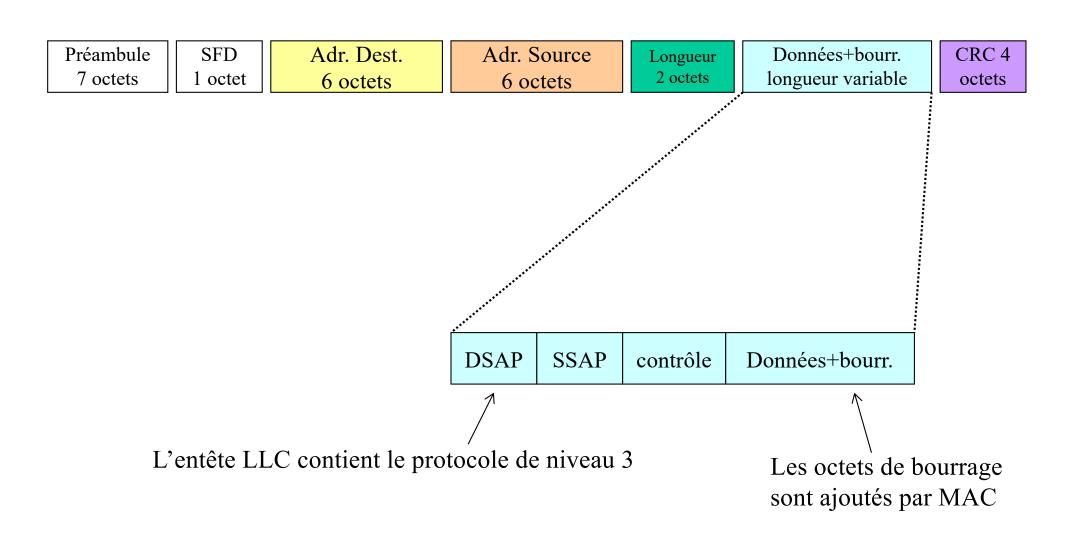
## Trame 802.3 Longueur



- -Contient le nombre d'octets reçus de la sous-couche LLC
- -Si cette longueur est plus petite que le minimum de 46, des octets de bourrage sont ajoutés par MAC

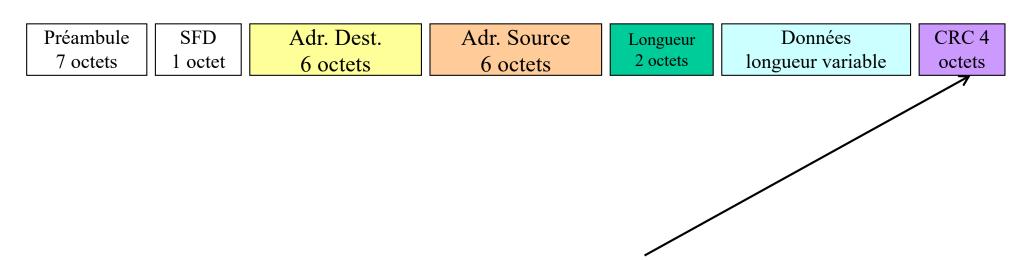
-Longueur  $\leq 1500$ 

## Trame 802.3 Données



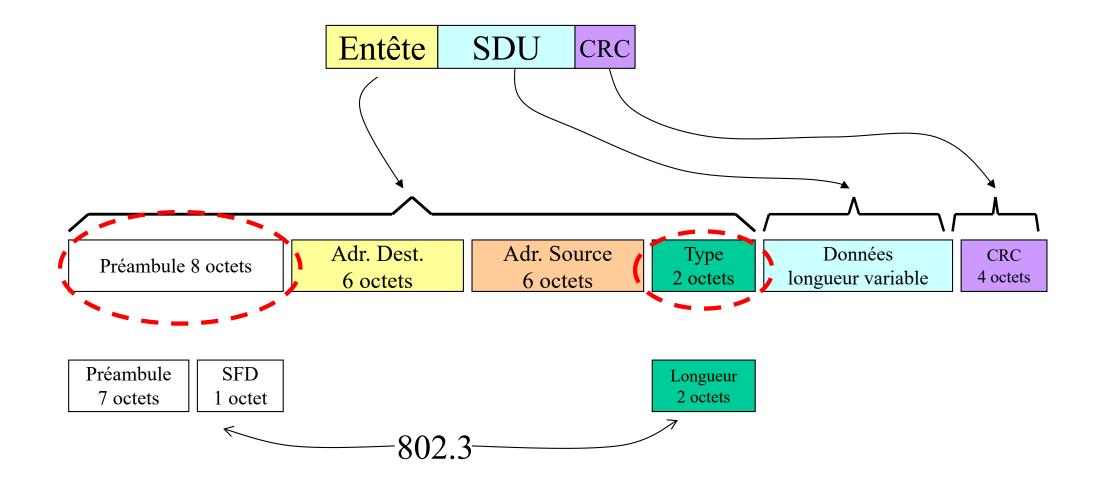
#### Trame 802.3

# Cyclic Redundancy Check (CRC)

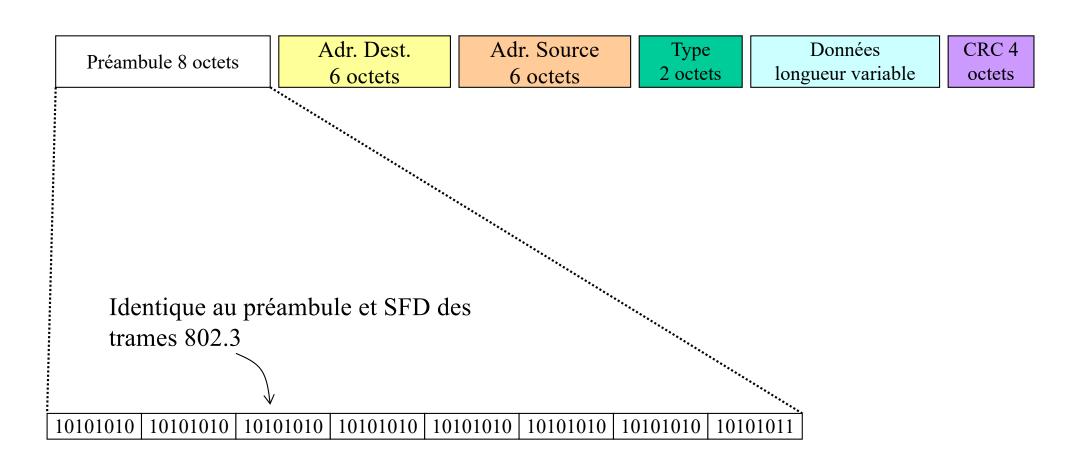


- -Codage pour la détection d'erreurs
- -Les trames erronées sont écartées

## Format de la trame Ethernet II

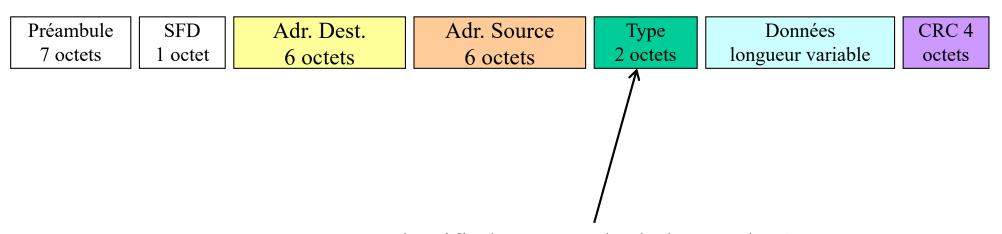


## Trame Ethernet II Préambule



#### Trame Ethernet II

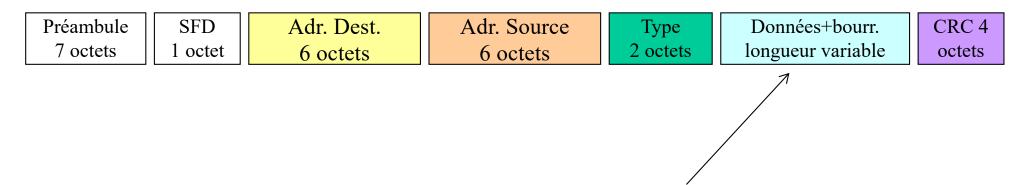
# Type



- -Identifie le protocole de la couche 3
- -Toujours plus grand que 1536
- -Le protocole de la couche 3 est responsable d'ajouter l'information sur la longueur

#### Trame Ethernet II

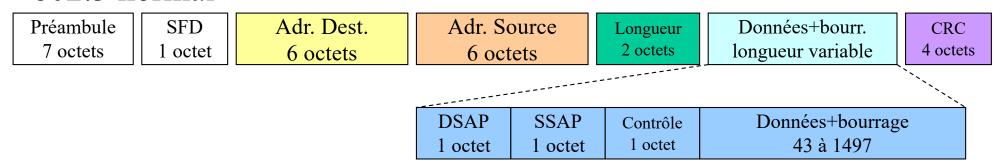
## Données



Données et octets de bourrage ajoutés par MAC pour atteindre le nombre minimum de 46 octets

# Trames spéciales: SNAP

#### 802.3 normal



#### SNAP (Sub-Network Access Protocole)

Préambu 7 octets			Adr. Dest. 6 octets	Adr. Source 6 octets	Longueur 2 octets	Données+bourr. longueur variable	CRC 4 octets
DSAP SSA 1 octet 1 oct			Contrôle 1 octet	Organization Code 3 octet	Ethernet type 2 octet	Données+bourrage 38 à 1492	

Préambule 7 octets

SFD 1 octet Adr. Dest. 6 octets

Adr. Source 6 octets

Type 2 octets

Données+bourr. longueur variable CRC 4 octets

Préambule 7 octets

SFD 1 octet Adr. Dest. 6 octets

Adr. Source 6 octets

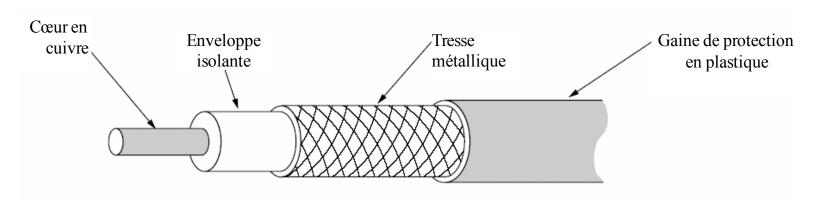
Longueur 2 octets

Données+bourr. longueur variable

CRC 4 octets

## Câble coaxial

- Très bonne protection électromagnétique
- Utilisé principalement dans les réseaux de télédiffusion
  - Premières réseaux LAN sur câble coaxiaux
- Largeur de bande: p.ex. 800 MHz sur plusieurs km



### Connecteurs





Type BNC

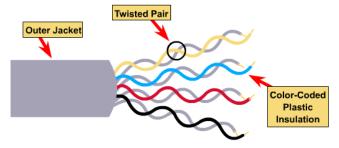
# Câbles à paires torsadées

- Paire torsadée:
  - deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre,
  - enroulés de façon hélicoïdale
  - Avantage: meilleure protection électromagnétique
- Câble à paires torsadées:
  - Comprend plusieurs paires torsadées
  - Avec écran ou non

# Types de câbles torsadés

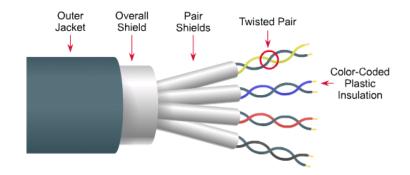
#### **UTP** (Unshielded Twisted Pair)

- Comprend 4 paires torsadées non écrantées
- Longueur jusqu'à 100 m
- Avantages: moins cher et plus flexible
- Différentes catégories:
  - Cat. 3: jusqu'à 10 Mb/s
  - Cat. 5: jusqu'à 100 Mb/s
  - Cat. 5e, 6: Gigabit-Ethernet



#### **STP** (Shielded Twisted Pair)

- Paires individuelles et câble complet sont écrantées
- Longueur jusqu'à 100 m
- Attenuation plus faible
- Inconvénient: cher et difficile à installer (mise à terre)

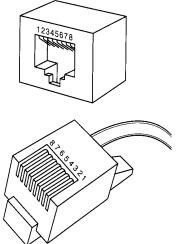


### Connecteur RJ-45

- Raccordement normalisé pour 10Base-T
  - Seulement deux paires (émission et réception)
     du câble sont utilisées

Broche	Signal
1	Transmission +
2	Transmission –
3	Réception +
4	Non utilisé en 10Base-T
5	Non utilisé en 10Base-T
6	Réception –
7	Non utilisé en 10Base-T
8	Non utilisé en 10Base-T





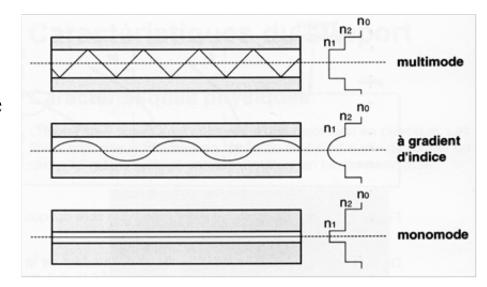
# Types de fibres optiques

#### Fibre multimode

- Diamètre épais (62,5 ou 50 μm)
- Le signal se propage avec plusieurs 'angles' (modes) différents
- L'interférence entre les modes limite la distance de transmission (dispersion modale)

#### Fibre monomode

- Diamètre plus petit (10 μm)
- Un seul mode est possible
- Très bonnes caractéristiques de transmission
- Plus chère



# Connecteurs optiques



Connecteur duplex SC



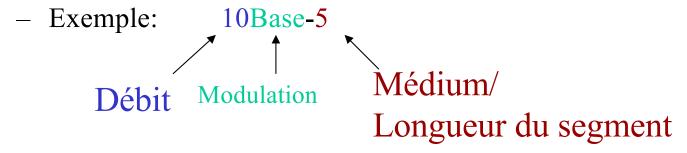
Connecteur MIC



Connecteur ST

# Types de réseau Ethernet

- La norme 802.3 définit toute une famille de technologies basées sur CSMA/CD
- Premiers réseaux Ethernet:
  - 10 Mb/s sur un câble coaxial comme médium partagé
- Évolution de la norme:
  - Technologies plus performantes (100 Mb/s, 1 Gb/s, ...)
- Noms des technologies



### 10Base-5

- Topologie en bus
- Utilise câble coaxial jaune
- Prises vampire





# Segment 10Base-5

- Segment: câble partagé auquel les stations sont connectées
  - Câble coaxial
    - Diamètre: 1 cm
    - Impédance caractéristique: 50 ohms
    - Terminaisons de 50 ohms des deux bouts, dont une mise à terre
    - Coefficient de vélocité : 0,77
  - Longueur maximale d'un segment : 500 m
  - Distance des stations: multiples de 2,5 m
  - Nombre maximal de stations par segment : 100 stations

### Utilisation de 10Base-5

- Inconvénients majeurs
  - Rigidité, diamètre et coût du câble
- Pratiquement plus utilisé
- Emploi est réservé aux sites
  - nécessitant un segment long ou
  - une bonne protection contre les interférences électromagnétiques

### 10Base-2

- Aussi appelé Thinnet ou Cheapernet
- Utilise un câble coaxial moins encombrant et plus souple (RG-58)

Débit de transmission:
 10 Mb/s

– Diamètre du câble: 0,48 cm

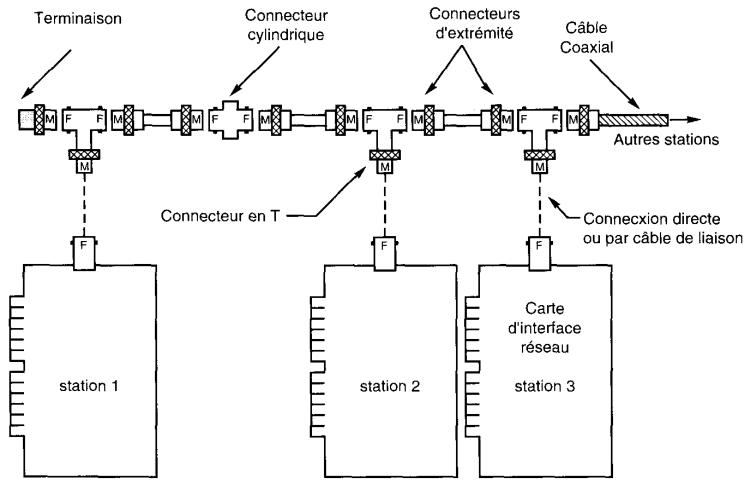
Impédance caractéristique: 50 ohms

Coefficient de vélocité: 0,65

- Longueur maximale d'un segment: 185 m

Nombre maximal de stations par segment: 30

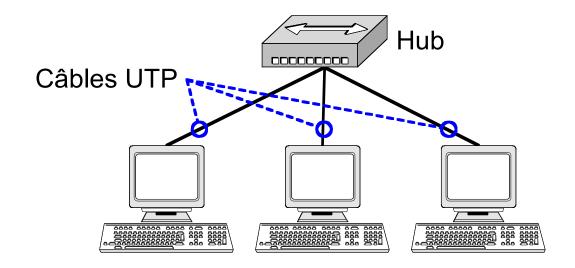
## Éléments d'un réseau 10Base-2



20/11/2010

### 10Base-T

- Configuration en étoile
  - Problème des réseaux en bus: localisation de ruptures, ...
  - Nœud central: hub
  - Câbles à paires torsadées
    - Possibilité d'utiliser le câblage existant dans les bâtiments
- Une des configuration les plus répandues actuellement



### Câbles 10Base-T

#### • Spécifications

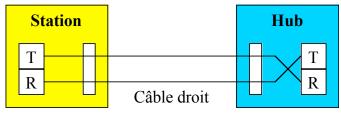
Paramètre	
Média physique	Câble à paires torsadées
Impédance caractéristique	100 ohms
Coefficient de vélocité	0,585
Débit de transmission	10 Mb/s
Longueur maximale d'un segment	100 m
Nombre de stations par segment	2

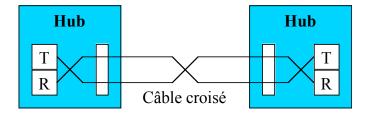
• La norme n'exige pas un type de câble précis mais permet l'utilisation de différents types

### Croisement

- La paire d'émission de la source doit être la paire de réception du destinataire
  - Croisement des paires nécessaire
- Les hubs effectuent souvent un croisement interne au niveau des ports
- Pour la connexion direct hub-hub, PC-PC: câble

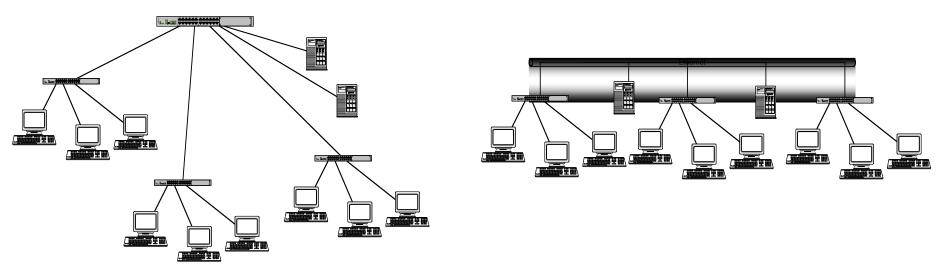
croisé



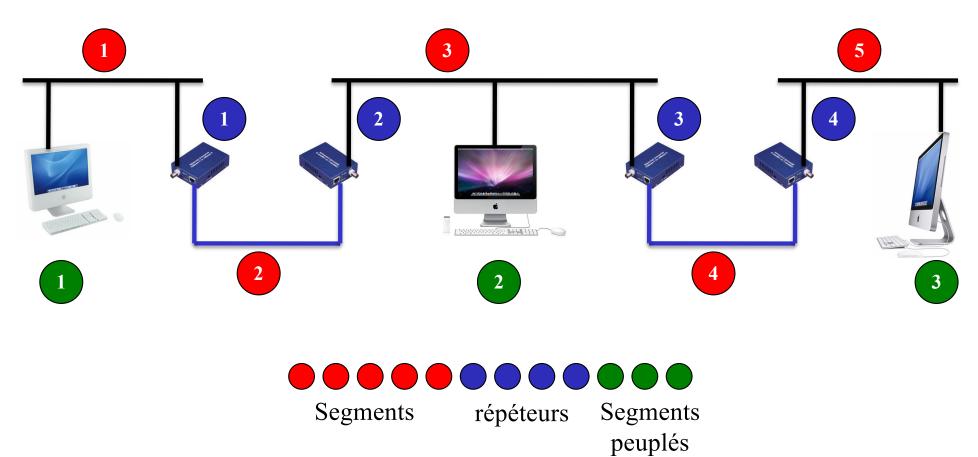


### Interconnexion de hubs (10Base-T)

- Pour augmenter le nombre de ports
- Pour relier des stations distantes
- Même règle que dans 10Base-5 et 10Base-2:
  - Au maximum 4 répéteurs/hubs entre deux stations
  - Distance maximale avec des segments 10Base-T: 500 m
  - Pour couvrir des distances plus grandes:
     Segment 10Base-5 comme épine dorsale



# La regle 5-4-3 S'applique aux systèmes 10 Mbps



20/11/2018

### FastEthernet

- Débit de transmission: 100 Mb/s
- Couche MAC similaire à Ethernet à 10 Mb/s
  - Même format de trame
  - CSMA/CD comme méthode d'accès
  - Seule modification: réduction de la durée de transmission d'un bit
    - Conséquences:

Paramètre	
Délai aller-retour maximal	512 temps bit (= $5.12 \mu_{\rm S}$ )
Longueur du signal jam	32 bits
Interframe gap	$0,96  \mu_{\mathrm{S}}$
Taille minimale d'une trame	64 octets

- > Diamètre maximum d'un domaine de collision: 200 m (10Base-5> 2km)
- Bonne compatibilité
  - au niveau logiciel des stations
  - et matériel (p.ex. hubs avec ports 10 Mb/s et 100 Mb/s)

### Normes FastEthernet

#### 100Base-TX (1995)

Utilise deux paires torsadées d'un câble UTP cat. 5

#### 100Base-FX

Requiert deux fibres optiques multimode

#### 100Base-T4 (1995)

- Requiert quatre paires d'un câble UTP cat. 3, 4 ou 5
- Ne permet pas la transmission full-duplex

#### 100Base-T2 (1997)

- Utilise deux paires torsadées d'un câble UTP cat. 3
- Pas de support de câbles coaxiaux
- Seulement 100Base-TX et 100Base-FX sont utilisées

### 100Base-TX et 100Base-FX

- 100Base-TX
  - Similaire aux réseaux 10Base-T
    - Câblage en étoile (UTP cat. 5!) avec un hub/switch comme nœud central
    - Longueur maximale d'un segment: 100 m
- 100Base-FX
  - Utilise un câble à deux fibres optiques multimodes
  - Le croisement est effectué au niveau du câble
  - Longueur maximale d'un segment: 400 m
  - Connecteurs:







Connecteur duplex SC Connecteur MIC Connecteur ST

### Interconnexion de segments FastEthernet

- Répéteur/hub FastEthernet :
  - Peut interconnecter des segments 100Base-TX avec 100Base-FX
  - Au maximum deux répéteurs dans un chemin

### Configurations maximales

Configuration	100Base -TX	100Base -FX
Longueur maximale d'un segment	100 m	412 m
Réseaux avec un répéteur	200 m	320 m
Réseaux avec deux répéteurs	205 m	228 m

<sup>5</sup> m de paire torsadée pour relier les deux répéteurs 1

# Gigabit-Ethernet

#### Sur cuivre

#### Sur fibre optique

#### 1000Base-T (802.3ab)

- Dernière norme Gigabit
- Utilise 4 paires UTP 5e
- Longueur max. d'un segment: 100 m

#### 1000Base-CX

- Sur câble STP spécial
- Principalement pour le 'patching' entre deux switches dans une armoire
- Longueur max d'un segment: 25 m

#### <u>1000Base-LX</u> ( $\lambda$ =1300 nm)

- Sur une paire de fibres (multimode ou monomode)
- Longueur max d'un segment :
  - Half Duplex: 316 m
  - FD sur fibre multimode: 550 m
  - FD sur fibre monomode: 5000 m

#### 1000Base-SX ( $\lambda$ =850 nm)

- Sur une paire de fibres multimodes
  - Moins cher que 1000Base-LX
- Longueur max d'un segment :
  - Half Duplex: 316 m
  - FD, fibre multimode, 62,5µm: 275 m
  - FD, fibre multimode, 50µm: 500 m

# CSMA/CD dans Gigabit-Ethernet

- La norme exige qu'un commutateur Gigabit-Ethernet soit capable de travailler en half-duplex
  - ➤ Utilisation de CSMA/CD
- Problème en half-duplex :

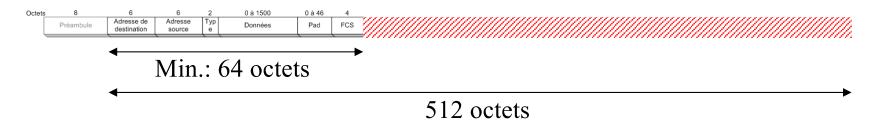
Débit	10 Mb/s	100 Mb/s	1000 Mb/s
Délai aller retour max.	51,2 μs	5,12 μs	512 ns
Étendue max.	2800 m	200 m	20 m?

#### • Solutions:

- Ne pas utiliser CSMA/CD (half-duplex)
- Agrandir la trame avec du padding plus long
- ➤ Prolonger la durée de transmission d'une trame courte

# Carrier extension (Half Duplex)

• Ajout d'octets de bourrage à la fin d'une trame courte



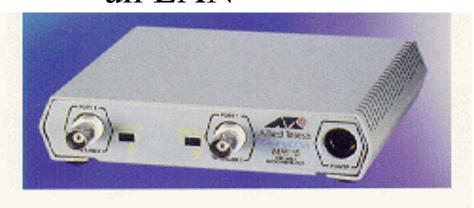
- $\triangleright$  Durée de transmission minimum d'une trame  $\approx 4 \mu s$  (512 octets)
- Etendue maximale du réseau similaire à FastEthernet
- Exemple du débit de transmission en half duplex:
  - Charge utile de la trame : 60 octets (Voix sur IP)
  - FastEthernet: 100 Mb/s \* 60 octets / 86 octets = 69 Mb/s
  - Gigabit-Ethernet: 1 Gb/s \* 60 octets / 520 octets = 117 Mb/s

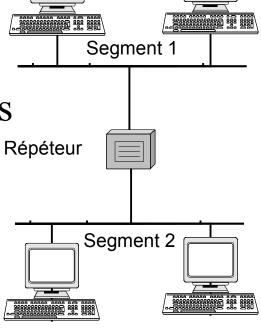
# Répéteurs

• Interconnectent plusieurs segments pour :

 couvrir des distances plus longues que 500 m

 connecter plus de 100 stations dans un LAN

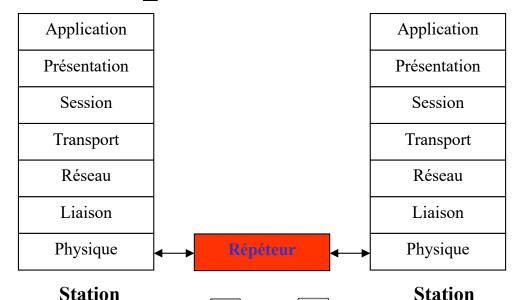




# Fonctions d'un répéteur

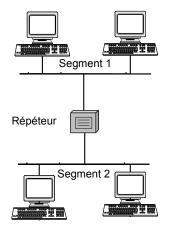
#### Travaille au niveau de la couche 1

- Transmet bit par bit sans décoder les trames
- Régénère le signal
  - Transmission sur une distance plus élevée



#### Gestion de collisions

- 1. Collisions causées par d'autres éléments du réseau:
  - Propage la collision reçue vers les autres segments
- 2. Collisions causées par le répéteur
  - Arrête la transmission et envoie le signal jam
  - Ne ré-émet pas la trame



### Hubs

- Réseaux 10Base-T:
  - câblage en étoile
  - mais une topologie logique en bus
  - Hub: bus logique
- Hub = répéteur multi-port
  - Travaille au niveau de la couche physique (niveau des bits)
  - Reçoit et régénère les signaux reçus sur chaque port



### Fonctions avancées

#### **Auto-partition:**

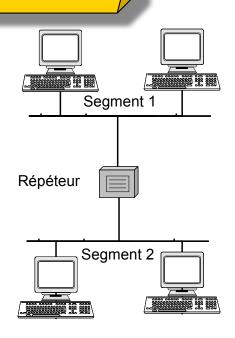
- Permet d'isoler des segments défectueux
  - Arrêt de toute transmission d'un segment en faute vers les autre ports
  - Trafic des autres ports continu à être envoyé sur le segment défectueux
- Segment est considéré défectueux
  - Après 30 collisions consécutives
  - Lors d'une collision permanente
- Cause classique d'un segment défectueux:
  - Oubli de la terminaison de 50 ohms lors de l'installation d'un segment coaxial

### Domaine de collision

#### Domaine de collision :

Ensemble des stations et systèmes intermédiaires d'un LAN dont les transmissions peuvent entrer en collision

- Exemples
  - Un seul segment 10Base-5
  - Plusieurs segments interconnectés par un répéteur
- ➤ Un répéteur élargit le domaine de collision



### Interconnexion de réseaux locaux

- A l'aide de ponts et de commutateurs
  - Évitent les problèmes de l'interconnexion par des hubs

#### Pont/bridge:

- Souvent réalisé en logiciel
- Peu de ports (normalement 2)
- Lent

#### Commutateur/switch:

- Réalisé en hardware
- Beaucoup de ports

# Switch transparents

#### <u>Transparence</u>

- Le switch doit fonctionner sans aucune configuration ou modification du réseau
  - 1. Apprentissage dynamique de la table de filtrage

Adresse MAC	Port de sortie
00-00-0C-E1-F2-03	2
06-20-EE-02-3A-02	1
03-03-35-AC-54-01	1

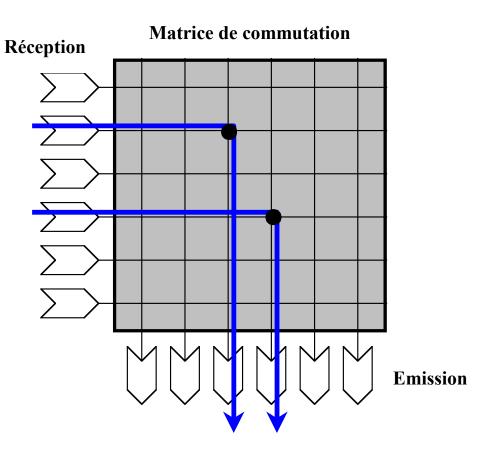
- 1. Résolution automatique de boucles dans la topologie
  - 1. Protocole de l'« arbre recouvrant »

# Acheminement et filtrage des trames

- Hub:
  - Une trame reçue est diffusée sur tous les ports
- Switch
  - Apprentissage des stations atteignables sur chaque port
    - *Filtering Database*: Adresse MAC destinataire → Port de sortie
    - Une entrée apprise est valable pendant 5 min (par défaut)
  - Destinataire inconnu: diffusion sur tous les ports
- > Diminue la charge du réseau
- > Augmente la sécurité
- ➤ Mais les trames de broadcast se propagent à travers le LAN entier
  - ➤ Un seul <u>domaine de broadcast</u>

### Commutation

- Port:
  - composé d'un récepteur et d'un émetteur
  - Connecté à une matrice de commutation
- Les ports sont indépendants l'un de l'autre
  - Plusieurs trames peuvent être commutées simultanément
  - Pas de collisions entre les trames de différents ports
- Chaque port représente un domaine de collision



# Techniques de commutation: Store and forward

- Technique
  - 1. Réception de la trame complète
  - 2. Analyse et contrôle d'erreurs
  - 3. Commutation vers le port de sortie
- Avantages
  - Adapté aux configurations asymétriques (10/100 Mb/s)
  - Trames incorrectes sont filtrées
- Inconvénients
  - Temps de latence élevé
  - Nécessite une mémoire tampon de grande taille

# Techniques de commutation: Cut-through switching

#### • Technique

- 1. Le commutateur attend les premiers octets de l'en-tête
- 2. Décodage de l'adresse du destinataire
- 3. Réception et transmission de la trame en même temps

#### Avantages

- Temps de latence très court et constant
- Mémoire tampon faible

#### • Inconvénients

- Contrôle d'erreurs n'est pas possible
- Ne permet pas de conversion de la vitesse

# Techniques de commutation: Adaptive error free

- Combine store and forward avec cutthrough
  - Le commutateur travaille en mode cut-through
  - Le contrôle d'erreurs est effectué pour chaque trame
    - Ne permet pas de filtrer des trames incorrectes
  - Le commutateur change en mode store and forward après plusieurs erreurs consécutives

#### Inconvénients d'Ethernet commuté

#### Gestion d'adresses

- Nécessaire pour le filtrage de trames
- Nécessite un quantité non-négligeable de mémoire
- Peut ralentir la commutation de trames
- Un réseau important doit être sous-divisé en réseaux logiques: VLAN
- Contrôle de flux nécessaire
  - Congestion d'un switch possible (contrairement à un hub)
    - Configuration asymétrique: 100 Mb/s --> 10 Mb/s
    - Concentration du trafic sur un port de sortie

# Autonégociation

- La fonction d'autonégociation permet aux cartes réseau de communiquer à la vitesse la plus élevée possible et sélectionner le mode full duplex si celui-ci est supporté par les deux cartes
- Si une carte 10BASE-T est connectée à une carte 100BASE-TX, par exemple, la communication doit s'établir à 10 Mbps full-duplex (si supporté par les deux cartes)
- Utilise des séquences d'impulsions de test de lien (link test pulse)
- Rafales de 33 impulsions qui code les modes implémentés
- Une carte non-compatible les interprète comme test de lien

# Autonégociation

D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
S0	S1	S2	S3	S4	A0	A1	A2	A3	A4	<b>A5</b>	A6	A7	RF	Ack	NP
	0	-													

A0 (D5) 10BASE-T X	
A1 (D6) 10BASE-T full-duplex 🗡	
A2 (D7) 100BASE-TX X	
A3 (D8) 100BASE-T full-duplex 🗸	
A4 (D9) 100BASE-T4 X	
A5 (D10) PAUSE operation for flow control	
A6 (D11) Reservé	
A7 (D12) Reservé	

