

# Partie 5

## Réseaux locaux

# Réseaux locaux - Plan

- Généralités
- Méthodes d'accès
- Normes IEEE
- Réseaux Ethernet
- Interconnexion

# Qu'est-ce qu'un LAN (Local Area Network)?

## ■ Définition IEEE

*« A datacomm system allowing a number of independent devices to communicate directly with each other, within a moderately sized geographic area over a physical communications channel of moderate data rates »*

## ■ Donc :

- un LAN supporte des communications (entre autres) en point à point, tous les équipements en communication ayant le même statut dans le système
  - en opposition aux systèmes de communication hiérarchiques ou centralisés
- un LAN couvre typiquement un immeuble (à l'origine)
  - en opposition aux WAN et MAN
  - réseau privé
- les équipements partagent un même support
  - en opposition aux réseaux à commutation maillés
  - nécessité d'une **technique d'arbitrage pour l'accès au support**
- les débits visés vont de 10 Mbit/s à 100 Mbit/s (actuellement 10 Gbit/s)

# L'exemple d'Ethernet

- Les objectifs de conception d'Ethernet (1976)
  - débits allant de 1 à 10 Mbit/s
  - distances géographiques d'au plus 1 km
  - plusieurs centaines de nœuds
  - simplicité
  - fiabilité
  - dépendance minimale vis-à-vis d'un composant central
  - utilisation efficace des ressources partagées, en particulier du réseau lui-même
  - stabilité sous forte charge
  - accès équitable pour tous les nœuds
  - facilité d'installation pour un petit réseau et évolution sans remise en cause de l'existant
  - facilité de reconfiguration et de maintenance
  - coût peu élevé

# Les supports physiques

- Paramètres principaux:

- Bande passante, Facilité d'installation, Coût

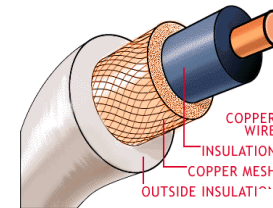
- Paire torsadée

- UTP (*Unshielded Twisted Pair*): Non blindée
- STP (*Shielded Twisted Pair*) : Blindée / Ecrantée



- Câble coaxial

- Compromis historique
- Câblage volant (Ethernet fin)



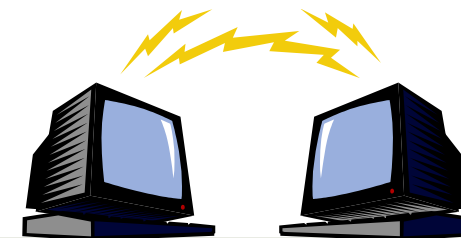
- Fibre optique

- Onde lumineuse
- Faible encombrement, Immunité aux bruits
- Large bande passante. Monomode, Multimode



- Radio

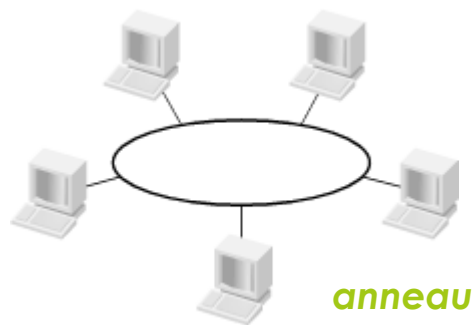
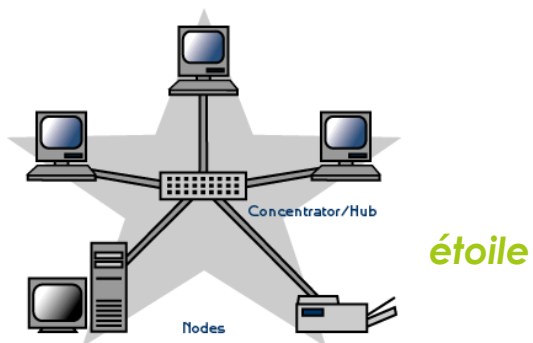
- Bande de fréquence radio, eg. 2.4Ghz, 5Ghz
- Canal versatile, débit limité (2, 11, 54Mbps)



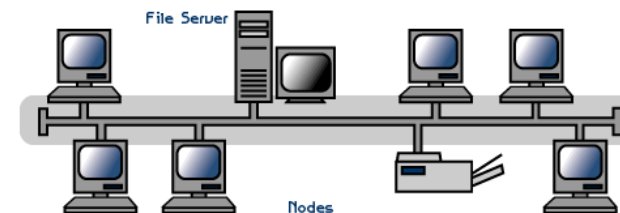
# La topologie physique

□ ou **plan de câblage**

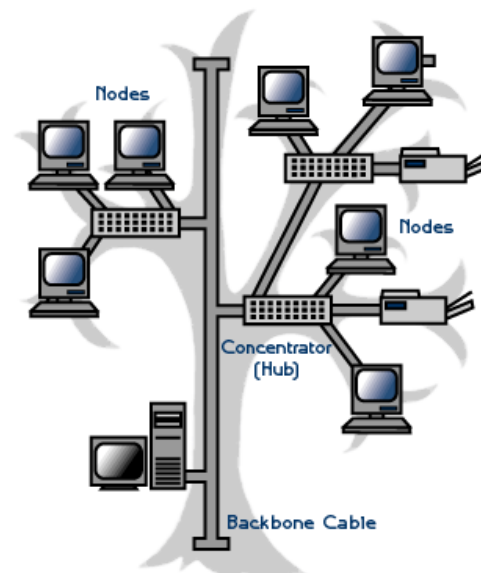
□ en théorie : 4 possibilités



*bus*

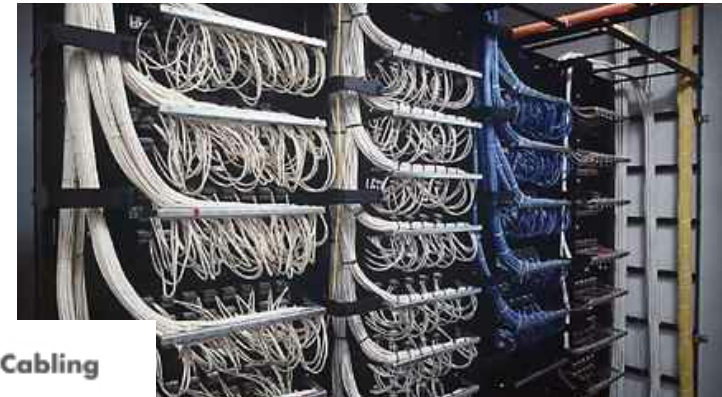


*arbre*

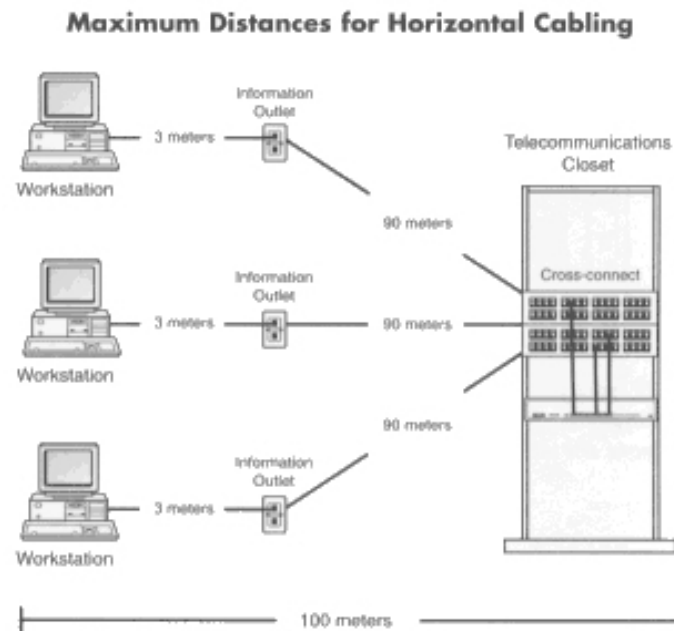


# La topologie physique

- critères de choix
  - coût
  - longueur de câble
  - pérennité
  - type de câble utilisé
  - facilité d'installation



- en pratique : souvent l'étoile
  - armoire de brassage
  - située dans un local technique
  - sur laquelle arrivent les UTP



In addition to the 90 meters of horizontal cable, a total of 10 meters is allowed for work area and telecommunications closet patch and jumper cables.

# La topologie logique

- la topologie prise en compte par la méthode d'accès au support
  - décrit la manière selon laquelle circule "logiquement" l'information

- 3 possibilités

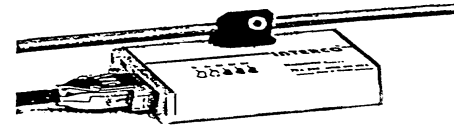
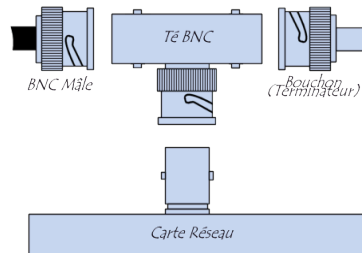
- l'étoile
  - le bus
  - l'anneau

- exemples

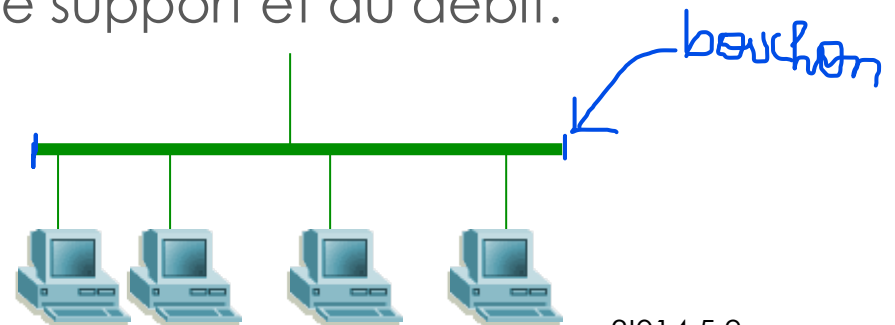
| log. \ phy. | étoile     | bus             | anneau |
|-------------|------------|-----------------|--------|
| étoile      | PABX       | -               | -      |
| bus         | 10BaseT    | 10base5<br>DQDB |        |
| anneau      | Token Ring | Token Bus       | FDDI   |



# Topologie en bus

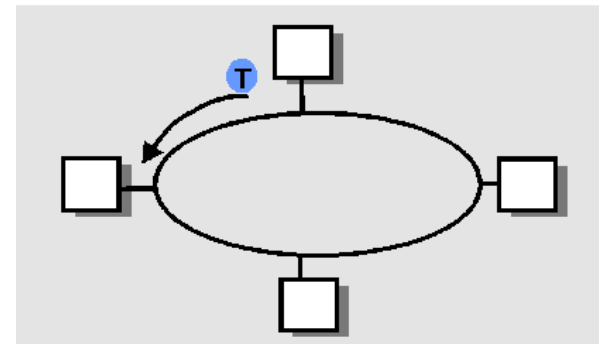


- Structure partagée passive, i.e. non alimentée électriquement
- Terminateurs (« bouchons ») aux extrémités du câble
- Diffusion
- Prolongation par répéteurs
- Distance couverte fonction du type de support et du débit:
  - 500m Ethernet jaune (50 Ohms)
  - 200m Ethernet noir (fin, 50 Ohms)
  - 3600m CATV 75 Ohms



# Topologie en anneau

- Structure active partagée
- Sensibilité aux pannes (supervision)
- Diffusion à assurer
- Cascade de liaisons point à point
- Exemples de produits
  - Token Ring
  - FDDI



# Réseaux locaux - Plan

- Généralités
- Méthodes d'accès
  - problématique
  - classification
  - accès statique
  - accès dynamique déterministe
  - accès dynamique aléatoire
- Normes IEEE
- Réseaux Ethernet
- Interconnexion

# Méthodes d'accès

- Problématique
  - un support unique partagé par l'ensemble des stations raccordées au support
  - les stations ne peuvent pas utiliser simultanément le support
- nécessité d'arbitrage !
- classification des mécanismes d'accès
  - accès statique
    - la bande passante est répartie de façon invariante dans le temps entre les stations
  - accès dynamique
    - la bande passante est allouée à la demande

# Classification des méthodes d'accès

## □ accès **statique**

- Accès Multiple à Répartition en Fréquence
- Accès Multiple à Répartition dans le Temps

## □ accès **dynamique**

- politiques d'accès dynamique à **allocation déterministe**
  - le polling
  - le jeton
    - non adressé
    - adressé
- politique d'accès dynamique à **allocation aléatoire**
  - Aloha
  - Carrier Sense Multiple Access

# TDMA

## ■ Time Division Multiple Access

### ■ Principe

- le temps est découpé en intervalles réguliers qui sont affectés à chaque station de manière périodique
- durant le slot qui lui est alloué, la station possède le droit exclusif d'accès au canal

#### ✓ avantages

- ☺ simplicité
- ☺ équitabilité
- ☺ priorités faciles à mettre en œuvre

#### ✓ inconvénients

- ☹ manque d'efficacité, mauvaise utilisation de la BP
- ☹ besoin de synchronisation → une station "primaire" émet un message de synchro. pour démarrer un nouveau cycle
- ☹ problème de fiabilité de la station primaire
- ☹ tout ajout ou retrait de station implique une modification du cycle

# FDMA

## ■ Frequency Division Multiple Access

### ■ Principe

- la bande passante est découpée en sous-bandes
- une sous-bande est affectée à une seule station qui en a l'usage exclusif

### ✓ avantages

- ☺ simplicité
- ☺ équitabilité
- ☺ priorités faciles à mettre en œuvre

### ✓ inconvénients

- ☹ inter-bandes → gaspillage
- ☹ manque d'efficacité, mauvaise utilisation de la BP
- ☹ tout ajout ou retrait de station implique une modification du découpage de la BP

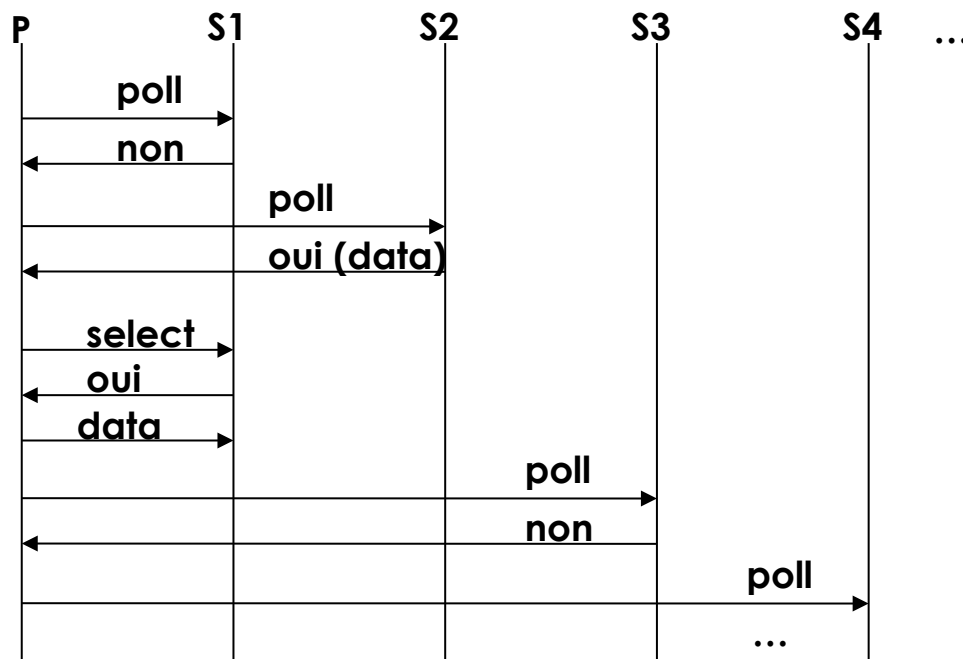
# Accès statique

- les méthodes d'accès statique
  - sont adaptées aux cas où
    - le nombre de stations actives est réduit et fixe
    - les trafics sont prévisibles et à débits constants
  - ne sont pas adaptées aux LAN où
    - le nombre de stations actives varie dans le temps
    - les stations génèrent un trafic sporadique
- il est préférable d'allouer la BP dynamiquement en fonction des demandes immédiates



# Le polling

## ■ Principe



## ■ avantages

- Simplicité
- équitabilité
- priorités faciles à mettre en œuvre

## ■ inconvénients

- manque d'efficacité (overhead)
- approche centralisée → fiabilité du primaire
- approche centralisée → goulet d'étranglement du primaire

# Le jeton

## ■ Principe

- consiste à faire circuler sur le réseau une trame spéciale : le jeton
- seule la station qui possède le jeton, à un instant donné, est autorisée à émettre

## ■ 2 variantes

- le jeton non adressé
- le jeton adressé

# Le jeton non adressé

- utilisé sur des topologies en anneau
- Principe
  - le jeton circule sur l'anneau et donne, selon son état (libre/occupé) le droit d'émettre à la station qui le détient
  - une station qui veut émettre
    - attend un jeton marqué "libre"
    - sur réception de ce dernier
      - elle change l'état du jeton ("occupé")
      - elle attache au jeton son message, son @ et l'@ de dest.
      - elle transmet le tout sur l'anneau
  - une station qui reçoit un jeton marqué "occupé"
    - consulte l'@ de dest.
      - si c'est la sienne, elle copie la trame et fait suivre la trame
    - consulte l'@ de source
      - si c'est la sienne, elle retire la trame et émet un jeton marqué "libre"

# Le jeton non adressé

## ■ avantages

- accès déterministe : chaque station est assurée de pouvoir émettre avant un délai borné
- stabilité à forte charge : les performances ne s'écroulent pas
- mise en œuvre de priorités possible

## ■ inconvénients

- la connexité doit être maintenue
- inefficacité à faible charge
- overhead du jeton
- nécessité d'une station de surveillance pour veiller à l'unicité du jeton

✓ méthode utilisée dans IEEE 802.5 (Token Ring)

# Le jeton adressé

- utilisé sur des topologies en bus
- Principe
  - un anneau virtuel est créé : chaque station connaît son prédécesseur et son successeur par leurs @
  - seule la station en possession du jeton peut émettre
    - si elle n'a rien à émettre, elle envoie le jeton à son successeur logique → jeton adressé
    - si elle a de l'information à émettre, elle peut émettre pendant un temps limité, au bout duquel elle doit passer le jeton à son successeur

# Le jeton adressé

## ▣ avantages

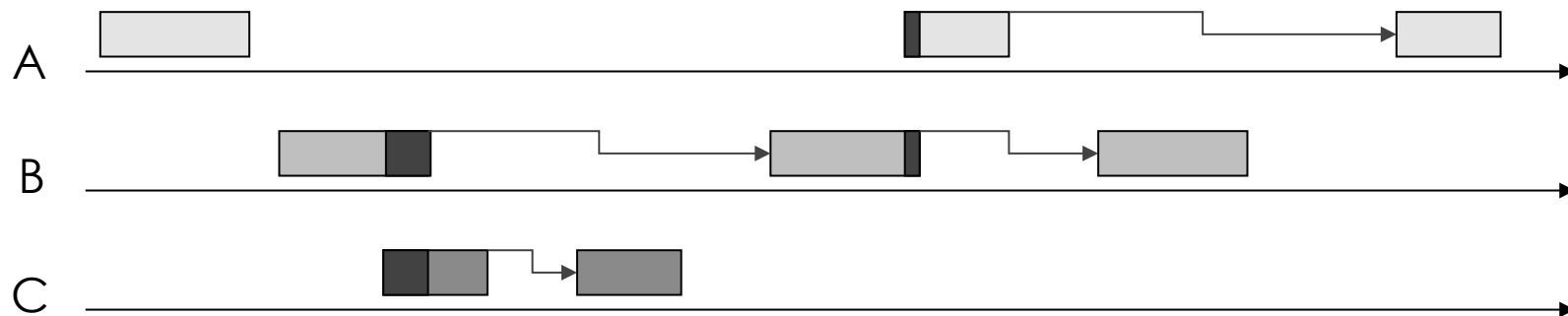
- ▣ accès déterministe : chaque station est assurée de pouvoir émettre avant un délai borné
- ▣ stabilité à forte charge : les performances ne s'écroulent pas
- ▣ mise en œuvre de priorités possible
- ▣ bus passif vs. anneau actif
- ▣ retrait implicite des trames (vs. jeton non adressé)

## ▣ inconvénients

- ▣ inefficacité à faible charge
- ▣ overhead du jeton
- ▣ nécessité d'une station de surveillance pour veiller à l'unicité du jeton
- ▣ mécanismes lourds pour l'insertion et le retrait de stations
- ▣ nécessité d'une procédure d'initialisation de l'anneau

# (Pure) Aloha

- testé au début des années 70 sur un réseau reliant les îles Hawaï par faisceaux hertziens
- Principe
  - une station émet dès lors qu'elle le souhaite
  - en cas de collision, la station réémettra sa trame au terme d'un délai aléatoire
  - au bout de N collisions successives, la station abandonne



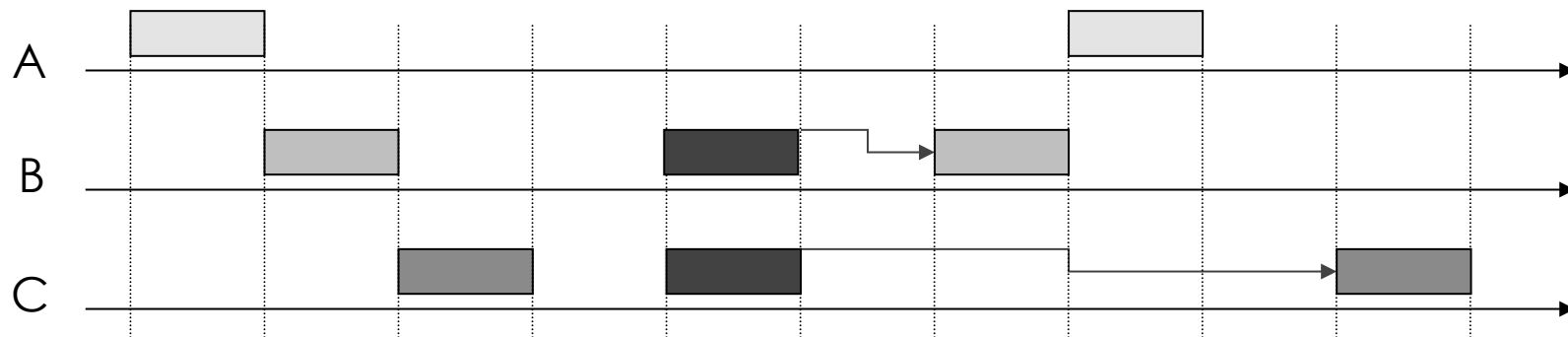
✓ efficacité très faible : 18% !

# Slotted Aloha

- Amélioration du Pure Aloha

- Principe

- le temps est discrétisé
- les stations ne peuvent émettre qu'en début de slots



✓ efficacité faible : 36% !

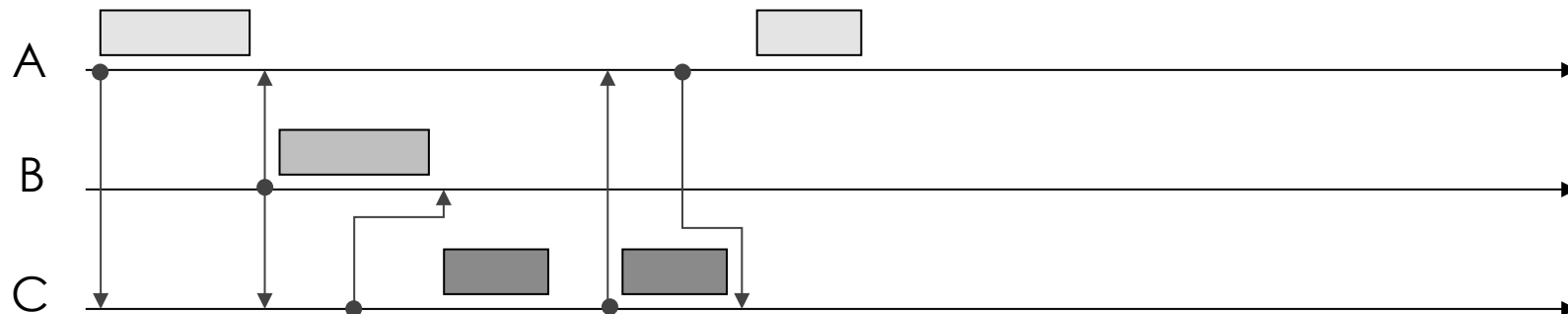


# CSMA

- Carrier Sense Multiple Access

- Principe

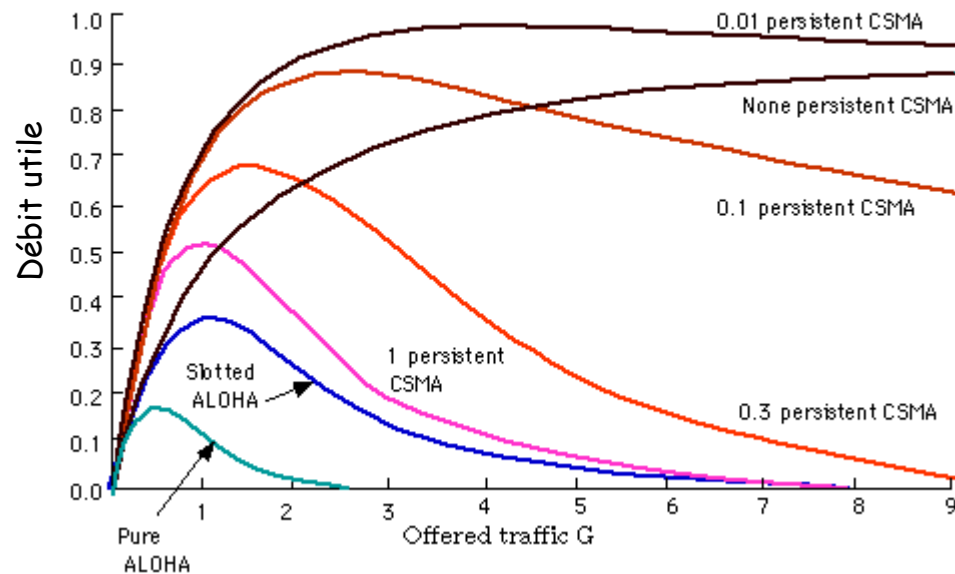
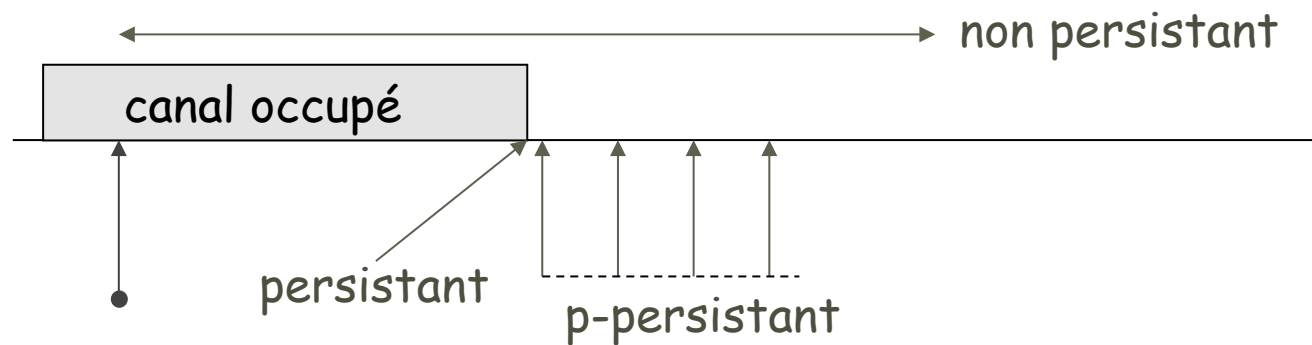
- reprend le Pure Aloha
- avec une "écoute" du canal avant d'émettre : la station n'émet que si le canal est libre



# CSMA

- Variantes selon le type de décision prise par la station émettrice lorsqu'elle détecte le canal occupé
  - **CSMA persistant**
    - écoute persistante du canal
    - dès qu'il devient libre, émettre
  - **CSMA non persistant**
    - faire une nouvelle tentative au bout d'un temps aléatoire
  - **CSMA p-persistant**
    - écoute persistante du canal
    - dès qu'il devient libre,
      - avec une probabilité  $p$ , émettre
      - avec une probabilité  $(1-p)$ , attendre un délai et aller en 1.

# CSMA

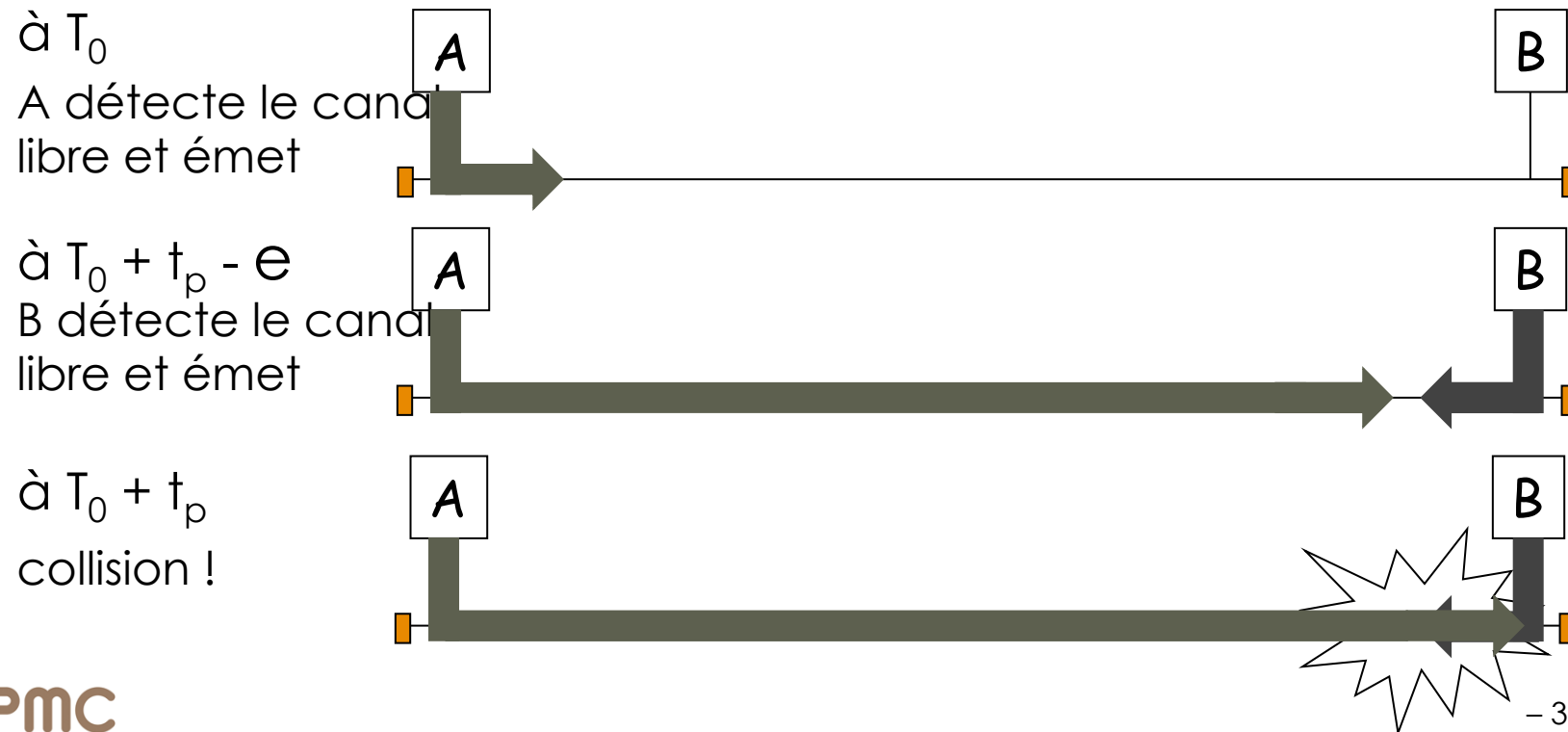


# CSMA/CD

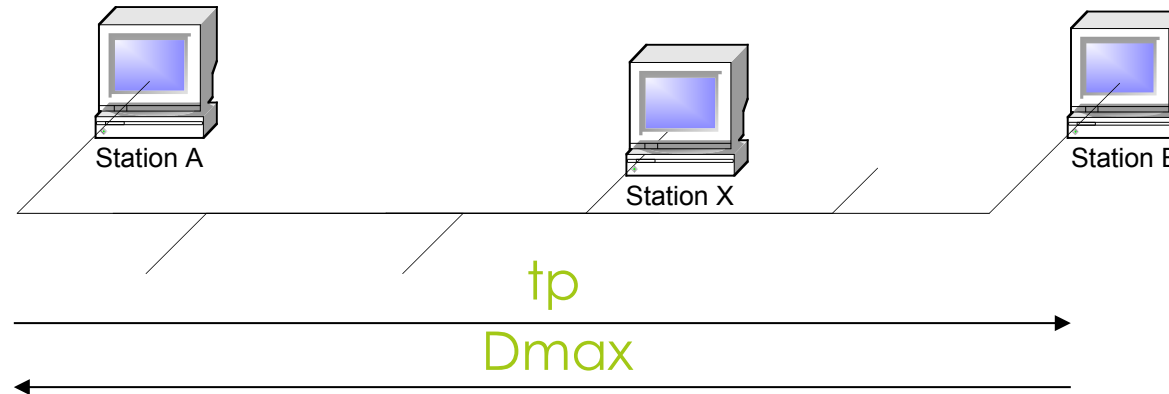
- Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
- le protocole utilisé par Ethernet !
- Principe
  - reprend CSMA
  - une station qui émet continue à écouter le canal pendant sa transmission → détection des collisions
  - en cas de collision, chaque station impliquée déroule un algorithme de reprise

# Influence du temps de propagation

- Pourquoi peut-il y avoir encore des collisions ?
  - deux stations A et B, situées aux extrémités d'un bus
  - $d$  la distance les séparant et  $v_p$  la vitesse de propagation sur le bus
  - $t_p$  le temps de propagation entre A et B :  $t_p = d / v_p$



# Contraintes CSMA/CD Ethernet



- ▣ Contrainte  $C=10$  Mbit/s,  $L_{min} = 64$  octets
- ▣  $L/C = 512$  bits / 10 Mbps = 51,2 msec
- ▣  $2t_p < 51,2$  msec
- ▣  $2D_{max} < 10$  km
- ▣ Répéteurs =>
  - ▣  $D_{max} < 2,5$  km à 10Mbps
  - ▣  $D_{max} < 250$  m à 100Mbps
  - ▣  $D_{max} < 25$  m à 1Gbps !!!!!!!!!!!

# CSMA/CD : définitions

## ▣ période de vulnérabilité

- ▣ intervalle de temps pendant lequel une station éloignée peut détecter le canal libre et transmettre à son tour
- ▣ égale au maximum à un temps de propagation entre les 2 stations les plus éloignées sur le support

## ▣ fenêtre de collision (time-slot)

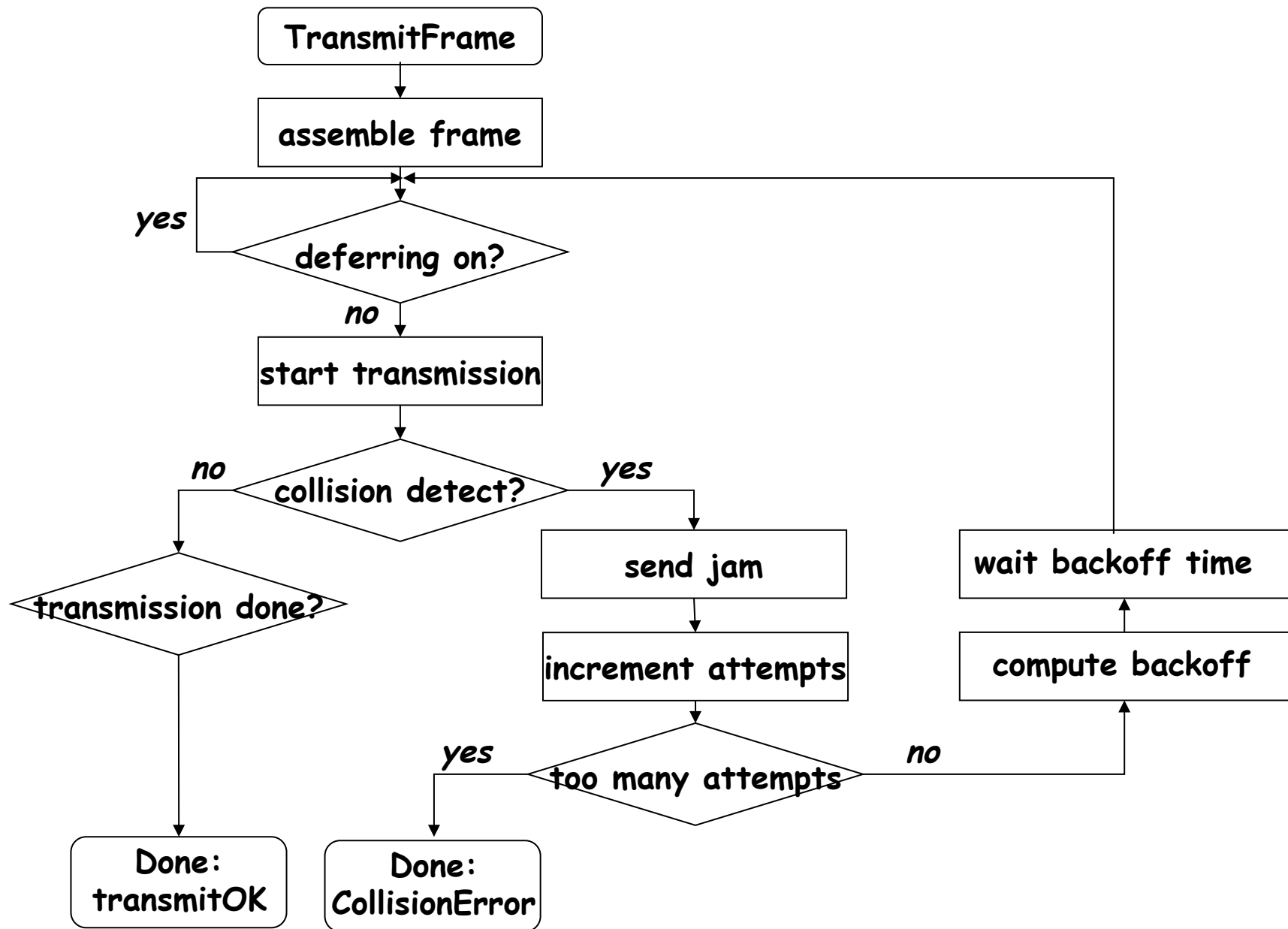
- ▣ délai maximum qui s'écoule avant que l'on détecte une collision ou encore délai après lequel une station est certaine d'avoir réussi sa transmission
- ▣ égale à deux fois le temps de propagation d'un signal sur le support.
- ▣ c'est l'unité de temps du protocole

## ▣ séquence de brouillage (jam sequence)

- ▣ séquence de brouillage envoyée par une station dès qu'elle a détecté une collision, afin de la rendre détectable par l'ensemble des stations impliquées

## ▣ délai inter-frame (interframe gap)

- ▣ silence minimum entre 2 frames successives





# Exponential backoff

- algorithme de calcul du délai aléatoire d'attente
  - détermine l'instant de retransmission d'une trame qui a subi une collision
  - calcule la durée aléatoire D avant retransmission
  - l'intervalle croît avec le nb de collisions subies
  - lorsque n atteint 16, il y a abandon de la transmission

```
Backoff (D) ;  
n : nombre total de  
collisions déjà subies  
par la trame  
k = min (n, 10)  
tirage d'une variable  
aléatoire M telle que  
 $0 \leq M < 2^k$   
D = M * time-slot  
return (D)
```

# CSMA/CD

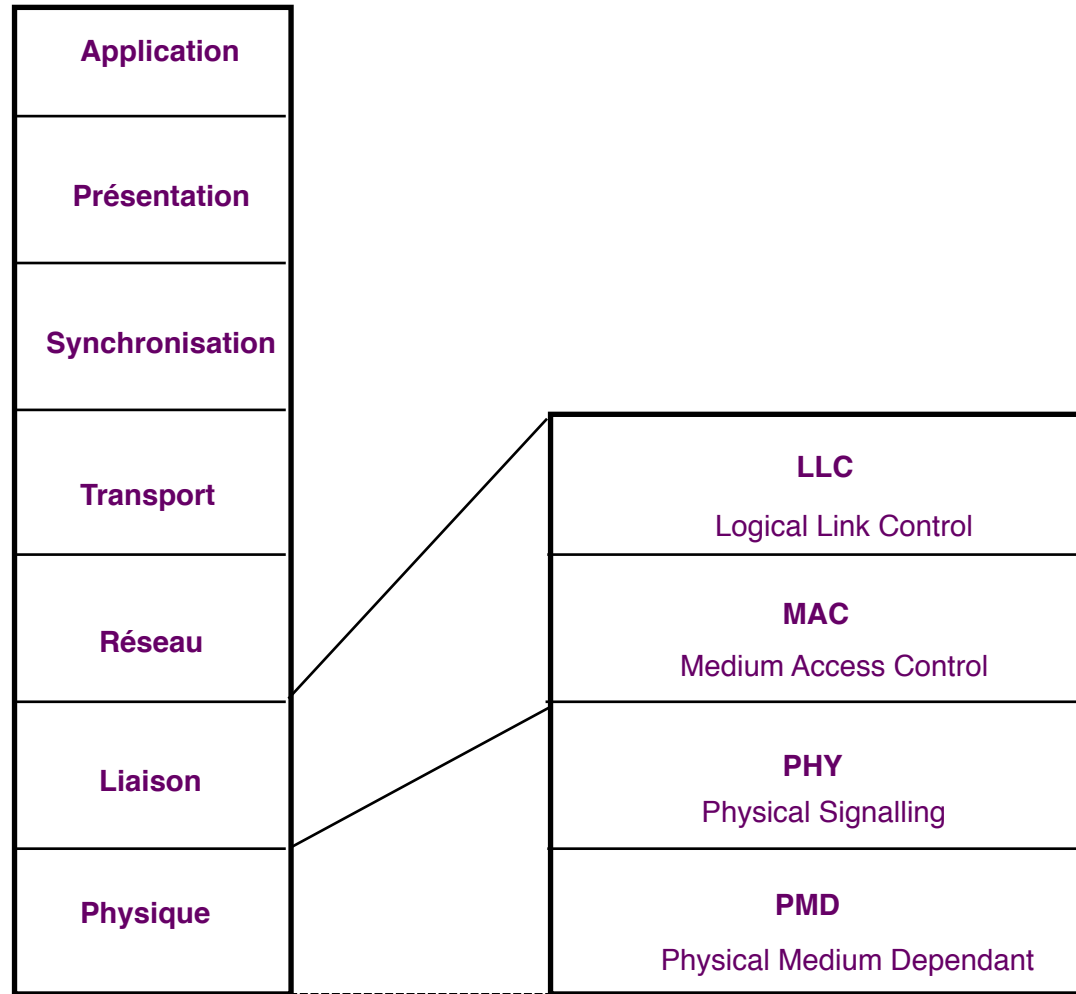
- avantages
  - approche complètement décentralisée
  - simplicité
  - équitabilité
  - très efficace sous faible charge
  - utilisation d'un bus passif
  - facilité d'installation pour un petit réseau et évolution sans remise en cause de l'existant
  - coût peu élevé
- inconvénients
  - délais imprévisibles
  - pertes de trames possibles

# Réseaux locaux - Plan

- Généralités
- Méthodes d'accès
- Normes IEEE
- Réseaux Ethernet
- Interconnexion

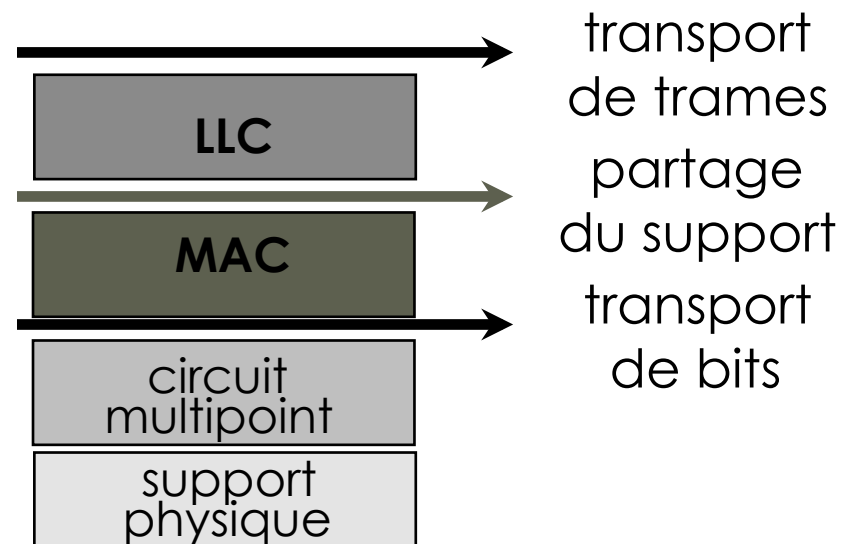
# Réseaux Locaux : normalisation

## ■ Modèle



# La couche liaison dans les LAN

- 2 sous-couches
- MAC
  - *Medium Access Control*
  - définit des règles de partage du support multipoint
    - éviter les contentions d'accès
    - partager équitablement la BP
- LLC
  - *Logical Link Control*
  - fournit la plupart des fonctions de la couche liaison de données



# Normalisation

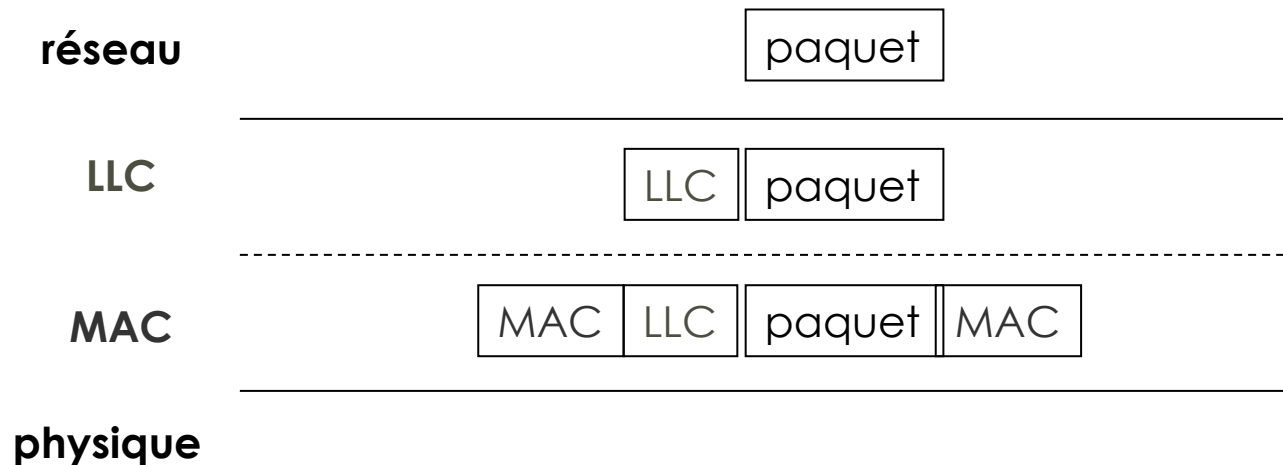
| IEEE         | débit       | accès      | support       | exemple                         |
|--------------|-------------|------------|---------------|---------------------------------|
| <b>802.3</b> |             |            |               |                                 |
| 10BaseT      | 10 Mbit/s   | CSMA/CD    | PT 100m       | Ethernet TP                     |
| 10Base5      | 10 Mbit/s   | CSMA/CD    | coax 500m     | Ethernet jaune                  |
| 10Base2      | 10 Mbit/s   | CSMA/CD    | coax 180m     | Ethernet fin                    |
| 10BaseF      | 10 Mbit/s   | CSMA/CD    | FO (0,5-2 km) | Etoile optique                  |
| 1Base5       | 1 Mbit/s    | CSMA/CD    | PT 250m       | Starlan                         |
| 100BaseT     | 100 Mbit/s  | CSMA/CD    | PT 100m       | Ethernet 100<br>(Fast Ethernet) |
| 1000BaseT    | 1000 Mbit/s | CSMA/CD    | UTP5 100m     | GigaEthernet                    |
| 10Broad36    | 10 Mbit/s   | CSMA/CD    | coax LB       | 3600m                           |
| ...          |             |            |               |                                 |
| <b>802.4</b> | 5-10 Mbit/s | Token Bus  |               | MAP                             |
| <b>802.5</b> | 4-16-100    | Token Ring |               | IBM                             |

# Architecture IEEE

|                                            |             |              |                             |                 |       |          |        |             |
|--------------------------------------------|-------------|--------------|-----------------------------|-----------------|-------|----------|--------|-------------|
| Overview<br>Architecture and<br>Management | 802.1       |              | 802.10 Security and Privacy |                 |       |          |        | application |
|                                            | 802.2       |              | Logical Link Control        |                 |       |          |        |             |
|                                            | 802.1       |              | Bridging                    |                 |       |          |        | liaison     |
|                                            | 802.10      |              | Secure Data Exchange        |                 |       |          |        |             |
|                                            | CSMA/<br>CD | Token<br>Bus | Token<br>Ring               | MAN             | IVD   | Sans fil | AnyLan | MAC         |
|                                            | 802.3       | 802.4        | 802.5                       | 802.6           | 802.9 | 802.11   | 802.12 |             |
|                                            |             |              | 802.7                       | Broadband TAG   |       |          |        |             |
|                                            |             |              | 802.8                       | Fiber Optic TAG |       |          |        |             |

# La sous-couche LLC (IEEE 802.2)

- responsable de l'adressage et du contrôle du lien de données
  - indépendante de la topologie et du support de transmission
  - indépendante de la sous-couche MAC
- elle fournit
  - le choix entre plusieurs services
  - un format simple et une interface avec la couche réseau



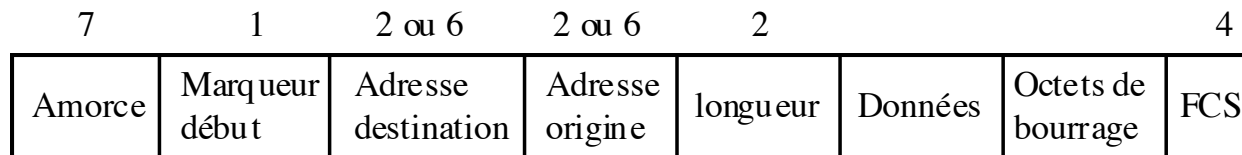


# La norme IEEE 802.3

- les paramètres initiaux de la spécification
  - durée *time\_slot* : 512 bit times (51,2  $\mu$ s pour un réseau à 10 Mbit/s)
  - délai inter-trame : 9,6  $\mu$ s
  - # max de retransmissions d'une frame : 16
  - multiplicateur max de l'intervalle de tirage : 10
  - longueur de la séquence de brouillage : 32 bits
  - **taille maximale d'une frame : 1518 octets**
  - **taille minimale d'une frame : 64 octets**
  - taille de l'adresse : 48 bits

# La norme IEEE 802.3

## □ format de la trame



- le champ *longueur* donne le # d'octets du champ de données
- les octets de bourrage permettent d'atteindre éventuellement la taille totale minimum de 64 octets

## □ Ethernet

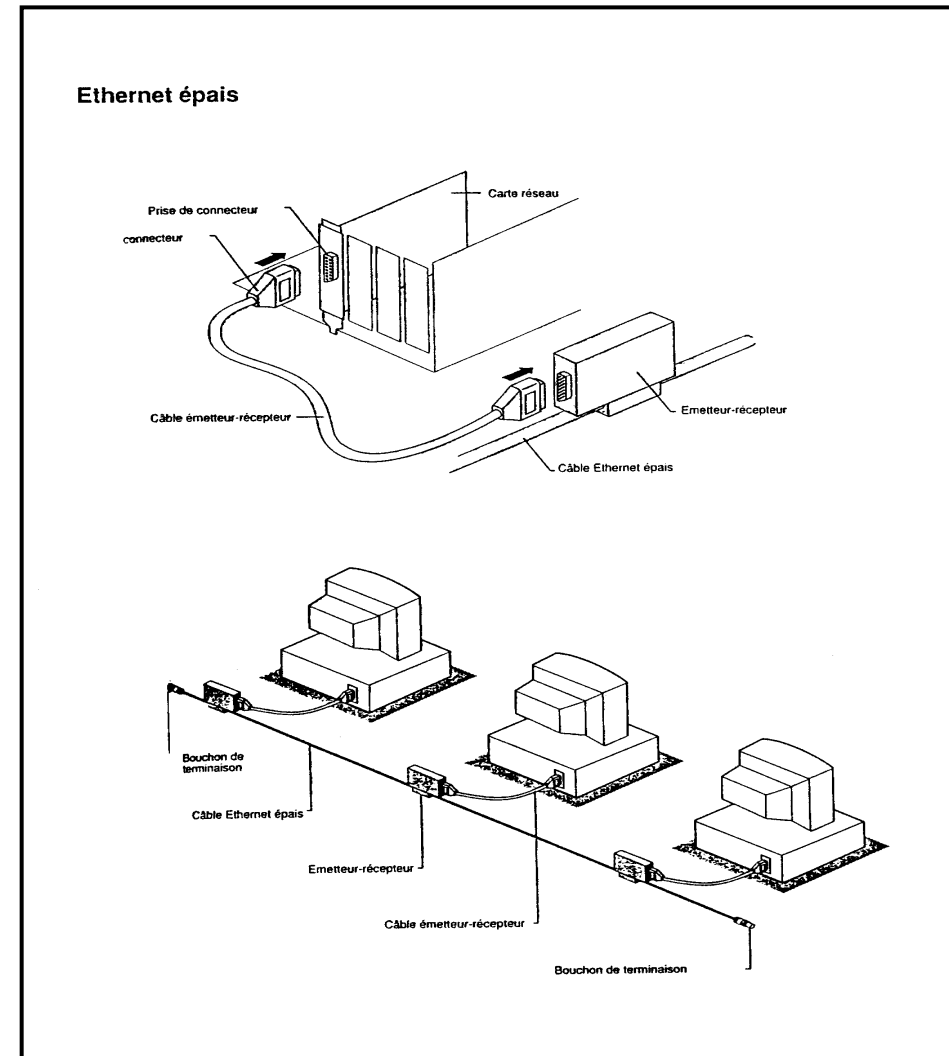
- le champ *longueur* est remplacé par un champ *type* identifiant le protocole de niveau supérieur

# Réseaux locaux - Plan

- Généralités
- Méthodes d'accès
- Normes IEEE
- Réseaux Ethernet
- Interconnexion

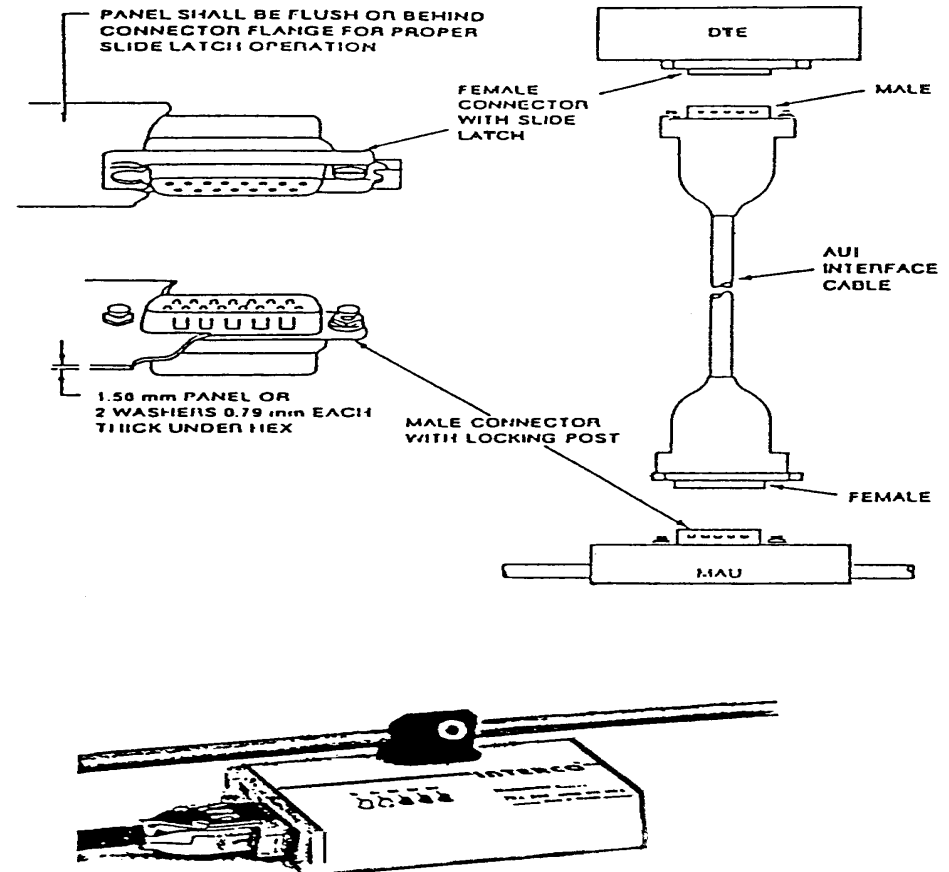
# Ethernet 10Base5

- topologie en bus
- débit : **10** Mbit/s
- codage en bande de **base** (Manchester)
- taille max. du réseau : 2,5 km
- longueur max. d'un segment : **500** m
- # max. de stations par segment : 100
- raccordement des stations au câble coaxial par :
  - câble de liaison (50 m max.)
  - transceiver (émetteur-récepteur)
- distance min. entre 2 transceivers : 2,5 m



UPMC  
SORBONNE UNIVERSITÉS

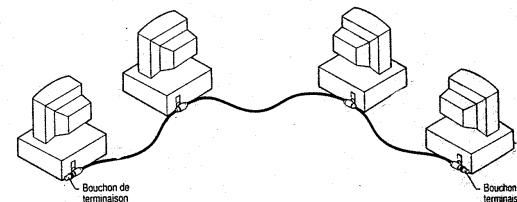
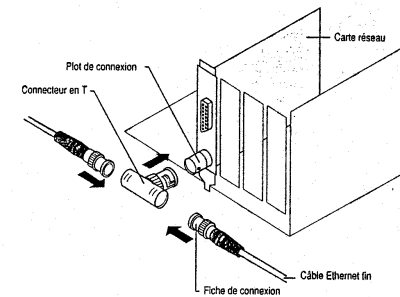
- 5.45 –



# Ethernet 10Base2

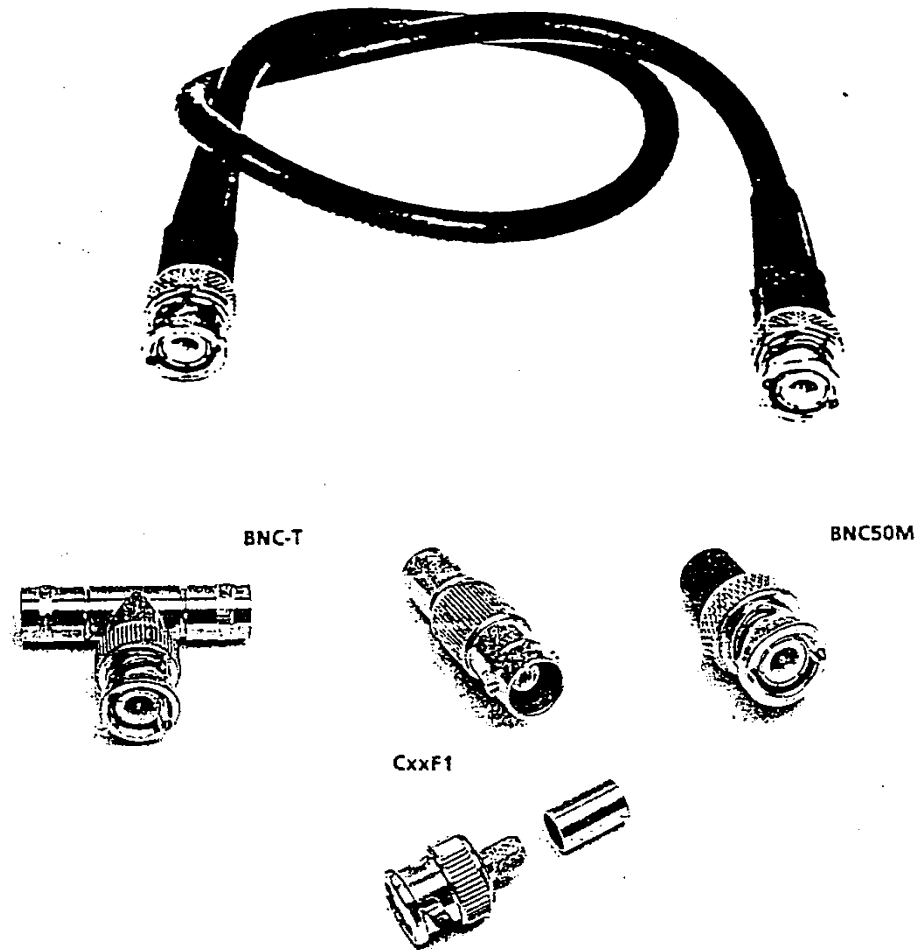
- ❑ topologie en bus
- ❑ débit : **10** Mbit/s
- ❑ codage en bande de **base** (Manchester)
- ❑ taille max. du réseau : 925 m
- ❑ longueur max. d'un segment: **185** m
- ❑ # max. de stations par segment : 30
- ❑ transceiver intégré dans la carte
- ❑ distance min. entre 2 transceivers : 0,5 m

Ethernet fin



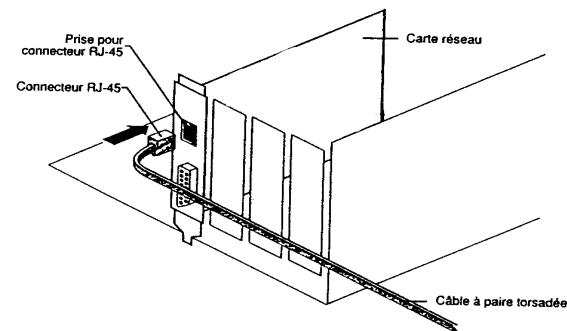
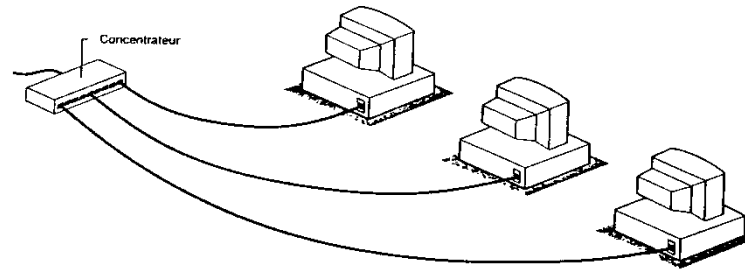
# Ethernet 10Base2

- câble coaxial fin RG58 dit câble noir
  - impédance =  $50\ \Omega$
  - $\varnothing$  4,6 mm
  - rayon de courbure = 5 cm
  - atténuation 4,6 dB/100m à 10 Mhz
  - coefficient de vélocité = 0,65
- connecteurs BNC:
  - raccord droit
  - raccord en T
- bouchon de terminaison  $50\ \Omega$



# Ethernet 10BaseT

- ▣ débit : **10** Mbit/s
- ▣ topologie physique en étoile
- ▣ topologie logique en bus grâce aux hubs
- ▣ distance max. d'une station au hub : 100 m
- ▣ codage en bande de **base** (Manchester)
- ▣ paires **T**orsadées





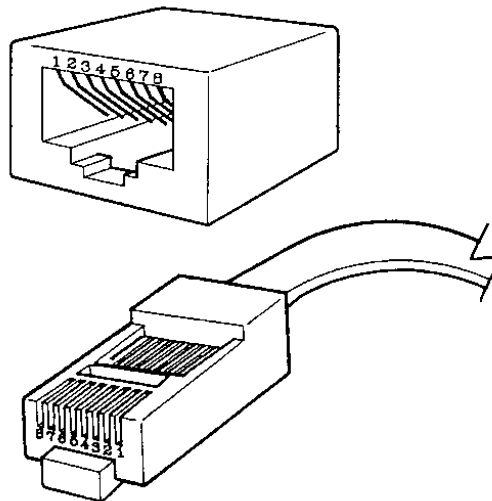
# Ethernet 10BaseT

- paires torsadées
  - une paire en émission
  - une paire en réception
- connecteur RJ45

- en tenant le connecteur face à soi avec le clip de fixation vers le haut, les broches sont numérotées de 1 à 8 de la gauche vers la droite

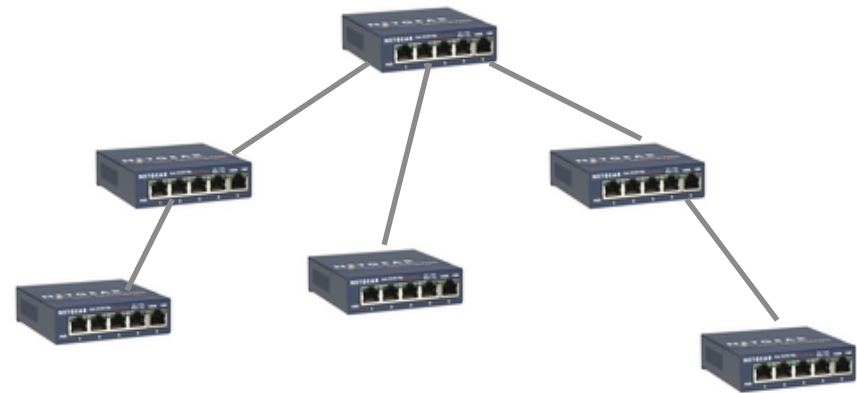
## N° Utilisation

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1 | Sortie des Données (+) |
| 2 | Sortie des Données (-) |
| 3 | Entrée des Données (+) |
| 4 | Réservé pour le tél.   |
| 5 | Réservé pour le tél.   |
| 6 | Entrée des Données (-) |
| 7 | Réservé pour le tél.   |
| 8 | Réservé pour le tél.   |



# Ethernet 10BaseT

- ▣ Topologie Arbre
- ▣ Paires torsadées
- ▣ Connexion par Hub
- ▣ Hub = répéteur multiport
- ▣ Structure active
- ▣ Sensibilité aux pannes (supervision racine)
- ▣ Diffusion (similaire au bus)
- ▣ Nombre de niveaux dans l'arbre = 5 max



# Ethernet 100BaseT

- Fast Ethernet
- Configuration identique au 10BaseT
- Existence d'un hub (répéteur multiport)
- MAC : protocole 802.3
  - même format de trame
  - longueur minimale : 64 octets (temps de transmission = 5,12  $\mu$ s)
- distance maximum de 210 m !
- Conséquence : un seul niveau dans l'arbre
- 3 spécifications du niveau physique
  - 100baseTX : 2 paires UTP5 ou 2 paires STP1 (full-duplex), codage 4B/5B
  - 100baseT4 : 4 paires UTP3 ou UTP4 ou UTP5 (non full-duplex), codage 8B/6T
  - 100-baseFX : 2 fibres optiques

# Gigabit Ethernet

- débit ↗ ⇒ diamètre du domaine de collision ↘
  - 10Mbps ⇒ 2500m
  - 100Mbps ⇒ 250m
  - 1000Mbps ⇒ 25m : aucun intérêt
- IEEE 802.3 fixe à 200 m ce diamètre
  - ↳ taille minimum de trame = 512 octets

# Gigabit Ethernet

- nouvelles couches physiques issues de Fibre Channel (standard ANSI) : super-switch de type *crossbar*
- 1000BaseSX (Short Wave)
  - fibre multimode,  $\lambda = 850$  nm, sur 500 m
- 1000BaseLX (long Wave)
  - fibre monomode,  $\lambda = 1310$  nm, sur 2~3 km
- 1000BaseCX
  - câble coaxial ou STP, sur 25 m
- 1000BaseT
  - UTP, sur 100 m

# Réseaux locaux - Plan

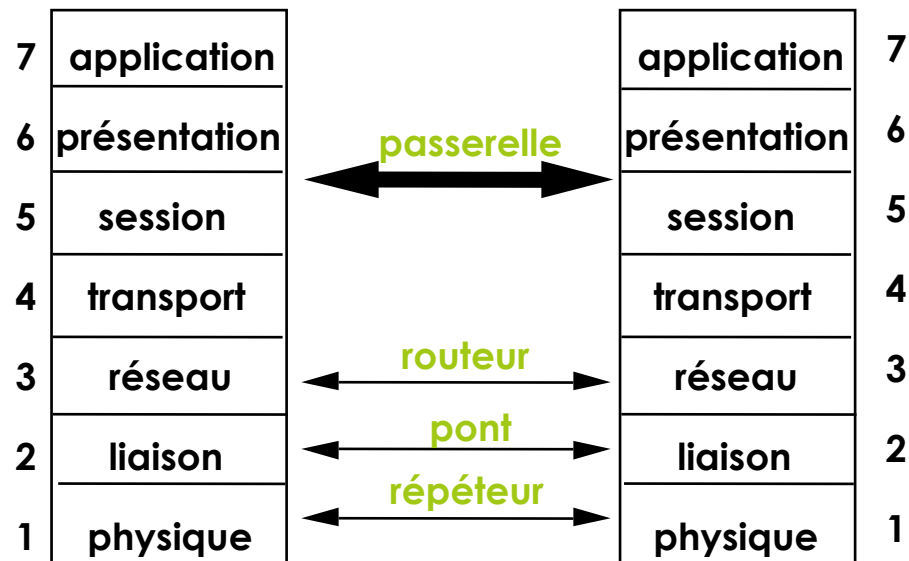
- Généralités
- Méthodes d'accès
- Normes IEEE
- Réseaux Ethernet
- Interconnexion

# Interconnexion de LAN

## ■ Problématique



## ■ Les solutions



# Interconnexion

- Marché très important aujourd'hui
- Très exploité pour la segmentation des réseaux
- Ingénierie du trafic
- Différents équipements en fonction des besoins
  - Répéteurs (*Repeaters*)
  - Ponts (*Bridges*) & Commutateurs (*Switches*)
  - Routeurs (*Routers*)
  - Passerelles (*Gateways*)
- Permettent de créer des réseaux de dimensions variables

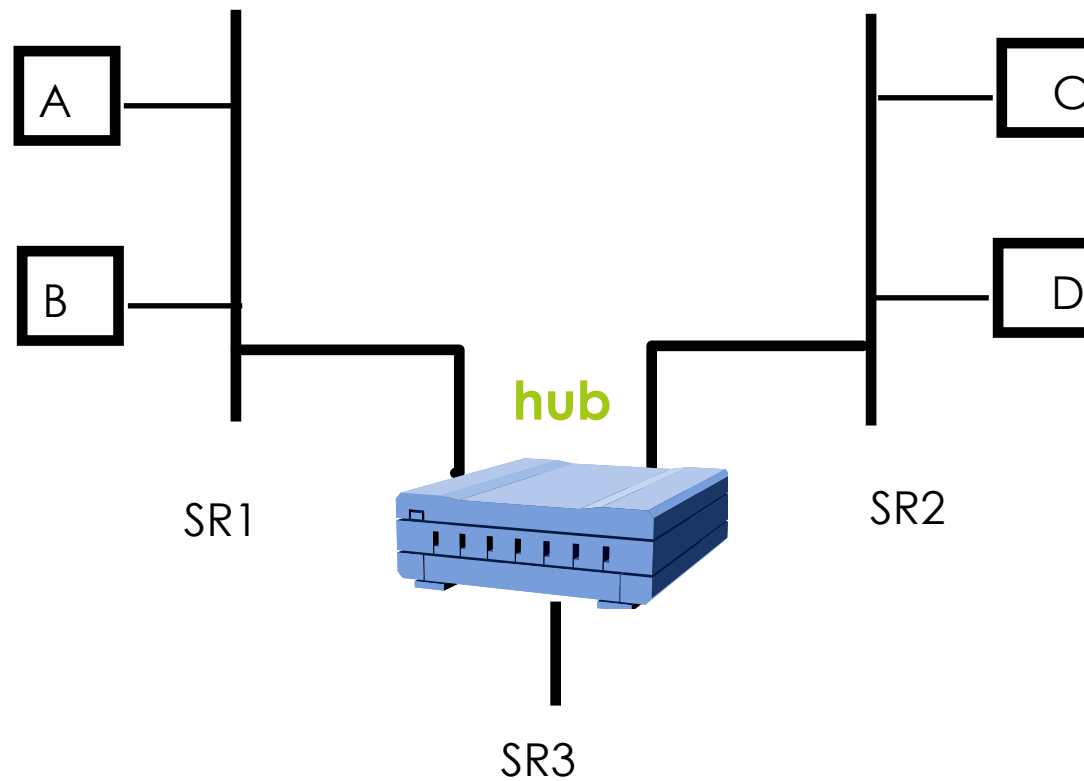


# Le répéteur

- interconnexion au niveau de la couche physique
- ne possède pas d'@MAC
- permet :
  - compenser un affaiblissement en régénérant le signal
  - d'augmenter la distance en interconnectant 2 segments
  - changer de médium (p.e. de câble coaxial à paire torsadée)
- n'effectue aucun filtrage
- ne nécessite aucune administration
- 4 répéteurs max. entre 2 stations quelconques (802.3 et 10Base5)

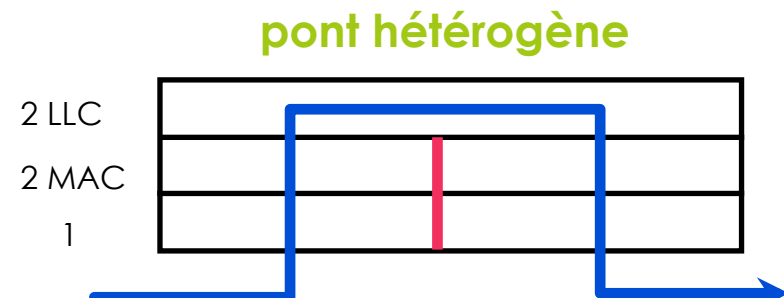
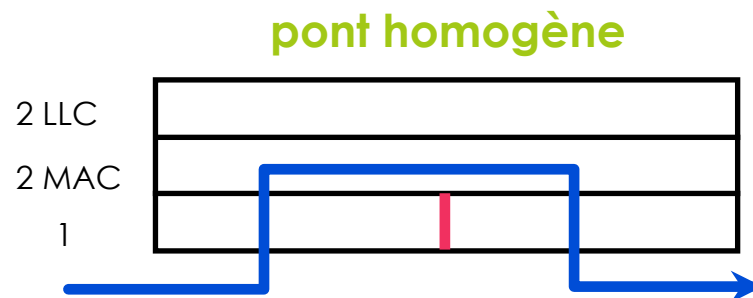
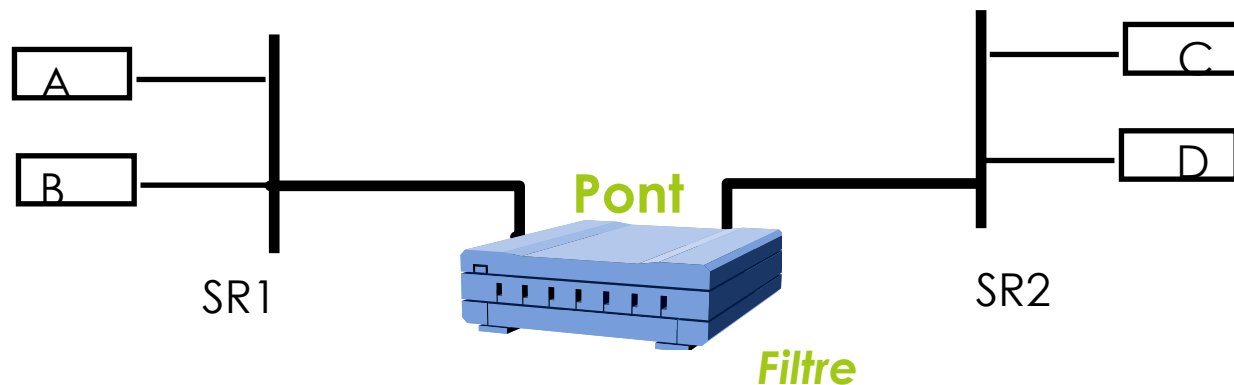
# Le hub

- Relais de niveau physique : répéteur multi-ports



# Le pont

- Relais de niveau Liaison : analyse et conversion de trames d'un réseau local vers l'autre
- Fonctions
  - conversion du format de trame
  - filtrage des collisions → pas de propagation d'un réseau à l'autre
  - routage par une table statique ou par diffusion



# Le commutateur de niveau 2

- ▣ pont multi-port (Ethernet ou Token Ring)

- ▣ 2 méthodes de commutation

## **store and forward**

réception intégrale de la trame  
puis stockage, choix du  
routage,  
et retransmission vers un port de  
sortie

- ☺ 100 vers 10 Mbit/s possible
- ☺ filtrage d'erreurs
- ☹ temps de latence fonction  
de la longueur de la trame

## **fast forward** ou **on the fly**

retransmission de la trame en  
sortie dès le décodage des bits  
de l'adresse destinataire

- ☹ 100 vers 10 Mbit/s impossible
- ☹ pas de filtrage d'erreurs
- ☺ latence faible

# Ethernet commuté

- un LAN 10BaseT dans lequel on aurait remplacé le hub par un commutateur (switch) Ethernet
  - comparable à un pont multi-port
- protocole modifié
  - pas de détection de collisions
- paires torsadées utilisées en full-duplex
  - la station peut simultanément émettre et recevoir
- débits variables selon le port
  - 1, 10, 100, 1000 Mbit/s

# Ethernet commuté

