

# **Réseaux informatiques**

~

## **Réseaux locaux – Ethernet – Wi-Fi**

- 1- Généralités
- 2- Ethernet
- 3- Autres réseaux locaux, Token Ring, FDDI
- 4- Réseaux locaux sans-fil - Wi-Fi

## ***Généralités sur les réseaux locaux***

- ◆ Les réseaux locaux couvrent les couches 1 et 2 du modèle OSI

7	<i>Application</i>
6	<i>Présentation</i>
5	<i>Session</i>
4	<i>Transport</i>
3	<i>Réseau</i>
<b>2</b>	<b>Liaison de données</b>
<b>1</b>	<b>Physique</b>

- ◆ Les réseaux locaux sont généralement multipoints:
  - ◆ les trames sont diffusés à tous: l'adresse de destination permet de vérifier que la station est bien destinataire
  - ◆ possibilité de faire du broadcast: une machine s'adresse à toutes avec une seule trame

# Principales catégories de réseaux locaux (1/2)

---

- ◆ Réseaux locaux informatiques :
  - ◆ Ethernet, d'origine Xerox, norme IEEE 802.3 (ou ISO 8802-3) et toutes ses variantes
  - ◆ Token Ring, d'origine IBM, norme IEEE 802.5
  - ◆ FDDI (Fiber Distributed Data Interface), proche de IEEE 802.5
  
- ◆ Réseaux locaux industriels:
  - ◆ Plus simples mais déterministe (support du temps réel)
  - ◆ Bus de terrain et capteurs industriels:
    - FIP (Factory Information Protocol),
    - PROFIBUS,
    - CAN (Controller Area Network) ISO11898,
    - etc...

## Principales catégories de réseaux locaux (2/2)

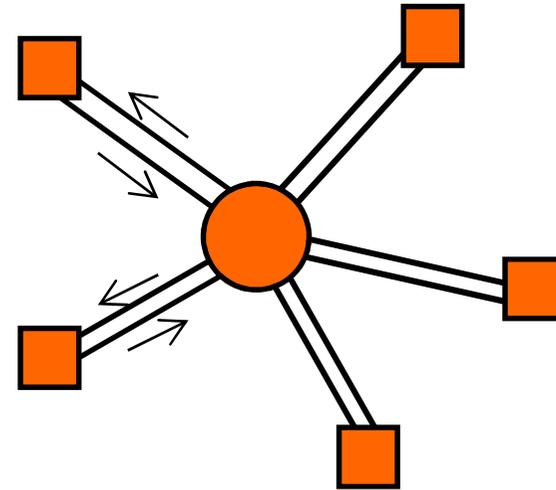
---

- ◆ Réseaux locaux sans-fils :
  - ◆ Wi-Fi, norme IEEE 802.11 et ses variantes
  - ◆ HiperLAN, norme européenne abandonnée
  
- ◆ Réseaux CPL (courants porteurs en ligne):
  - ◆ Utilisation du câblage électrique existant
  - ◆ Standard HomePlug (3 versions 14 Mb/s, 85 Mb/s, 200 Mb/s)
  - ◆ Norme IEEE 1901 depuis 2011 (500 Mb/s)
  
- ◆ Réseaux PAN/SAN sans-fils
  - ◆ Bluetooth (IEEE 802.15)
  - ◆ IEEE 802.15.4 et ZigBee

# Topologies de LAN (1/2)

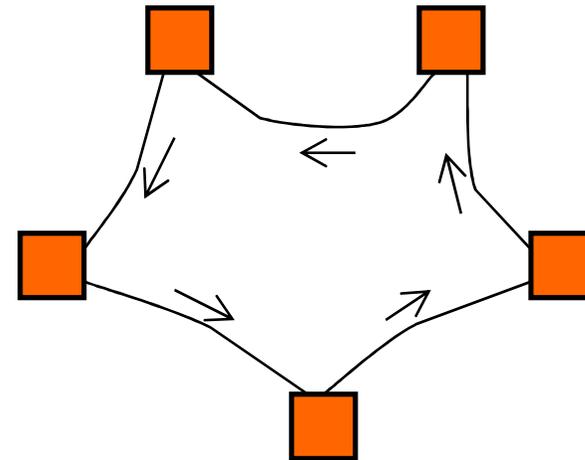
## ◆ Etoile:

- ◆ Utilise un équipement central qui rediffuse le signal :
  - hub,
  - commutateur (switch),
  - autocommutateurs/PABX [Private Automatic Branch Exchange]
- ◆ la seule utilisée par les WAN



## ◆ Anneau:

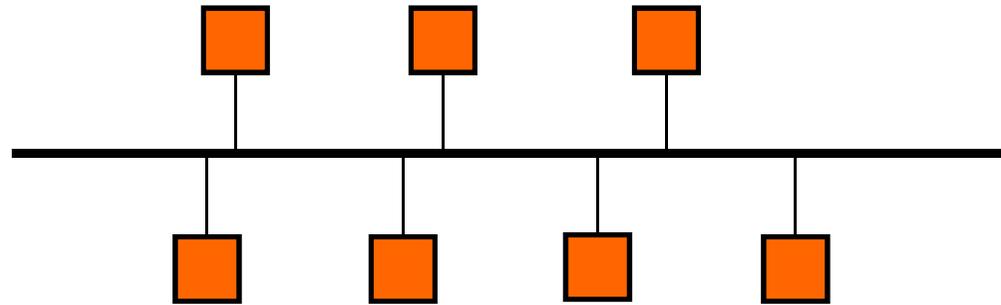
- ◆ Simple : chaque machine communique avec la suivante
- ◆ Double : Cf. FDDI



# Topologies de LAN (2/2)

- ◆ Bus:

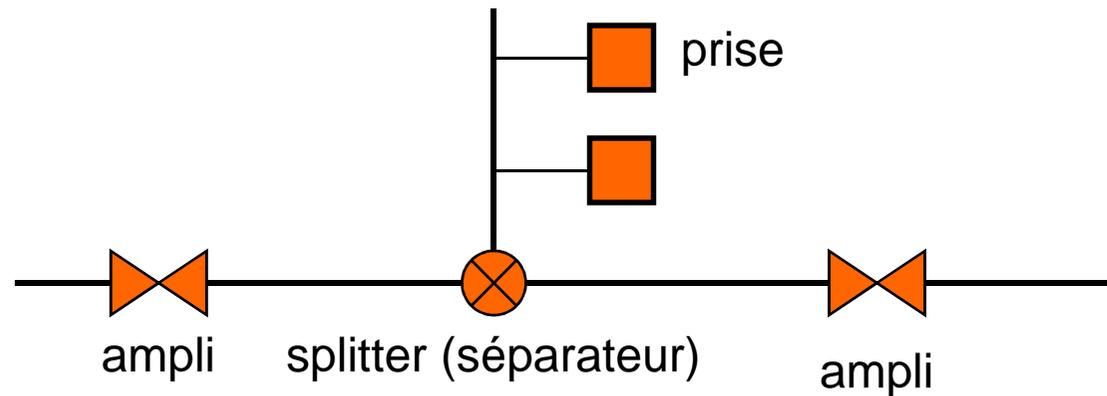
- ◆ simple →



- ◆ double (Cf. DQDB)

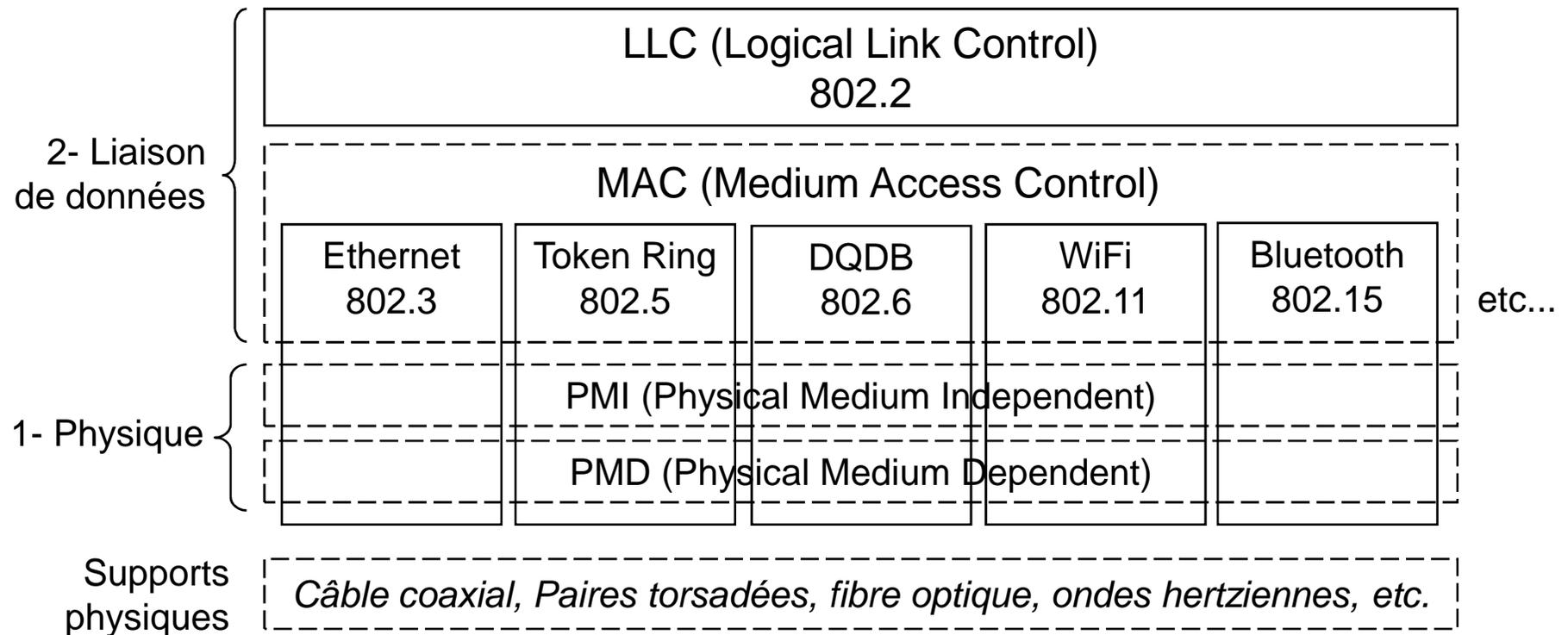
- ◆ CATV:

- ◆ télévision câblée



# Réseaux IEEE 802

- ◆ Normalisé par l'IEEE [Institute of Electrical and Electronics Engineers] et par l'ISO (normes 8802.x)
- ◆ Couvre les couches 1 et 2 du modèle OSI:
  - ◆ 4 sous-couches : LLC, MAC, PMI, PMD



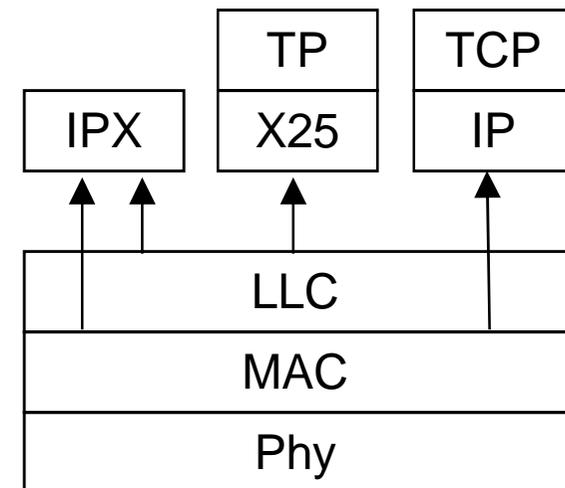
# Couche MAC

---

- ◆ MAC = Medium Access Control
- ◆ S'occupe de l'accès au médium de transmission
- ◆ Règle le problème du partage entre plusieurs stations:
  - ◆ Accès aléatoire:
    - CSMA/CD (802.3)= Ethernet
    - tout le monde peut essayer d'émettre et on règle après les collisions !
  - ◆ utilisation de jetons:
    - Jeton sur bus (802.4)= Token Bus,
    - Jeton sur anneau (802.5)= Token Ring
    - Pour émettre il faut détenir le jeton
  - ◆ File d'attente:
    - FIFO distribuée (802.6) = DQDB (Dual Queue Dual Bus)
- ◆ Adressage:
  - ◆ le même pour toutes les techniques: voir Ethernet

# Couche LLC

- ◆ LLC = Logical Link Control
- ◆ 3 versions:
  - ◆ sans connexion:
    - LLC1 : service d'échange non garanti
    - LLC3 : service d'échange avec accusé de réception
  - ◆ avec connexion:
    - LLC2 : service d'échange fiable
- ◆ Adresses:
  - ◆ adresses sources et destinations sur 8 bits
  - ◆ permettent d'identifier un protocole de niveau 3 (opération de multiplexage/démultiplexage)



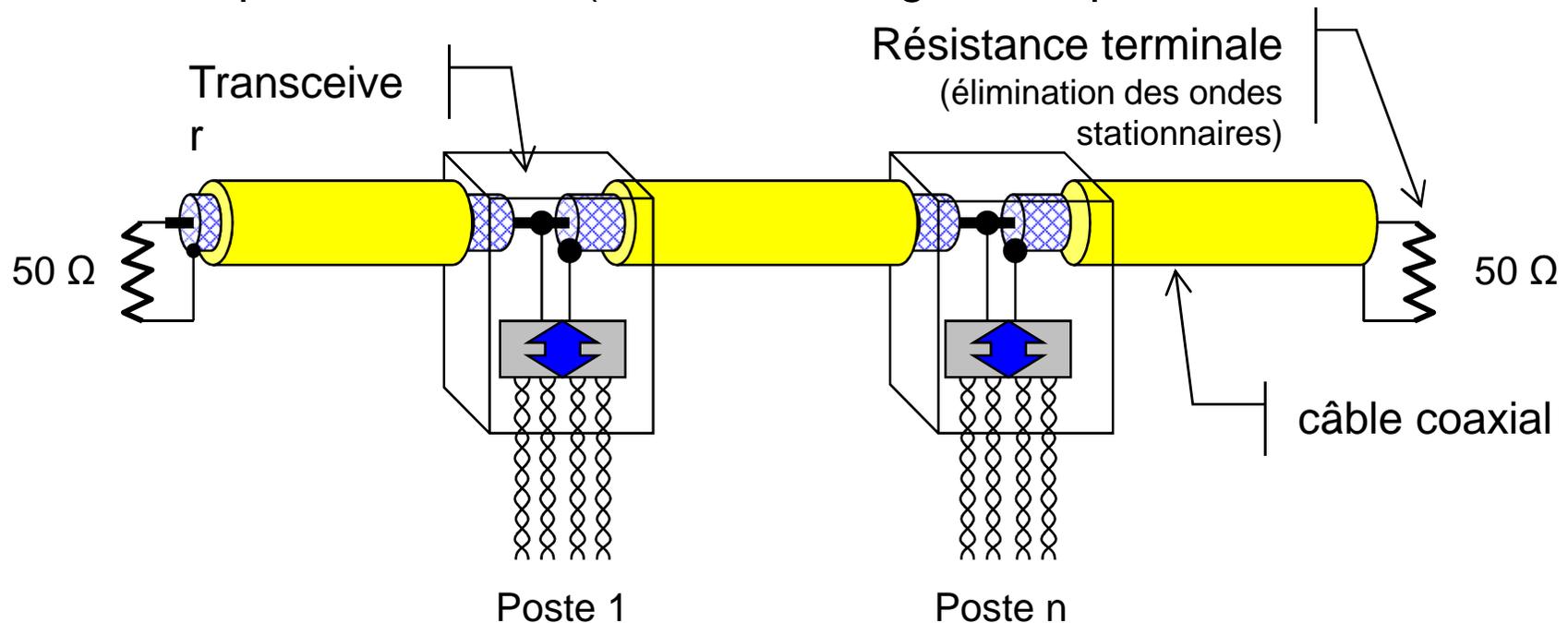
## *Ethernet*

---

- ◆ Développé par Digital, Intel et Xerox en 1980
- ◆ Normalisé par l'IEEE en 1985 : norme IEEE 802.3
- ◆ A l'origine:
  - ◆ Débit de 10 Mbits/s partagé par toutes les stations
  - ◆ Support physique : câble coaxial
  - ◆ Topologie en bus
- ◆ De nombreuses évolutions :
  - ◆ Passage à la topologie en étoile
  - ◆ Autres supports physiques : fibre optique, paires torsadées, etc.
  - ◆ Augmentation du débit : 100 Mbits/s, 1 Gbits/s, 10 Gbits/s
  - ◆ Le support n'est plus partagé → passage à la commutation
- ◆ Les « concurrents » sont pratiquement éliminés :  
Ethernet est aujourd'hui LE standard du réseau local

# Principe de fonctionnement originel

- ◆ Bus physique sur câble coaxial de  $50 \Omega$  :
  - ◆ Toutes les stations sont connectées en parallèle sur le même support physique: elles sont connectées par un transceiver qui adapte le signal pour le poste de travail
  - ◆ Toutes les stations reçoivent le trafic même les trames qui ne lui sont pas destinées ! (elles ne sont ignorées par la carte d'interface)



# Modulation

## ◆ Codage du signal :

### ◆ Codage Manchester:

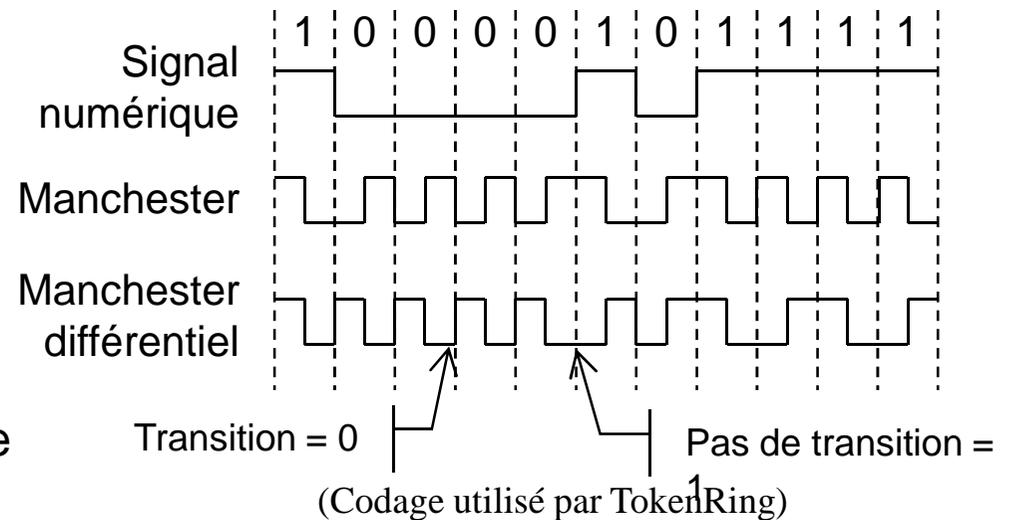
- Niveau 0 : transition
- Niveau 1 : transition

### ◆ Tensions :

- +0,85 V / -0,85 V
- Composante continue nulle

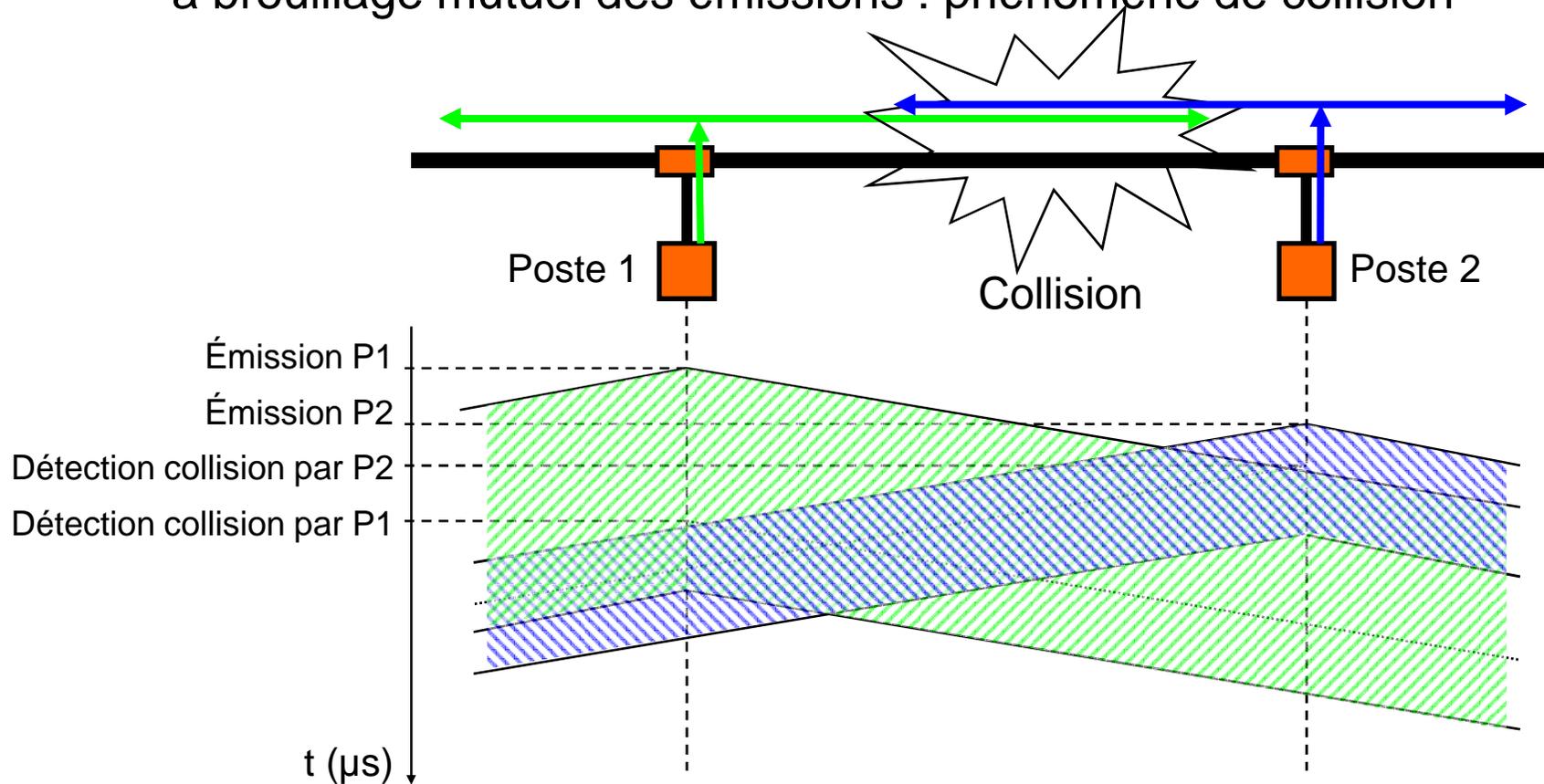
## ◆ Remarques :

- ◆ Cette modulation est sous-optimale : 20 Mbaud !
- ◆ En cas d'inversion de la connexion, les bits 0 et 1 sont inversés !
  - Ce n'est pas le cas du Manchester différentiel
- ◆ Ce codage est réalisé par le transceiver



# Problème de collision

- ◆ Le support est partagé:
  - ◆ Une seule station peut émettre à un instant donné
  - ◆ Il se peut que 2 stations émettent en même temps ; dans ce cas il y a brouillage mutuel des émissions : phénomène de collision



# CSMA/CD

---

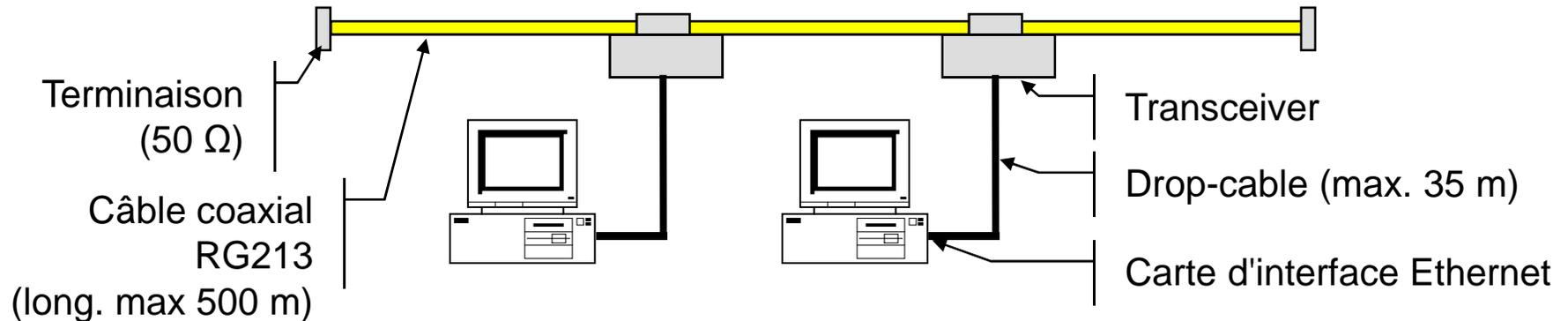
- ◆ CSMA/CD [Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection]
  - ◆ Accès multiple après écoute de la porteuse et avec détection de collision
- ◆ Principe :
  - ◆ Chaque poste qui veut émettre teste la présence d'un signal ("porteuse") et essaie de détecter un silence supérieur à  $9,6 \mu\text{s}$
  - ◆ Après ce silence, il peut émettre une trame de taille bornée
  - ◆ Si plusieurs postes émettent en même temps : collision; elle est détectée et maintenue (jam) pendant un certain temps ( $51,2 \mu\text{s}$ ) avant de cesser l'émission.  
But: être sûr que toutes les postes ont vu la collision
  - ◆ L'émission est reprise après un temps aléatoire  $T = r * 51,2 \mu\text{s}$ , où  $r$  est choisi aléatoirement tel que:  $0 \leq r < 2^k$ , avec  $k = \min(n, 10)$  et  $n = \text{nombre de collisions déjà effectuées}$
  - ◆ Nombre d'essais max = 16.

NB: temps donnés pour débit de 10 Mbits/s

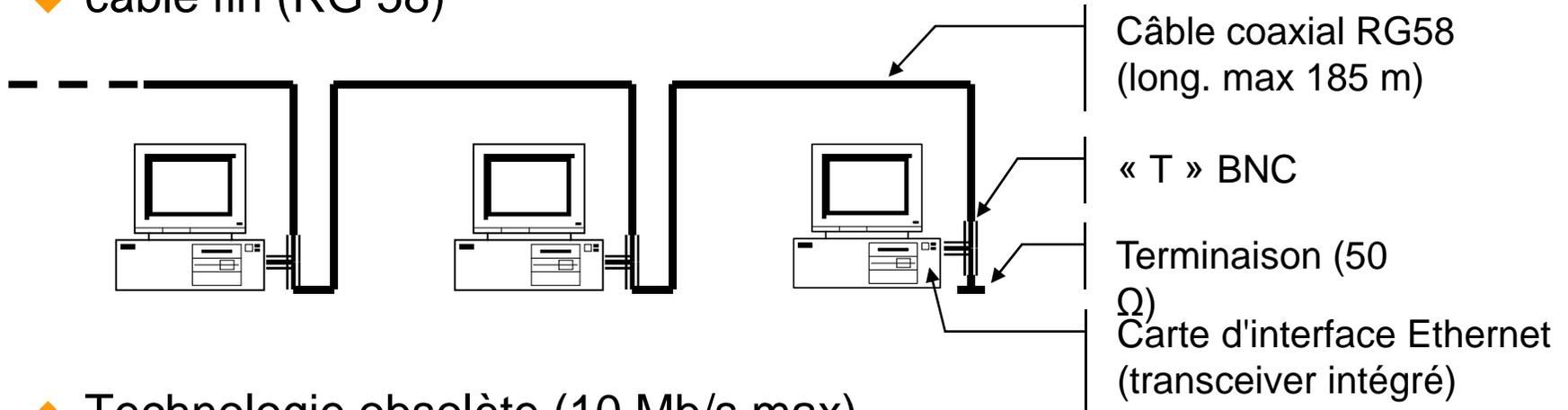
# Supports physiques d'Ethernet (1/3)

- ◆ Câble coaxial:

- ◆ câble épais (RG 213) dit « câble jaune »



- ◆ câble fin (RG 58)

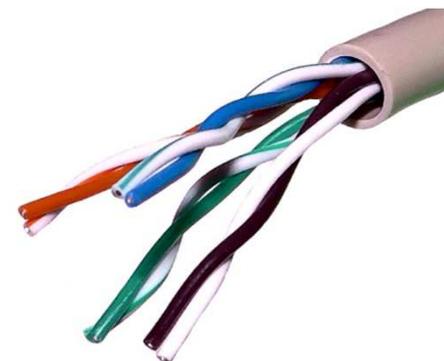


- ◆ Technologie obsolète (10 Mb/s max)

## Supports physiques d'Ethernet (2/3)

- ◆ Paire torsadée:

- ◆ Utilise des câbles non-blindés (UTP) de catégorie 3 ou catégorie 5 ou des câbles blindés (STP)

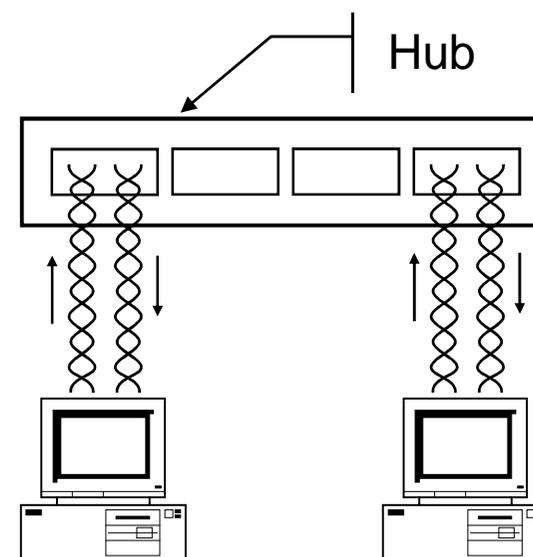


- ◆ Connecteur : RJ45 à 8 contacts



- ◆ Topologie : étoile avec répéteur actif (hub):

- 2 liaisons point-à-point (1 par direction) entre hub et station
- 100 m max. entre station et hub !
- Simule le fonctionnement du bus : le signal arrivant sur une entrée est recopié sur toutes les autres sorties

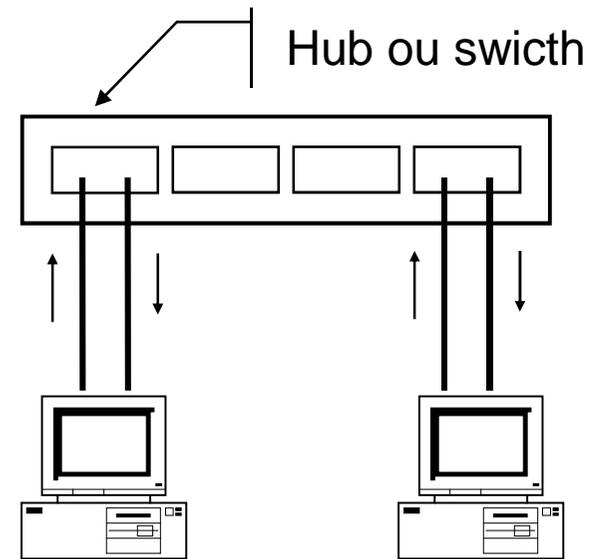


# Supports physiques d'Ethernet (3/3)

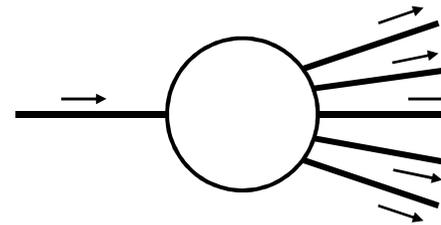
- ◆ Fibre optique:
  - ◆ fibres multimodes ou monomodes

- ◆ topologie:

- étoile active avec :
  - Répéteur (hub)
  - Commutateur (switch)



- étoile passive optique



## Principales variantes d'Ethernet (1/2)

<i>Débit</i>	<i>nom</i>	<i>médium</i>	<i>Long max du segment</i>	<i>Date (norme)</i>
1 Mb/s	1 base 5	UTP cat. 3	250 m ?	1987 (802.3e)
10 Mb/s	10 base 5	Coaxial gros	500 m	1983
	10 base 2	Coaxial fin	185 m	1985 (802.3a)
	10 base T	UTP cat. 3, STP	100 m	1990 (802.3i)
	10 base FB, FL	MMF	2 km	FOIRL, 1987 (802.3d)
	10 base FP	MMF, étoile passive	500 m	1993 (802.3j)
100 Mb/s	100 base TX	UTP cat. 5, STP	100 m	1995 (802.2u)
	100 base T4	UTP cat. 3 (4 paires)	100 m	
	100 base FX	MMF 62,5 $\mu$ / 50 $\mu$	400 m / 2 km	
	100 base T2	UTP cat. 3 (2 paires)	100 m	1997 (802.2y)
1 Gb/s	1000 base SX	MMF 62,5 $\mu$ / MMF 50 $\mu$	220 - 275 m / 500 - 550 m	1998 (802.3z)
	1000 base LX	MMF / SMF	550 m / 5000 m	
	1000 base CX	STP	25 m	
	1000 base T	UTP cat. 5 (4 paires)	100 m	1999 (802.3ab)

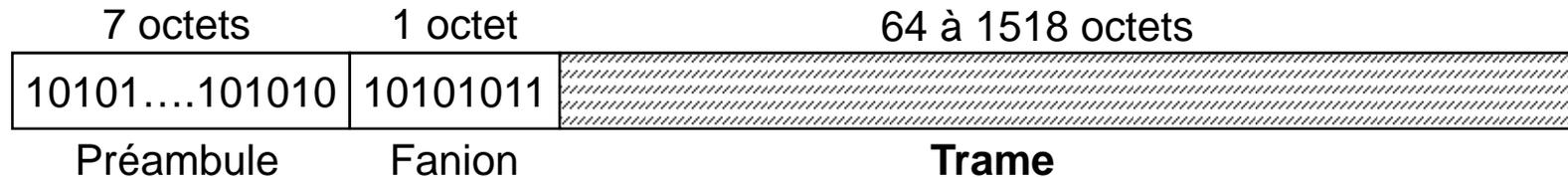
MMF=multi mode fiber; SMF=single mode fiber; STP=shielded twisted pair; UTP=unshielded twisted pair

## Principales variantes d'Ethernet (2/2)

<i>Débit</i>	<i>nom</i>	<i>médium</i>	<i>Long max du segment</i>	<i>Norme/date</i>
10 Gb/s	10G base SR	MMF 62,5 $\mu$ / 50 $\mu$ OM3	33 / 300 m	2002 (802.3ae)
	10G base LX4	MMF/SMF (4 $\lambda$ 2,5Gb/s)	240 m / 10 km	
	10G base LR / ER	SMF	10 km / 40 km	
	10G base SW,LW,EW	<i>réutilisation de liaison SDH OC192</i>		2002 (802.3ae)
	10G base CX4	STP (4 paires x 2)	10 m	2004 (802.3ak)
	10G base T	UTP cat. 6A/7 (4 paires)	100 m	2006 (802.3an)
	10G base LRM	MMF	220 m	2006 (802.3aq)
	10G base KX4 / KR	Back-plane (8 ou 2 pistes)	1 m	2007 (802.3ap)
40 et 100 Gb/s	40G base KR	Back-plane (4x10GbKR)	1 m	2010 (802.3ba)
	40G base CR4 100G base CR10	STP (4 ou 10 paires x 2)	10 m	
	40G base SR4 100G base SR10	MMF 50 $\mu$ OM3 / OM4 (4 ou 10 fibres x2)	100 m / 125 m	
	40G base LR4	SMF (4 $\lambda$ 10 Gb/s)	10 km	
	100G base LR4/ER4	SMF (4 $\lambda$ 25 Gb/s)	10 km / 40 km	
	40G base FR	SMF (1 $\lambda$ )	2 km	
				2011 (802.3bg)

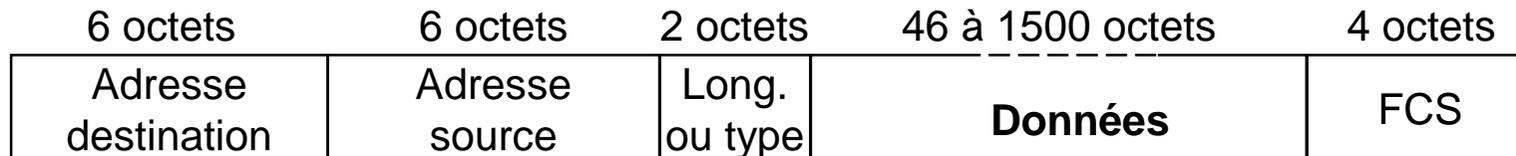
MMF=multi mode fiber; SMF=single mode fiber; STP=shielded twisted pair; UTP=unshielded twisted pair

# Trame Ethernet (1/2)



- ◆ Préambule : succession de 101010...
  - permet de resynchroniser les horloges des stations réceptrices
- ◆ Fanion : 10101011
  - signale le début de la trame

## ◆ Trame :



- ◆ Champs d'adresses: 2 champs identifient
  - ◆ le récepteur (ou destination)
  - ◆ l'émetteur (ou source)

## Trame Ethernet (2/2)

---

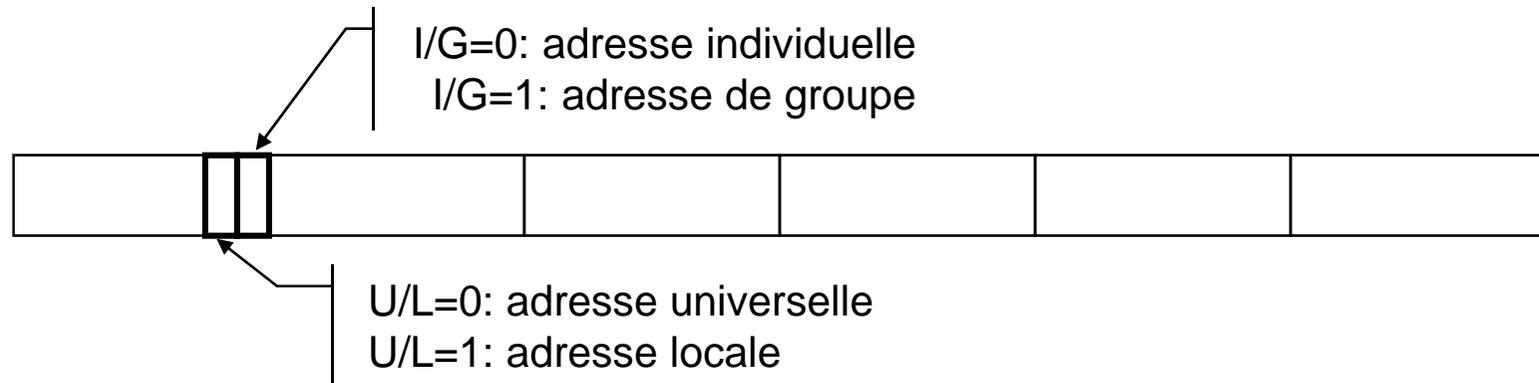
- ◆ Champ longueur ou type:
  - ◆ dans la version IEEE 802.3:
    - indique la longueur du champ de données en octets
  - ◆ dans la version Ethernet originelle:
    - indique le type de contenu (exemple pour IP: 0x0800)

Voir la liste des types sur :  
<http://standards.ieee.org/regauth/ethertype/index.shtml>

- ◆ Champ de données:
  - ◆ minimum 46 octets :  
si pas assez de données on met du bourrage (octets à 0)
  - ◆ maximum 1500 octets, pour être sûr de ne pas monopoliser la parole sur le réseau !
- ◆ Champ FCS (Frame Check Sequence)
  - ◆ total de contrôle permettant de détecter des erreurs de transmission
  - ◆ calculé sur l'ensemble de la trame (sauf préambule et fanion)

# Adressage (1/2)

- ◆ Format des adresses longues :
  - ◆ Adresses sur 48 bits (6 octets) avec 2 bits spéciaux :



- ◆ Notation en base hexadécimale : 00 : 10 : 4B : F0 : 7E : 9F
  - ◆ chaque octet est séparé par 2 points
- ◆ Ces adresses sont utilisées par les autres réseaux 802.x
  - ➔ Adresses MAC (Medium Access Control)
- ◆ NB : Il existe aussi un format d'adresses courtes sur 2 octets

## Adressage (2/2)

- ◆ Adresses universelles individuelles (U/L=0, /GI=0) :

- ◆ les 3 premiers octets sont attribués par l'IEEE à chaque constructeur
- ◆ les 3 derniers octets sont attribués par le constructeur comme il le veut (pourvu que le numéro soit unique !)
- ◆ 2 machines dans le monde n'ont jamais la même adresse !

00 : 10 : 4B : F0 : 7E : 9F  
└──────────┬──────────┘  
Constructeur N° de  
ur= 3COM série

Voir la liste des codes sur :  
<http://standards.ieee.org/regauth/oui/>

- ◆ Adresses de groupe (I/G=1) :

- ◆ adresse de broadcast: FF : FF : FF : FF : FF : FF  
permet de s'adresser à TOUTES les machines du réseau local
- ◆ adresses multicast: exemple: 01 : 00 : 5E : 00 : 00 : 00  
permet de s'adresser à un groupe de machines sur le réseau

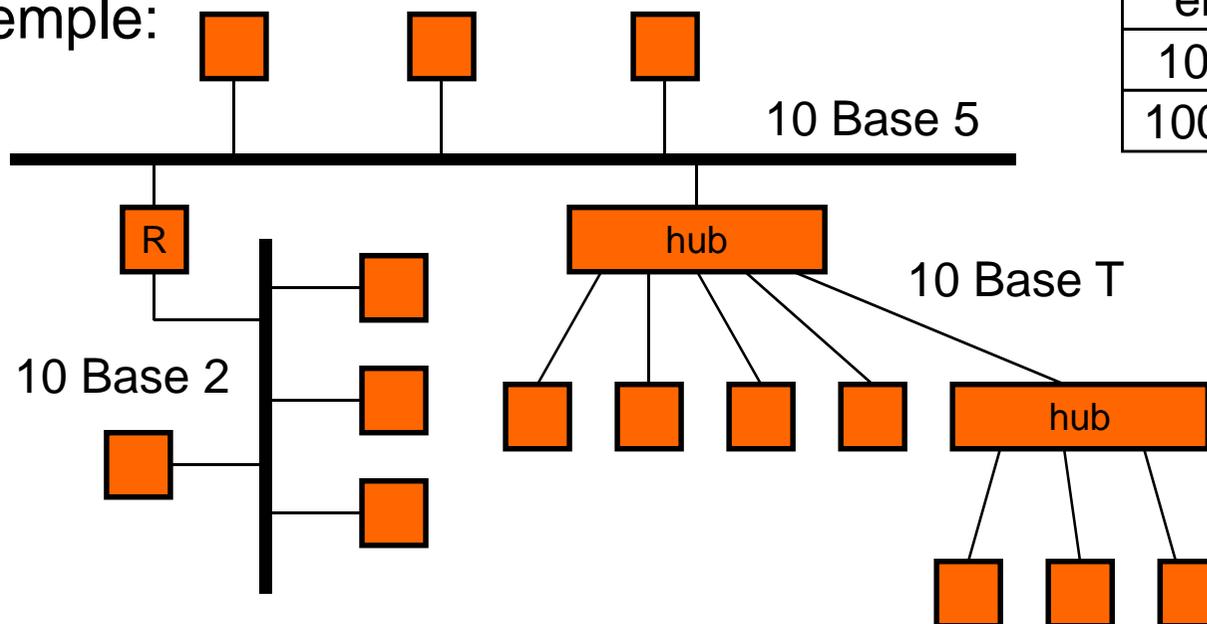
- ◆ Adresses locales (U/L=1) : (peu utilisé en pratique)

- ◆ Elles sont attribuées par l'administrateur localement

# Interconnexion au niveau 1 (physique)

- ◆ Répéteurs et hubs:
  - ◆ au niveau physique (niveau 1 du modèle OSI)
  - ◆ ré-amplifie le signal ==> même domaine de collision
  - ◆ permet d'augmenter les distances et le nombre de machines
  - ◆ les hubs des réseaux 10 Base T et 100 Base T sont des répéteurs
  - ◆ au maximum 4 niveaux de répéteurs

◆ Exemple:

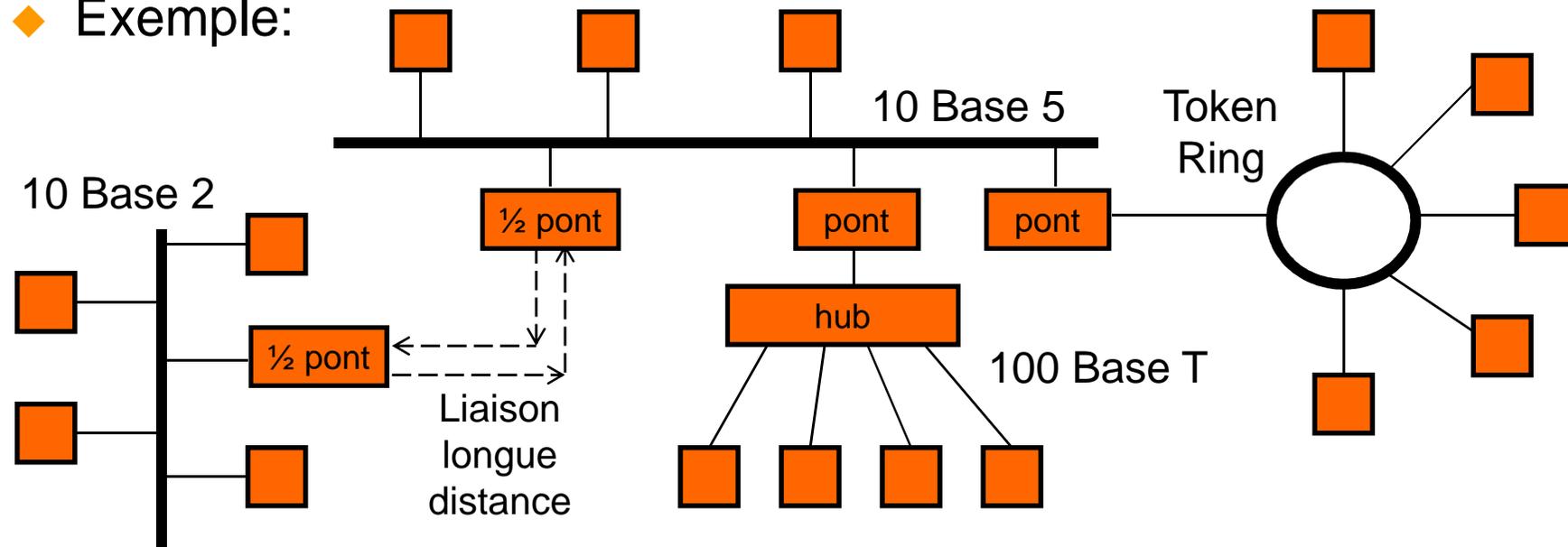


Distance maximale entre 2 postes qcq	
10 Mbits/s	2500 m
100 Mbits/s	250 m

# Interconnexion au niveau 2 (Liaison de données) (1/3)

- ◆ Pont :
  - ◆ Au niveau MAC (niveau 2 du modèle OSI)
  - ◆ reçoit et renvoie les trames (mémoires tampons [buffers])
  - ◆ ne propage pas les collisions ni les trames avec erreur
  - ◆ permet de changer de débits ou d'interconnecter des réseaux Ethernet avec du Token Ring

- ◆ Exemple:

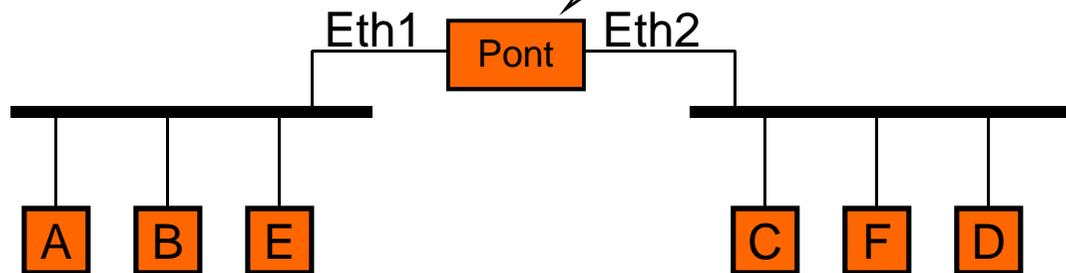


# Interconnexion au niveau 2 (Liaison de données) (2/3)

- ◆ Pont filtrant :
  - ◆ En plus, il assure le filtrage des trames reçues pour ne retransmettre que les trames qui sont sur un segment différent
  - ◆ Principe :

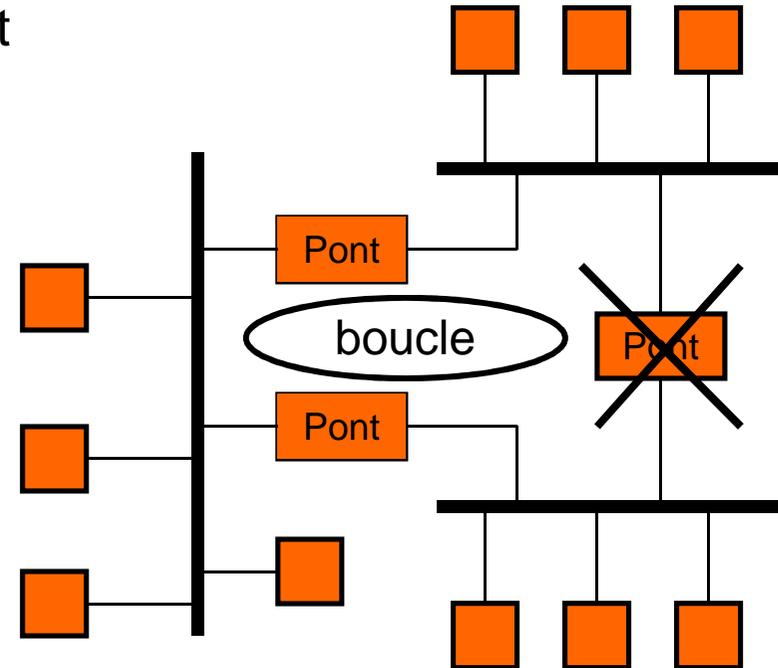
- Gestion d'une table de commutation interne : apprentissage automatique avec les adresses sources des paquets
- Si la destination n'est pas dans la table alors la trame est envoyée sur toutes les interfaces

<i>Destination</i>	<i>interface</i>	<i>age</i>
A	Eth1	151
B	Eth1	100
C	Eth2	254
D	Eth2	600
E	Eth1	115
F	Eth2	28



## Interconnexion au niveau 2 (Liaison de données) (3/3)

- ◆ Pont d'arbre recouvrant :
  - ◆ Un algorithme d'arbre recouvrant (STP=spanning tree protocol) permet d'éviter les boucles
  - ◆ Certains ports sont inactifs; ils prennent le relais en cas de panne
  - ◆ Problème : algo lent à converger (30 s. à 1 min.)
  - ◆ Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) : amélioration (convergence en 6 s.)



# Commutateur

- ◆ Commutateur = pont filtrant + arbre recouvrant

- ◆ Fonction d'acheminement :

- ◆ Retransmission des trames entrantes vers une ou plusieurs sorties

- ◆ 2 modes possibles :

- **Store and forward** : la trame est entièrement reçue dans le **buffer** avant d'être retransmise

- **Cut-through** : la trame est retransmise le plus tôt possible

- ◆ Fonction de commutation :

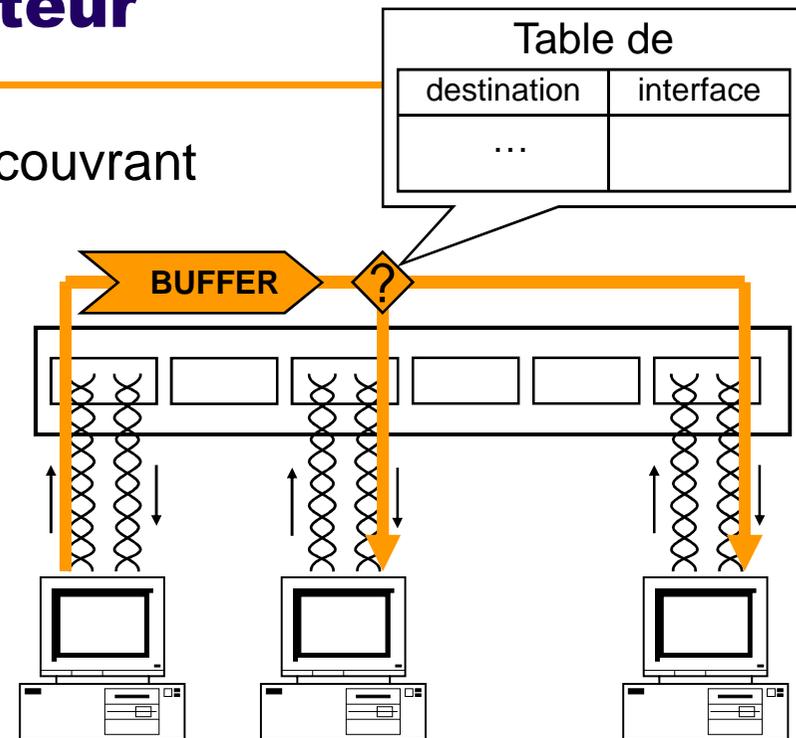
- ◆ La trame n'est copiée que sur la sortie de la machine **destination**

- ◆ Une **table de commutation** est construite par apprentissage automatique des adresses des équipements en écoutant leurs **émissions**

- ◆ Remarques :

- les trames de broadcast sont toujours copiées sur toutes les sorties

- Les trames destinées à des adresses qui ne sont pas dans la table de commutation sont broadcastées



# Réseau Ethernet commuté (1/2)

## ◆ Architecture en étoile :

### ◆ Un **commutateur** relie des équipements :

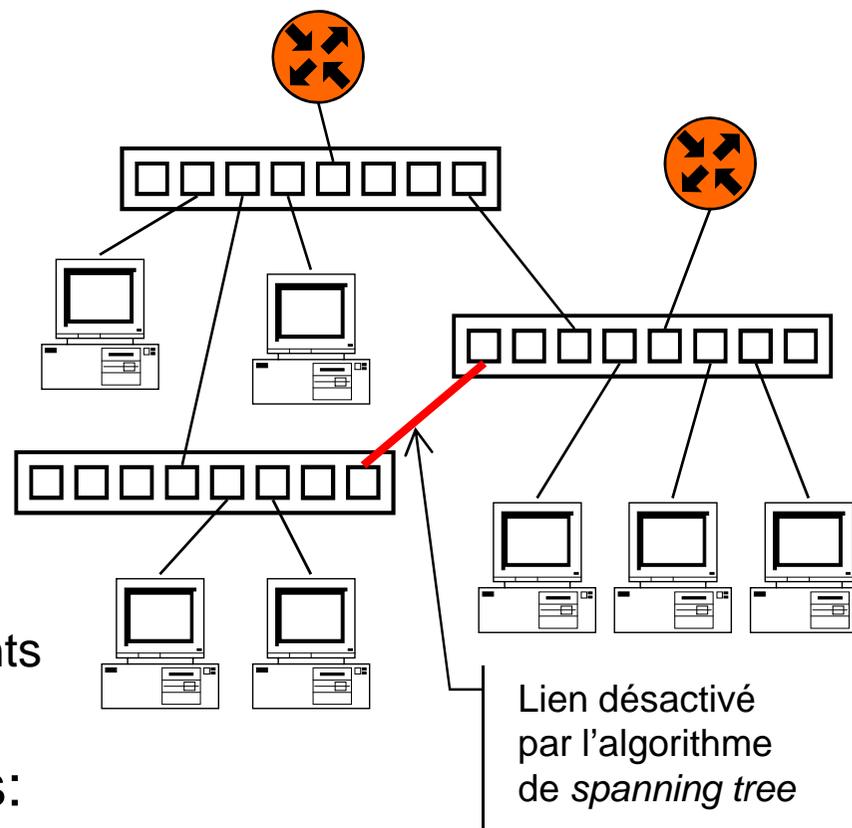
- Equipements terminaux (ordinateurs, imprimantes, etc.)
- Equipements d'interconnexion de niveau 3 : routeurs, etc. (voir chap. suivant...)

### ◆ Les commutateurs sont « cascadables » pour :

- Étendre le nombre d'équipements
- Étendre la taille du réseau

## ◆ Des boucles sont possibles mais:

- ◆ L'algorithme de *spanning tree* désactive les liaisons redondantes afin de toujours obtenir un arbre
- ◆ Ces liens peuvent redevenir actif en cas de panne de commutateur ou de coupures de liens



## Réseau Ethernet commuté (2/2)

### ◆ Liaisons half-duplex / full-duplex:

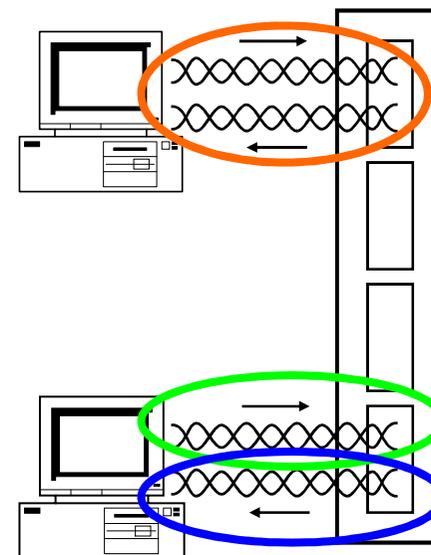
- ◆ Liaison half-duplex : les deux extrémités de la liaison peuvent théoriquement entrer en collision car elles sont sur le même segment Ethernet

- ◆ Une liaison full-duplex sépare totalement le canal aller du canal retour : 2 segments avec 1 émetteur / 1 récepteur par segment

- il n'y a plus de collision !

- Réception ET émission simultanée (débit théoriquement doublé)

- La longueur maximale du segment n'est plus limitée en théorie

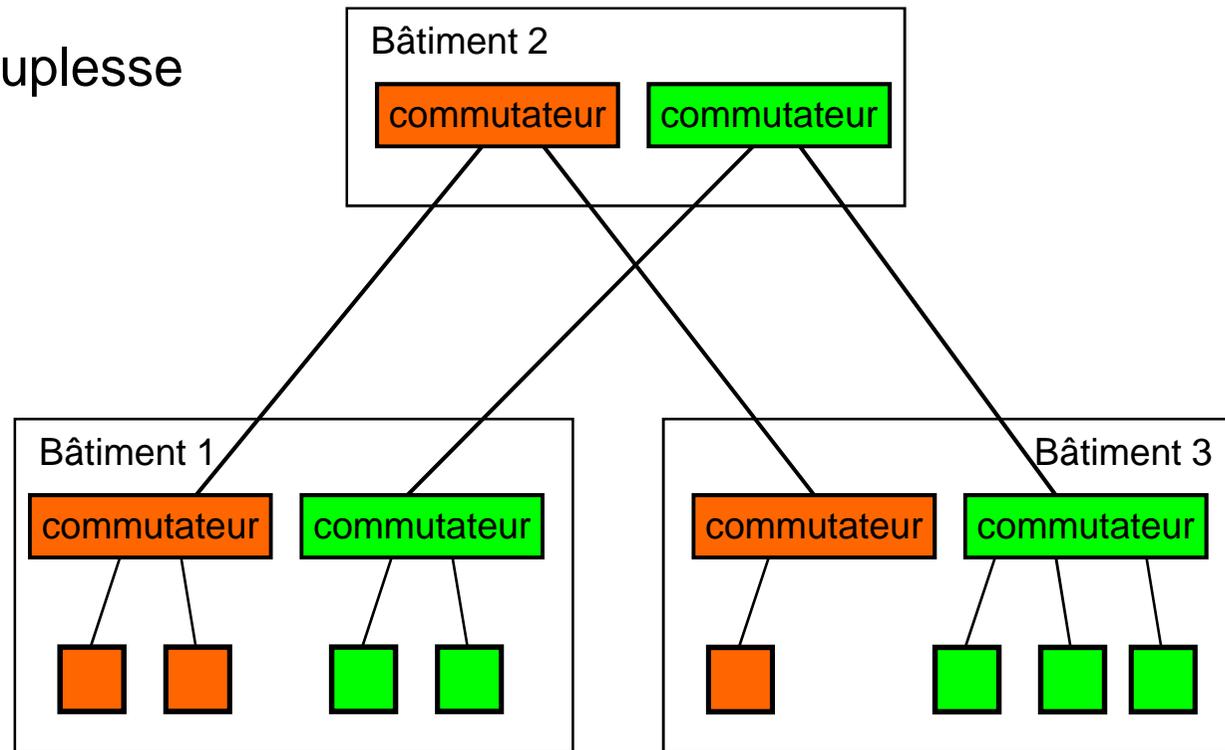


- ◆ Architecture Ethernet commutée désormais obligatoire :

- ◆ CSMA/CD n'est plus supporté pour le 10Gbit et au-delà !

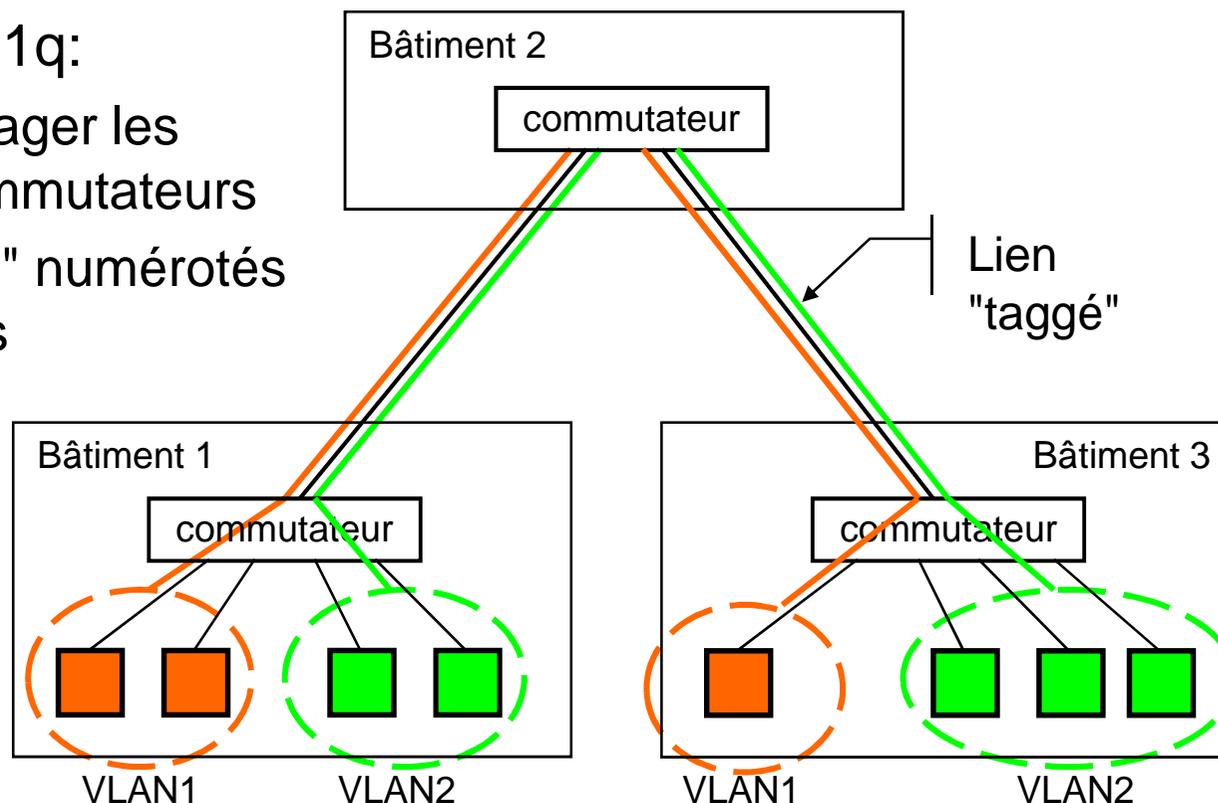
## Notion de VLAN (1/3)

- ◆ VLAN [Virtual LAN] : réseau local virtuel
- ◆ Problème : si on veut séparer les machines sur plusieurs réseaux indépendants il faut dupliquer les équipements :
  - ◆ Coût élevé
  - ◆ Manque de souplesse



## Notion de VLAN (2/3)

- ◆ Principe du VLAN :
  - ◆ sur un même réseau physique simuler plusieurs réseaux locaux logiques totalement indépendants
  - ◆ Ne fonctionne que sur des réseaux Ethernet commutés
- ◆ Norme IEEE 802.1q:
  - ◆ permet de propager les VLAN entre commutateurs
  - ◆ utilise des "tags" numérotés (12 bits) ajoutés dans l'en-tête des trames



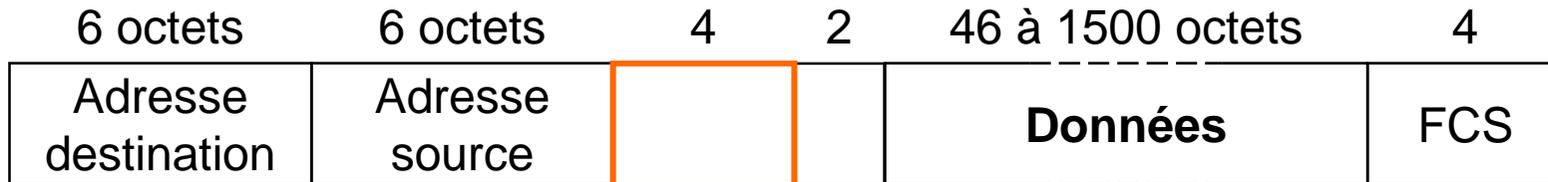
## Notion de VLAN (3/3)

---

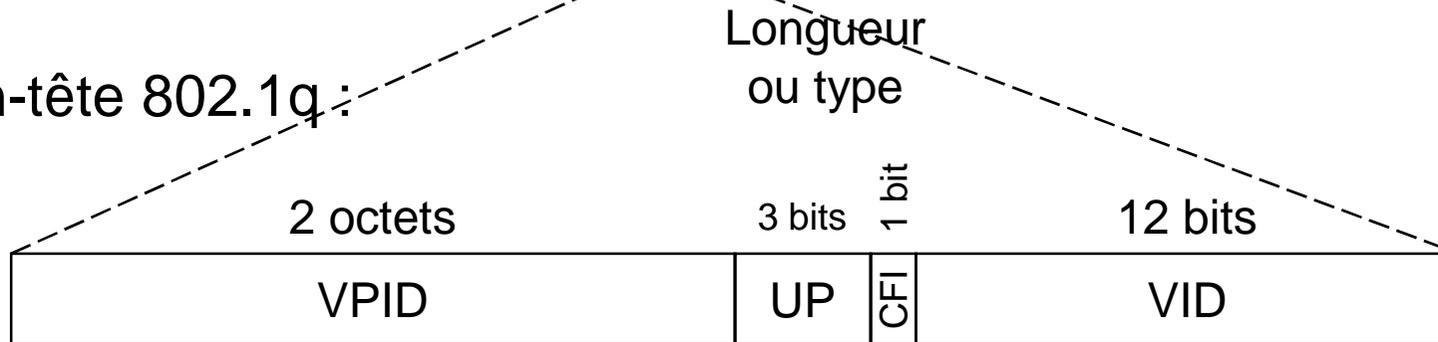
- ◆ On distingue 3 types de VLAN :
  - ◆ VLAN de niveau 1 :
    - chaque port du commutateur est associé à un VLAN
    - l'appartenance d'une machine au VLAN est donc déterminée par la connexion à ce port
  - ◆ VLAN de niveau 2 :
    - chaque adresse MAC est associé à un VLAN
    - Si la station est déplacé physiquement sur le réseau elle reste sur le même VLAN
  - ◆ VLAN de niveau 3 :
    - l'association au VLAN se fait en fonction du protocole de niveau 3

# Propagation des VLAN - Trames 802.1q

- ◆ En-tête trame Ethernet modifié :



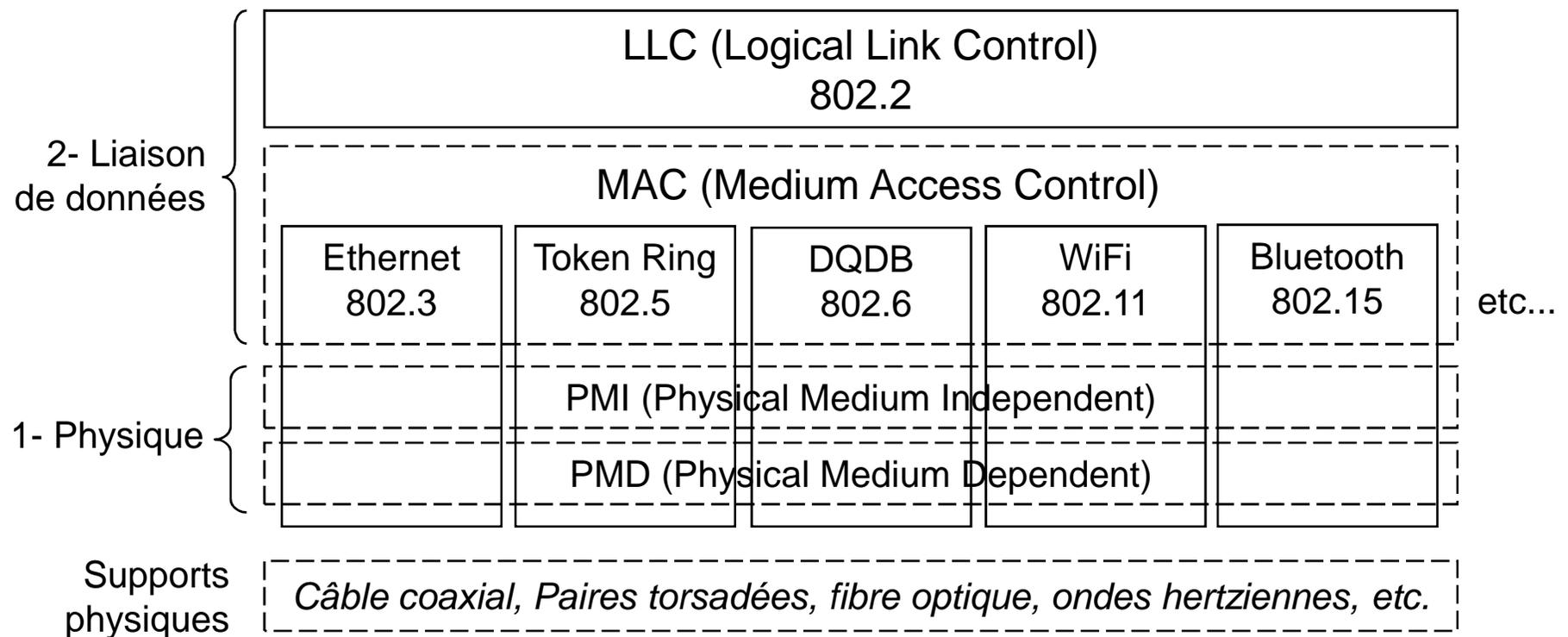
- ◆ En-tête 802.1q :



- ◆ VPID [VLAN Protocol Identifier] = 0x8100
- ◆ UP [User priority] : 8 niveaux de priorité 802.1p
- ◆ CFI [Canonical Format Identifier]
- ◆ VID [VLAN Identifier] : n° du VLAN (de 0 à 4095)
- ◆ Remarque : la longueur maximale de trame passe à 1522 octets

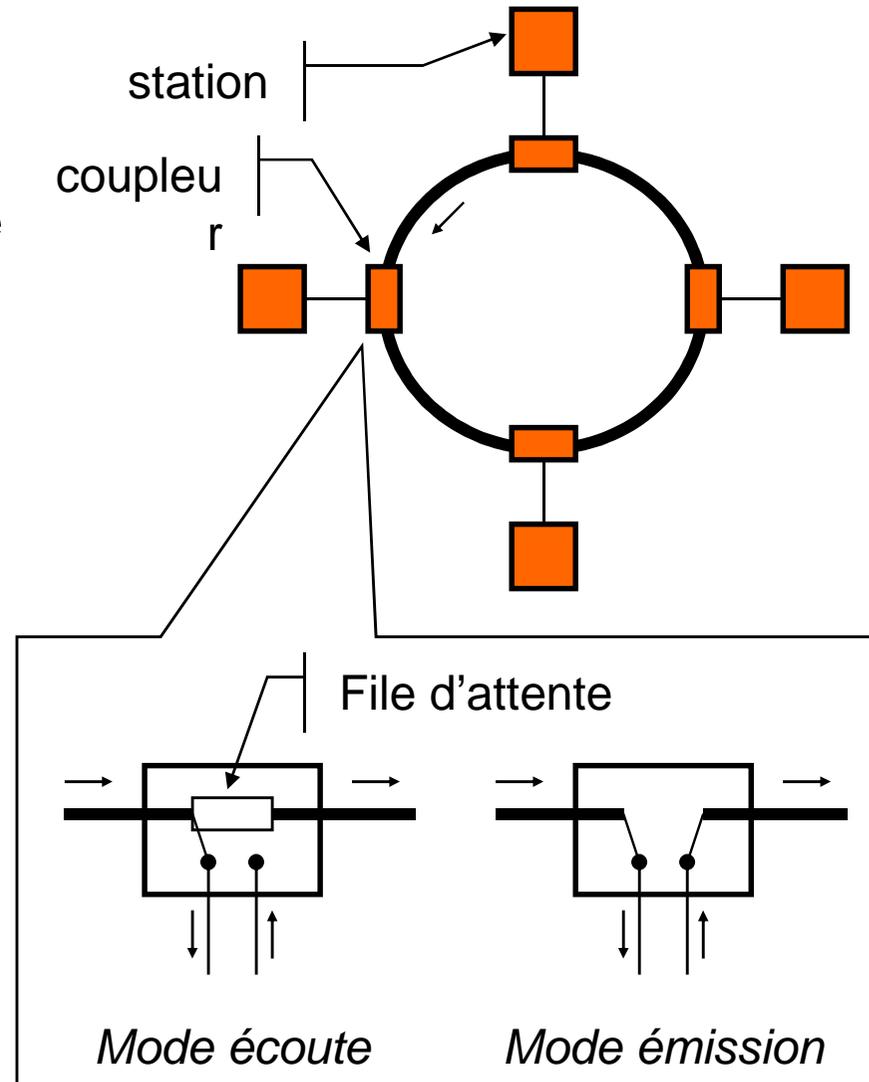
## Autres réseaux locaux filaires

- ◆ Nombreuses normes 802.x
- ◆ Rappel :
  - ◆ 4 sous-couches : LLC, MAC, PMI, PMD



# Token Ring – IEEE 802.5 (1/2)

- ◆ Conçu par IBM (Zürich), 1985
- ◆ Réseau en anneau:
  - ◆ Chaque machine est connectée à la suivante
  - ◆ un jeton parcourt l'anneau
    - T=0 : jeton libre
    - T=1 : jeton indisponible
  - ◆ toute station doit prendre le jeton (T=1) pour émettre
  - ◆ après émission d'une trame de longueur bornée (10 ms max par défaut), elle rend le jeton (T=0)



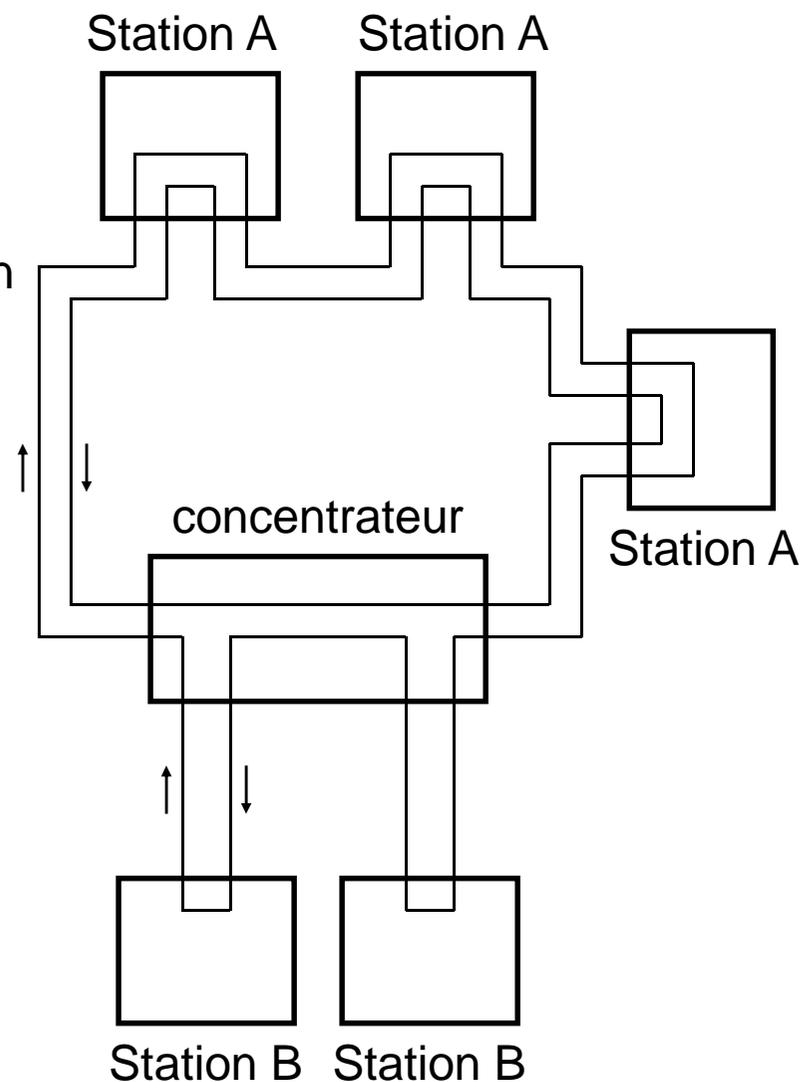
## Token Ring – IEEE 802.5 (2/2)

---

- ◆ Débits:
  - ◆ 4 Mbits/s : trame unique
  - ◆ 16 et 100 Mbits/s : plusieurs jetons sur le support (pour améliorer le débit) mais un seul libre au max.
- ◆ Avantage:
  - ◆ plus déterministe que Ethernet
- ◆ Inconvénients:
  - ◆ perte du jeton:
    - Nécessité d'un moniteur contrôlant le réseau et régénérant un jeton au besoin
  - ◆ complexité de l'interconnexion
    - Utilisation de relais permettant de connecter 2 anneaux + protocole de *source-routing*

# FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

- ◆ Norme: ISO 9314
- ◆ Caractéristiques:
  - ◆ Réseau en double anneau
    - en cas de rupture, reconfiguration automatique en anneau simple
  - ◆ anneau à jeton
  - ◆ fibre optique multimode ou monomode
  - ◆ débit: 100 Mbits/s
  - ◆ nb stations max:
    - 1000 stations B ou
    - 500 stations A
  - ◆ longueur max: 200 km
- ◆ CDDI (Copper Dist. Data Interf.):
  - ◆ variante sur paire torsadée

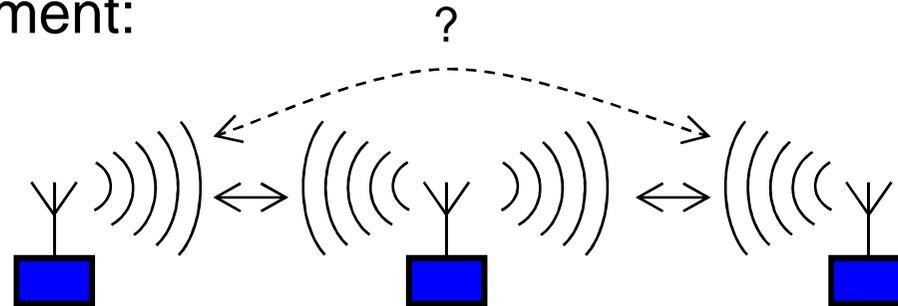


## Réseaux locaux sans-fil - Wi-Fi

- ◆ Nouvelle version de réseau local utilisant des liaisons sans fil
- ◆ Deux modes de fonctionnement:

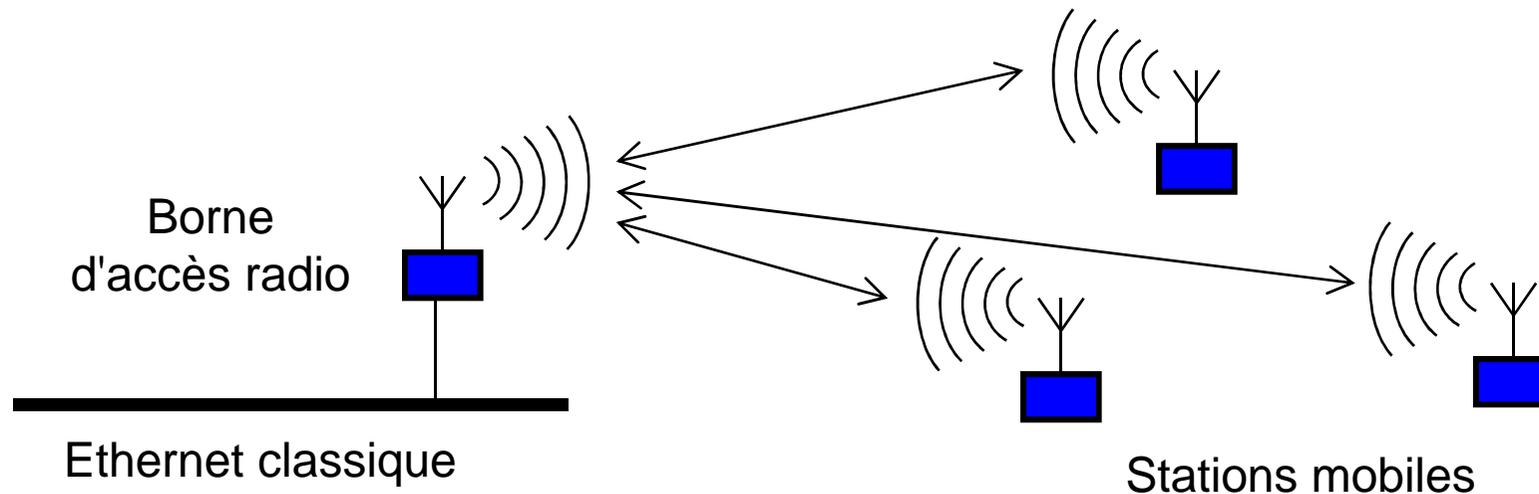
- ◆ Mode ad hoc:

- Communication directe mais problème de stations non visibles



- ◆ Mode avec point d'accès:

- la borne d'accès agit comme un hub



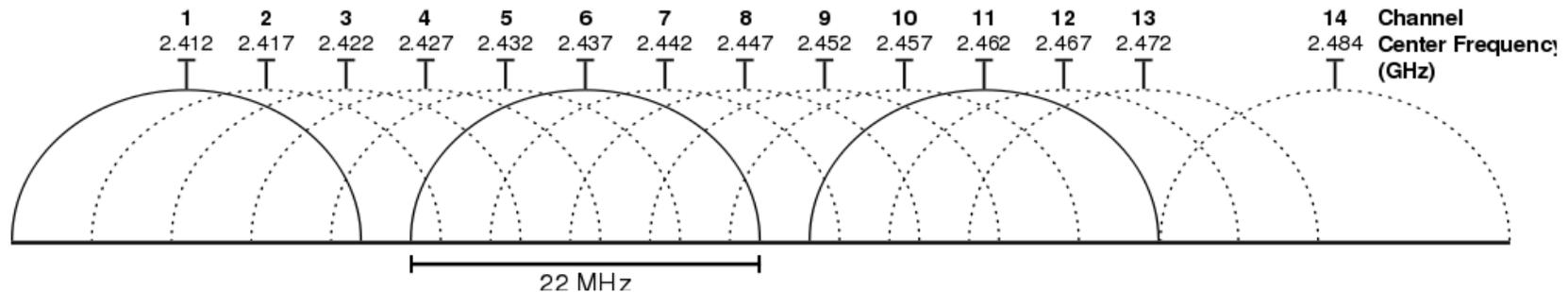
# IEEE 802.11

---

- ◆ Supports de transmission:
  - ◆ liaisons infra-rouges 1 et 2 Mbit/s (pas utilisé en pratique)
  - ◆ liaisons hertziennes:
    - FHSS [Frequency-hopping spread spectrum], 1 et 2 Mbits/s
    - DSSS [Direct-sequence spread spectrum], 1 et 2 Mbits/s
    - HR-DSSS [High Rate DSSS], 5,5 et 11 Mbits/s
    - OFDM [Orthogonal Frequency Division Multiplexing], 5, 12, 24 ou 9, 18, 36 et 54 Mbits/s
- ◆ Nouvelle couche MAC:
  - ◆ Utilisation de la technique CSMA/CA [Collision Avoidance] car la technique CD [Collision Detection] n'est pas utilisable
  - ◆ Chaque trame doit être acquittée, d'où introduction d'un délai et le délai est variable selon la distance à la borne
  - ◆ Nouvelle trame avec octets pour acquittement et synchro

# Bandes de fréquences et canaux

- ◆ Bande ISM (2400-2484 MHz)
  - ◆ Canaux de 22 Mhz espacés de 5 Mhz → Fort recouvrement
    - Canaux 12 et 13 non-utilisables aux USA et 14 seulement au japon



source: Wikimedia

- ◆ Bande des 5 Ghz
  - ◆ Canaux de 20 Mhz espacés de 5 Mhz
  - ◆ Plan de fréquence compliqué en fonction du pays
    - Pour Europe, US, Japon :
      - 13 canaux communs entre 5180 MHz (36) et 5580 Mhz (116)

## Variantes de 802.11 (1/3)

---

- ◆ IEEE 802.11b:
  - ◆ Fonctionne sur la bande 2,4 - 2,4835 Ghz
  - ◆ 13 canaux définis mais:
    - Tous ne pas utilisables selon les pays
    - Recouvrement partiel des canaux
  - ◆ Utilise DSSS et HR-DSSS
  - ◆ la portée maximale dépend du débit :

<i>Débit</i>	<i>Distance max</i>
11 Mb/s	30-50 m
5,5 Mb/s	50-80 m
2 Mb/s	80-120 m

- ◆ La Wi-Fi Alliance (ex-consortium WECA) garantit l'inter-opérabilité par un certification Wi-Fi (<http://www.wi-fi.org/>)

## IEEE 802.11 (2/3)

---

- ◆ IEEE 802.11a:
  - ◆ utilise OFDM soit 54 Mbits/s max. mais distance de couverture réduite à 15-20 m !
  - ◆ utilise 3 bandes: 5,2 GHz, 5,7 GHz et 5,8 GHz
  - ◆ Utilisable aux USA pas en Europe!
- ◆ IEEE 802.11g:
  - ◆ Utilise OFDM mais sur la bande des 2,4 GHz
  - ◆ Compatibilité descendante avec 802.11b
- ◆ IEEE 802.11h:
  - ◆ Adaptation de 802.11a aux normes et réglementations européennes
- ◆ IEEE 802.11j:
  - ◆ Adaptation de 802.11a aux normes japonaises

# IEEE 802.11 (3/3)

---

- ◆ IEEE 802.11n:
  - ◆ Ratification (septembre 2009) après 2 ans d'attente
  - ◆ Débits théoriques de 270 Mb/s sur 2,4 Ghz ou 300 Mb/s sur 5 GHz
  - ◆ Amélioration de a/b/g pour augmenter le débit par:
    - Multiples antennes (MIMO)
    - Regroupement de canaux (jusqu'à 4 possibles)
    - Agrégation de paquets de données
- ◆ Autres:
  - ◆ 802.11e : gestion de la Qos (relié à 802.1p=Qos sur réseau filaire)
  - ◆ 802.11f : support de l'itinérance (roaming)
  - ◆ 802.11i : sécurité améliorée : WPA (chiffrement TKIP / AES)  
+ utilisation de 802.1x : authentification et contrôle d'accès
  - ◆ 802.11s : support des réseaux mesh (2007)

# IEEE 802.11 (4/3)

---

## ◆ Autres:

- ◆ 802.11r : support de l'itinérance (fast roaming) (2008)
- ◆ 802.11p : support de la communication vehicule – infrastructure; vitesse min 200 km/h distance jusqu'à 1000 m, bande 5 GHz (2010)
- ◆ 802.11y : utilisation de la bande des 3650-3700 MHz (2008)
- ◆ 802.11ac : gigabit/s sur la bande des 5 GHz (prévu novembre 2013)
  - Canaux de 80 Mhz (au lieu de 40) – 433 Mb/s par canal
  - Modulation QAM-256
  - MIMO jusqu'à 8 flux simultanés
- ◆ 802.11ad : jusqu'à 7Gb/s sur la bande des 60 GHz (prévu juillet 2012 ?)
  - Augmentation de la largeur des canaux
  - Mais limitation de la portée (« à vue »)

## Bibliographie

---

- ◆ Standards IEEE 802 :
  - ◆ accessibles gratuitement (en ligne 6 mois après la publication)
  - ◆ <http://standards.ieee.org/getieee802/>
- ◆ Les groupes de travail de l'IEEE 802 :
  - ◆ <http://grouper.ieee.org/groups/802/dots.shtml>