

U.E. ARES

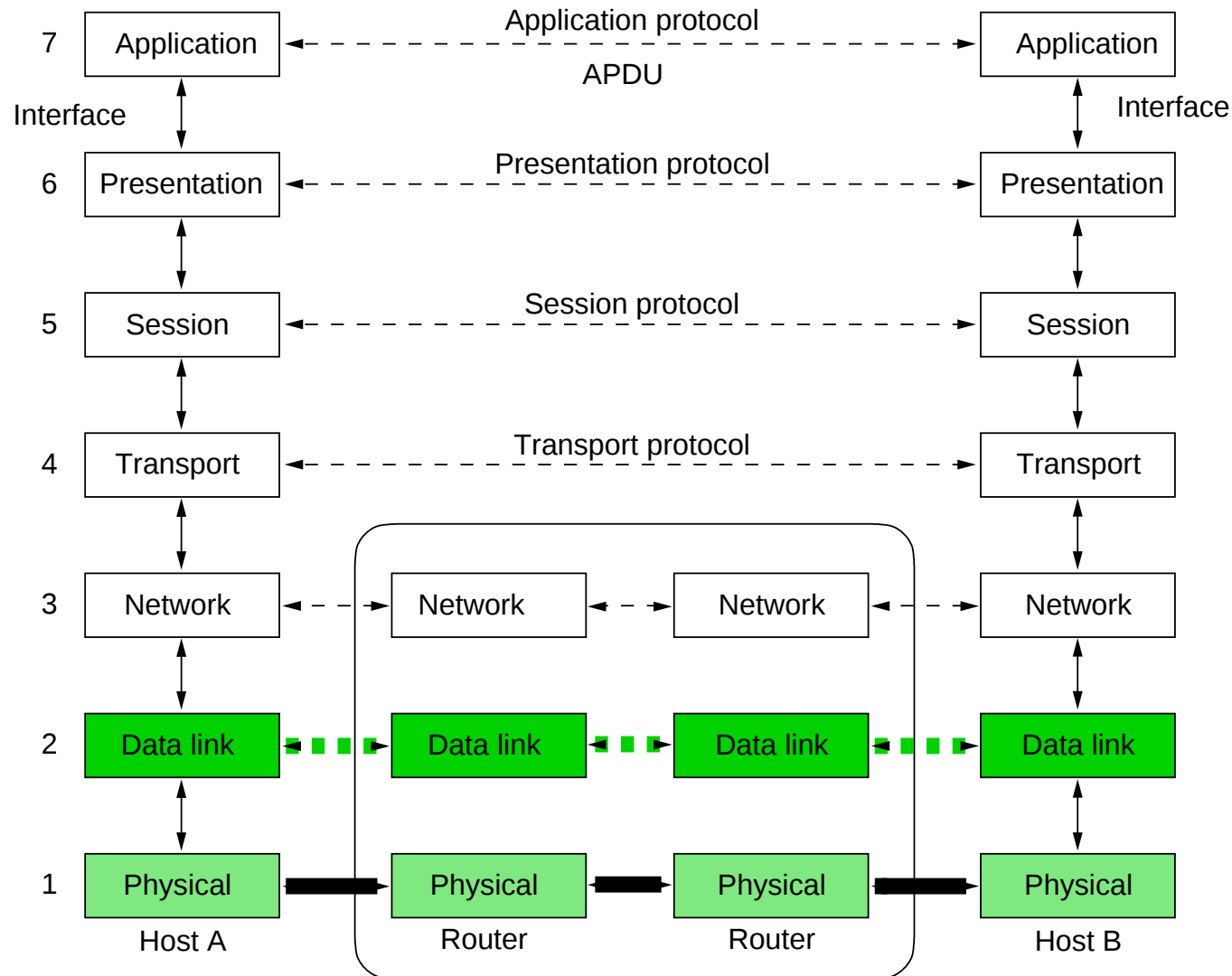
Architecture des Réseaux

Cours 8/10 : Architecture support LAN - Ethernet

Olivier Fourmaux
(`olivier.fourmaux@upmc.fr`)

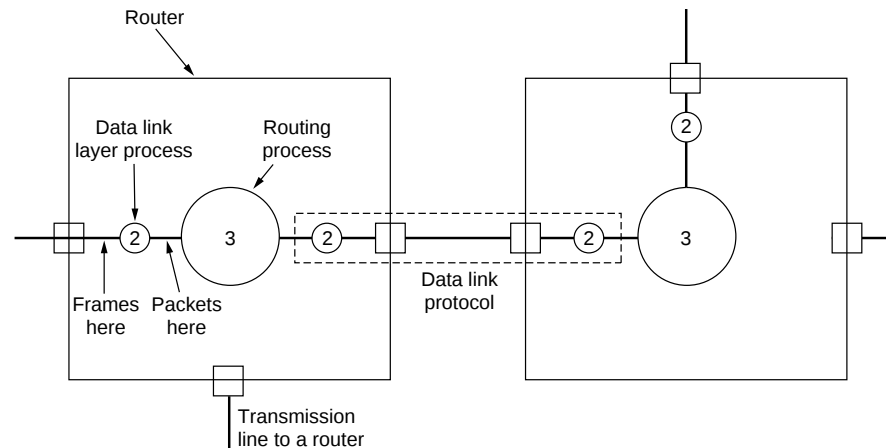
Version 5.2

Technologies supports et modèle OSI



OSI : Couche Liaison

La **Couche Liaison** achemine les trames de bits sur **un médium** avec une technique de transmission. Les fonctions associées sont :

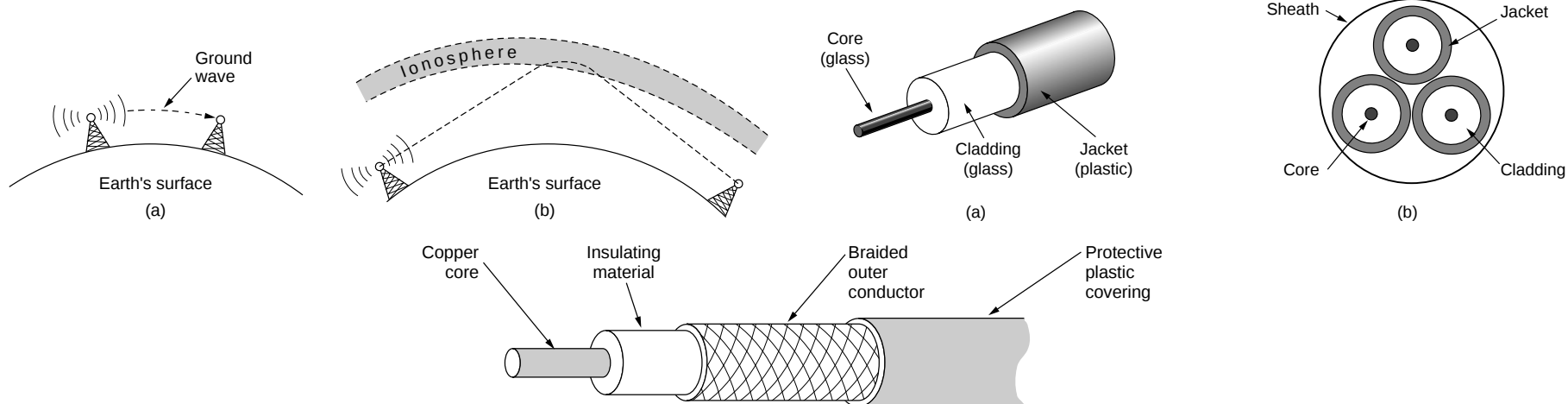


- découpage de trame (*framing*)
- contrôle d'erreur
- ordonnancement et fiabilité
- contrôle de flux
- trois types de technologie pour la Couche Liaison
 - ✓ **point-à-point**
 - ✓ **multipoint sans diffusion** ➡ U.E. RTEL
 - ✓ **multipoint avec diffusion** (médium partagé)

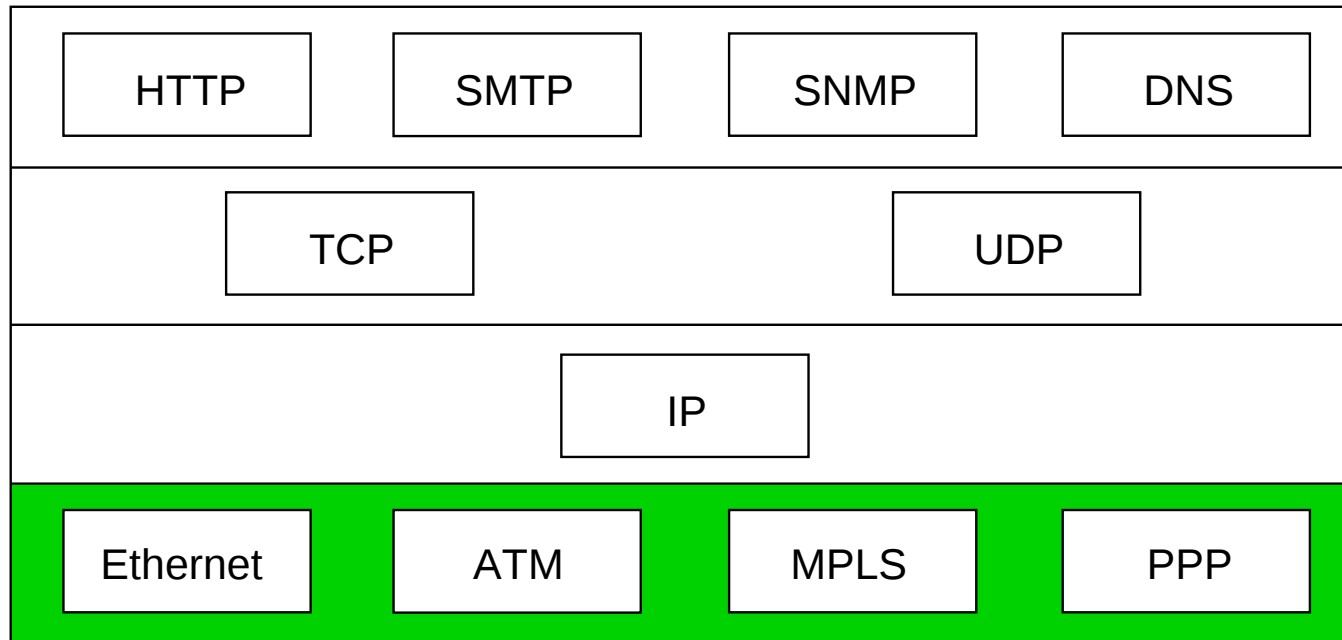
Couche Physique

La **Couche Physique** est associée à la **transmission du signal** :

- spécification des supports et signaux
 - ✓ encodage des bits, émission en **bande de base** ou **large bande**
 - ✓ caractéristiques des signaux électriques, optique, radio...
 - ✓ caractéristique des supports :
 - ☞ impédance des cables électriques, atténuation, longueur maximum
 - ☞ fibre optique multimode, monomode
 - ☞ forme des connecteurs, couleur des gaines...



Technologies supports et TCP/IP



Couches OSI Liaison + Physique $\sim$ Couche TCP/IP Accès au réseau

Plan

Architecture Ethernet

- protocole d'accès au médium
- technologies Ethernet
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- standards IEEE
- autres LAN IEEE

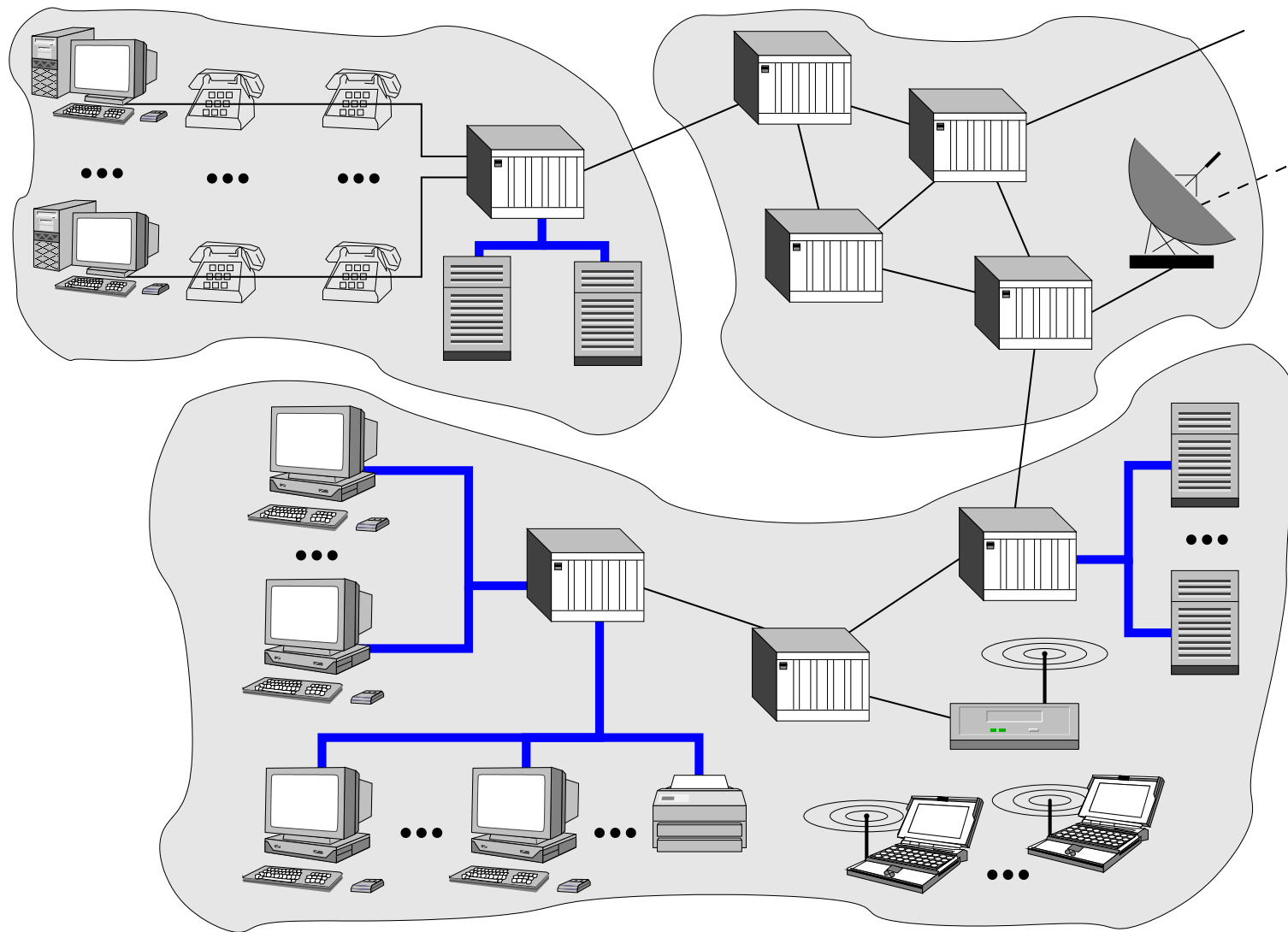
Ethernet : Introduction

- ▣ années 90 : nombreuses technologies LAN
 - Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM...

Actuellement (en filaire) : **LAN = Ethernet**

- Ethernet est aux réseaux locaux ce qu'Internet est aux réseaux mondiaux
- pourquoi ?
 - ✓ apparu en avance (milieu des années 70)
 - ✓ simple
 - ✓ décentralisé
 - ✓ autoconfigurable
 - ☞ économique et évolutif

Ethernet : Où ?



Ethernet : Variantes

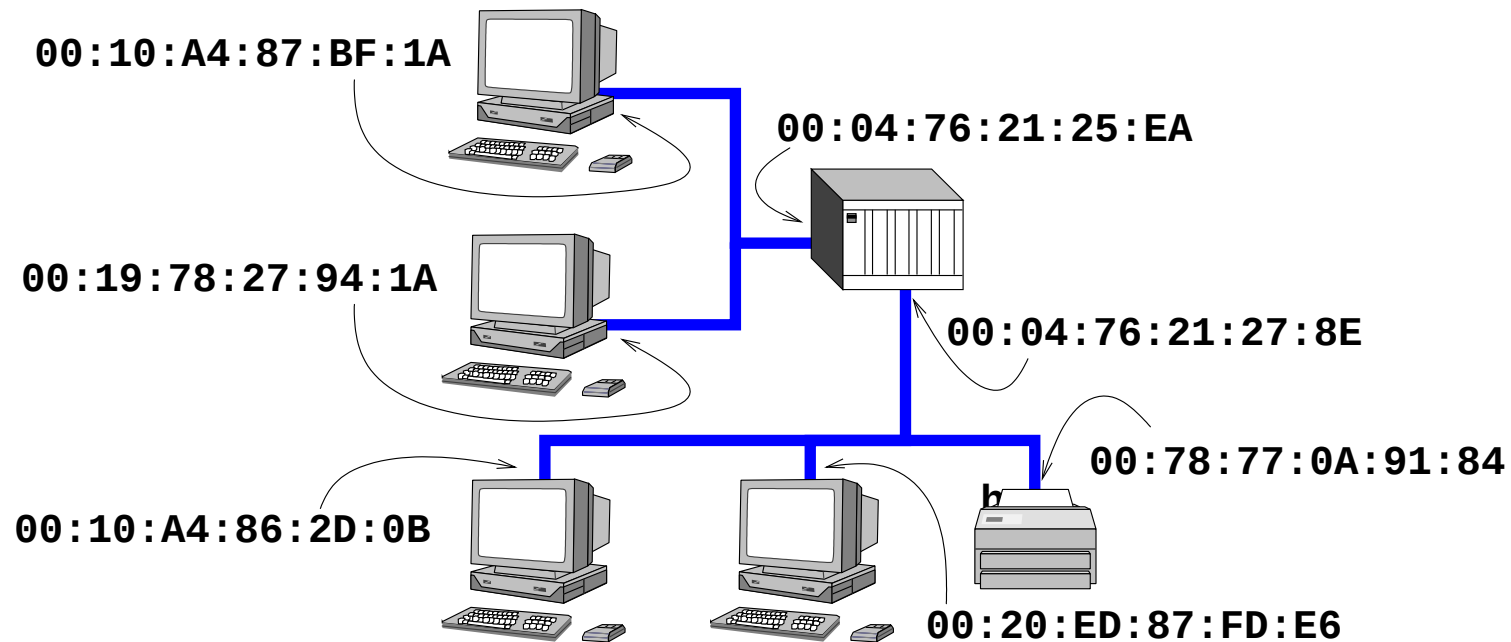
Différents types d'Ethernet...

- deux **topologies** :
 - ✓ bus
 - ✓ étoile
- **supports** variés :
 - ✓ cables coaxiaux
 - ✓ paires torsadées
 - ✓ fibres optiques
- large choix de **débits** :
 - ✓ 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s, 10 Gbit/s...

... mais toujours la même base :

- **adresses LAN**
- **structure de la trame**
- **service** non connecté non fiable
- transmission généralement **bande de base** (numérique)

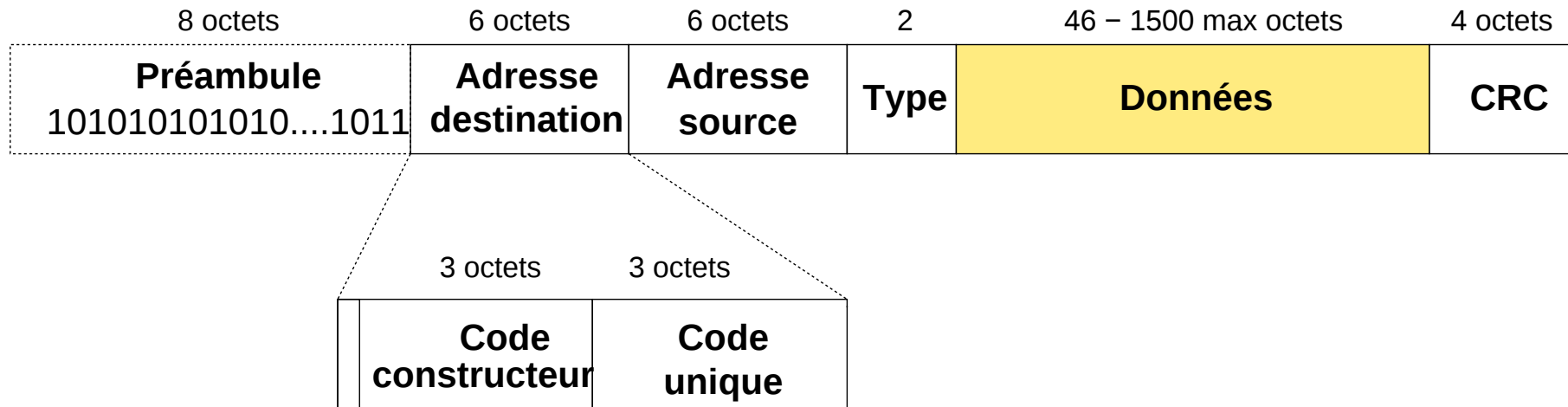
Ethernet : Adresses LAN



Adresses de l'adaptateur (sur 6 octets) ➡ **identifiant**

- aussi appelées :
 - ✓ adresses Ethernet
 - ✓ adresses physiques (*physical address*)
 - ✓ adresses MAC (*Media Access Control address*)
- notation hexadécimale : 00:10:A4:86:2D:0B
- adressage à plat administré par l'IEEE

Ethernet : Structure de la trame (1)



1: Diffusion ou multipoint
0: Adresse individuelle

Délimitation de la trame :

- début
 - ✓ **préambule**
 - ☞ détection d'émission
 - ☞ verrouillage temporel (synchronisation sur l'horloge de l'émetteur)
 - ☞ indication du début (8ème octet)
- fin
 - ✓ absence de courant pendant IFS (*Inter Frame Spacing*)

Ethernet : Structure de la trame (2)

Adresses destination et source :

- l'adaptateur n'accepte que les trames qui lui sont destinées

Type ethernet (*Ethertype*) > 1500 :

0x0800 = DoD Internet	0x0806 = ARP
0x0801 = X.75 Internet	0x8035 = RAP
0x0802 = NBS Internet	0x8098 = Appletalk
0x0803 = ECMA Internet	0x86DD = IPv6
0x0804 = ChaosNet	...

Données :

- MTU (*Maximum Transfer Unit*) : taille maximum = 1500 octets
- taille minimum = 46 octets
 - ✓ si besoin, ajout d'octets de bourrage (transmis à la couche réseau)

CRC-32 (*Cyclic Redundancy Check* sur 32 bits), polynome générateur :

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

Ethernet : Service

Service à la couche réseau :

- **sans connexion**

- ✓ service datagramme (identique à IP ou UDP)
- ✓ pas d'échange préalable à l'envoi de données

- **non fiable**

- ✓ contrôle d'erreur (et élimination sans indication)
- ✓ pas de correction d'erreur
- ✓ pas d'acquittement
 - ☞ l'émetteur n'a pas connaissance de la remise des données
 - ☞ pas de contrôle de flux (sauf commutateurs)
 - ☞ pas de fenêtre d'anticipation
 - ☞ détection des pertes dans les couches supérieures (ex : TCP...)

|||► simplicité

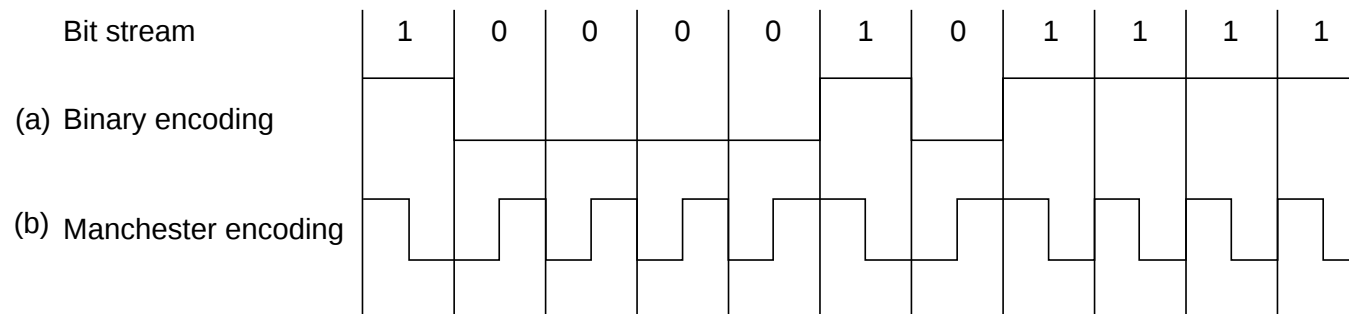
Ethernet : Transmission

Bande de base

- émission directe des signaux numériques

Codage manchester

- pour les débits à 10 Mbps
 - ✓ bande passante de 20 Mhz nécessaire (1B/2B) :



- pour les débits supérieurs, 4B/5B (FDDI), 8B/10B (Fiber Channel), 64B/66B et diverses encapsulations (FR, ATM, SONET...)

Plan

Architecture Ethernet

- **protocole d'accès au médium**
- technologies Ethernet
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- standards IEEE
- autres LAN IEEE

Protocoles d'accès au médium

Liaisons directes émetteur récepteur $\Rightarrow$ voir le cours **Archi. point-à-point**

Liaisons partagées :

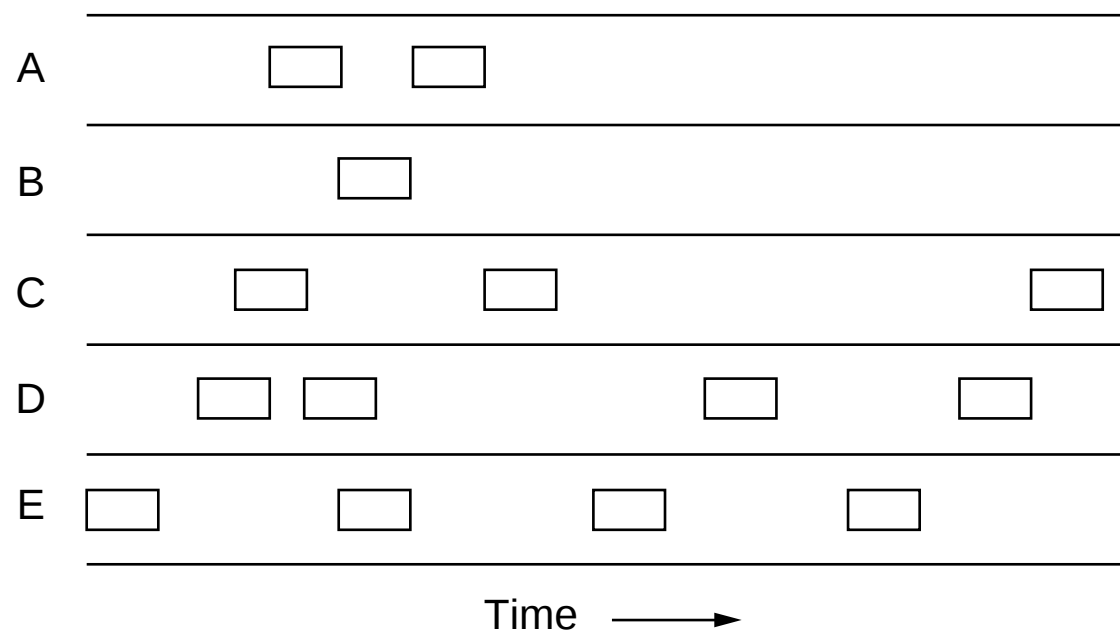
- protocoles de **partage de canal**
 - ✓ partage fixe de la bande passante (R/N par émetteur)
 - ☞ multiplexage fréquentiel (**FDM**)
 - ☞ multiplexage temporel (**TDM**)
- protocoles à **partage de resource** (*taking-turns protocols*)
 - ✓ partage déterministe de la bande passante (R par émetteur)
 - ☞ invitation à émettre (*polling*)
 - ☞ passage de jeton (*token-passing*)
- protocoles d'**accès aléatoire**
 - ✓ partage statistique de la bande passante (R par émetteur) mais collisions possibles
 - ☞ **ALOHA**
 - ☞ **CSMA** $\Rightarrow$ Ethernet

ALOHA

Université d'Hawaii 70'

- technologie support d'un réseau radio basé sur des **datagrammes**
- protocole à accès **aléatoire** complètement **décentralisé**
- si **collision**, retransmission après un temps aléatoire

User

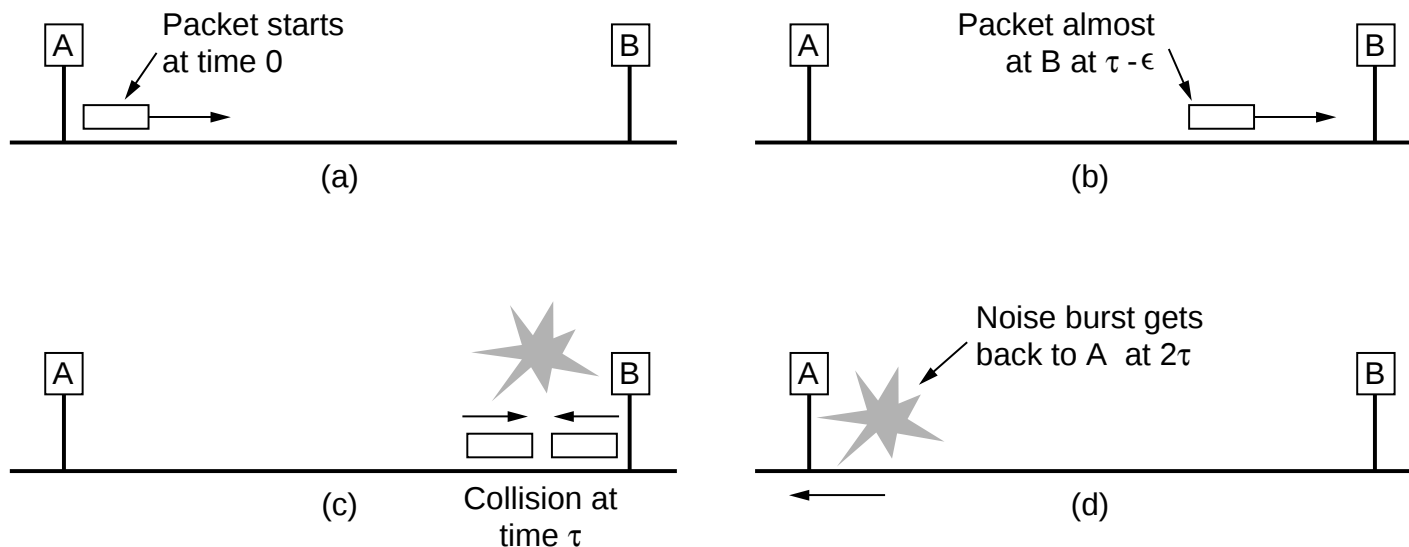


picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

CSMA

Amélioration de l'approche aléatoire

- **détection de porteuse** : CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*)
 - ▮▮▮▮▮ attente avant émission
- **détection de collision** : CSMA/CD (*CSMA with Collision Detection*)
 - ▮▮▮▮▮ retransmission
 - ✓ exemple avec une taille de trame mini de **64 octets**
 - ☞ **T détection** : 64 octets à 10Mbps = $512/10^7 = 51,2\mu sec$
 - ☞ **T prop. max** : $2 * 2500m$ à $2 \cdot 10^8 ms^{-1} = 25\mu sec + 8 * t_{repet}$



Protocole d'accès Ethernet

- **fonctionnement** des adaptateurs :
 - ✓ debut d'émission à tout moment : **temps non discrétisé**
 - ✓ pas d'émission si détection d'une activité sur le canal : **CSMA**
 - ✓ interruption de la transmission si autre activité : **/CD**
 - ✓ attente aléatoire croissante avant retransmission : **TBEB** (*Truncated Binary Exponential Backoff*)
- **étapes du protocole** mis en œuvre dans les adaptateurs :
 1. construction et mémorisation de la trame
 2. si activité détecté, attente fin signal
 3. attente IFS de 96 bits (sans détection de signal)
 4. début transmission
 - (a) si détection collision :
 - i. interruption de la transmission
 - ii. signal de brouillage de 32 bits *jam sequence*
 - iii. attente exponentielle (pour la n^{ieme} collision consécutive) de $\text{int}(\text{rand}() * 2^{\min(10, n)}) * 512$ bits (*exponential backoff phase*) puis retour à l'étape 2.
 - (b) sinon continue la transmission jusqu'à la fin

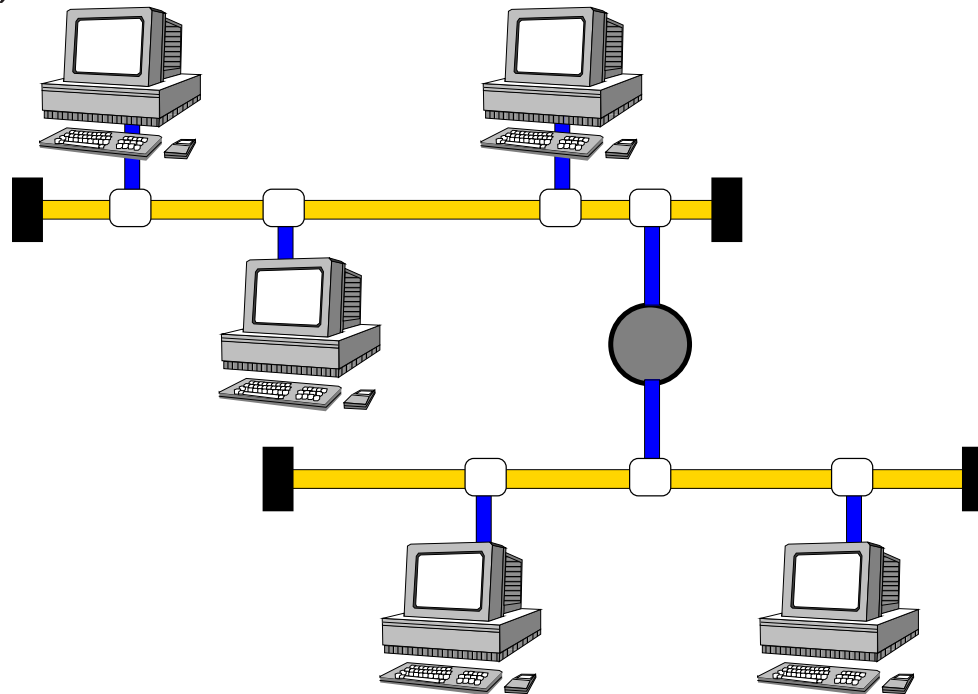
Plan

Architecture Ethernet

- protocole d'accès au médium
- **technologies Ethernet**
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- standards IEEE
- autres LAN IEEE

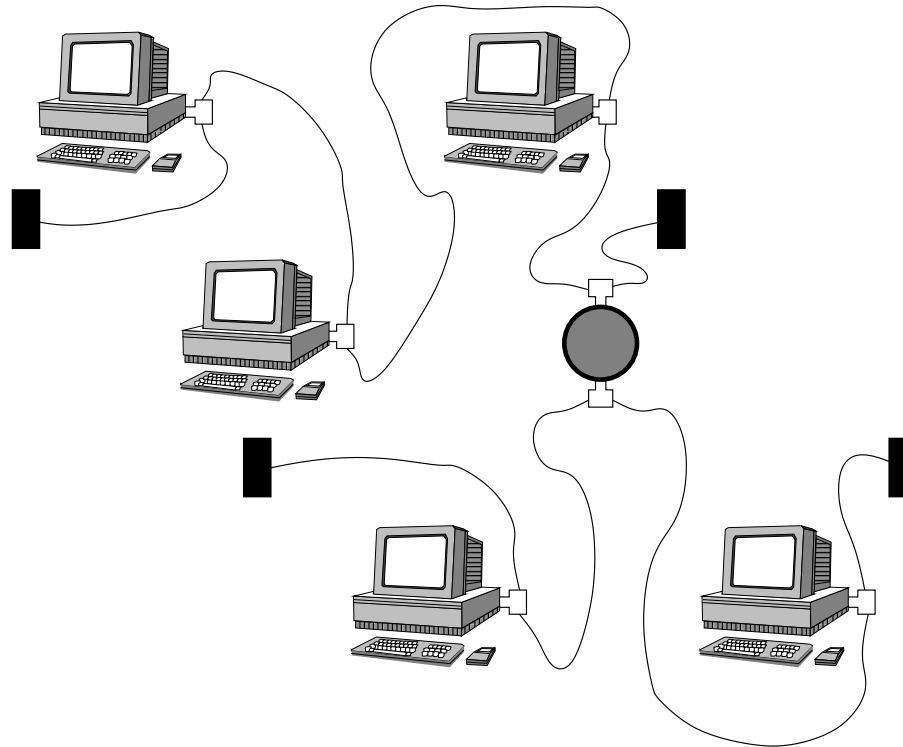
Ethernet : 10Base5

- débit : **10 Mbps**
- médium : câble coaxial **jaune** de **500m** max et **2 bouchons** (50Ω)
- stations reliées aux **transceivers** agrippés au coax par un câble **bleu**
- topologie : **bus** étendu ($51.2\mu s$ max $\Rightarrow$ 4 répéteurs : 2500m max entre 2 stations)



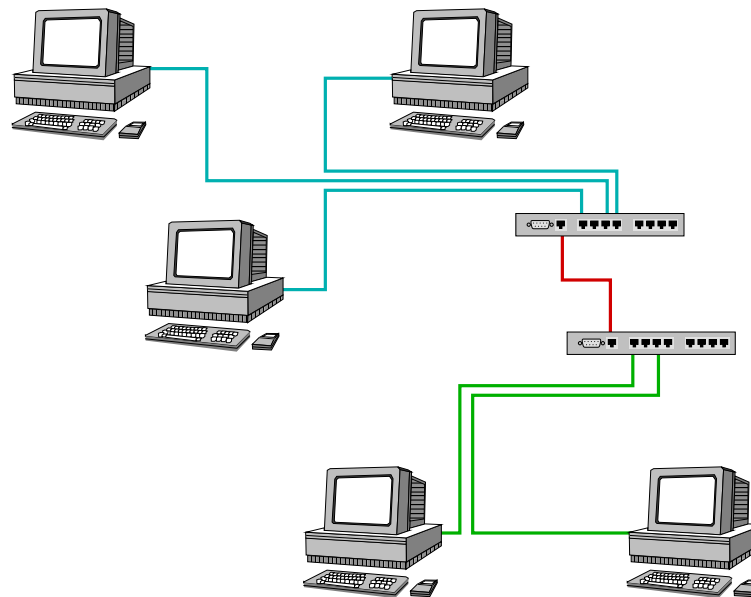
Ethernet : 10Base2

- débit : **10 Mbps**
- médium : câble coaxial **noir** de 200m (185m max) et 30 stations max par segments, **connecteurs BNC en "T"** et terminateurs 50 Ω
- topologie : **bus** étendu (51.2 μ s max $\Rightarrow$ 4 répéteurs et 925m max entre 2 stations)



Ethernet : 10BaseT

- débit : **10 Mbps**
- médium : **paire torsadée** de 100m max (UTP3), **connecteurs RJ45**
- topologie : **étoile** à partir d'un **hub** (concentrateur)
- accès :
 - ✓ **half duplex** ➡ CSMA/CD
 - ☞ plusieurs hubs possibles, reliés en cascade (51.2μs max)
 - ✓ **full duplex** ➡ point-à-point bidirectionnel simultané (sans collision)
- détection d'activité (*Link Pulse* toutes les 16 ± 8 ms)



Ethernet : 100BaseTX

Fast Ethernet (1995)

- débit : **100** Mbps
- médium : paires torsadées de 100m max (**UTP5**), connecteurs RJ45
- encodage : 4B/5B (FDDI)
- topologies : étoile à partir d'un **hub** (concentrateur)
- accès :
 - ✓ **half duplex** ➡ CSMA/CD avec toujours 64 octets mini
 - ☞ 2 *hubs* peuvent être reliés (mais 5.12μs max : 210m max)
 - ☞ distance limité en entreprise... voir les commutateurs
 - ✓ **full duplex** ➡ point-à-point bidirectionnel simultané
- détection d'activité (*Fast Link Pulse* : 33 impulsions / ~ 16 ms)
 - ✓ FLP contient 16 bits pour l'**auto-négociation**
 - ☞ détection des vitesses, modes et mécanismes disponibles
- plusieurs variantes :
 - ✓ 100BaseT4 : 4 paires torsadées UTP3 (pas de *full duplex*)
 - ✓ 100BaseFX : deux fibres optiques (400m max en multimode, 20km max en monomode)

Ethernet : 1000BaseT

Gigabit Ethernet (1998)

- débit : **1000** Mbps (1 Gbps)
- médium : paires torsadées de 100m max en UTP5+ (4 paires)
- encodage : 8B/10B (Fiber Channel)
- topologies : étoile à partir d'un **hub** (concentrateur)
- accès :
 - ✓ **half duplex** ➡ CSMA/CD avec **512 octets mini** (extension de porteuse si besoin) ➡ $4.01\mu s$ plutôt que $0.512\mu s$!
 - ☞ 2 *hubs* peuvent être reliés (toujours 210m max)
 - ☞ **performance ? burst** possible pendant l'extension
 - ✓ **full duplex** ➡ point-à-point bidirectionnel simultané
- plusieurs variantes :
 - ✓ 1000BaseCX : 2 paires torsadées blindées STP, 25m max
 - ✓ 1000BaseSX : fibres optiques multimode 850nm 500m max
 - ✓ 1000BaseLX : fibres optiques multimode et monomode 1300nm 5km max

Ethernet : 10GBase ?

10Gigabit Ethernet (2002)

- débit : **10 Gbps**
- accès : **full duplex** uniquement (plus de CSMA/CD)
- médium : fibres optiques, OC192, DWDM...
- encodage : 64B/66B
- topologies : étoile à partir de **commutateurs**
- plusieurs variantes :
 - ✓ fibres optiques (850nm, 1300nm et 1550nm)
 - ☞ de 65m à 40km max...

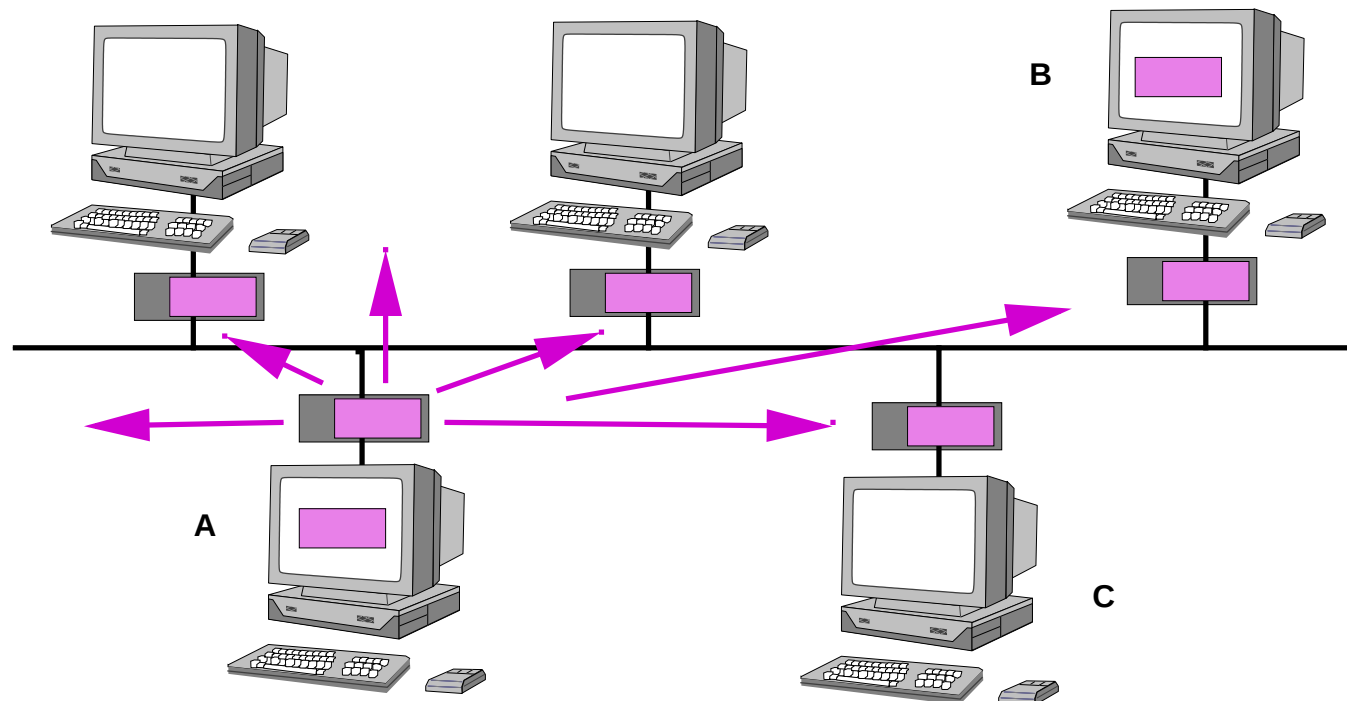
Plan

Architecture Ethernet

- protocole d'accès au médium
- technologies Ethernet
- **intégration TCP/IP**
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- standards IEEE
- autres LAN IEEE

Réseaux à diffusion

Accès multiples sur un médium partagé : **diffusion implicite**

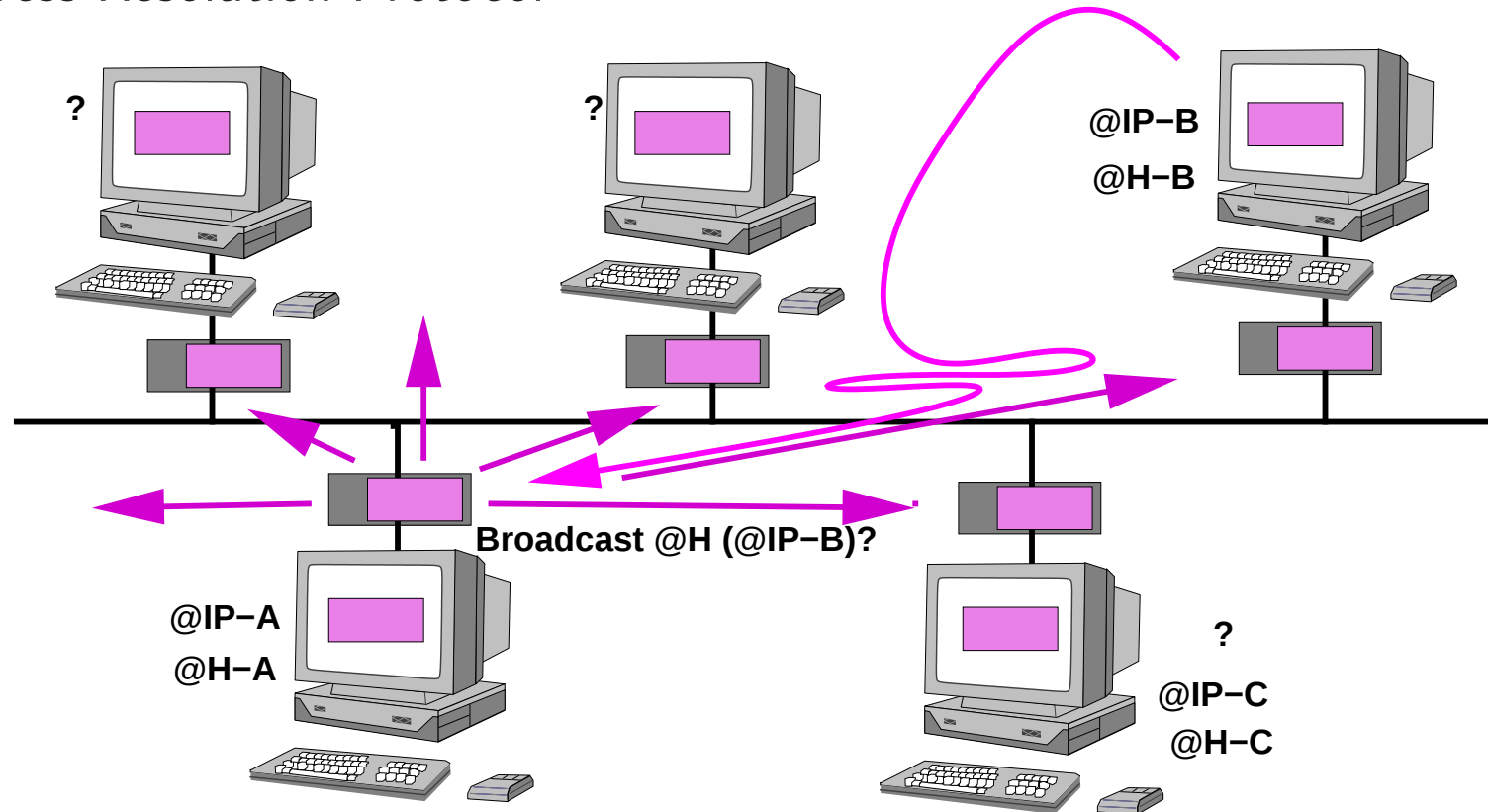


Transport d'IP :

- résolution d'adresses
- format d'encapsulation

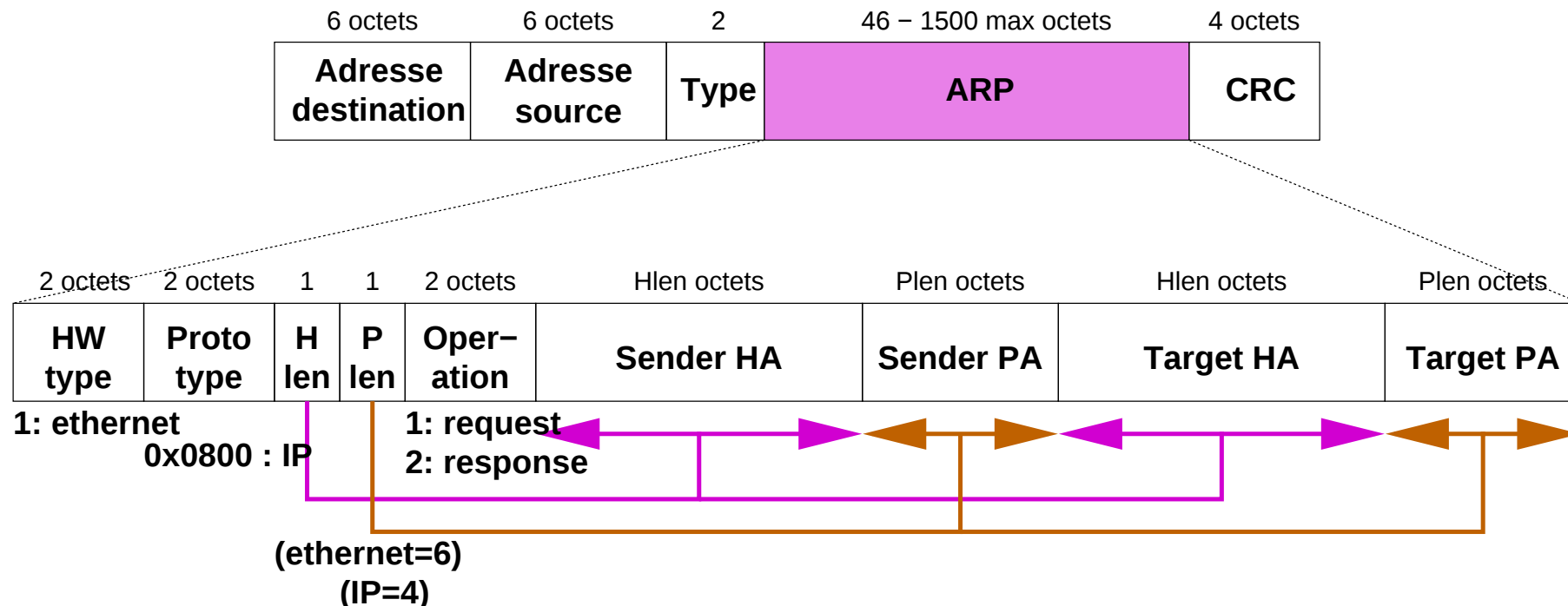
Résolution d'adresse : ARP

Address Resolution Protocol



Diffusion explicite (utilisation d'une adresse destination de diffusion)

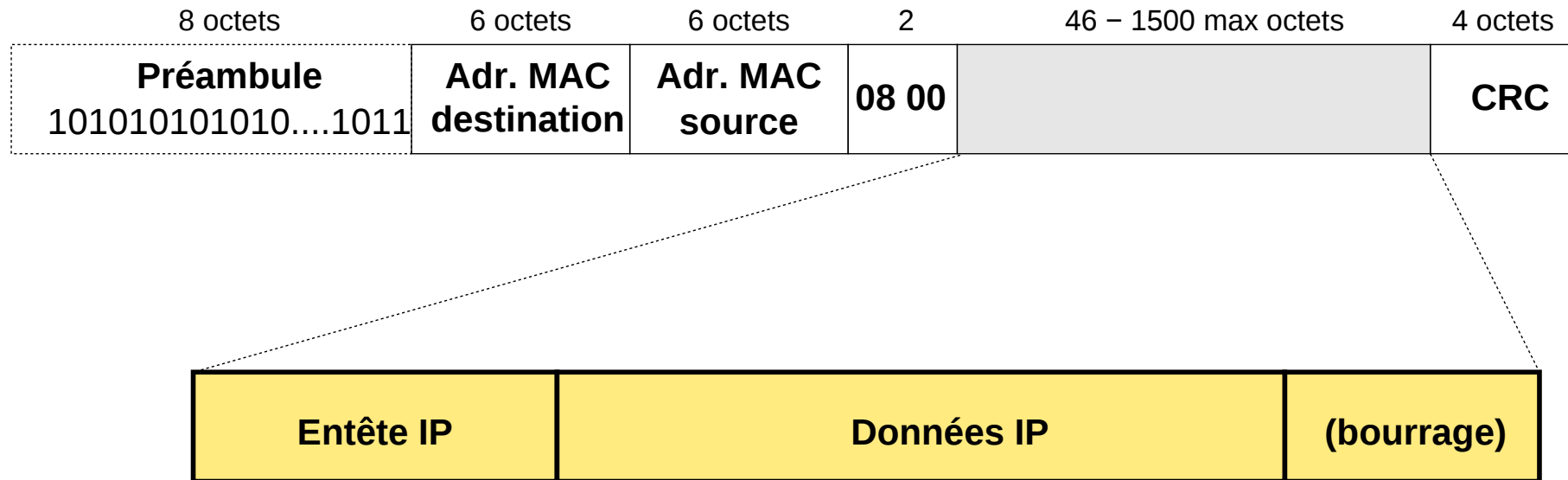
ARP sur Ethernet



ARP est un protocole transporté directement dans la trame *Ethernet* :

- **ARP request** : adresse destination = diffusion (FF:FF:FF:FF:FF:FF), source = demandeur
- **ARP response** : adresse destination = demandeur, source = répondeur

IP sur Ethernet



Type ethernet (*Ethertype*) > 1500 :

0x0800 = DoD Internet

Données :

- MTU : taille maximum du paquet IP = 1500 octets
- taille minimum = 46 octets (mais le paquet IP peut faire moins)
 - ✓ si besoin, ajout d'octets de bourrage (transmis à IP)

Plan

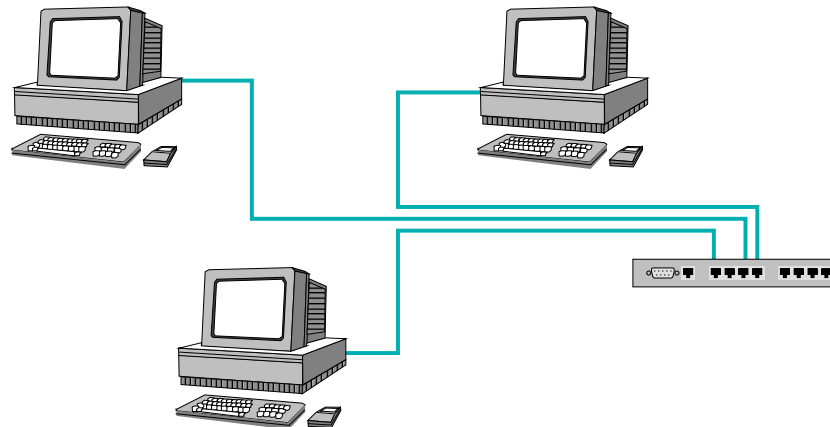
Architecture Ethernet

- protocole d'accès au médium
- technologies Ethernet
- intégration TCP/IP
- **hubs Ethernet**
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- standards IEEE
- autres LAN IEEE

Hub Ethernet

Concentrateur

- élément de la couche **physique** (niveau bit)
- **répéteur multiport**
 - ✓ un bit arrivant sur une interface est diffusé sur les autres
- possibilité d'**administration** : SNMP, RMON...



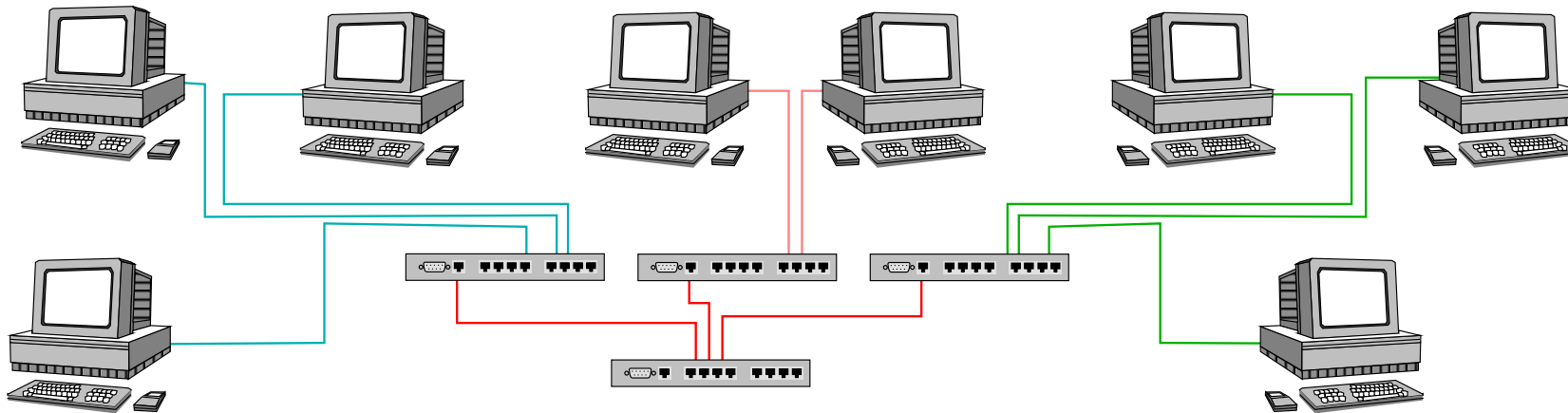
Interconnexion de *hubs*

- linéaire
- hiérarchique avec **hub fédérateur**

Interconnexion de hubs

Dans un système multi-niveau (plusieurs *hubs*)

- **LAN** = l'ensemble du réseau local = domaine de collision)
- **segment** = les équipements reliés à un *hub*



- intérêts :
 - ✓ + augmente la connectivité
 - ✓ + augmente la redondance (déconnexion des *hubs* en panne)
 - ✓ – limitations physiques (distance, nb machines...)
 - ✓ – diminution du débit par machine
 - ✓ – augmentation des collisions (et réduction du débit)

Plan

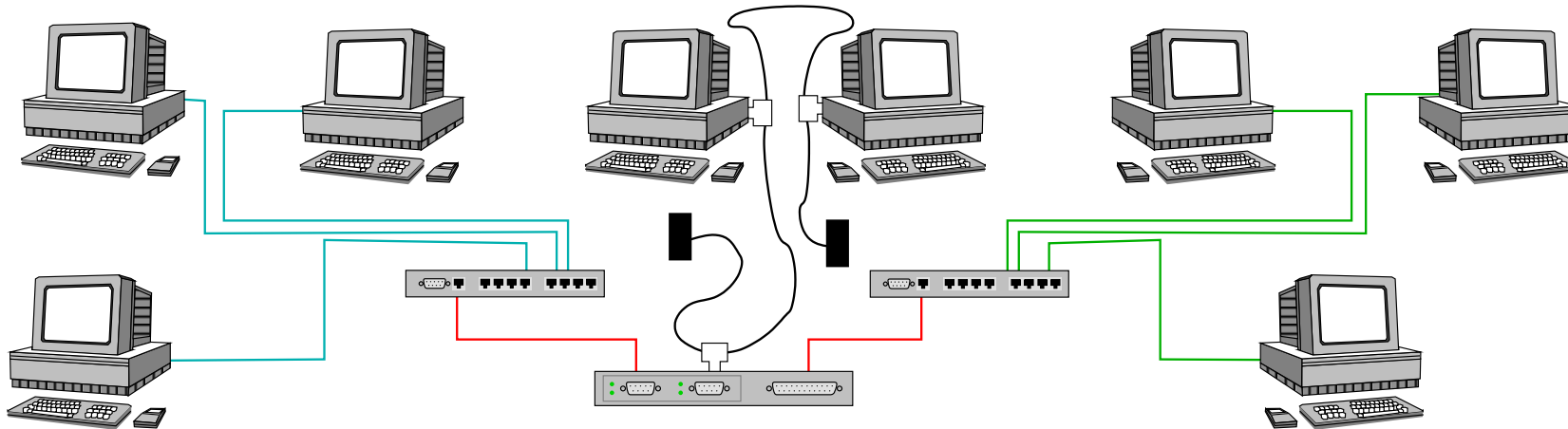
Architecture Ethernet

- protocole d'accès au médium
- technologies Ethernet
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- **ponts Ethernet**
- commutateurs Ethernet
- standards IEEE
- autres LAN IEEE

Pont Ethernet

Bridge

- élément de la couche **liaison** (niveau trame)
- **commutateur de trames**
 - ✓ filtre en fonction des adresses destinations
 - ✓ une trame arrivant est transmise au port vers le destinataire
 - ✓ **mémorisation + CSMA/CD** (équipement sans adresse)



- intérêts :
 - ✓ + séparation des domaines de collision
 - ✓ + multi-technologie (10Base2 avec 100BaseTX...)
 - ✓ + plus de limitations physiques

Pont : Filtrage et relayage

Filtrage (*filtering*)

- détermination de l'acceptation ou du rejet d'une trame

Relayage (*forwarding*)

- choix de l'interface de sortie

▣▣▣▣ ➡ table :

Adresse LAN	Interface	Heure
00:10:A4:86:2D:0B	1	09 : 32 : 55
00:04:76:21:27:8E	3	09 : 32 : 55
00:04:76:21:1B:95	3	09 : 32 : 55
...	...	...

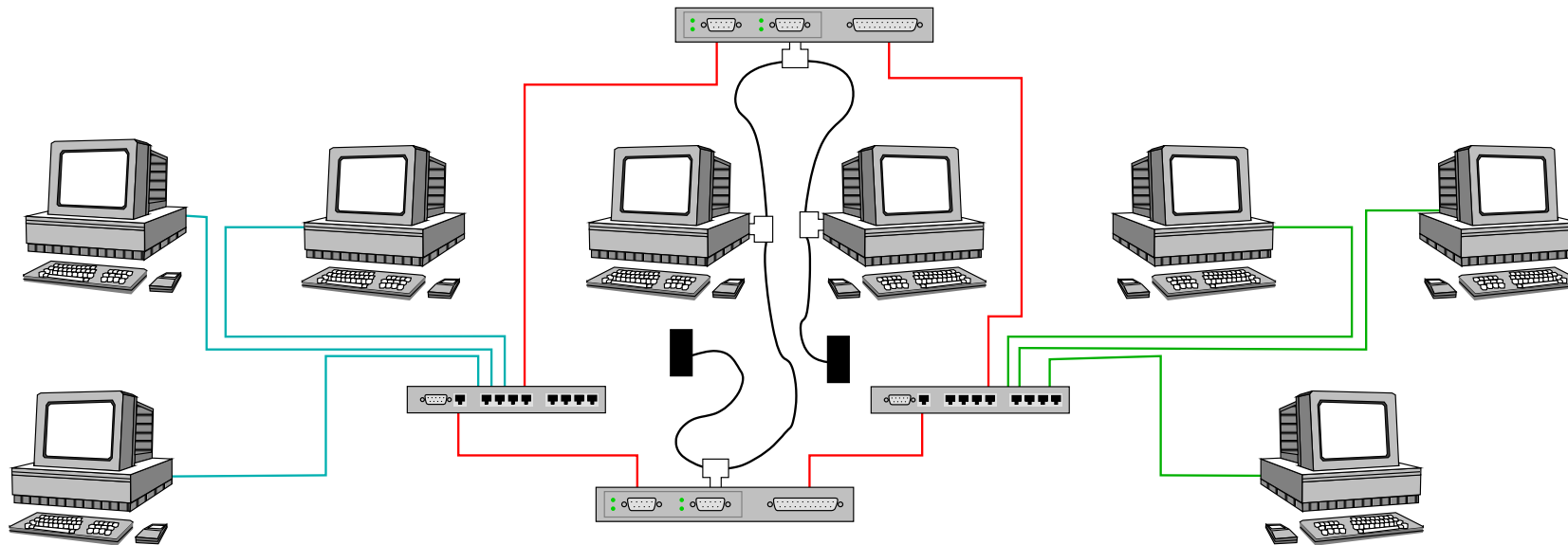
- algorithme d'utilisation de la table :
 - ✓ lorsque qu'une trame avec @LAN_dest arrive par If_x, la table indique comme port de sortie IF_y :
 - ☞ si IF_x = IF_y alors la trame provient du segment du destinataire ▣▣▣▣ ➡ **filtrage**
 - ☞ sinon la trame est transmise à IF_y ▣▣▣▣ ➡ **relayage**

Pont : Auto-apprentissage

Self-learning

- Algorithme de création de la table
 1. table **vide** initialement
 2. lors de la réception d'une trame, insertion dans la table de :
 - (a) son @LAN_source
 - (b) son interface d'arrivée
 - (c) son heure d'arrivée
 3. validité limitée dans le temps
- remarques :
 - ✓ si @LAN_dest absente de la table, alors **diffusion** (recopie vers les autres interfaces, mémorisation + CMSA/CD)
 - ✓ les ponts sont dits :
 - ☞ auto-adaptatifs (*plug and play*)
 - ☞ transparents (non adressés)

Ponts : Redondance

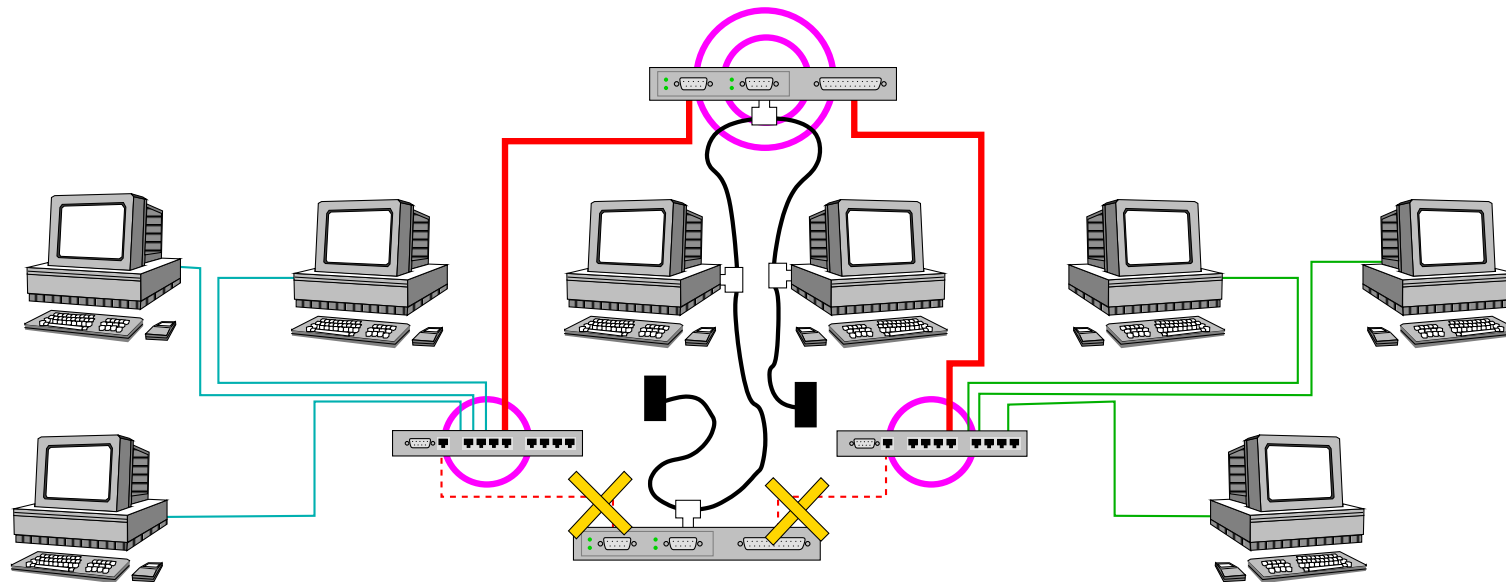


- chemins multiples
 - ✓ + chemin de secours
 - ✓ + auto-configuration
 - ✓ – création de boucles (duplication)
 - ☞ protocole d'arbre couvrant (STP)

Ponts : STP

Spanning Tree Protocol

- réseaux pontés avec redondance $\sim$ graphe (nœuds = ponts)
 - ✓ graphe sans boucle = arbre $\Rightarrow$ construction d'un **arbre couvrant**
 - ➡ pont avec un numéro identificateur : le plus petit est la **racine**
 - ➡ échange de BPDU $\langle \text{id_root}, \text{dst_root}, \text{id_snd}, \text{num_port} \rangle$
 - ➡ **inhibition** des ports qui n'atteignent pas la racine par le **plus court chemin**



Pont ou routeur

Comment choisir ?

Pont (couche 2) :

- commutateur de **trames**
 - ✓ + auto-configurable
 - ✓ + performance de relayage
 - ✓ – toutes les trames empruntent le même arbre couvrant (SPF)
 - ✓ – les diffusions (*broadcast*) sont globales
 - ☞ réseau de taille limitée (→100 machines)
 - ☞ recherche de simplicité

Routeur (couche 3) :

- commutateur de **paquets**
 - ✓ + pas de boucle (TTL limitatif en période transitoire)
 - ✓ + calcul du meilleur chemin (routage)
 - ✓ – configuration manuelle
 - ✓ – traitement plus long des messages
 - ☞ réseau taille importante (1000→ machines)
 - ☞ fonctions "intelligentes" : isolation de trafic, filtrage...

Plan

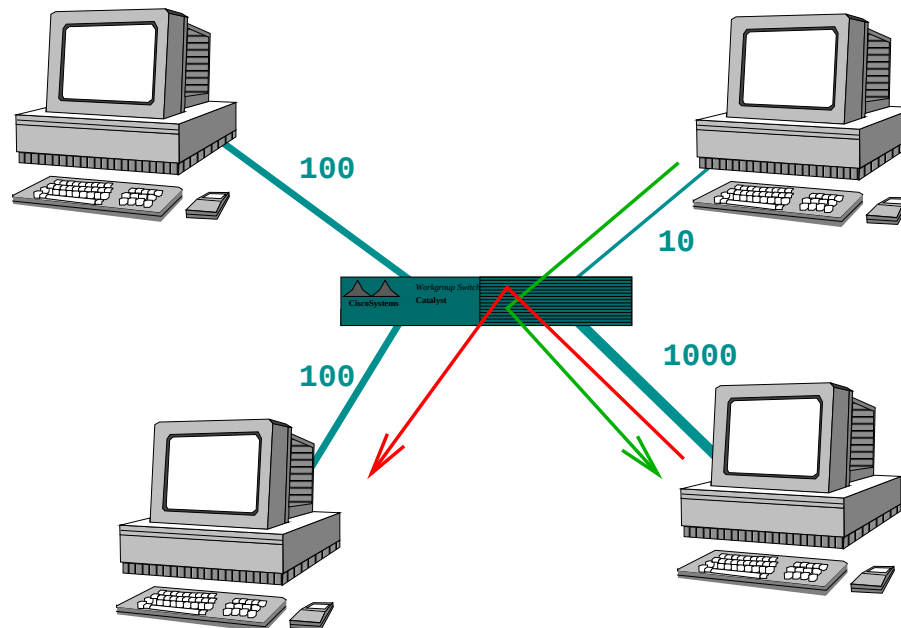
Architecture Ethernet

- protocole d'accès au médium
- technologies Ethernet
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- **commutateurs Ethernet**
- standards IEEE
- autres LAN IEEE

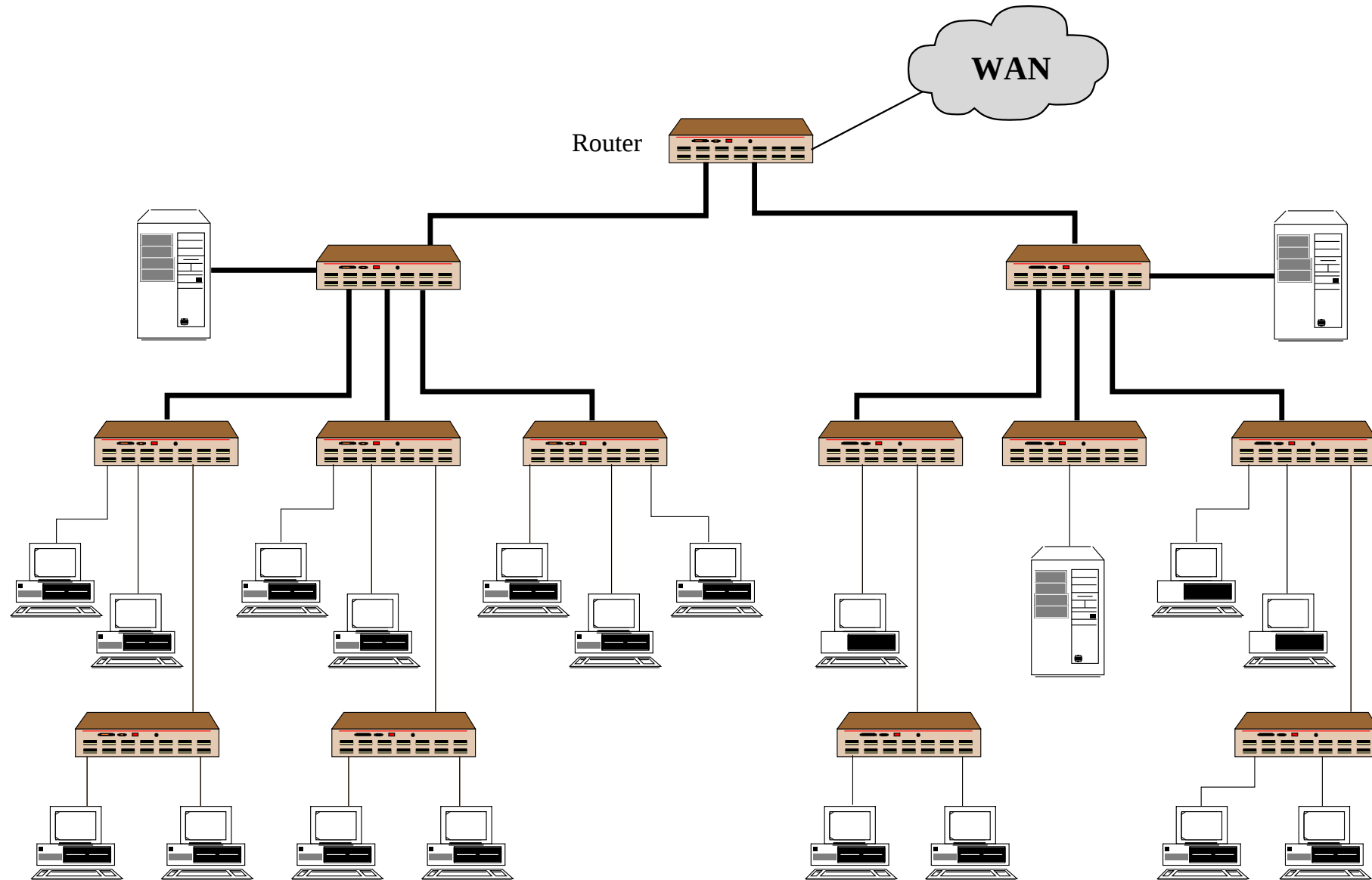
Commutateurs Ethernet

Ethernet Switch

- *ponts* à hautes performances (couche 2)
 - ✓ nombreuses interfaces ($\sim$ *hubs*)
 - ✓ débit agrégé important ➡ **matrice de commutation**
- multi-débit
 - ✓ 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps...
- **full duplex**
 - ✓ possibilité d'éviter CSMA/CD ($\sim$ liaison point-à-point)



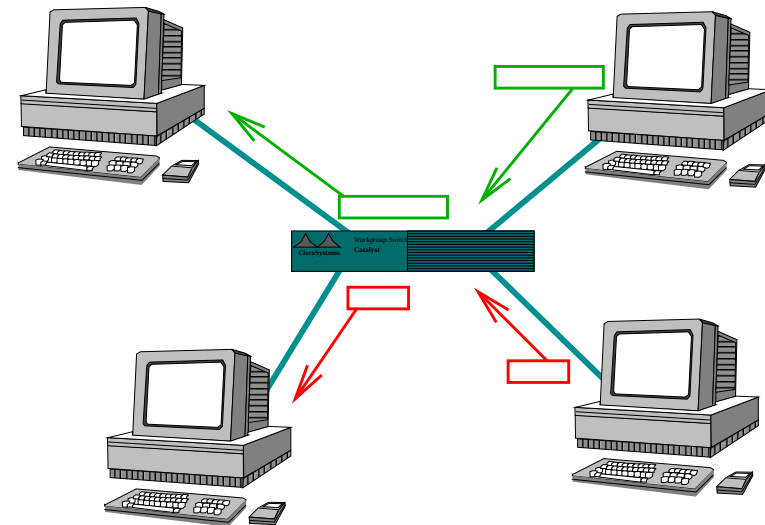
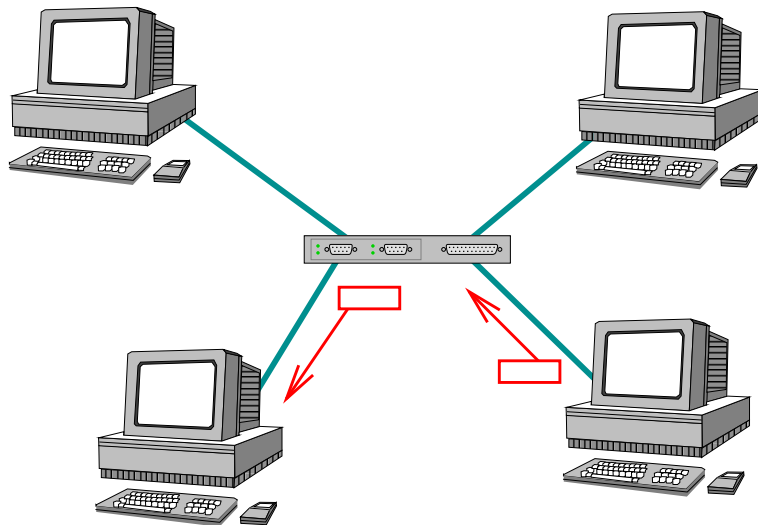
Hiérarchie Ethernet



Commutation "Store and Forward"

Mémorisation puis transmission de la trame

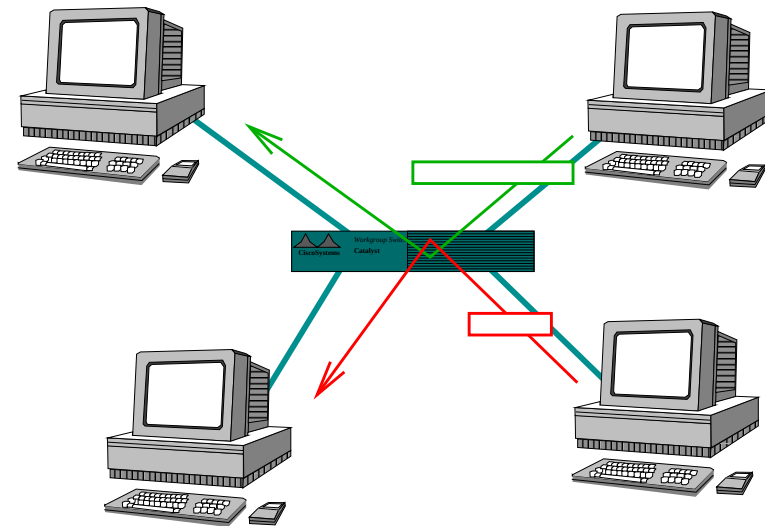
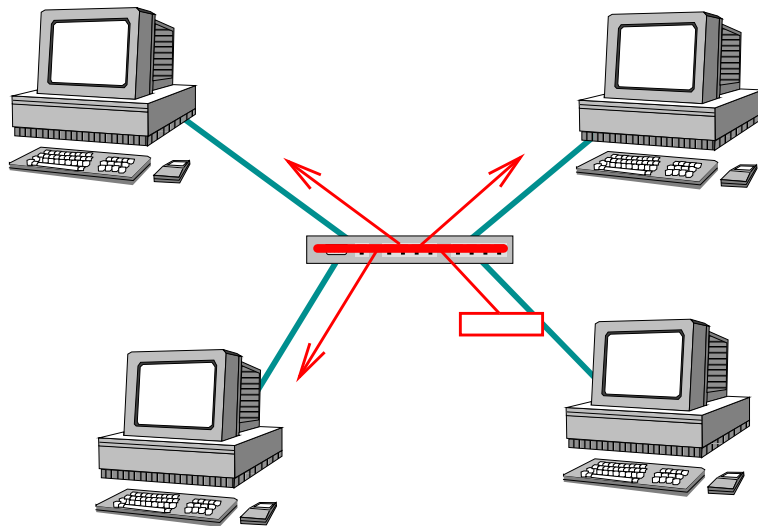
- $\sim$ fonctionne comme un pont
- stockage complet avant retransmission (et calcul du CRC-32)
- latence mini de L_F/R_i (L_F taille trame, R_i débit du lien de sortie)



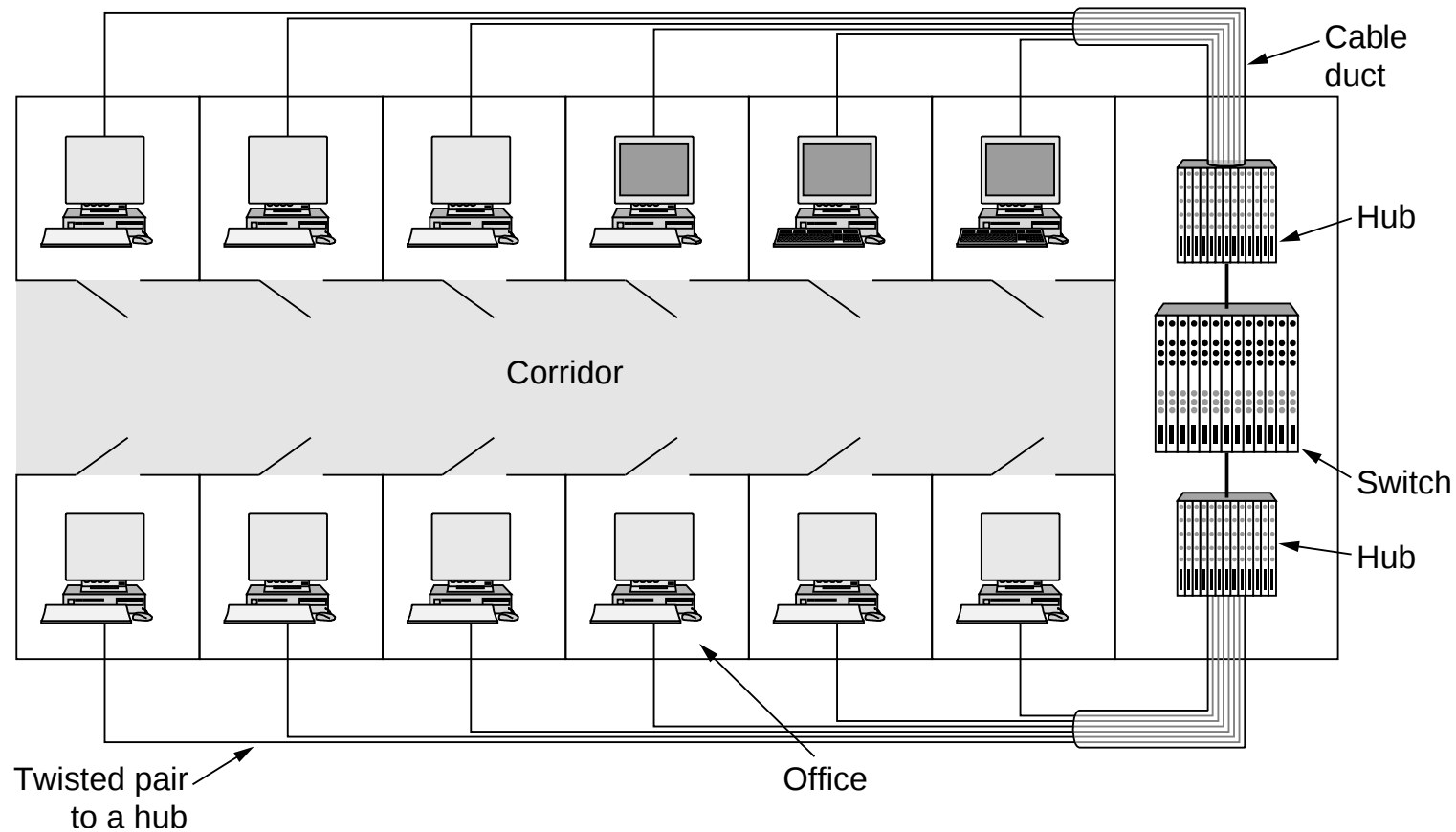
Commutation "Cut-Through"

Transmission directe

- ~ fonctionne comme un *hub*
- émission dès que le tampon de sortie est vide
- latence mini = lecture de l'adresse destination
 - ✓ exemple : 100Mbps, trame de 1518 octets ➡ gain de $\sim 120\mu s$
- plus de contrôle de la trame (CRC-32)



VLAN(1)



picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

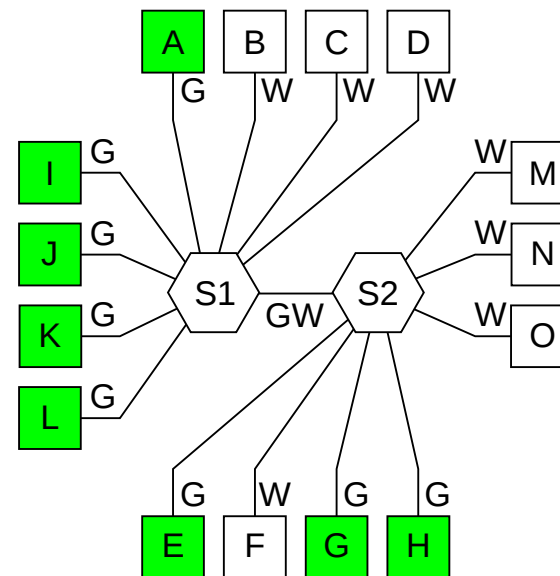
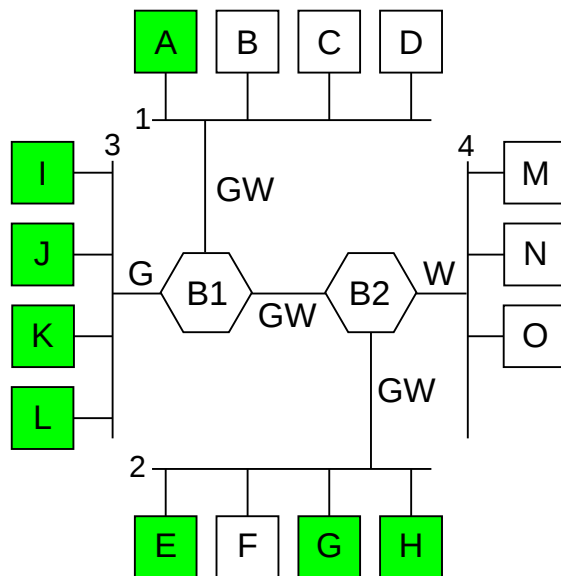
Infrastructure de cablage générique

configuration logique des LAN : **Virtual LAN**

VLAN(2)

Table de configuration dans les ponts et commutateurs

- détermination de l'appartenance à un VLAN
 - ✓ par port
 - ✓ par adresse LAN
 - ✓ par protocole ou réseau de la couche 3
- plusieurs VLAN par port pour le transit (*Virtual STP*)



picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

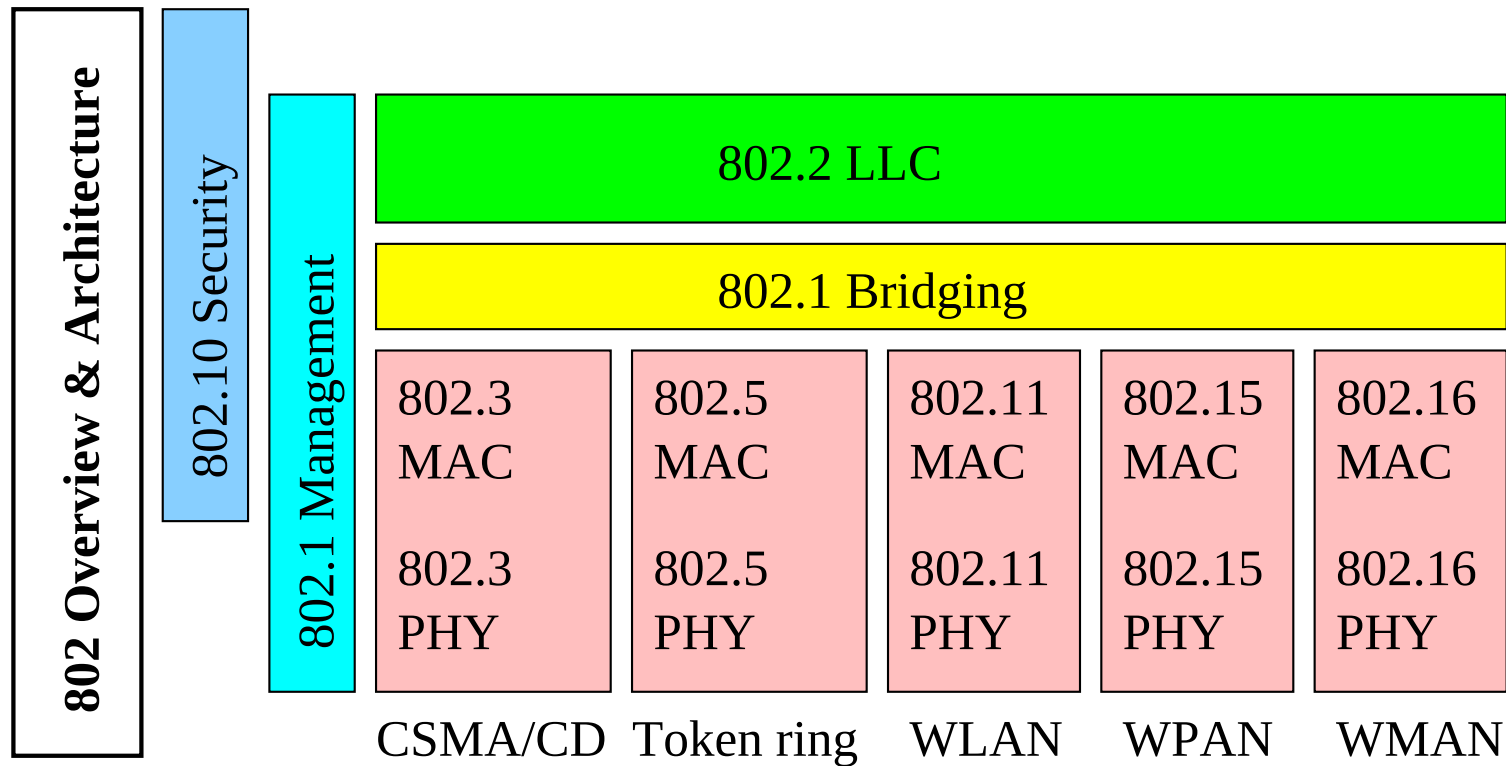
Plan

Architecture Ethernet

- protocole d'accès au médium
- technologies Ethernet
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- **standards IEEE**
- autres LAN IEEE

Normalisation IEEE 802

Définition de l'architecture



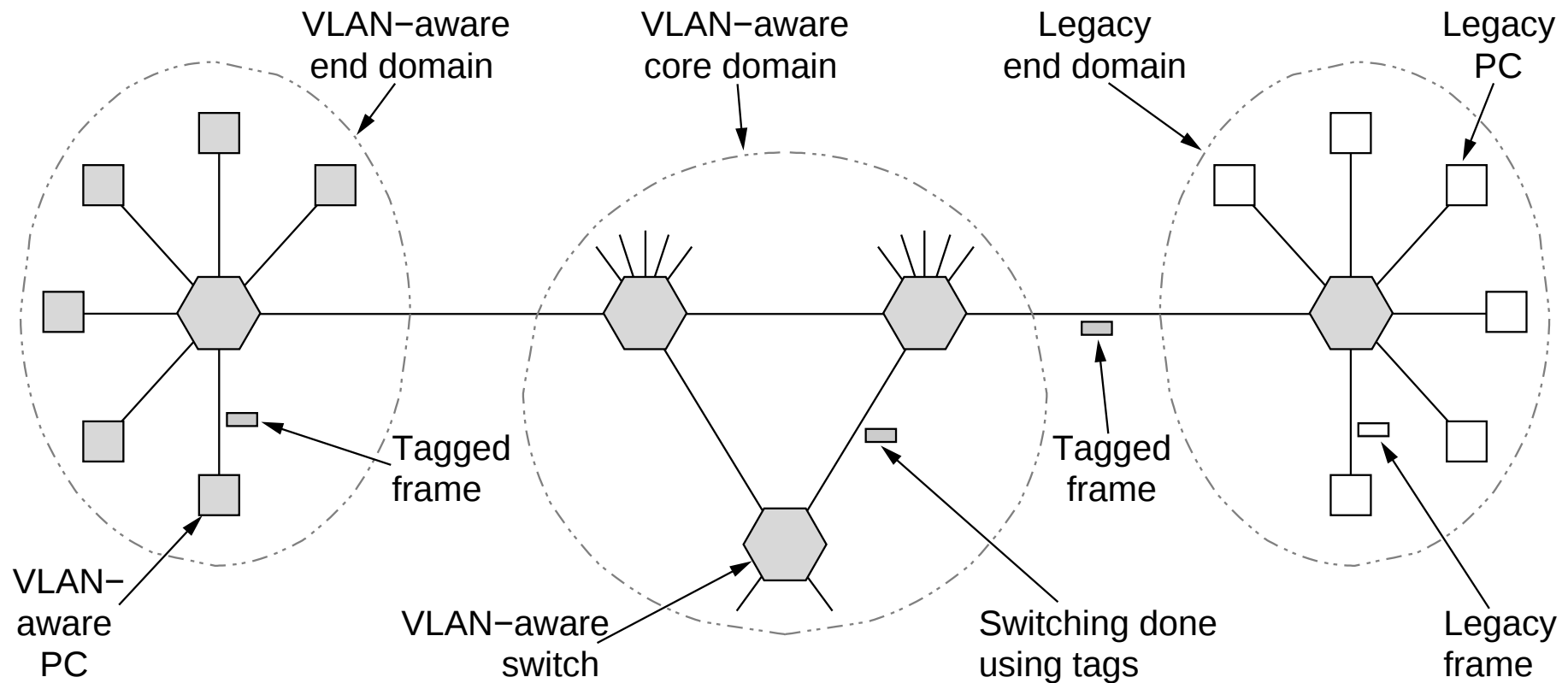
802.1x

Quelques normes intéressantes :

- **802.1d** *MAC Bridges*
✓ protocole STP...
- **802.1f** *MIB IEEE 802*
- **802.1g** *MAC distant bridging*
✓ inteconnexion de LAN avec des technologies WAN
- **802.1h** *MAC Bridging of Ethernet V2 in IEEE 802 LAN*
- **802.1q** *Virtual Bridged LAN...*

802.1q (1)

Ajout d'un identifiant de VLAN dans la trame

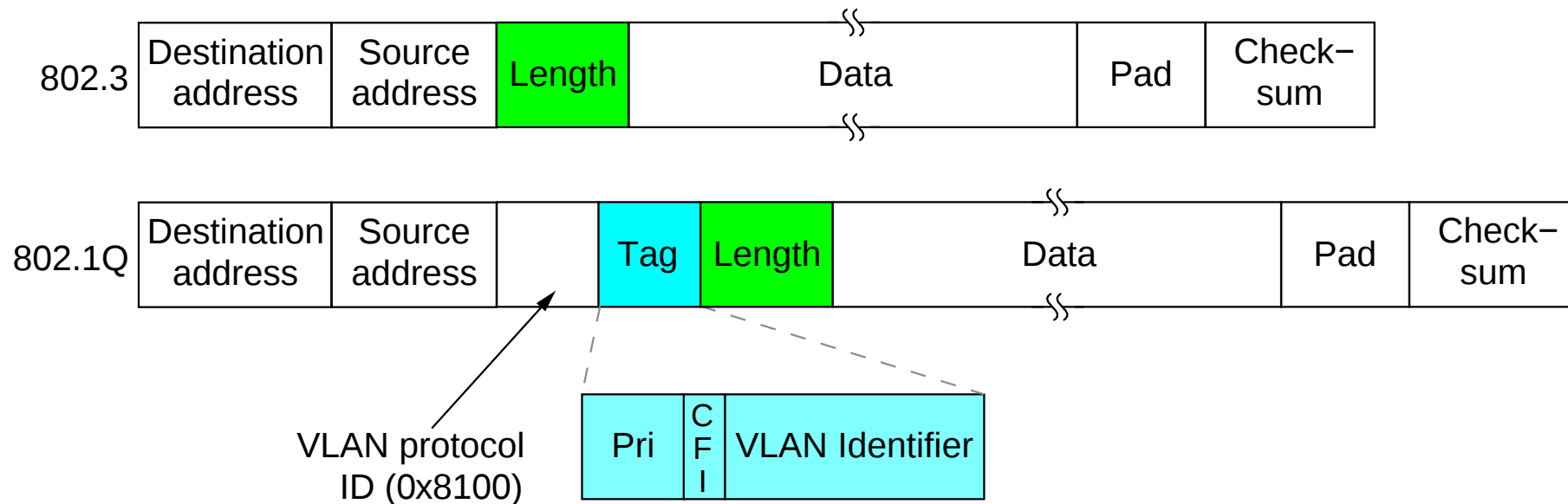


picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

802.1q (2)

Evolution de la structure la trame Ethernet : **1522 octets max !**

- seuls les équipements 802.1q échangent les nouvelles trames
- 4096 VLAN identifiables
- 3 bits de priorité

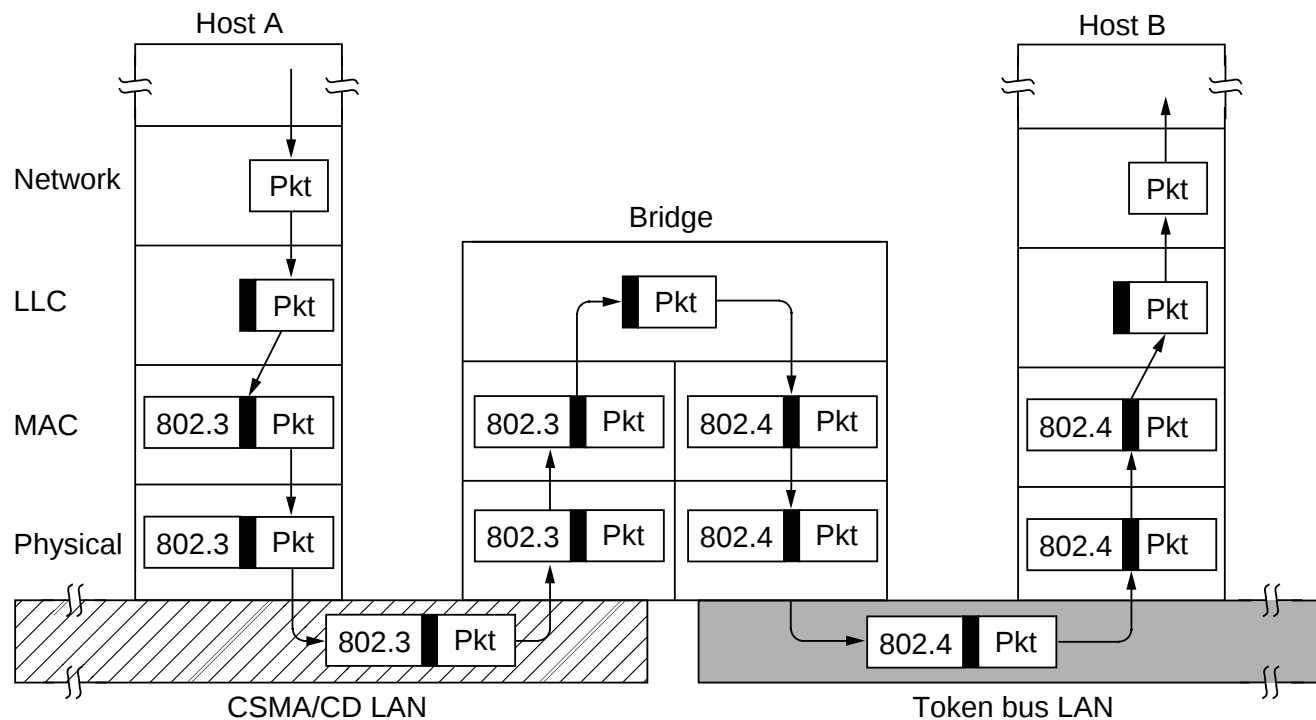


picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

Pontage 802.2

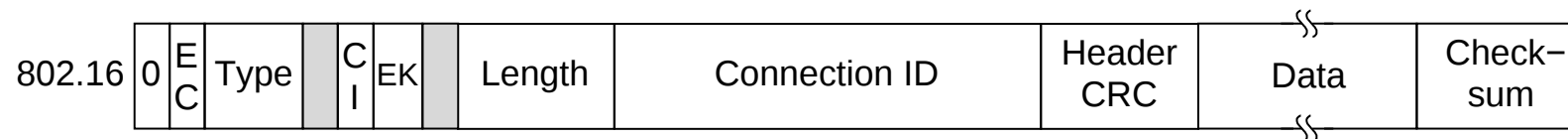
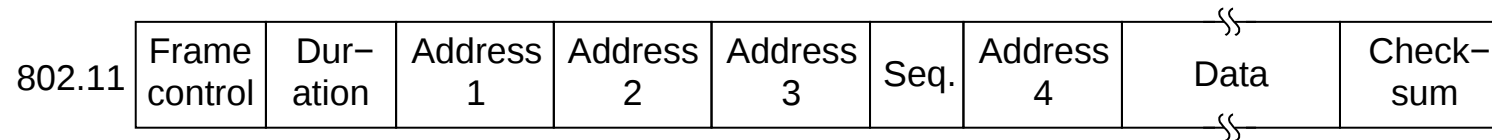
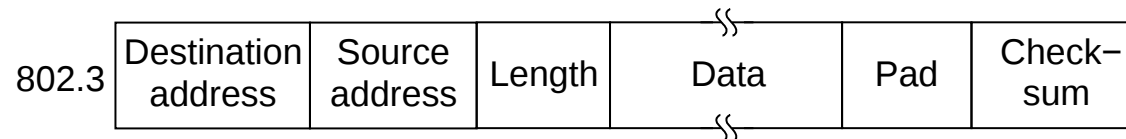
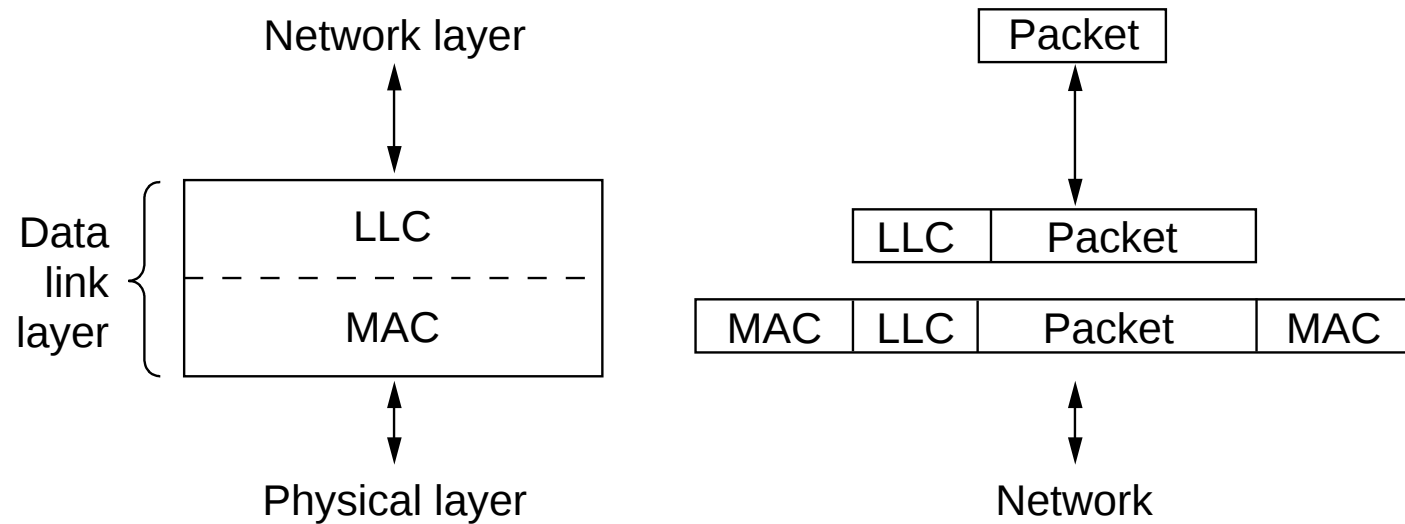
Subdivision en 2 sous-couches de la Couche ISO Liaison

- **LLC** (*Logical Link Control*) sublayer
 - **MAC** (*Medium Access Control*) sublayer
- ➡ permet le pontage direct des différents réseaux IEEE 802 :



picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

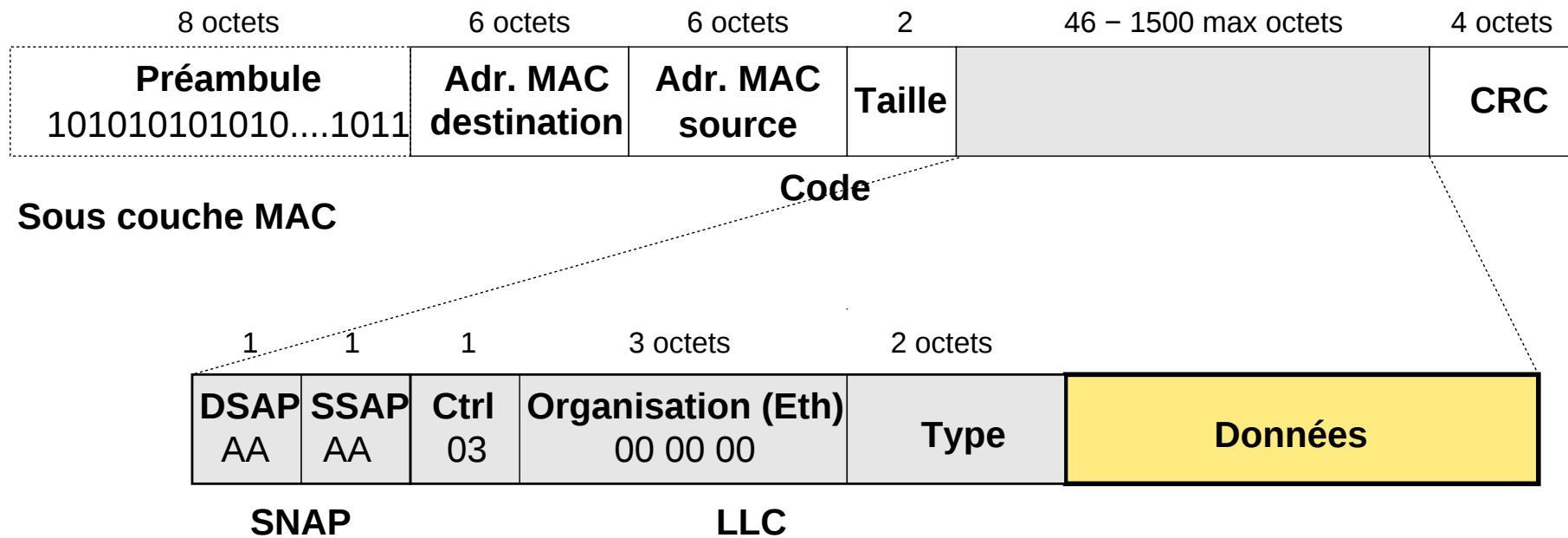
IEEE 802.2



picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

IEEE 802.3 : CSMA/CD

Encapsulation de type SNAP/LLC :



Sous couche LLC

IEEE 802.3 : Appellations

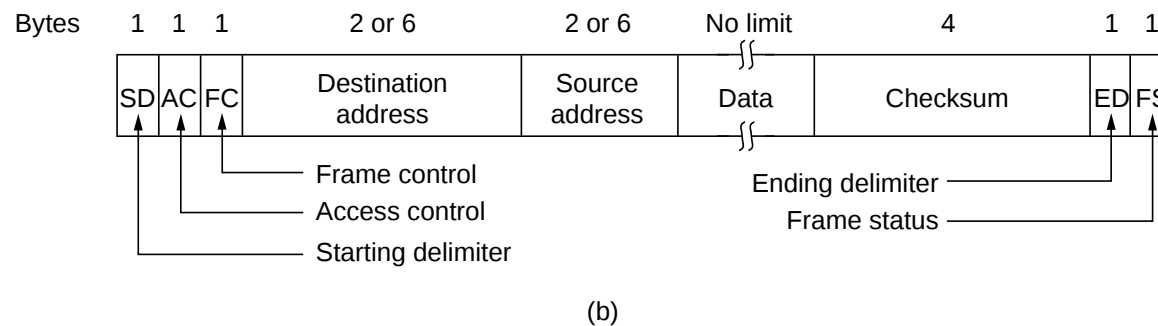
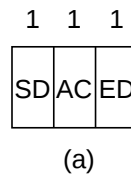
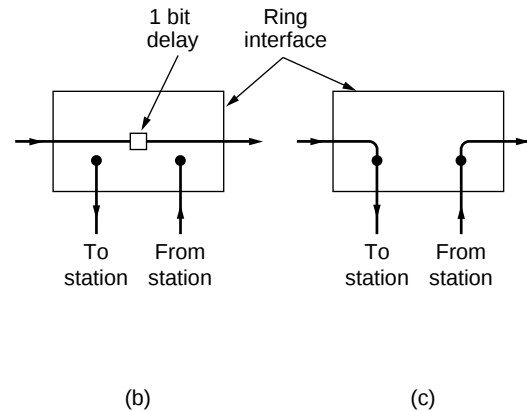
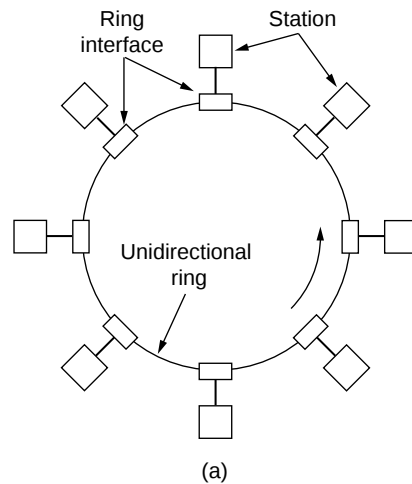
Norme	date	nom	remarque
802.3	1985	10Base5	coaxial épais 50Ω
802.3a	1988	10Base2	coaxial fin 50Ω
802.3b	1985	10Broad36	coaxial TV 75Ω
802.3i	1990	10BaseT	sur 2 paires UTP3
802.3j	1993	10BaseF	sur fibres MM/SM
802.3u	1995	100BaseT4	sur 4 paires UTP3
802.3x et 802.3y	1997	100BaseT2	sur 2 paires UTP5
802.3z	1998	1000BaseX	module GBIC
802.3ab	1999	1000BaseT	sur 4 paires UTP5
802.3ac	1998	VLAN	pour 802.3
802.3ad	2000	Agrégation	plusieurs liens (<i>trunking</i>)
802.3ae	2002	10GBaseX	sur fibres MM/SM

Plan

Architecture Ethernet

- protocole d'accès au médium
- technologies Ethernet
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- standards IEEE
- **autres LAN IEEE**

IEEE 802.5 : Token Ring

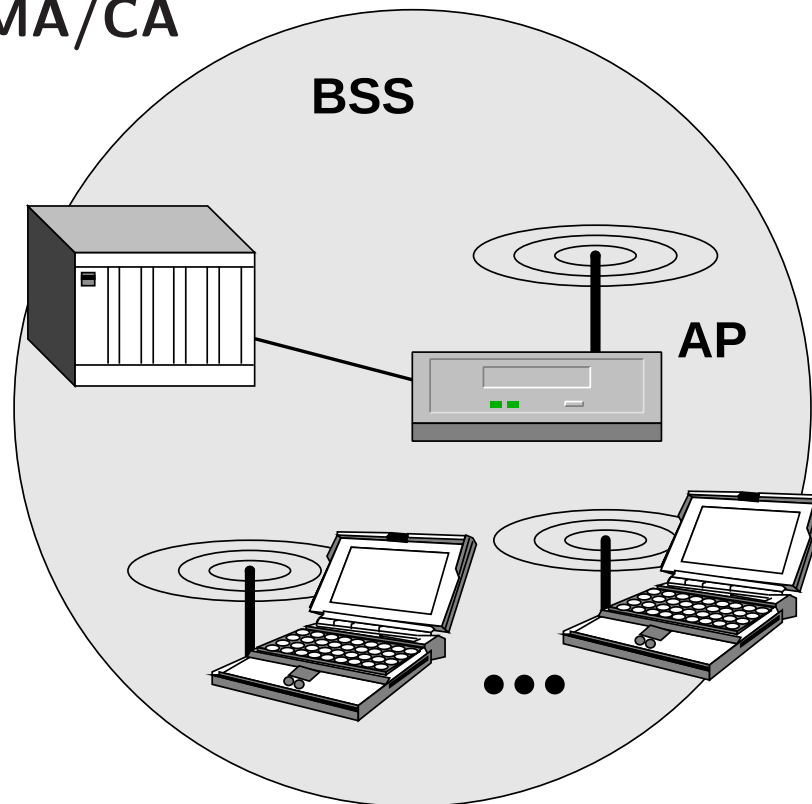


picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

IEEE802.11 : WLAN

Wireless Ethernet

- zone de service : cellule ou BSS (*Basic Service Set*)
 - ✓ stations sans-fil
 - ✓ station de base (fixe) ou AP (*Access Point*) servant de pont 802
- MAC : **CSMA/CA**



Fin

Document réalisé avec $\text{\LaTeX}$.

Classe de document foils.

Dessins réalisés avec xfig.

Olivier Fourmaux, olivier.fourmaux@upmc.fr

<http://www-rp.lip6.fr/~fourmaux>

Ce document est disponible en format PDF à

<http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/>