

# U.E. ARES Architecture des Réseaux

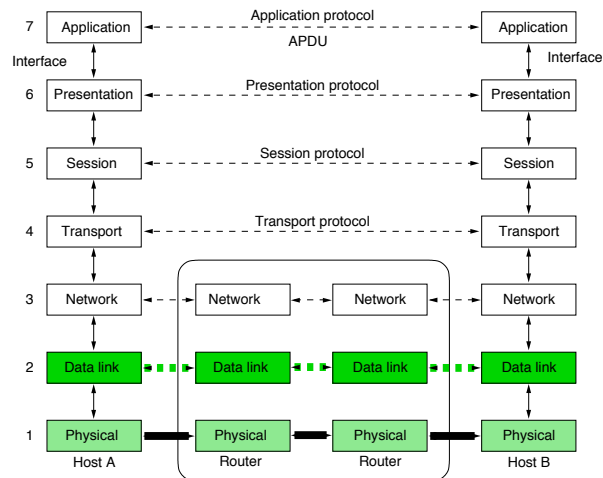
## Cours 6/6 : Architectures supports

Olivier Fourmaux  
(olivier.fourmaux@upmc.fr)

Version 5.4

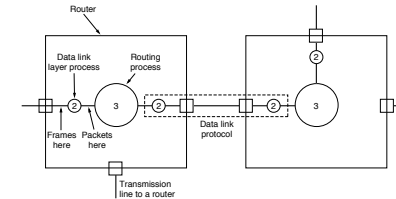


### Technologies supports et modèle OSI



### OSI : Couche Liaison

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



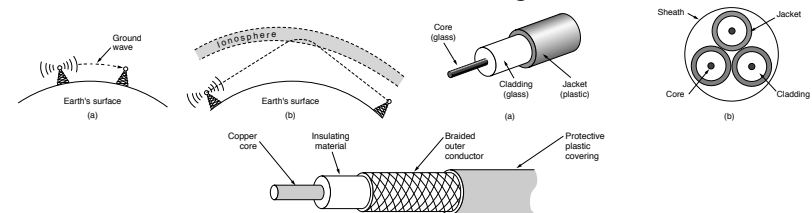
- découpage de trame (*framing*)
- contrôle d'erreur
- ordonnancement et fiabilité
- contrôle de flux
- trois types de technologie pour la Couche Liaison
  - ✓ point-à-point
  - ✓ multipoint sans diffusion → U.E. RTEL
  - ✓ multipoint avec diffusion (médium partagé)



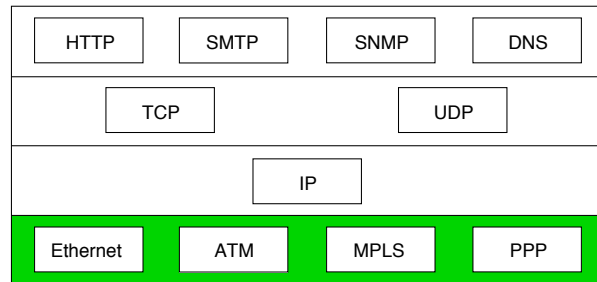
### OSI : Couche Physique

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 câbles électriques, atténuation, longueur maximum
    - ⚡ fibre optique multimode, monomode
    - ⚡ forme des connecteurs, couleur des gaines...



## Technologies supports et TCP/IP



Couches OSI Liaison + Physique ~ 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

Architecture point-à-point

De la boucle locale...

## Ethernet : Introduction

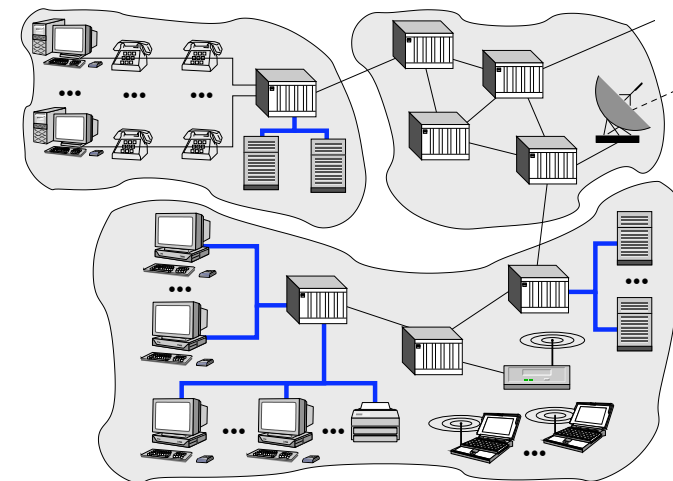
→ années 90 : nombreuses technologies LAN

- 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

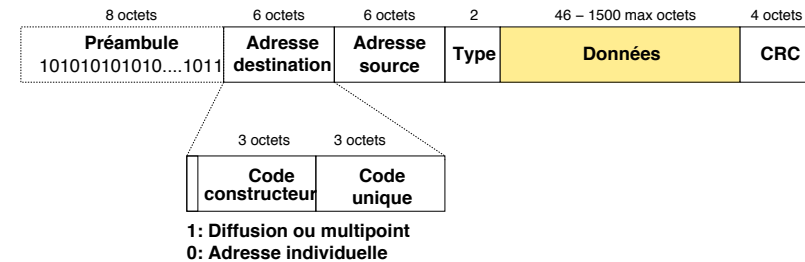
Différents types d'Ethernet...

- deux **topologies** :
  - ✓ bus
  - ✓ étoile
- **supports** variés :
  - ✓ câbles 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)

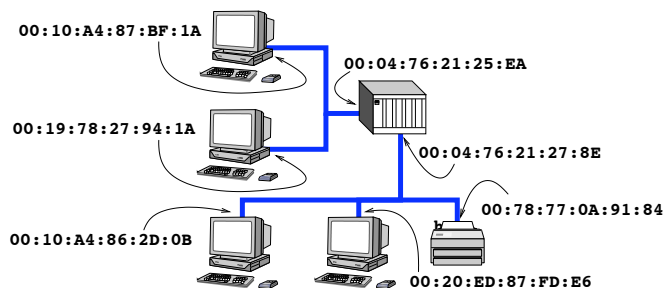
## Ethernet : Structure de la trame (1)



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 : Adresses LAN



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

- aussi appelées :
  - ✓ adresses Ethernet
  - ✓ adresses physiques (*physical address*)
  - ✓ adresses MAC (*Media Access Control address*)
- adressage à plat administré par l'IEEE

## 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), polynôme 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'acquiescement
    - ☞ 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

## Plan

Architecture Ethernet

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

Architecture point-à-point

De la boucle locale...

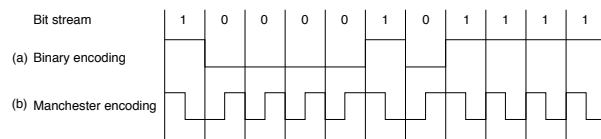
## Ethernet : Transmission

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...)

## Protocoles d'accès au médium

Liaisons directes émetteur récepteur ⇒ voir le cours **Archi. point-à-point**

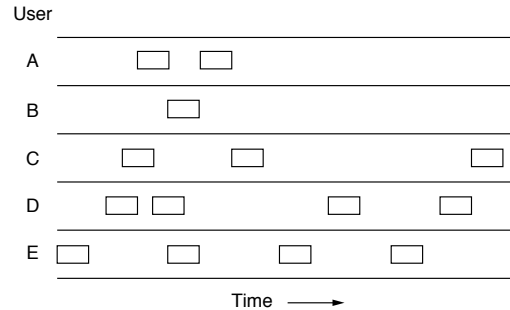
Liaisons partagées :

- 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 ressource** (*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** ⇒ 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



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

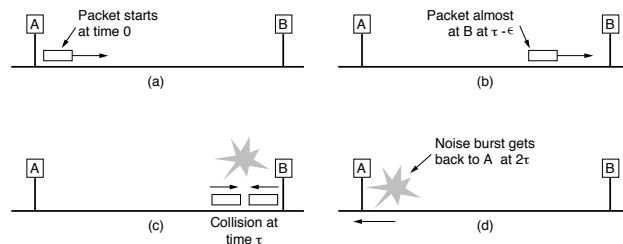
## Protocole d'accès Ethernet

- **fonctionnement** des adaptateurs :
  - ✓ début 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

## CSMA

Amélioration de l'approche aléatoire

- **détection de porteuse** : CSMA (*Carrier Sense Mutiple 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 =  $512/10^7 = 51,2 \mu\text{sec}$
  - ⚡ **T prop. max** :  $2 * 2500\text{m} \text{ à } 2.10^8 \text{ms}^{-1} = 25 \mu\text{sec} + 8 * t_{\text{repet}}$



## Plan

Architecture Ethernet

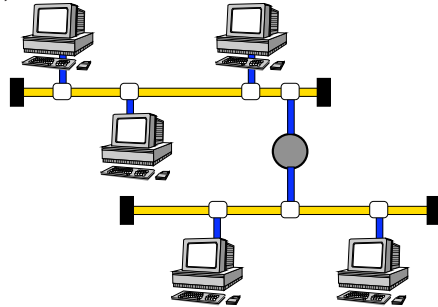
- protocole d'accès au médium
- **technologies Ethernet**
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- standards IEEE
- autres LAN IEEE

Architecture point-à-point

De la boucle locale...

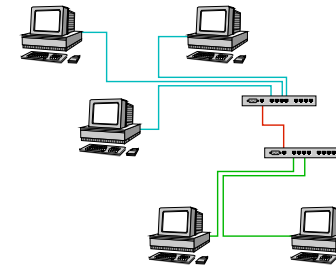
## Ethernet : 10Base5

- 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** (51.2μs max  $\Rightarrow$  4 répéteurs : 2500m max entre 2 stations)



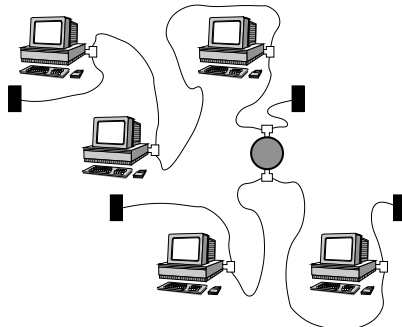
## Ethernet : 10BaseT

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



## 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 50Ω
- topologie : **bus étendu** (51.2μs max  $\Rightarrow$  4 répéteurs et 925m max entre 2 stations)



## 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**  $\Rightarrow$  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**  $\Rightarrow$  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 : 2 fibres optiques (400m max MMF, 20km max SMF)

## Ethernet : 1000BaseT

## Plan

### 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) ➡ 4.01μs plutôt que 0.512μs!
    - ☞ 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 (MMF) et monomode (SMF) 1300nm 5km max

### Architecture Ethernet

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

### Architecture point-à-point

De la boucle locale...

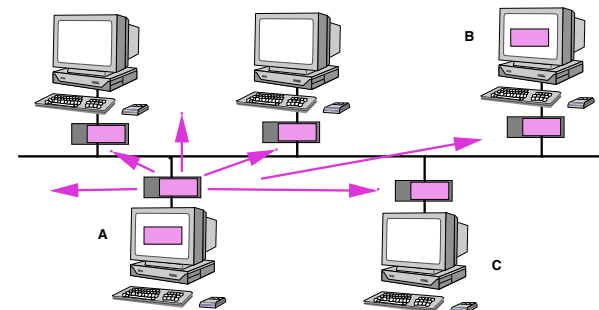
## Ethernet : 10GBase ?

## Réseaux à diffusion

### 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...

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

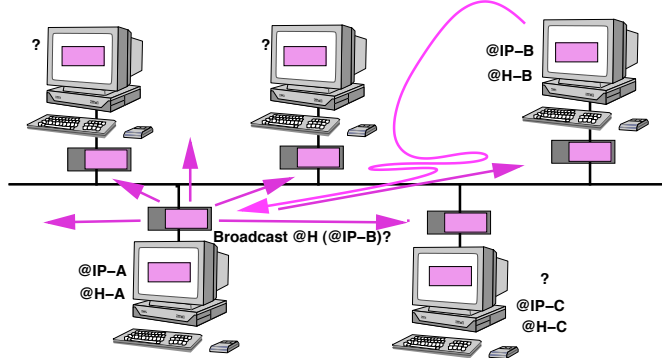


### Transport d'IP :

- **résolution d'adresses**
- **format d'encapsulation**

## Résolution d'adresse : ARP

### Address Resolution Protocol



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

## IP sur Ethernet

8 octets	6 octets	6 octets	2	46 – 1500 max octets	4 octets
Préambule 101010101010....1011	Adr. MAC destination	Adr. MAC source	08 00		CRC

Entête IP	Données IP	(bourrage)
-----------	------------	------------

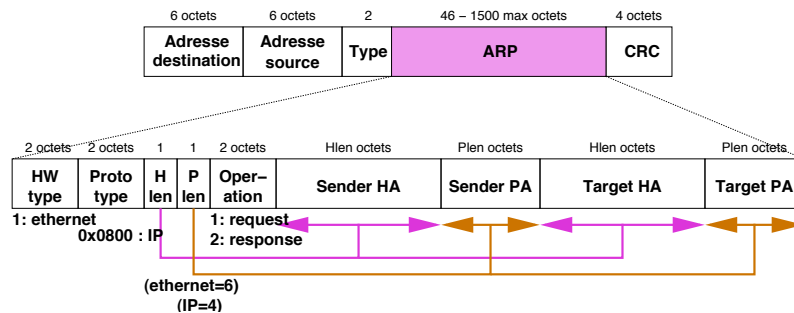
Type ethernet (*Ethertype*) > 1500 :

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)

## 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

## Plan

### Architecture Ethernet

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

### Architecture point-à-point

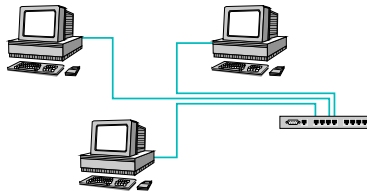
De la boucle locale...



## 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**

## Plan

### Architecture Ethernet

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

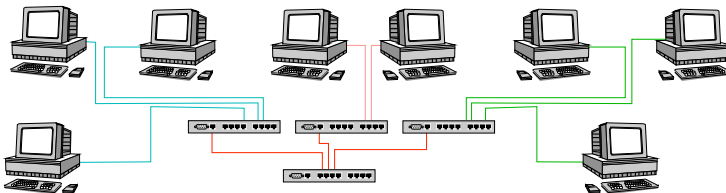
### Architecture point-à-point

De la boucle locale...

## 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*

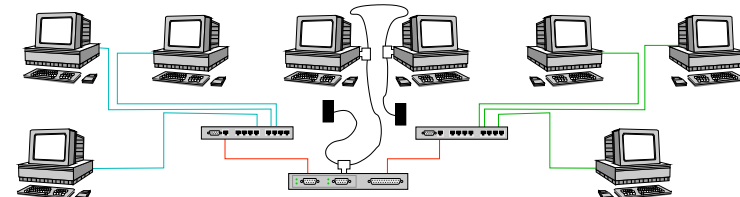


- intérêts :
  - ✓ + augmente la connectivité
  - ✓ + augmente la redondance (déconnexion des *hubs* en panne)
  - ✓ - limitations physiques (distance, nb machines...)
  - ✓ - diminution du débit par machine
  - ✓ - augmentation des collisions (et réduction du débit)

## 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*)

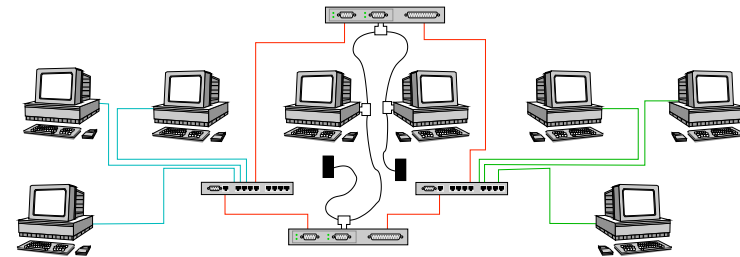
- choix de l'interface de sortie

⇒ 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**

## Ponts : Redondance



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

## Pont : Auto-apprentissage

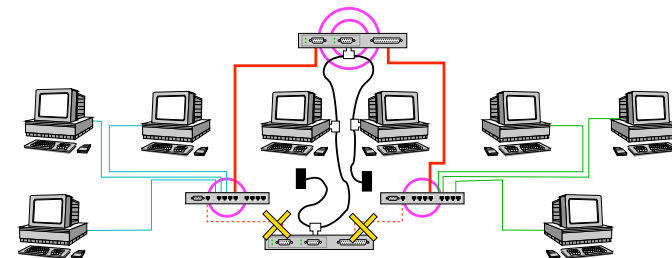
### Self-learning

- 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 : STP

### Spanning Tree Protocol

- réseaux pontés avec redondance ~ graphe (nœuds = ponts)
  - ✓ graphe sans boucle = arbre ⇒ construction d'un **arbre couvrant**
    - ⇒ pont avec un numéro identificateur : le plus petit est la **racine**
    - ⇒ échange de BPDU <id\_root, dst\_root, id\_snd, num\_port>
    - ⇒ **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 relaiage
  - ✓ – 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

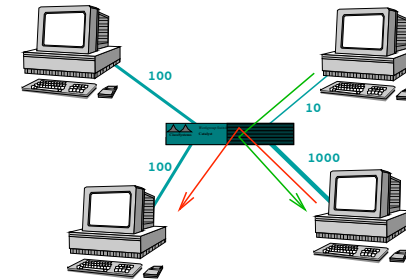
Architecture point-à-point

De la boucle locale...

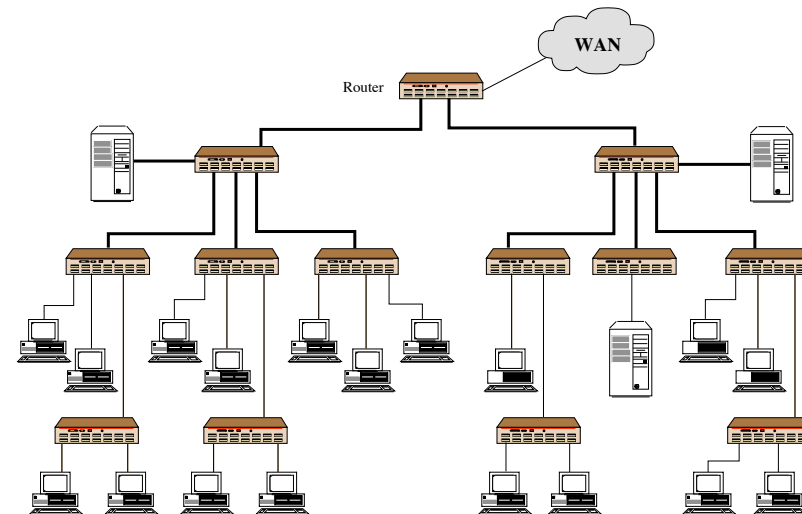
## Commutateurs Ethernet

*Ethernet Switch*

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



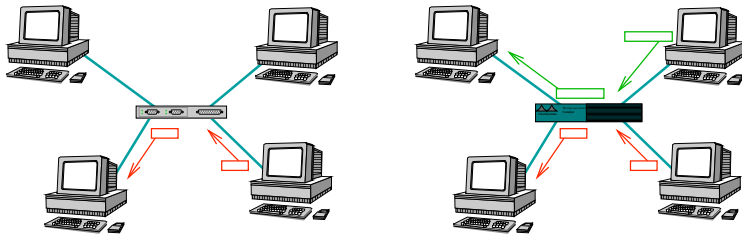
## Hiérarchie Ethernet



## Commutation "Store and Forward"

Mémorisation puis transmission de la trame

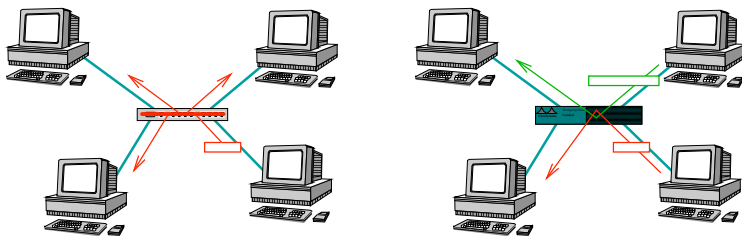
- $\sim$  fonctionne comme un pont
- stockage complet avant retransmission (et calcul du CRC-32)
- latence mini de  $L_F/R_i$  ( $L_F$  taille trame,  $R_i$  débit du lien de sortie)



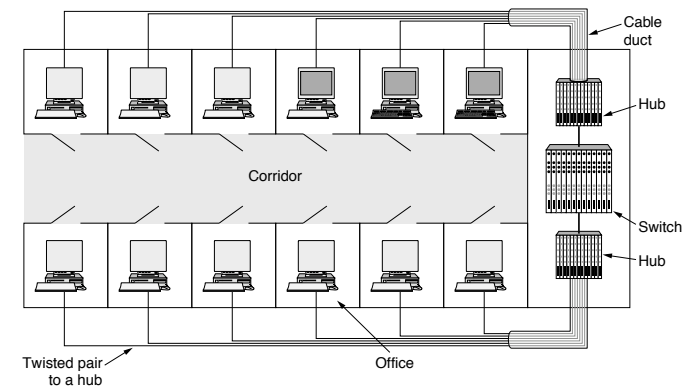
## Commutation "Cut-Through"

Transmission directe

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



## VLAN(1)



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

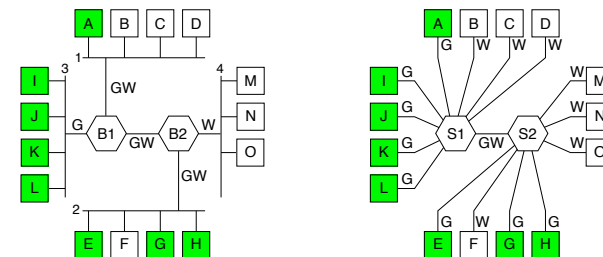
## Infrastructure de câblage générique

- ➡ 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

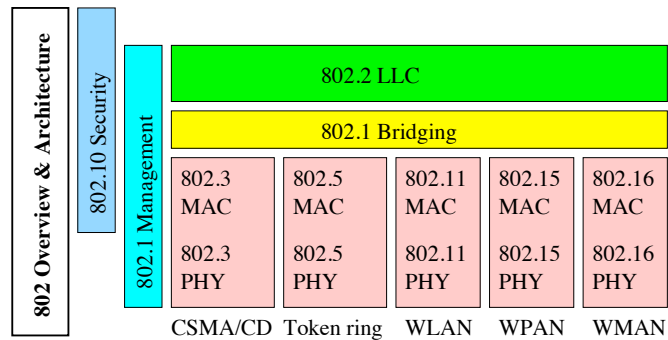
- protocole d'accès au médium
- technologies Ethernet
- intégration TCP/IP
- hubs Ethernet
- ponts Ethernet
- commutateurs Ethernet
- **standards IEEE**
- autres LAN IEEE

### Architecture point-à-point

De la boucle locale...

## Normalisation IEEE 802

### Définition de l'architecture



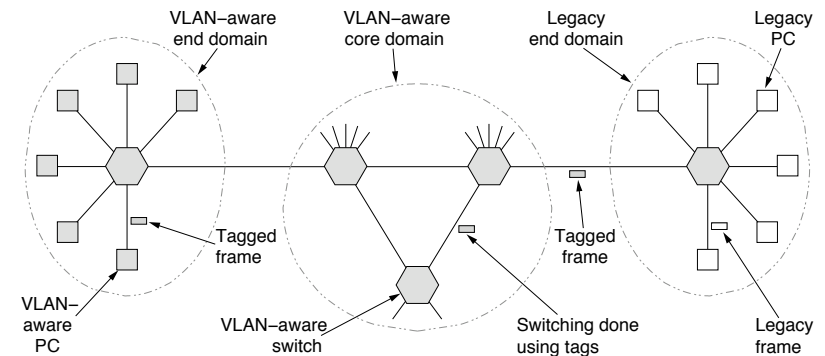
## 802.1x

### 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

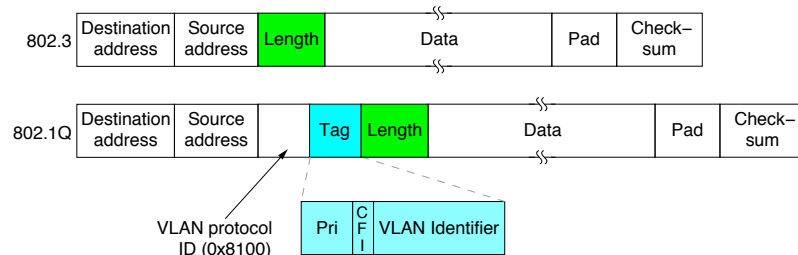


picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

## 802.1q (2)

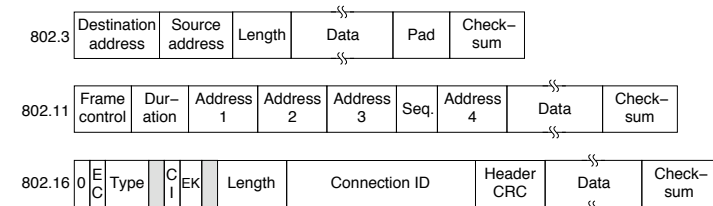
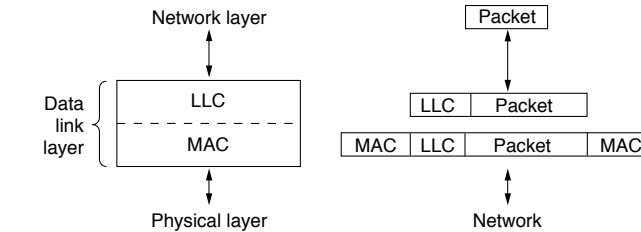
**Evolution** de la structure la trame Ethernet : **1522 octets max !**

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



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

## IEEE 802.2

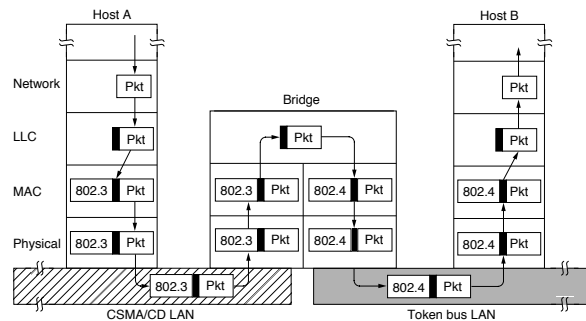


picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

## Pontage 802.2

Subdivision en 2 sous-couches de la Couche ISO Liaison

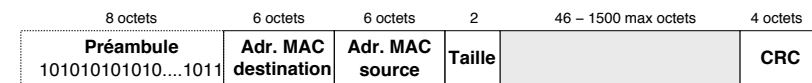
- **LLC** (*Logical Link Control*) sublayer
  - **MAC** (*Medium Access Control*) sublayer
- ➡ permet le pontage direct des différents réseaux IEEE 802 :



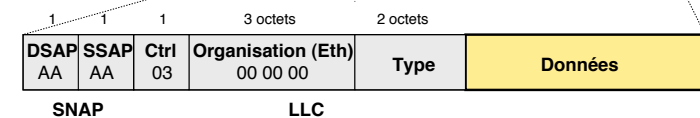
picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

## IEEE 802.3 : CSMA/CD

Encapsulation de type SNAP/LLC :



Sous couche MAC



Sous couche LLC

## IEEE 802.3 : Appellations

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

## Plan

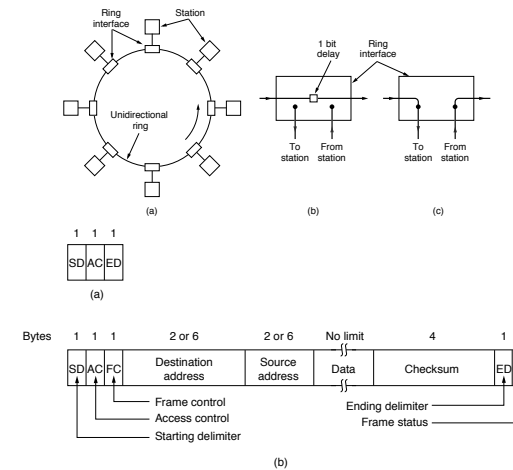
### Architecture Ethernet

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

### Architecture point-à-point

De la boucle locale...

## IEEE 802.5 : Token Ring

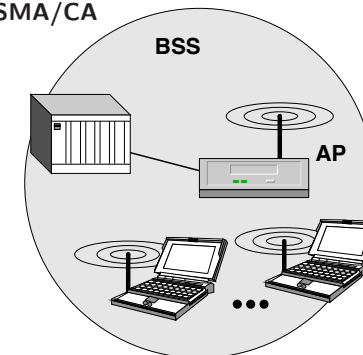


picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

## 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



## Plan

Architecture Ethernet

### Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

De la boucle locale...

## Introduction

Communication **directe** entre deux entités

Fonctions principales en point-à-point :

- **découpage de trame** (*framing*)
- des fonctionnalités similaires à celles de la couche transport peuvent aussi intervenir (sauf contrôle de **congestion**) :
  - ✓ contrôle d'erreur
  - ✓ contrôle de flux
  - ✓ ordonnancement (numérotation)
  - ✓ anticipation (*sliding window*)
  - ✓ fiabilité (acquittements et retransmissions)

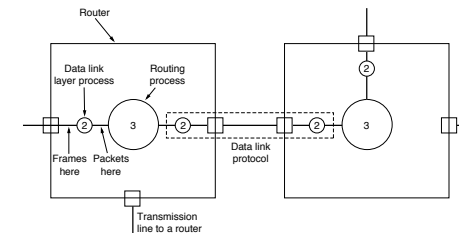
Pour le transport de données :

- pas de résolution d'adresses
- **format d'encapsulation**

## Couche liaison point-à-point

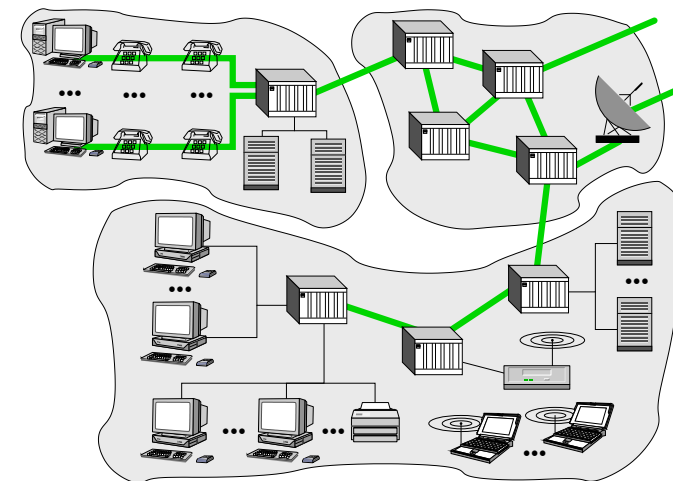
Ce service point-à-point correspond à celui de la **couche liaison** OSI

- Caractéristiques :
  - ✓ technologie d'interface homogène



- ✓ unités de transmission variées
  - ✉ bits, octets, cellules ...
- ✓ couches sous-jacentes variées
  - ✉ niveaux intermédiaires possible avant la **couche physique**
  - ✉ possibilité de multiples éléments actifs (multiplexeurs, modems, ponts, commutateurs, routeur, passerelles applicatives...)

## Liaisons point-à-point : Où ?





## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

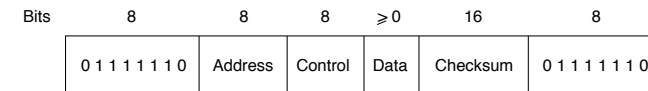
- **HDLC**
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

De la boucle locale...

## HDLC : Structure

Découpage au niveau **bit** ou **octet**

- délimitation par un fanion (*flag*) de valeur binaire : **0111 1110**
  - ✓ suite de bit 01111110 (protection par *bit stuffing*)
  - ✓ octet de valeur 0x7E (protection par *byte stuffing*)



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

3 types de trames (control) :

- **Information** : transmission de données avec *sliding window* (7 trames non acquittées max)
- **Supervisory** : contrôle de flux, ACK non *piggyback*, NACK, demande de retransmission selective...
- **Unnumbered** : pour le contrôle interne à la couche liaison

## HDLC : Famille

La plupart des protocoles de la couche **liaison** pour le point-à-point sont apparentés à HDLC :

- SDLC (*Synchronous Data Link Control*) d'IBM pour SNA
- ADCCP (*Advance Data Communication Control Procedure*)  
normalisation de SDLC par l'ANSI
- **HDLC** (*High-level Data Link Control*) normalisation de SDLC par l'ISO
- LAP (*Link Access Procedure*) normalisation d'HDLC par l'ITU
  - ✓ LAP-B pour X25
  - ✓ LAP-D pour *ISDN*
  - ✓ LAP-F pour *Frame Relay*
- **PPP** (*Point-to-Point Protocol*) standard de l'IETF

Ces protocoles s'appuient sur une grande variété de supports **physiques** permettant de transmettre des bits ou caractères entre deux machines.

## Plan

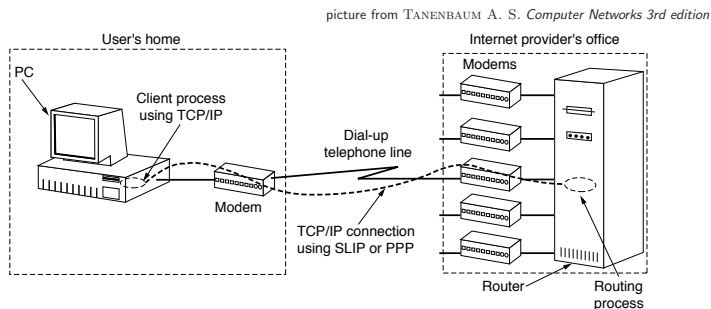
Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

- HDLC
- **IP sur liaison série**
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

De la boucle locale...

## IP sur ligne série



- SLIP (*Serial Line Internet Protocol*)
  - ✓ orienté caractère, découpage grâce au caractère 0xC0
  - ✓ rudimentaire : aucun contrôle, aucune négociation
- PPP ...

## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- **PPP**
  - contrôle de la couche liaison (LCP)
  - authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
  - contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

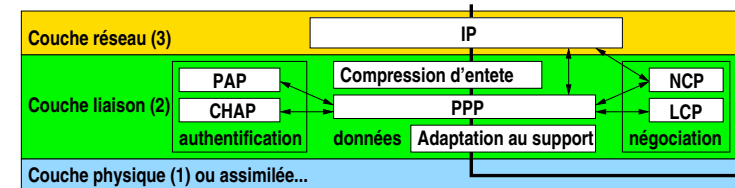
De la boucle locale...

## PPP : Introduction

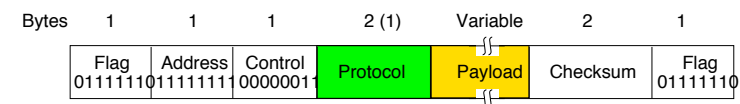
Point-to-Point Protocol (RFC 1661)

Protocole générique ➡ nombreuses fonctionnalités :

- multiprotocolaire
  - ✓ transporte d'autres niveaux 3 que IP
  - ✓ s'appuie sur d'autres technologies que les lignes séries
- négociation
  - ✓ adaptation au support
    - ☞ détection et correction d'erreur
    - ☞ compression d'entête pour les liaisons à faible débit
  - ✓ configuration automatique du client



## PPP : Structure protocolaire



Encapsulation simple : ajout de **2 octets** (compressibles à 1 octet)

- Protocol : indique le type d'information transportée
  - ✓ LCP : protocole de contrôle de la couche liaison
    - ☞ négociation des paramètres de la couche support (compression, taille des trames...)
  - ✓ PAP et CHAP : protocoles d'authentification
  - ✓ NCP : protocole de contrôle de la couche réseau
    - ☞ négociation des paramètres du protocole transporté (adressage...) ➡ dépend de chaque couche réseau supportée
  - ✓ IP, AppleTalk, IPX, IPv6...
- Payload : contient les données de la trame
  - ✓ MRU (*Maximum Receive Unit*) négociable (par défaut : 1500 o)
  - ✓ bourrage si la technologie support le nécessite

## PPP : Protocoles transportés

Valeur	Description
0x0001	Protocole de bourrage
0x0021	IP
0x0029	AppelTalk
0x002B	IPX
0x002D	TCP/IP Compression d'entête de Van Jacobson
0x002F	TCP/IP Compression inefficace
0x0057	IPv6
0x0281	MPLS
0x8021	IPCP : configuration d'IP
0x8029	ATCP : configuration d'AppelTalk
0x802B	IPXCP : configuration d'IPX
0x8057	IPV6CP : configuration d'IPv6
0x8281	Configuration de MPLS
0xC021	LCP : <i>Link Control Protocol</i>
0xC023	PAP : <i>Password Authentication Protocol</i>
0xC025	LQR : <i>Link Quality Report</i>
0xC223	CHAP : <i>Challenge Handshake Authentication Protocol</i>

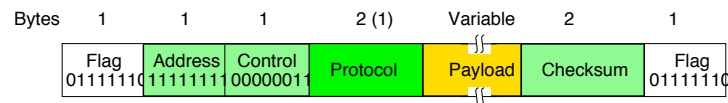
## PPP : Protection du fanion

Deux types de liaison point-à-point :

- **synchrone** (bits : le fanion est la séquence 0111 1110)
  - ✓ protection par bourrage au niveau bit (*bit stuffing*)
    - ☞ 1 bit à 0 est rajouté tout les 5 bits à 1
    - ☞ 01111110111110 ➡ 0111110101111100
- **asynchrone** (octets, le fanion à la valeur 0x7E)
  - ✓ protection par échappement au niveau octet (*byte stuffing*)
    - ☞ octet d'échappement de valeur 0x7D :
    - ☞ 0x7E ➡ 0x7D 0x5E
    - ☞ 0x7D ➡ 0x7D 0x5D
  - ✓ valeurs d'octets actives pour la gestion de la connexion asynchrone (correspond aux codes ASCII < 32), même principe de protection :
    - ☞ 0x11 (XON : reprise du transfert) ➡ 0x7D 0x31
    - ☞ 0x13 (XOFF : arrêt du transfert) ➡ 0x7D 0x33

➡ La bande passante disponible est **variable** !

## PPP : Encapsulation standard

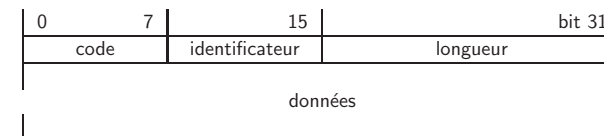


Similaire à une trame HDLC pour les flux d'octets :

- un **fanion** (flag) de valeur binaire : 0111 1110 (0x7E)
- address (1 octet) : 1111 1111 (0xFF, diffusion)
  - ✓ il n'y a qu'un destinataire (point-à-point)
- control (1 octet) :
  - ✓ **liaison fiable** ➡ pas de contrôle : 0000 0011 (0x03, trame UI, voir le RFC 1662)
    - ☞ optimisation : suppression des champs Address et Control
  - ✓ **liaison peu fiable** ➡ contrôle du séquençement (voir HDLC, trames UA et SABME, voir le RFC 1663)
- Protocol et Payload : encapsulation PPP
- Checksum (2 octets) : CRC 16 bits
- encore un **fanion** de valeur binaire : 0111 1110

## PPP : Négociation

Structure de la trame de négociation typique de PPP :



- code : indique le type de négociation
- identificateur : mise en correspondance entre les requêtes et les réponses
- longueur : taille totale de la trame avec l'entête LCP
  - ✓ permet de supprimer de potentiels octets de bourrage
- données : paramètres de la négociation

Les négociations débutent lors de l'initiation de la connexion

## PPP : Trames de négociation

Valeur	Code	Description	LCP	NCP
1	Configure-Request	modif. aux valeurs par défaut	✓	✓
2	Configure-Ack	récepteur accepte toutes les modif.	✓	✓
3	Configure-Nak	valeurs refusées, en proposer d'autres	✓	✓
4	Configure-Reject	valeurs non négociables	✓	✓
5	Terminate-Request	un des équipements veut terminer	✓	✓
6	Terminate-Ack	confirmation de la terminaison	✓	✓
7	Code-Reject	code inconnu	✓	✓
8	Protocol-Reject	protocole inconnu	✓	
9	Echo-Request	demande test l'état de la liaison	✓	
10	Echo-Reply	réponse de test de l'état de la liaison	✓	
11	Discard-Request	supprimées en silence par le récepteur	✓	

## LCP

### Link Control Protocol

Supervision de l'état de la liaison

- champ protocol de la trame PPP : 0xC021
- négociation initiale à l'ouverture de la connexion
- définition d'options de type TLV  
✓ voir RFC 1570 et **RFC 1661**

✓ format :

1 octet	1 octet	(Longueur - 2) octets
Type	Longueur	Valeur

## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- **contrôle de la couche liaison (LCP)**
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

De la boucle locale...

## LCP : Types d'options

Valeur	Code	Taille	Description
1	MRU	4	Taille maximale des trames reçues
2	ACCM	6	table des caractères à transcoder
3	authentification	4	type du protocole d'authentification choisi
4	qualité	6	type du protocole de gestion de la QoS
5	<i>Magic Number</i>	6	négociation de cette valeur
7	compression protocol	2	champ de contrôle sur 1 octet
8	compression address et control	2	suppression de ces champs
10	bourrage auto-descriptif	3	paramètre d'un bourrage qui peut être automatiquement supprimé par le récepteur
13	rappel automatique	3+	...

## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- **authentification (PAP, CHAP et RADIUS)**
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

De la boucle locale...

## PAP

Password Authentication Protocol (RFC 1334)

Une fois la connexion établie et les paramètres LCP négociés

→ vérification de l'identité

- champ protocol de la trame PPP : 0xC023
- transmission en clair de l'**identifiant** et du **mot de passe**
- 4 types de trames de négociation (Configure-Request, Configure-Ack, Configure-Nak ou Configure-Reject)
- format identique à LCP, valeur du champ code :

✓ 1 : **demande d'authentification**

format :	1 o.	(LgId) octets	1 o.	(LgMP) octets
	LgId	Identificateur	LgMP	Mot_de_passe

✓ 2 : **acquiescement positif**

format :	1 o.	(LgId) octets
	LgId	Message_pour_Le_client

✓ 3 : **acquiescement négatif** (retransmission nécessaire)

format :	1 o.	(LgId) octets
	LgId	Message_pour_Le_client

## CHAP

Challenge Authentication Protocol (RFC 1334)

Après la négociation LCP et pendant la communication

→ vérification de l'identité (suite)

- champ protocol de la trame PPP : 0xC223
- les 2 extrémités possèdent une **clé** identique et secrète
- 4 types de trames de négociation (Configure-Request, Configure-Ack, Configure-Nak ou Configure-Reject)
- format identique à LCP, valeur du champ code :

✓ 1 : **challenge** (envoi d'une séquence binaire)

format :	1 o.	(LgCh) octets
	LgCh	séquence_binaire

✓ 2 : **réponse** (retour de la séquence cryptée avec la clé → sceau)

format :	1 o.	(LgCC) octets
	LgCC	séquence_binaire_cryptée

✓ 3 : **succès** : la séquence cryptée reçue et celle calculée localement sont identiques

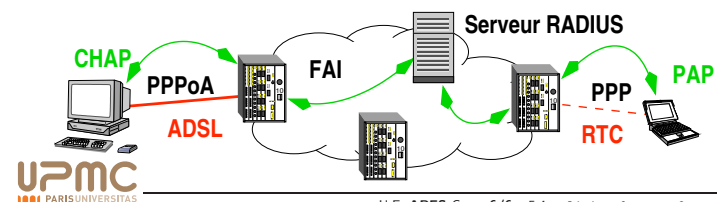
✓ 4 : **échec** (retransmission nécessaire)

## RADIUS (1)

Remote Authentication Dial-In User Service (RFC 2865)

Centralisation des informations concernant un utilisateur

- fonctions AAA : *Authentication, Authorization, and Accounting*
  - ✓ vérification de l'identité
  - ✓ connaître les droits et configuration d'accès
  - ✓ suivre les actions de l'utilisateur
- modèle client/serveur
  - ✓ le client peut se connecter aux différents points d'accès d'un FAI
    - ☞ client : point d'accès au FAI (extrémité PPP, ou autre protocole)
    - ☞ serveur : supporte une base de données utilisateurs du FAI



## RADIUS (2)

Service sans connexion (**UDP port 1812**)

- fiabilité gérée au niveau applicatif
- format du message :

0	7	16	bit 31
code	identificateur	longueur	
authentificateur $digest = MD5(code+id.+long.+auth\_req+param+secret)$			
paramètres			

Echange typique :

- message Access-Request du client d'accès
  - ✓ nom de l'utilisateur, mot de passe crypté
  - ✓ adresse IP du point d'accès, port UDP
  - ✓ type de session (PPP, rlogin, telnet...)
- réponse Access-Accept du serveur RADIUS
  - ✓ liste d'attributs à utiliser pour la session (adresse, serveurs...)
- réponse Access-Reject du serveur RADIUS
  - ✓ si l'utilisateur n'est pas dans la base ou n'a pas accès au service

## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- **contrôle de la couche réseau (NCP)**
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

De la boucle locale...

## NCP

*Network Control Protocol*

Après la configuration de la liaison (LCP) et une authentification optionnelle (PAP ou CHAP), **configuration des protocoles de couche 3**

- un NCP par protocole transporté :
  - ✓ IPCP pour la configuration IPv4 (RFC 1332)
  - ✓ IPV6CP pour la configuration IPv6 (RFC 2472)
  - ✓ ATCP pour la configuration AppleTalk (RFC 1378)
  - ✓ IPXCP pour la configuration IPX (RFC 1552)
  - ✓ OSINLCP pour la configuration des protocoles de l'OSI (RFC 1377)
  - ✓ ...

## IPCP

*Internet Protocol Control Protocol*

- champ protocol de la trame PPP : 0x8021
- 4 types de trames de négociation (Configure-Request, Configure-Ack, Configure-Nak ou Configure-Reject)
- format identique à LCP, valeur du champ code :
  - ✓ 2 : **compression d'entête**
    - ☞ 2 octets pour le type de compression (0x002d pour **Van Jacobson**; 0x0061 pour **étendu**, RFC 2507; 0x0003 pour **ROHC**, *RObust Header Compression*, RFC 3241)
    - ☞ 1 octet pour le nombre max de connexions compressées
    - ☞ 1 octet pour indiquer la présence du numéro de connexion
  - ✓ 3 : **adresse IP** du client sur 4 octets
  - ✓ 4 : **adresse IP permanente** (*home address*)
  - ✓ 129 : adresse IP du **serveur DNS primaire**
  - ✓ 130 : adresse IP du **serveur NBNS primaire**
  - ✓ 131 : adresse IP du **serveur DNS secondaire**
  - ✓ 132 : adresse IP du **serveur NBNS secondaire**

## Compression d'entête TCP/IP

PPP doit être efficace sur les liaisons à bas débit

- connexion TCP/IP interactive (telnet...)
  - ✓ algorithme de Nagle
  - ✓ taille importante des entêtes
  - ✓ exemple :

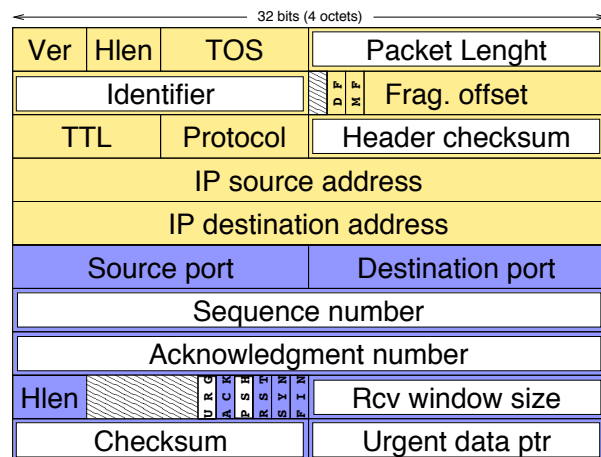
frame 1 (A→B)

0000																15 00
0010	00 29	b5 8e	40 00	40 06	0f 78	84 e3	3d 7a	cb 10								
0020	ea 14	81 cf	00 15	52 40	18 64	52 65	10 0d	50 18								
0030	ff ff	bb 7b	00 00	64												

**trame 2 (A->B)**

0000																45 00
0010	00 28	b5 8f	40 00	40 06	0d be	84 e3	3d 7a	cb 10								
0020	ea 14	81 cf	00 15	52 40	18 65	52 65	10 0e	50 10								
0030	ff ff	aa 5f	00 00													

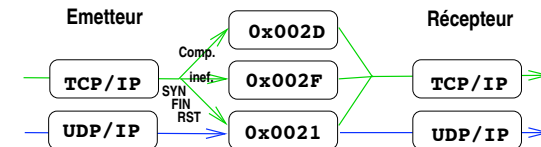
## Différence entre deux segments



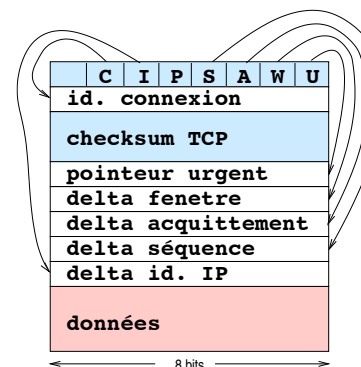
## Algorithme de Van Jacobson

## Algorithme de compression des entêtes TCP/IP (RFC 1144)

- émission des entêtes classiques pour SYN, RST et FIN (champ protocol à 0x0021)
- puis compression :
  - ✓ envoi complet avec l'**identificateur** de connexion (0x002F) :
    - ☞ pour la synchronisation (premier paquet complet)
    - ☞ pour les valeurs négatives d'acquiescement ou de séquence (erreur)
  - ✓ **différentiel** entre deux entêtes (0x002D) :
    - ☞ identificateur de connexion
    - ☞ maintien d'un **contexte** à chaque extrémitée
    - ☞ seuls les champs modifiés sont transmis
    - ☞ la différence est généralement codée sur un octet



## Entête IP compressé

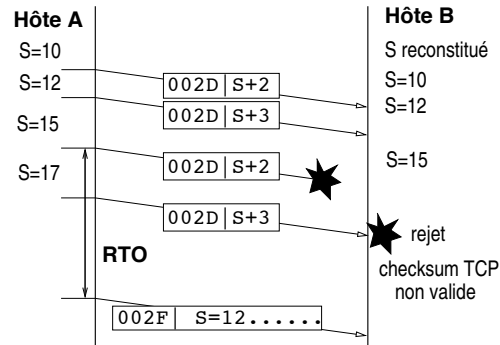


Seul le premier octet et checksum TCP sont obligatoires (3 octets mini)

- la présence des champs est indiquée dans le premier octet
- les delta sont codés sur 1 à 2 o.
  - ✓ 1 octet : 0x01 à 0xFF
  - ✓ 3 o. : 0x000100 à 0x00FFFF
- bit C : présence id. connex.
  - ✓ non émis si idem précédent
- checksum TCP : recopie
- bit U : recopie
- bit W : delta fenetre
  - ✓ négatif en complément à 2
- bits S/A : delta seq./acq.
  - ✓ pas de négatifs
- bit I : delta id. IP
  - ✓ absent = +1
- bit P : recopie bit PUSH TCP

## Détection d'erreur

Validation de la reconstitution grâce au checksum TCP :



## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- **PPP sur SONET**
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

De la boucle locale...

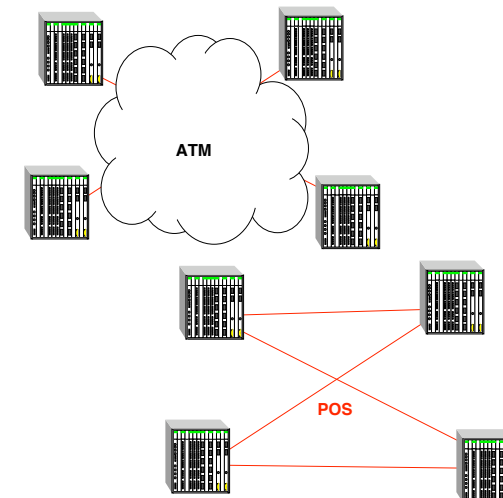
## POS (1)

Packet Over SONET

PPP Over SONET/SDH (RFC 2615)

- PPP initialement pour les liaisons RTC à faible débit
- mais aussi adapté aux **liaisons à haut débit** du monde télécom
  - ✓ hiérarchies des multiplexes SONET/SDH
    - ☞ OC-3c/STM-1 (155 Mbps)
    - ☞ OC-12c/STM-4c (622 Mbps)
    - ☞ OC-48c/STM-16c (2.5 Gbps)
    - ☞ OC-192c/STM-64c (10 Gbps)
  - ✓ PPP sur liaisons synchrones basées sur des octets
    - ☞ ~ connexions série orientée octet
- but : se rapprocher de la fibre
  - ✓ POS simplifie l'approche IP/ATM/SONET
    - ☞ MPLS/POS plus souple (*Traffic Eng.*)

## POS (2)





## Plan

### Architecture Ethernet

### Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- **PPP sur ATM**
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

### De la boucle locale...

## PPPoA : Encapsulations

### SNAP/LLC

### VCMUX

Protocol Identifier (8 or 16 bits)	
...	
PPP information field	PPP payload
...	
PAD ( 0 - 47 octets)	
CPCS-UU (1 octet )	
CPI (1 octet )	
Length (2 octets)	
CRC (4 octets)	CPCS-PDU Trailer

Destination SAP (0xFE) Source SAP (0xFE) Frame Type = UI (0x03) NLPID = PPP (0xCF)	LLC header
Protocol Identifier (8 or 16 bits)	
...	
PPP information field	PPP payload
...	
PAD ( 0 - 47 octets)	
CPCS-UU (1 octet )	
CPI (1 octet )	
Length (2 octets)	
CRC (4 octets)	CPCS-PDU Trailer

## PPPoA

### PPP Over ATM

### PPP Over AAL5 (RFC 2364)

- Utilisation des connexions ATM **AAL 5**
  - ✓ plus de *framing* HDLC
  - ✓ adaptation au trames CPCS PDU AAL 5
    - ☞ *padding* (multiples de 48 octets)
- deux encapsulation RFC 1483 :
  - ✓ *VC-multiplexed PPP*
    - ☞ les extrémités savent qu'elles transportent du PPP
  - ✓ *LLC encapsulated PPP*
    - ☞ identification du protocole pour chaque PDU

## PPPoA : Critiques

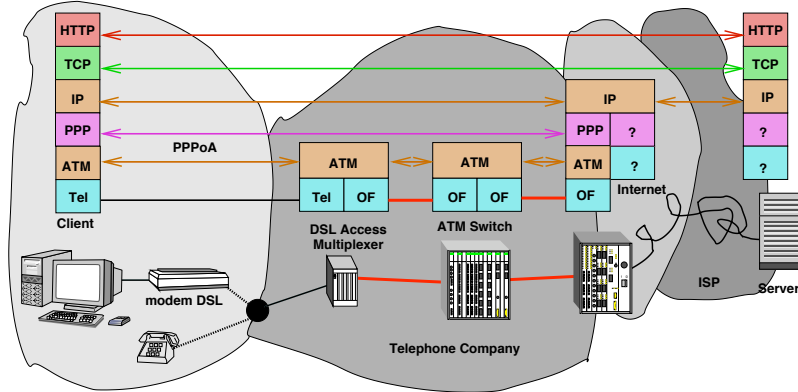
### Avantages

- dissocie le fournisseur d'accès ADSL/ATM du FAI
- **authentification** par session (PAP et CHAP)
- surveillance des utilisateurs (**RADIUS**)
  - ✓ facturation des utilisateurs à la session
  - ✓ sur-réservation et déconnexions temporisées
- attribution d'**une adresse IP** au client
  - ✓ possibilité d'en gérer plus avec NPAT
- **sécurisation** de l'accès sans gestion au niveau ATM
  - ✓ signalisation ATM trop complexe : utilisation de PVC
  - ✓ VPN géré par des tunnels PPP (pas besoin de PVC de bout en bout ☞ L2TP)
- **adaptable** aux évolutions du réseau
  - ✓ gestion souple au niveau IP
    - ☞ déploiement de routeurs d'agrégation (terminaison PPP)

### Inconvénients

- une connexion par PVC
- complexité globale de la solution (maîtrise IP, PPP, AAA, ATM...)
- NPAT limite les applications

## PPPoA sur ADSL



## Plan

### Architecture Ethernet

#### Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- **PPP sur Ethernet**
- tunnel PPP
- VPN

### De la boucle locale...

## PPPoE (1)

### PPP Over Ethernet (RFC 2516)

Quel est l'intérêt de faire du point-à-point sur un support partagé ?

- Ethernet dispose d'autoconfiguration : ARP, DHCP...
- ... mais pas de prise en charge à distance, ni de AAA

Mise en place d'une connexion point-à-point :

- valeurs Ethertype
  - ✓ 0x8863 pour les **trames de découverte**
  - ✓ 0x8864 pour les **trames de données**
- format du payload de ces trames Ethernet

```

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
| Ver | Type | Code | Session_id |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
| Length | PPPoE payload |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
    
```

- ✓ Ver et Type = 0x01
- ✓ Code = 00 (données) et ... (découverte)
- ✓ Session\_id = identification d'un flux (avec l'@ MAC)
- ✓ Length = taille des données (élimination du bourrage)

## PPPoE (2)

### Messages de découverte

- encapsulé dans des trames PPPoE (Ethertype = 0x8863)
  - ✓ champ Code :
    - ☞ 0x09 : PADI (*PPPoE Active Discovery Initiation*) ☞ diffusion
    - ☞ 0x07 : PADO (*PPPoE Active Discovery Offer*) ☞ proposition (avec Session\_id)
    - ☞ 0x19 : PADR (*PPPoE Active Discovery Request*) ☞ selection
    - ☞ 0x65 : PADS (*PPPoE Active Discovery Session-confirmation*)
    - ☞ 0xA7 : PADT (*PPPoE Active Discovery Terminate*)

- ✓ champ PPPoE payload : TLV avec caractères codées en UTF-8

```

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
| Tag_type | Tag_length | Tag_value ... |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
    
```

- ☞ nom du FAI, nom du concentrateur d'accès, identificateur de session, cookie de validation, nature d'une erreur...

## PPPoE : Critiques

### Avantages

- similaires à ceux de PPPoA
- **authentification** par session (PAP et CHAP)
  - ✓ dans un réseau de type LAN
- surveillance des utilisateurs (**RADIUS**)
  - ✓ facturation des utilisateurs à la session
  - ✓ sur-réservation et déconnexions temporisées
- utilisateurs sans accès direct à ATM (**pontage**)
- plusieurs connexions par PVC
- attribution d'**une adresse IP** au client
  - ✓ préserve le modèle point-à-point sur un médium partagé
  - ✓ possibilité de gérer plusieurs adresses avec NPAT

### Inconvénients

- technologie LAN, sujet au raffales de **broadcast**
- complexité globale de la solution (maîtrise IP, PPP, AAA, ATM, LAN + pontage ...)
- NPAT limite toujours les applications

## Plan

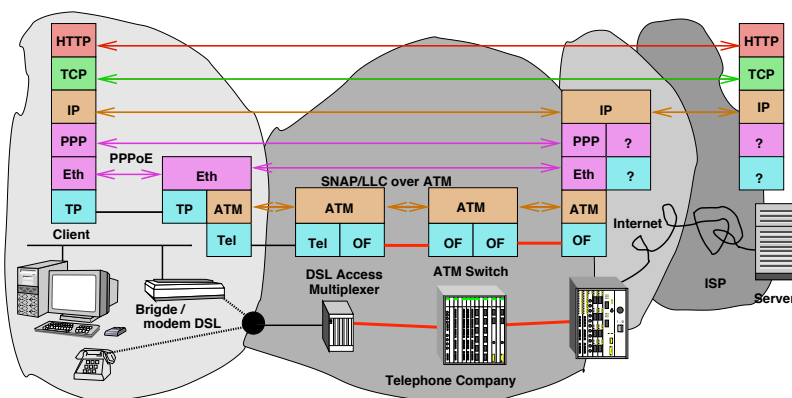
### Architecture Ethernet

### Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- **tunnel PPP**
- VPN

### De la boucle locale...

## PPPoE sur ADSL



## Tunnels PPP

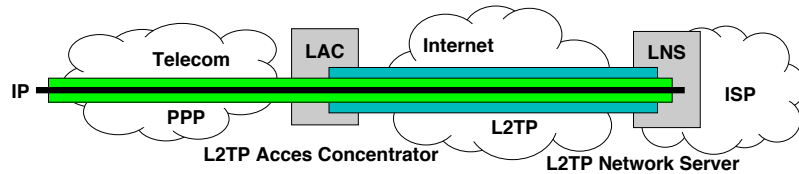
### Relayer les trames PPP

- L2F (*Layer 2 Forwarding*)
  - ✓ propriétaire Cisco, Northern Telecom et Shiva
  - ✓ à partir d'une *Home Gateway* vers un *Network Access Server*
- PPTP (*Point-to-Point Tunneling Protocol*)
  - ✓ propriétaire Microsoft, 3Com, Ascend, US Robotics et ECI Telema-tics
  - ✓ à partir d'une concentrateur vers un serveur d'accès (logiciel)
- L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*)
  - ✓ standard IETF

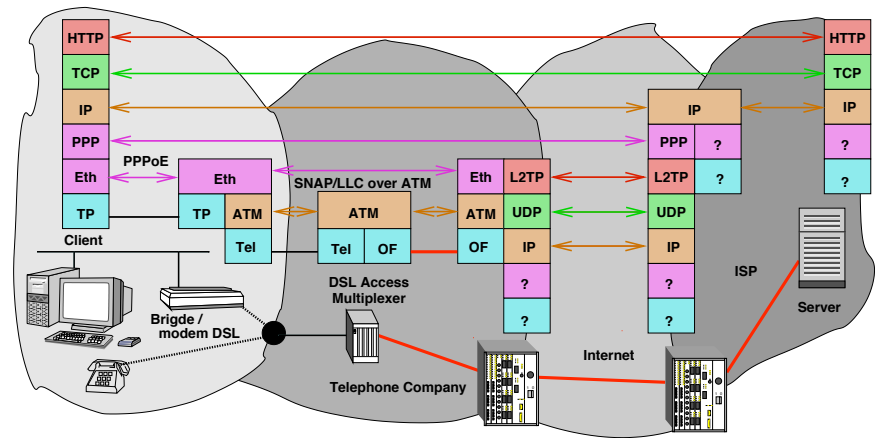
## L2TP (1)

Exemple : l'accès ADSL,

- le fournisseur d'accès ADSL (FAA) gère la liaison jusqu'à un concentrateur d'accès (CA)
- comment atteindre le fournisseur de service Internet (FAI)?
  - ✓ CA chez le FAI (au service d'un seul FAI)
  - ✓ le FAA gère la configuration IP (délégation du FAI)
  - ✓ le FAI à un accès à chaque CA (trop lourd)
    - ☞ création d'un tunnel du CA vers le FAI
    - ☞ relayage de PPP à travers le réseau entre le FAA et le FAI



## ADSL et L2TP

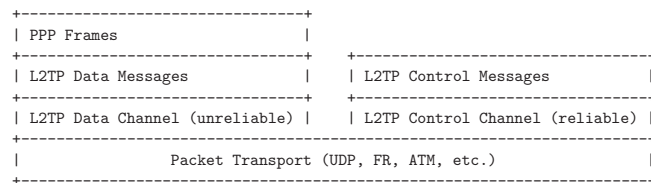


## L2TP (2)

Layer 2 Tunneling Protocol (RFC 2661)

Encapsulation des trames PPP sur :

- réseaux télécom (ATM, FR...)
- Internet (UDP **port 1702**)
- ✓ architecture L2TP :



☞ Data Channel : trames PPP encapsulées dans des messages L2TP non fiable non sécurisé

☞ Control Channel : échange de messages de contrôle des tunnels, avec protocole de fiabilité et de contrôle de flux spécifique

## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

- HDLC
- IP sur liaison série
- PPP
- contrôle de la couche liaison (LCP)
- authentification (PAP, CHAP et RADIUS)
- contrôle de la couche réseau (NCP)
- PPP sur SONET
- PPP sur ATM
- PPP sur Ethernet
- tunnel PPP
- VPN

De la boucle locale...

## VPN

### Virtual Private Network

Liaison virtuelles entre plusieurs entités.

- réseaux privés peu coûteux (infrastructure mutualisée)
  - ✓ généralement Internet
    - ☞ peut transporter d'autres protocoles
    - ☞ peut concaténer plusieurs technologies (ATM-TCP/IP...)
- basé sur des tunnels entre différentes extrémités :
  - ✓ point d'accès à un réseau
  - ✓ machine isolée
- sécurisation
  - ✓ IPSEC ➡ U.E. ING

## Plan

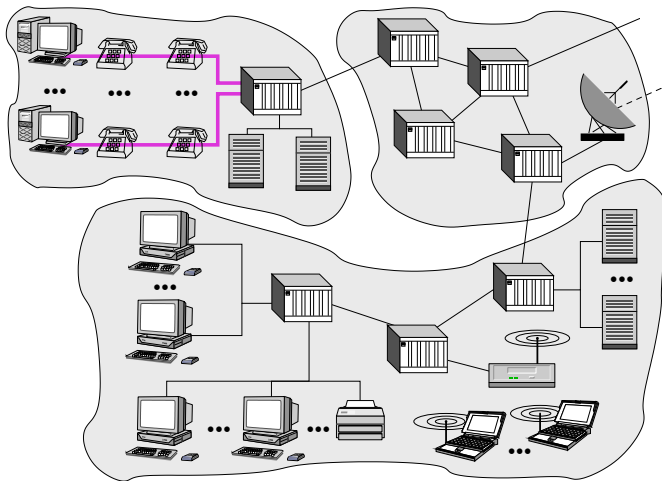
### Architecture Ethernet

### Architecture point-à-point

### De la boucle locale...

- Réseau Téléphonique Commuté
- xDSL
- Hybride Fibre Coaxial
- Réseaux Optiques Passifs
- Courants Porteurs en Ligne
- Boucle Locale Radio
- Satellites

### Boucle locale : Où ?



### Le système téléphonique

### Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

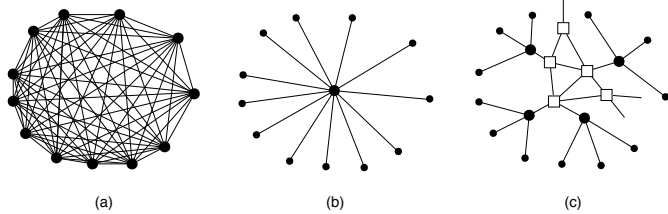
### Public Switched Telephone Network (PSTN)

### Plain Old Telephone System (POTS)

- Buts :
  - ✓ transmission de la parole humaine
    - ☞  $\sim 300 \text{ Hz} - 3400 \text{ Hz}$
  - ✓ étendue mondiale
  - ✓ service analogique
- Extensions (disponibilité limitées) :
  - ✓ service numérique
  - ✓ transmission de données entre les réseaux informatiques
    - ☞ LS, X25, FR, ATM...
    - ☞ débits jusqu'au Gigabit/s

## Architecture du réseau téléphonique

pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

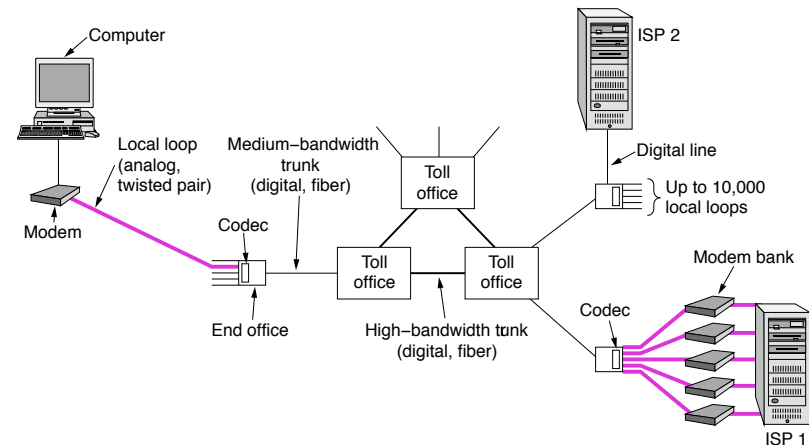


Réseau à interconnexion totale (a), à commutateur central (b) et hiérarchique à deux niveaux (c)

### Structuration du réseau téléphonique

- hiérarchie multi-niveaux (jusqu'à 5)
  - ✓ composants de base :
    - ☞ liaisons abonnés-centraux
    - ☞ centraux
    - ☞ liaisons inter-centraux

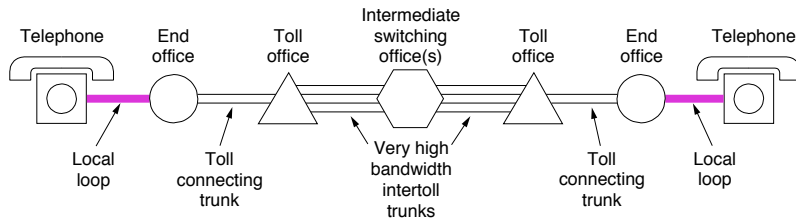
## Boucle locale par le réseau téléphonique



pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 3rd edition

## Cheminement d'une connexion téléphonique

pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition



- éléments impliqués :
  - ✓ **Commutateur Local** (CL, end office)
    - ☞ accès téléphones par la **Boucle Locale** (BL, local loop ou desserte locale)
  - ✓ **Commutateur à Autonomie d'Acheminement** (CAA, toll office)
    - ☞ reliés par des **lignes** ou artères interurbaines (toll connecting trunks)
    - ☞ forme une ZAA (Zone à Autonomie d'Accès) : plusieurs par zones urbaines
  - ✓ **Commutateurs de Transit** primaires/secondaires (CTP/CTS, intermediate switching offices)
    - ☞ reliés par des **artère** haut débit (intertoll trunks)

## Modems classiques

### Modulateur/démodulateur

- échange **full duplex**
- émission large bande (**analogique**)
  - ✓ utilisation d'une **porteuse** (1000-2000 Hz)
  - ✓ nombre de **modulations** par seconde (2400 bauds)
    - ☞ modulation d'amplitude (AM, *Amplitude Modulation*)
    - ☞ modulation de phase (PSK, *Phase Shift Keying*)
    - ☞ modulation de fréquence (FSK, *Frequency Shift Keying*)
    - ☞ combinaisons : modulation avec codage en treillis...
  - ✓ théorème de **Shannon** : limite théorique =  $H * \log_2(1 + S/N)$  bit/s
    - ☞ avec :  $H$  bande passante,  $S/N$  de rapport signal/bruit
    - ☞ téléphone :  $S/N \sim 30$  dB  $\Rightarrow$  limite  $\sim 35$  kbit/s
  - ✓ théorème de **Nyquist** : débit binaire max =  $2H * \log_2 V$  bit/s
    - ☞ V.32bis :  $\log_2 V = 6 \Rightarrow 14.4$  kbit/s
    - ☞ V.34 :  $\log_2 V = 12 \Rightarrow 28.8$  kbit/s
    - ☞ V.34bis :  $\log_2 V = 14 \Rightarrow 33.6$  kbit/s

## Modems 56K

Dépasser la limite de Nyquist ?

- accès direct au numérique chez l'ISP (schéma précédent : ISP 2)
  - ✓ une seule double conversion (moins de bruits introduits)
    - ☞ récupération de 70 kbit/s théorique
  - ✓ Nyquist avec la bande passante numérique :
    - ☞  $4 \text{ kHz} = 8000 \text{ bauds}$
  - ✓ nombre de bits par échantillons :
    - ☞ Europe : 8 bits  $\Rightarrow$  64 kbit/s
    - ☞ US : 7 bits  $\Rightarrow$  56 kbit/s
  - ✓ normes :
    - ☞ V.90  $\Rightarrow$  56 kbit/s descendant et 33.6 kbit/s montant
    - ☞ V.92  $\Rightarrow$  56 kbit/s descendant et 48 kbit/s montant

## PPP sur RTC

Bytes	1	1	1	1 or 2	Variable	2 or 4	1
	Flag	Address	Control	Protocol	Payload	Checksum	Flag
	01111110	11111111	00000011				01111110

Encapsulation PPP sur un support orienté octets :

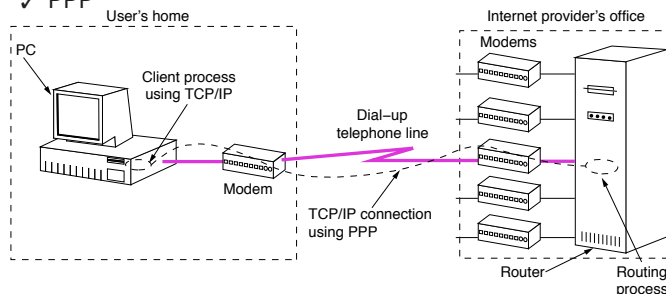
- Similaire à une trame HDLC
  - ✓ fanion de valeur (1 octet) : 0x7E
  - ✓ address (1 octet) : 0xFF
  - ✓ control (1 octet) : 0x03
  - ✓ protocol (1 ou 2 octet)
    - ☞ optimisation : suppression des champs address et control, réduction de protocol et compression des entêtes TCP/IP
  - ✓ protection par échappement (octet de valeur 0x7D) :
    - ☞ fanion = 0x7E  $\Rightarrow$  0x7D 0x5E et 0x7D  $\Rightarrow$  0x7D 0x5D
  - ✓ valeurs actives pour la gestion du modems (codes ASCII < 32)
    - ☞ 0x11 (XON)  $\Rightarrow$  0x7D 0x31 et 0x13 (XOFF)  $\Rightarrow$  0x7D 0x33

$\Rightarrow$  La bande passante disponible est **variable** !

## IP sur RTC

Service offert par les modems sur RTC

- **couche physique** :
  - ✓ asynchrone orienté octet
- **couche liaison** :
  - ✓ SLIP
  - ✓ CSLIP
  - ✓ PPP



## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

De la boucle locale...

- Réseau Téléphonique Commuté
- xDSL
- Hybride Fibre Coaxial
- Réseaux Optiques Passifs
- Courants Porteurs en Ligne
- Boucle Locale Radio
- Satellites

## Evolution de la boucle locale téléphonique

La paire torsadée est limitée artificiellement

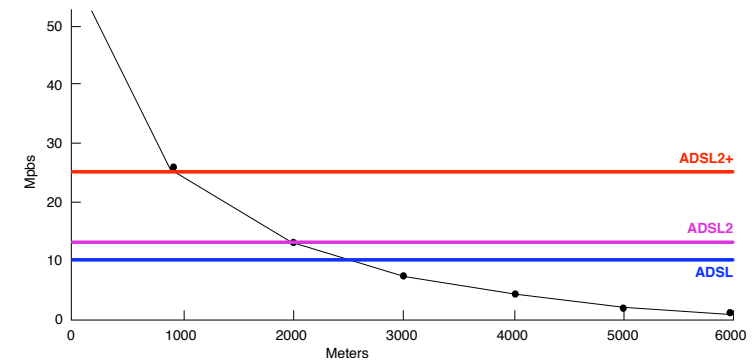
- optimisée pour la voix
  - ✓ filtrage dès le commutateur local :
    - ☞  $\sim$  filtre passe-bande  $300\text{Hz} - 3400\text{Hz}$
  - ✓ les modems sont forcément lents !
    - ☞ fin '90, les autres techno. de boucle locale sont à plusieurs Mbit/s

### ➡ Digital Subscriber Line

- utilisation de paire torsadée à sa limite physique
  - ✓ dépasse le  $\text{MHz}$
  - ✓ plusieurs Mbit/s (selon la longueur, l'épaisseur et la qualité)
  - ✓ contraintes de conception :
    - ☞ ne pas gêner les services existants (Voix et RNIS)
    - ☞ accès permanent
    - ☞ fonctionner sur une paire UTP3...

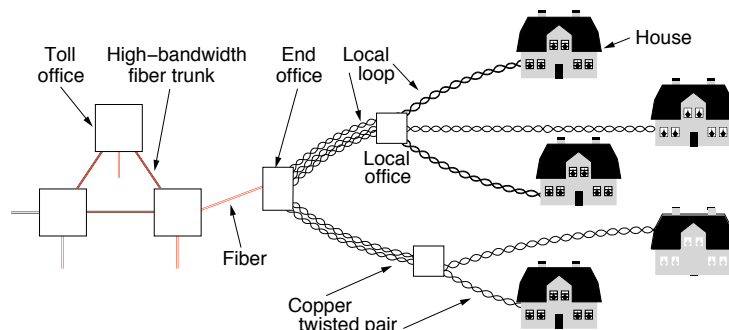
## Bande passante de la paire torsadée

Débit théorique d'une paire type UTP3



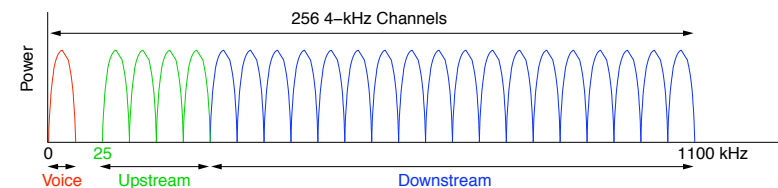
## Structure du réseau RTC

Paire torsadée du commutateur local à la prise téléphonique



Possibilité d'armoires de brassage intermédiaires (sous-répartiteurs)

## Partage du spectre fréquentiel

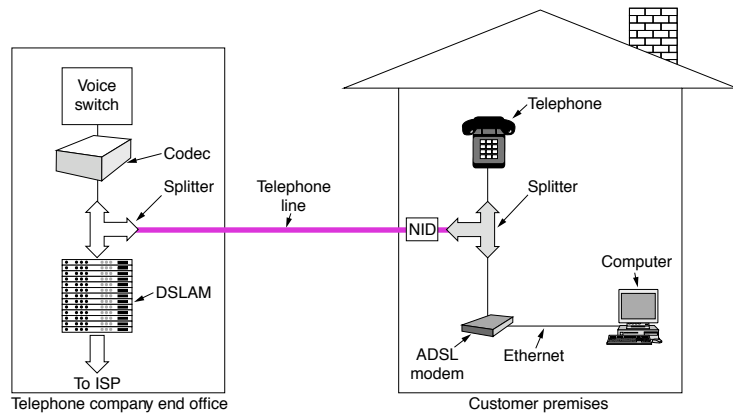


DMT (Discrete MultiTone)

- 256 canaux indépendants de  $4312.5\text{ Hz}$ 
  - ✓ 0 voix
  - ✓ 1-5 marge (limitation des interférences)
  - ✓ 6-(n) pour le flux montant (à partir de  $26\text{ kHz}$ )
    - ☞ dont 1 pour le contrôle de flux montant
  - ✓ (n + 1)-255 pour le flux descendant
    - ☞ dont 1 pour le contrôle de flux descendant
- accès typiques (80% descendant et 20% montant) :
  - ✓ 256/64 kbit/s, **512/128 kbit/s**, 1024/256 kbit/s...



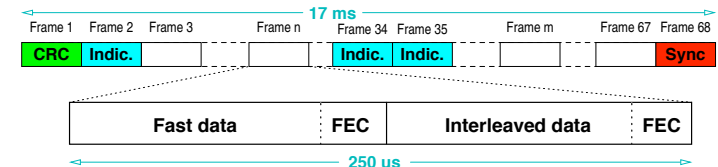
## Configuration xDSL



pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

## Technologie ADSL

- modulation DMT
  - chaque sous porteuse code 0 à 15 bits (valence) à 4000 Bauds
    - la valence dépend du  $S/B$  pour chaque canal
- format de trame (par canal)
  - 1 super trame (68 trames + 1 sync) toute les 17ms

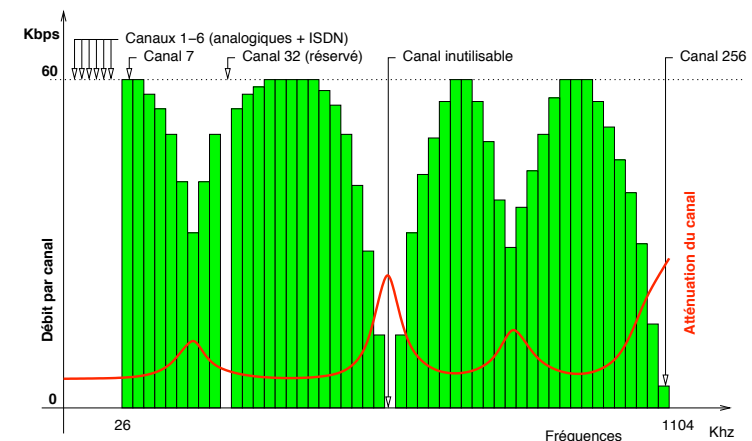


- une trame toute les  $250\mu s$  avec réservation
- longueur de trame variable (valence)
- deux flux multiplexés alimentés par deux tampons d'émission

## Comparaison des technologies xDSL

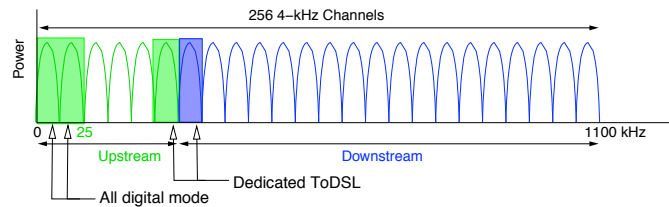
nom	signification	mode de transmission	paires cuivre	débit descendant	débit montant	distance max
ISDL	ISDN over DSL	Symétrique (2B1Q)	1	128 kbit/s ou 144 kbit/s	128 kbit/s ou 144 kbit/s	3.6 km
HDSDL	High-Data-Rate DSL	Symétrique (2B1Q/CAP)	2/3	1.5 Mbit/s ou 2 Mbit/s	1.5 Mbit/s ou 2 Mbit/s	3.6 km
SDSL	Single-Line DSL	Symétrique (2B1Q/CAP)	1	1.5 Mbit/s ou 2 Mbit/s	1.5 Mbit/s ou 2 Mbit/s	2.9 km
RADSL	Rate-Adaptive DSL	Asymétrique (CAP)	1	jusqu'à 7 Mbit/s	jusqu'à 1 Mbit/s	5.4 km (1.5 Mbit/s)
ADSL	Asymmetric DSL	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 8 Mbit/s	jusqu'à 640 kbit/s	5.4 km (1.5 Mbit/s)
G.Lite	ADSL splitterless	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 1.5 Mbit/s	512 kbit/s	3.6 km
ADSL2 Annex J	Evolution ADSL	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 12 Mbit/s	3.5 Mbit/s	5.4 km
ADSL2 Annex L	Extended Range ADSL2	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 12 Mbit/s	1 Mbit/s	7 km
ADSL2+ Annex M	Evolution ADSL2	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 24 Mbit/s	3.5 Mbit/s	5.4 km
ADSL2+ Annex L	Extended Range ADSL2+	Asymétrique (DMT)	1	Jusqu'à 24 Mbit/s	1 Mbit/s	7 km

## Débit du lien ADSL



Quantité d'information par canal avec la modulation DTM

## ADSL2



### Evolutions ADSL (G.992.3 et G.992.4)

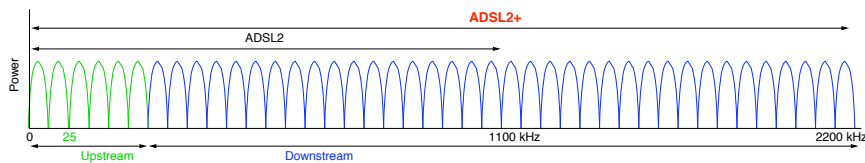
- augmentation de la portée et du débit en longue distance
  - ✓ amélioration du codage
  - ✓ réduction de l'*overhead*
  - ✓ récupération des canaux analogiques (⇒ *All digital mode*)
- économie d'énergie (mode veille dynamique)
- *bonding* : multiplexage inverse ATM (couplage de plusieurs lignes)
- création de canaux dédiés (⇒ ToDSL)
- support des services basés sur des trames (⇒ Ethernet)

## IP sur ADSL

### Encapsulation IP sur ADSL ?

- ADSL est une technologie de la **couche physique**
  - ⇒ une couche liaison est nécessaire
- ✓ ATM ?
  - ☞ compatible avec les opérateurs télécom (actuels FAA)
  - ☞ **IP/AAL5/ATM/ADSL**
- ✓ Ethernet ?
  - ☞ compatible avec les opérateurs internet (futurs FAA)
  - ☞ **IP/Ethernet/ADSL**
- ✓ PPP ?
  - ☞ AAA avec Radius
  - ☞ **PPPoA/AAL5/ATM/ADSL**
  - ☞ **PPPoE/Ethernet/AAL5/ATM/ADSL**
  - ☞ **PPPoE/Ethernet/ADSL**
  - ☞ **PPP/ADSL**, avec MPLS pour le TE

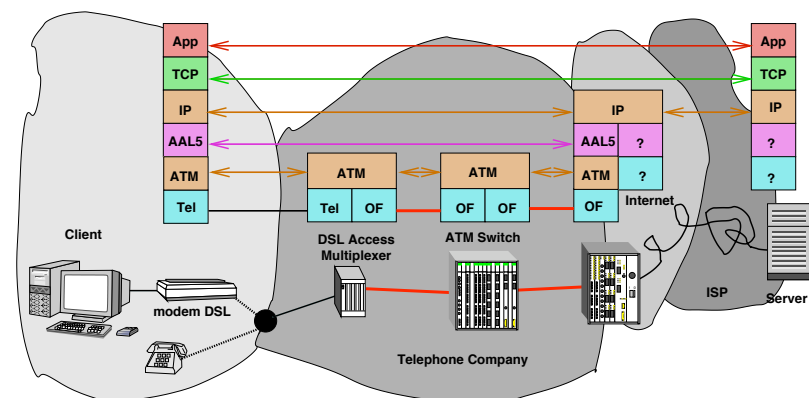
## ADSL2+



### Evolutions ADSL2 (G.992.5)

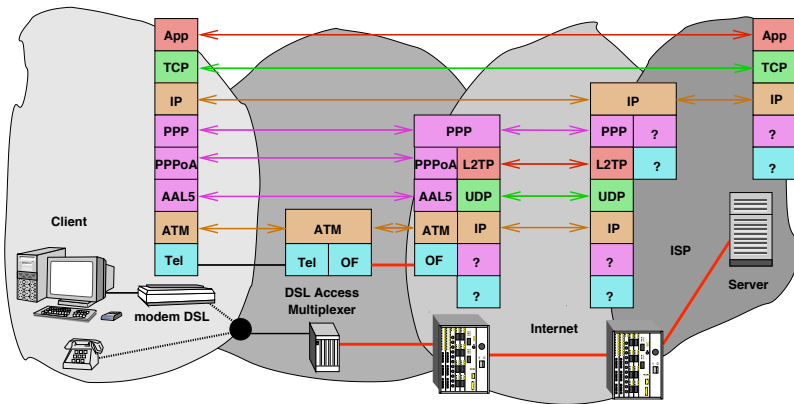
- utilisation d'une bande passante étendue (jusqu'à 2.2 MHz)
  - ✓ augmentation du débit pour les courtes distance ( $l < 2500m$ )
  - ✓ théoriquement  $d > 20$  Mbit/s en *download* si  $l < 1000m$
- mode double bande passante en *upload* possible

## ATM sur ADSL

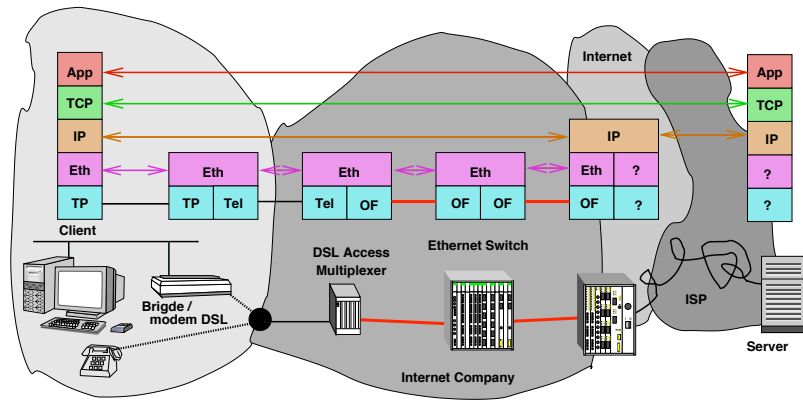


⇒ les cellules sont multiplexées dans les deux flux ADSL

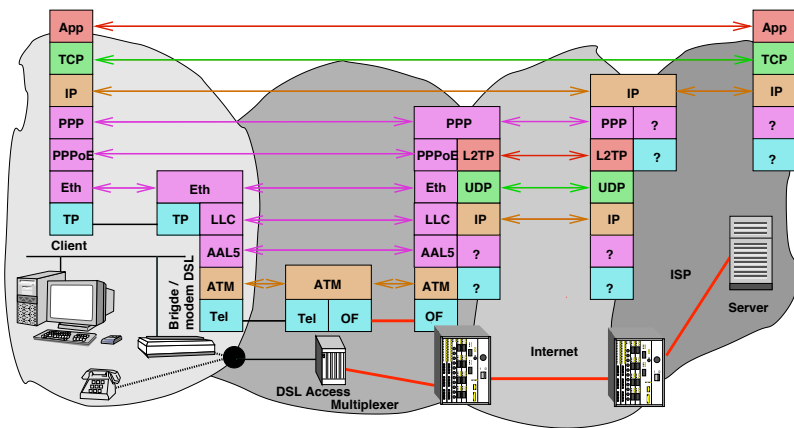
## PPPoA sur ADSL



## Ethernet sur ADSL2



## PPPoE sur ADSL



## VDSL

Plus rapide que l'ADSL...

nom	signification	mode de transmission	paires cuivre	débit descendant	débit montant	distance max
ADSL	Asymmetric DSL	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 8 Mbit/s	jusqu'à 640 kbit/s (1.5 Mbit/s)	5.4 km
ADSL2 Annex J	Evolution ADSL	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 12 Mbit/s	jusqu'à 3.5 Mbit/s	5.4 km
ADSL2+ Annex M	Evolution ADSL2	Asymétrique (DMT)	1	jusqu'à 24 Mbit/s	jusqu'à 3.5 Mbit/s	5.4 km
VDSL	Very-High-Rate DSL	Asymétrique (CAP/DMT)	1	jusqu'à 53 Mbit/s	jusqu'à 12 Mbit/s	1.5km (13 Mbit/s)
VDSL2	Very-High-Rate DSL	Asymétrique (CAP/DMT)	1	jusqu'à 250 Mbit/s	jusqu'à 12 Mbit/s	3.5km (13 Mbit/s)

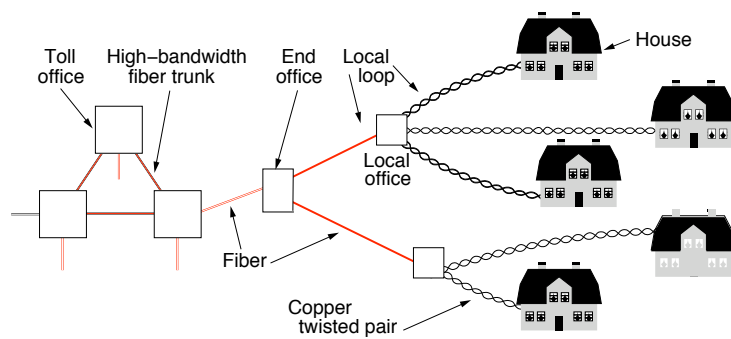
... mais distances plus courtes !

- VDSL2 : 250 Mbit/s théorique à la source, 100 Mbit/s à 500 m
  - ✓ à plus d'1 km, ADSL2+ est intéressant
  - ✓ il faut être proche de la source

➡ FTTN (Fiber To The Neighborhood)

## FITL (FTTN)

*Fiber In The Loop (Fiber To The Neighborhood)*



Distribution locale hybride (fibre optique jusqu'au sous-répartiteur)

➡ attention, intégration des DSLAM... sinon FTTH (*Fiber To The Home*)

## Plan

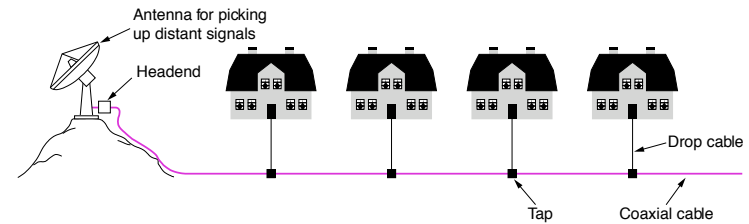
Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

De la boucle locale...

- Réseau Téléphonique Commuté
- xDSL
- **Hybride Fibre Coaxial**
- Réseaux Optiques Passifs
- Courants Porteurs en Ligne
- Boucle Locale Radio
- Satellites

## Réseau câblé avec antenne collective



pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

CATV (*Community Antenna TeleVision*)

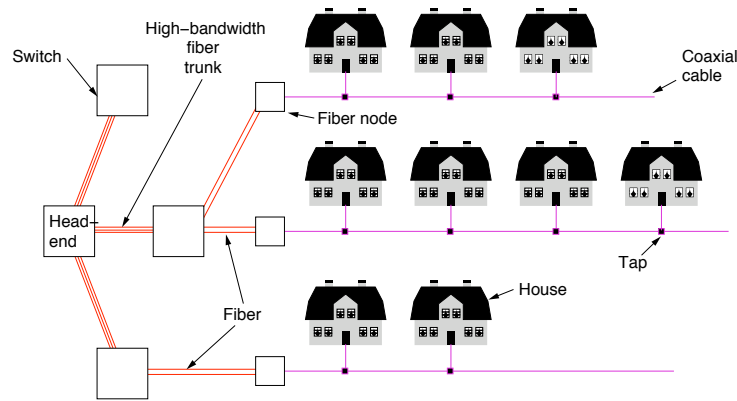
- distribution de la télévision sur câble coaxial 75Ω jusqu'à 100 km
  - ✓ relai de la télévision hertzienne/satellitaire
- évolution ('70)
  - ✓ contenu spécifique
  - ✓ câblo-opérateurs
- ➡ interconnexion des désertes locales : **réseau longue distance**

## Réseau de distribution hybride

HFC (*Hybrid Fiber Coax*)

- arbre de distribution
  - ✓ toujours une **tête de réseau** (*Head End*)
    - ➡ commutateurs optique/optique
    - ➡ centres de distribution optique/coax
- intégration de service
  - ✓ télévision
  - ✓ téléphonie
  - ✓ data
- médium **partagé**
  - ✓ jusqu'à 2000 utilisateurs par câbles
    - ➡ segmentation si les beaucoup d'utilisateurs data

## Structure du réseau câblé

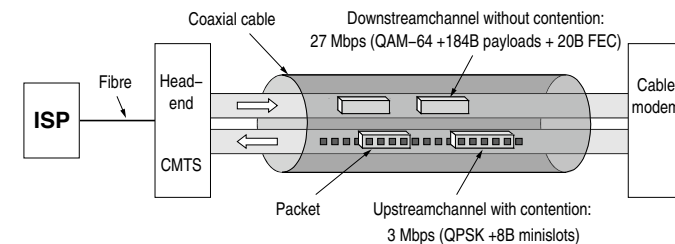


pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

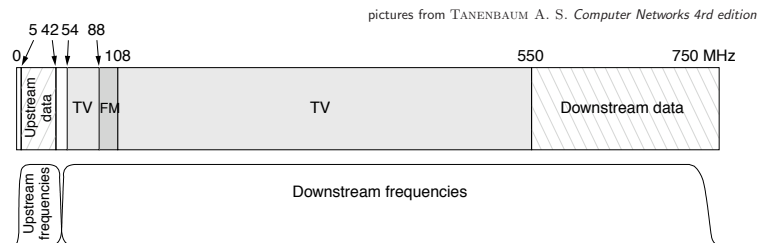
## Modem-câble (1)

Modulation numérique, pour augmenter les performances du coax.

- débit montant
  - ✓ modulation QPSK/QAM-16 sur des canaux de 2 MHz
  - ✉ 3 Mbit/s **partagé** par canal ( $\sim 90$  Mbit/s agrégé)
- débit descendant
  - ✓ modulation QAM-64/QAM-256 sur des canaux de 6/8 MHz
  - ✉ 27-56 Mbit/s par canal ( $\sim 1-2$  Gbit/s agrégé)



## Allocation des fréquences du câble



pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

Récupération de fréquences autour de la vidéo :

- vidéo (+ radio 87-108 MHz)
  - ✓ 65-550 MHz (EU), 54-550 MHz (US)
  - ✉ largeur canal TV = 8 MHz (PAL/SECAM), 6 MHz (NTSC)
- bande passante **données montantes**
  - ✓ 5-65 MHz (EU), 5-42 MHz (US)
- bande passante **données descendantes**
  - ✓ 550-850 MHz (EU), 550-750 MHz (US)

## Modem-câble (2)

- contrôle par la tête de réseau (CMTS : *Cable Modem Termination System*)
  - ✓ signalisation dans des canaux dédiés
  - ✉ auto-configuration
  - ✉ allocation **dynamique** des canaux montants et descendants
  - ✉ mesure de distance (*ranging*) pour se **synchroniser**
- partage du canal montant
  - ✓ **minislot** (dépend du réseau  $\sim 8$  octets)
  - ✓ contrôle d'accès type **ALOHA discrétisé**
  - ✉ détection de collision avec **BEB** (*Binary Exponential Backoff*)
- contrôle du canal descendant
  - ✓ émetteur **unique** (CMTS)
  - ✓ paquet de 204 octets (FEC sur 20 bits : correction de 6 bits)

➡ Paramètres optimisés pour la transmission de flux MPEG 2

## IP sur câble

Encapsulation IP sur câble ?

- le câble est associé à la **couche physique**
  - ▮ une couche liaison est nécessaire
  - ✓ protocoles propriétaire ?
    - ☞ nombreux mais abandonnés pour faire baisser les prix
  - ✓ IEEE 802.2 (SNAP/LLC) ?
    - ☞ compatible avec DOCSIS (US), EuroDOCSIS
    - ☞ **IP/LLC/câble**
    - ☞ auto-configuration : DHCP (approche LAN)
  - ✓ ATM ?
    - ☞ compatible avec DVB/DAVIC, EuroDOCSIS
    - ☞ **IP/ATM/câble**
    - ☞ auto-configuration : PPP (approche télécom)

Attention, support partagé ▮ cryptographie

## Plan

Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

De la boucle locale...

- Réseau Téléphonique Commuté
- xDSL
- Hybride Fibre Coaxial
- **Réseaux Optiques Passifs**
- Courants Porteurs en Ligne
- Boucle Locale Radio
- Satellites

## Comparaison câble/ADSL

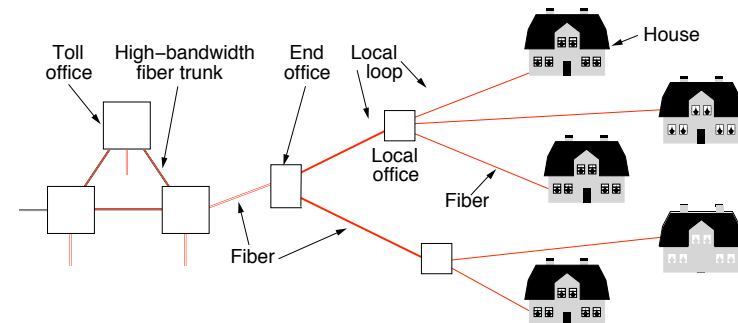
Lequel choisir ?

- similitudes :
  - ✓ réseau fédérateur en fibre optique
- avantages du câble :
  - ✓ bande passante 850 MHz
    - ☞ partagé avec la télévision et les autres utilisateurs
  - ✓ longue distance
  - ✓ encapsulation plus simple, mais cryptage
- avantages de l'ADSL :
  - ✓ bande passante 1.1 MHz
    - ☞ support dédié (avec la voix)
  - ✓ alimentation téléphonique autonome
  - ✓ débit déterministe

▮ Services comparables (et souvent disponible aux mêmes endroits)

## FTTH

Fiber To The Home



Distribution optique jusqu'aux clients avec des éléments optiques intermédiaires passifs (*Optical splitters*)

## PON (1)

### Déserte résidentielle optique

- topologie **point-à-multipoint**
  - ✓ réduction de la quantité de fibre utilisée
- terminologie : un **PON** (*Passive Optical network*) est constitué :
  - ✓ **OLT** (*Optical Line Termination*)
    - ☞ = tête de réseau HFC
  - ✓ **ONU** (*Optical Network Units*)
    - ☞ éléments optiques intermédiaires passifs
  - ✓ **ONT** (*Optical Network Terminals*)
    - ☞ permet de servir typiquement 32 clients
    - ☞ distance OLT-ONT jusqu'à 20 km
    - ☞ *extended reach* jusqu'à 135 km

## PON (2)

### Support partagé

- WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) : 3 longueur d'ondes
  - ✓ 1.310  $\mu\text{m}$ 
    - ☞ flux montants combinés par **TDMA**
    - ☞ attribution des *slots* par l'OLT
  - ✓ 1.490  $\mu\text{m}$ 
    - ☞ flux descendants **diffusés**
    - ☞ cryptage nécessaire
  - ✓ 1.550  $\mu\text{m}$ 
    - ☞ réservé pour véhiculer un flux HFC (Câble)

## PON (3)

### Standards

- **APON/BPON** (*ATM/Broadband PON*)
  - ✓ ITU-T G.983
  - ✓ 32 ONT
  - ✓ asymétrique :
    - ☞ *downstream* : 622 Mbit/s - *upstream* : 155 Mbit/s
- **GPON** *Gigabit Broadband PON* (2006)
  - ✓ ITU-T G.984
  - ✓ 64 ONT
  - ✓ asymétrique :
    - ☞ *downstream* : 2.5 Gbit/s - *upstream* : 1.25 Gbit/s
- **EPON/GEPON** (*Ethernet/Gigabit Ethernet PON*)
  - ✓ IEEE 802.3ah (*Ethernet in the First Mile*)
  - ✓ 32 ONT (interface d'accès *FastEthernet*)
  - ✓ symétrique :
    - ☞ *downstream* : 1.25 Gbit/s - *upstream* : 1.25 Gbit/s

## IP sur PON

### Similaire au HFC et xDSL

- APON
  - ✓ IP/ATM
  - ✓ IP/PPPoA/ATM
- EPON
  - ✓ IP/Ethernet
  - ✓ IP/PPPoE/Ethernet

## Plan

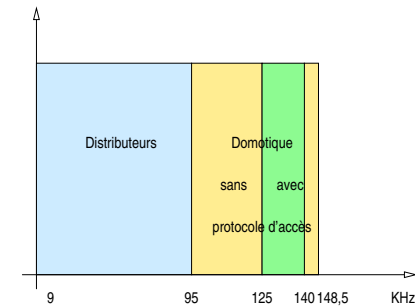
Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

De la boucle locale...

- Réseau Téléphonique Commuté
- xDSL
- Hybride Fibre Coaxial
- Réseaux Optiques Passifs
- **Courants Porteurs en Ligne**
- Boucle Locale Radio
- Satellites

## Allocation des fréquences CPL EN50065-1



Utilisation des courants porteurs sur les réseaux de distribution

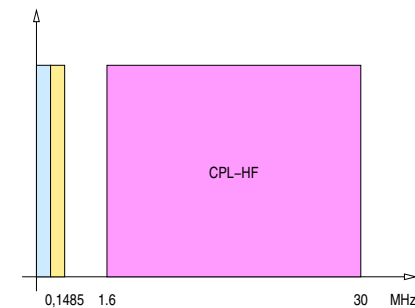
- 4 bandes définies :
  - ✓ 9–95 kHz : distributeur
  - ✓ 95–125 et 140–148.5 kHz : domotique sans protocole d'accès
  - ✓ 125–140 kHz : domotique avec protocole d'accès (data)

## Autre accès filaire

Il y a d'autres réseaux qui connectent les habitations

- eau ?
- gaz ?
- **électricité : Courant Porteurs en Ligne (CPL)**
  - ✓ signal hautes fréquences ajouté à l'onde 50 Hz qui véhicule l'énergie
    - ☞ modem avec filtre passe-haut
  - ✓ propagation
    - ☞ structure arborescente
    - ☞ atténuation avec la distance, la fréquence, la densité de branchement et la topologie du réseau
    - ☞ perturbation selon les types de charges, les filtres...
    - ☞ **cuivre non torsadé + hautes fréquences = antenne**

## Allocation des fréquences CPL ETSI EP-PLT



- 1 bande haute fréquence définie :
  - ✓ 1.6–30 MHz
    - ☞ limites des perturbations rayonnées propres à chaque pays
  - ✓ deux sous-bandes :
    - ☞ distribution (*access system*)
    - ☞ interne (*in-house system*)



## Powerband

### Broadband over Power Lines

- Comités de standardisation :
  - ✓ **Power Line Forum**
  - ✓ **Home Plug Alliance**
- commercialisation d'équipements pour le *in-house* (**HomePlug 1.0**)
  - ✓ CSMA/CA avec modulation OFDM
  - ✓ jusqu'à 14 Mbit/s
    - ☞ permet l'installation immédiate d'un LAN dans un bâtiment
- expérimentation d'équipements pour l'*access* (**HomePlug AV**)
  - ✓ 256 kbit/s à 2.7 Mbit/s pour le modem résidentiel
  - ✓ jusqu'à 256 modems agrégés au niveau du transformateur
    - ☞ puis accès à Internet par un médium classique

## Plan

### Architecture Ethernet

### Architecture point-à-point

### De la boucle locale...

- Réseau Téléphonique Commuté
- xDSL
- Hybride Fibre Coaxial
- Réseaux Optiques Passifs
- Courants Porteurs en Ligne
- **Boucle Locale Radio**
- Satellites

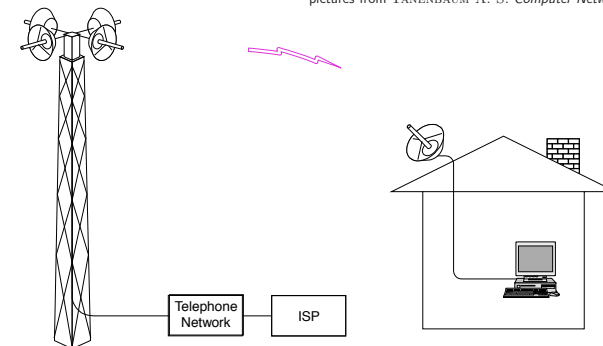
## Boucle Locale Radio (BLR)

### Wireless Local Loop (WLL)

- services visés
  - ✓ **haut débit**
    - ☞ similaire à l'ADSL et au câble
  - ✓ **pas de raccordement filaire**
    - ☞ antenne en hauteur (taille selon la technologie)
  - ✓ **usager statique**
    - ☞ sans-fil fixe (*fixed wireless*)
- deux anciennes technologies :
  - ✓ **MMDS** (*Multichannel Multipoint Distribution Service*)
    - ☞ micro-ondes, portée de 50 km
    - ☞ 33 canaux de 6 MHz dans la bande des 2.5 GHz
    - ☞ technologie silicium, économique mais bande passante limitée
  - ✓ **LMDS** (*Local Multipoint Distribution Service*)
    - ☞ ondes millimétriques, portée de 2 à 5 km
    - ☞ 3 GHz dans la bande des 40.5–43.5 GHz (29–32 GHz US)
    - ☞ technologie arséniure de gallium coûteuse

## Architecture LMDS

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



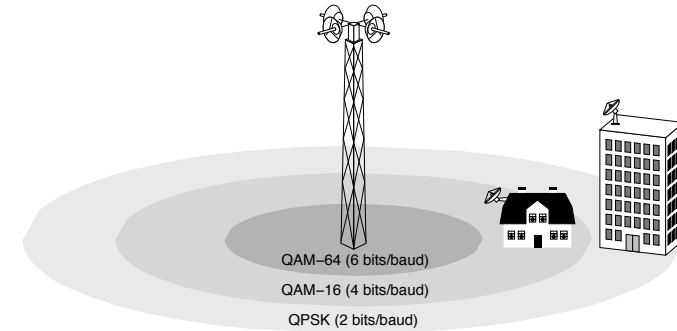
- antennes directionnelles (réutilisation de fréquences)
  - ✓ 36 Gbit/s par secteur
- liaison directe (sans obstacles) ➡ tours
  - ✓ perturbation par le mauvais temps

## 802.16 : WMAN (Wimax)

### Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems

- communication sans fils haut débit
- technologie de boucle locale :
  - ✓ deserte d'immeuble (non mobile)
  - ✓ plusieurs ordinateurs fixes (réseau)
  - ✓ équipements mutualisés
    - ☞ plus cher que 802.11
    - ☞ ondes-millimétriques
    - ☞ duplex
  - ✓ longue distance : atténuations fortes
  - ✓ accès multiples : cryptographie
  - ✓ gestion de la QoS
    - ☞ support audio/vidéo
- analogie :
  - ✓ 802.11 = réseau Ethernet sans fils
  - ✓ 802.16 = réseau CATV sans fil

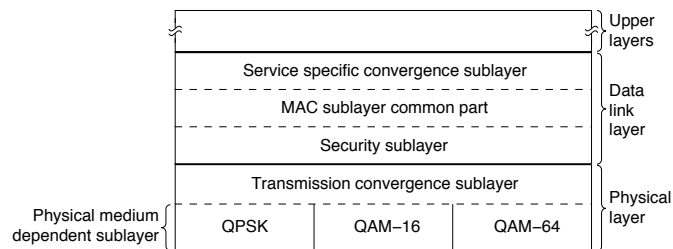
## 802.16 : Couche physique



pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

- antennes directionnelles
  - ✓ multiples modulations, en fonction de la distance :
    - ☞ avec un canal de 50 MHz, 300 Mbit/s, 200 Mbit/s et 100 Mbit/s

## 802.16 : Pile de protocoles



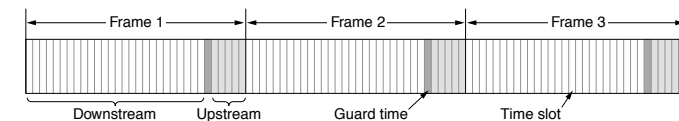
pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

- approche 802 usuelle :
  - ✓ **couche liaison** (orienté connexion)
    - ☞ 3 sous-couches : LLC + MAC + sécurité
  - ✓ **couche physique**
    - ☞ adaptation au support et à la distance

## 802.16 : Duplexage

### transmission full-duplex asymétrique

- **duplexage fréquentiel** (FDD : *Frequency Division Duplexing*)
  - ✓ approche classique symétrique (GSM, D-AMPS)
- **duplexage temporel** (FDD : *Time Division Duplexing*)
  - ✓ contrôle par la station de base
    - ☞ retournement pendant l'envoi d'une trame
    - ☞ temporisation de retournement



pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

- correction d'erreur (codes de Hamming)
  - ✓ la moitié du trafic en redondance (~ CDRM)

## 802.16 : Sous-couche MAC

Service d'accès au médium en **mode connecté**

- chiffrement de la charge utile
- gestion des slots
  - ✓ allocation aux stations pour les flux montants
  - ✓ 4 classes de services
    - ☞ débit constant (CBR) : allocation systématique
    - ☞ débit variable en temps réel (RT-VBR) : interrogation
    - ☞ débit variable différé (NRT-VBR) : interrogation
    - ☞ au mieux (UBR) : CSMA+BEB

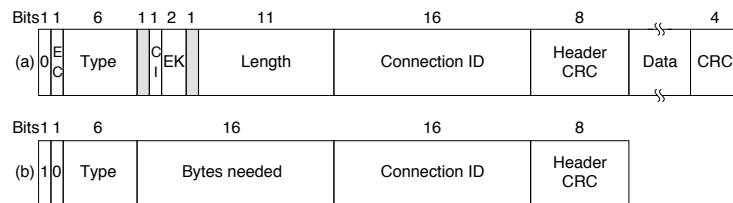
## IP sur 802.16

Encapsulation IP sur 802.16 ?

- 802.16 est une technologie qui présente un service de couche liaison avec support :
  - ✓ couche réseau connectée : ATM
    - ☞ une connexion 802.16 par VC
  - ✓ couche réseau non-connectée : Ethernet, IP, PPP...
    - ☞ connexion 802.16 considéré comme un lien point-à-point

➡ Complexe mais potentialité d'utiliser les extensions QoS d'IP.

## 802.16 : Structure de trame



pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

## Plan

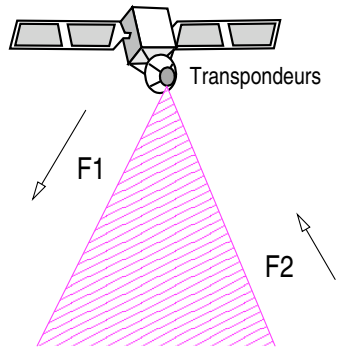
Architecture Ethernet

Architecture point-à-point

De la boucle locale...

- Réseau Téléphonique Commuté
- xDSL
- Hybride Fibre Coaxial
- Réseaux Optiques Passifs
- Courants Porteurs en Ligne
- Boucle Locale Radio
- **Satellites**

## Satellites : Introduction



Réflecteur dans l'espace

- répéteur de **micro-ondes**
  - ✓ plusieurs transpondeurs
    - ☞ amplification
    - ☞ transposition fréquentielle
  - ✓ **couverture** terrestre (faisceaux descendants)
    - ☞ larges (15000 km)
    - ☞ étroits (100 km)
- **période** orbitale
  - ✓ 3<sup>e</sup> loi de Kepler :  $P^2 = \alpha R^3$  (avec  $\alpha$  constant)
    - ☞ **lune** (384000 km) : 28j
    - ☞ **géostationnaire** (35800 km) : 24h
    - ☞ **proche de la terre** : ~ 1h30

## Satellites : GEO

Geostationary Earth Orbit

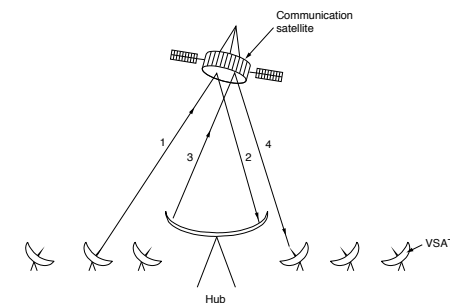
- orbite géostationnaire : altitude 35800 km sur le plan équatorial
  - ✓ un satellite tous les 2 degrés (180 satellites max)
  - ✓ 5 bandes de fréquence disponible
    - ☞ **L** : 1.5 GHz desc., 1.6 GHz mont., BP=15 MHz (encombrée)
    - ☞ **S** : 1.9 GHz desc., 2.2 GHz mont., BP=70 MHz (encombrée)
    - ☞ **C** : 4.0 GHz, 6.0 GHz, BP=500 MHz (interférences terrestres)
    - ☞ **Ku** : 11 GHz, 14 GHz, BP=500 MHz (absorption par la pluie)
    - ☞ **Ka** : 20 GHz, 30 GHz, BP=3500 MHz (absorption par la pluie, coût élevé)
- ✓ plusieurs transpondeurs (+ 40)
  - ☞ 80 MHz chacun
  - ☞ gestion du multiplexage fréquentiel et temporel
  - ☞ télécom, vidéo et data
- ✓ délais (propagation à la vitesse de la lumière ~ 3μs/km)
  - ☞ 270 ms de bout-en-bout ( $RTT > 540$  ms)

## Satellites : 3 catégories

Altitude (km)	Type	Latency (ms)	Sats needed
35,000	GEO	270	3
30,000			
25,000			
20,000			
15,000			
10,000	MEO	35-85	10
5,000			
0	LEO	1-7	50

pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

## Satellites : Hub et microstations



pictures from TANENBAUM A. S. Computer Networks 4rd edition

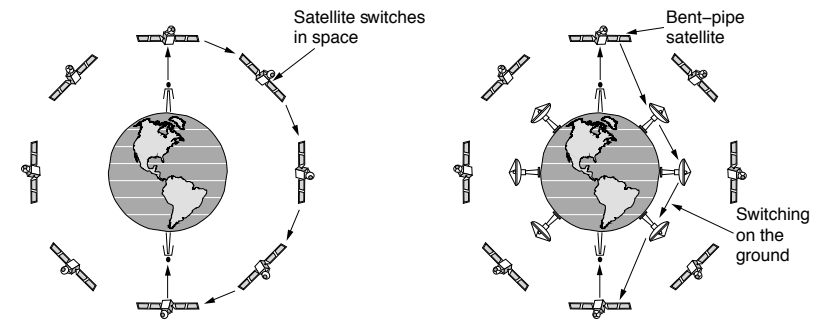
- microstations terrestres **VSAT** (*Very Small Aperture Terminal*)
  - ✓ antennes de moins d'1m (10m pour une antenne GEO) sous 1 watt
    - ☞ débits : montant = 19.2 kbit/s et descendant = 512 kbit/s
    - ☞ délais : 540 ms de bout-en-bout entre 2 VSAT
    - ☞ DBS-TV (*Direct Broadcast Satellite-TV*) : en **unidirectionnel**

## Satellites : MEO

### Medium-Earth Orbit

- orbite : altitude entre 5000 km et 15000 km
  - ✓ entre les 2 ceintures de Van Allen
  - ✓ **besoin de les suivre dans le ciel**
- exemple
  - ✓ système GPS (*Global Positioning System*)
    - ☞ 24 satellites
    - ☞ période : 6h
    - ☞ altitude : 18000 km
- pas de services telecom/data

## Satellites : LEO – Relayage

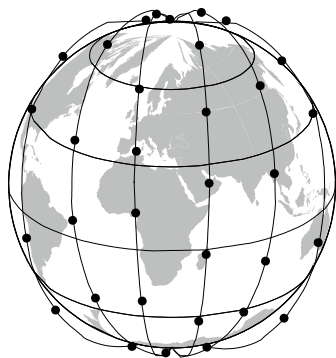


pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 4rd edition*

- Deux approches pour gérer les connexions/flux de données
  - ✓ commutation/routage **dans l'espace** ➡ Iridium, Teledesic
  - ✓ commutation/routage **sur terre** ➡ Globalstar

## Satellites : LEO – Couverture

### Low-Earth Orbit



➤ 6 colliers Iridium

- **Iridium**
  - ✓ 66 satellites à 750 km
    - ☞ 48 faisceaux spots /sat
    - ☞ 1628 cellules terrestres
    - ☞ 3840 canaux /sat
    - ☞ 253440 au total
- **Globalstar**
  - ✓ 48 satellites à 920 km
    - ☞ simples répéteurs
    - ☞ puissance réduite
- **Teledesic (2005)**
  - ✓ 30 satellites à 1350 km
    - ☞ bande **Ka**
    - ☞ antennes VSAT
    - ☞ 100 Mbit/s montant
    - ☞ 750 Mbit/s descendant

## Satellites / Fibres optiques

- utilisations différentes
  - ✓ **satellites**
    - ☞ diffusion
    - ☞ disponibilité géographique
  - ✓ **fibres optiques**
    - ☞ bande passante
    - ☞ insensibilité aux perturbations

## Fin

Document réalisé avec  $\text{\LaTeX}$ .  
Classe de document foils.  
Dessins réalisés avec xfig.

Olivier Fourmaux, [olivier.fourmaux@upmc.fr](mailto:olivier.fourmaux@upmc.fr)  
<http://www-rp.lip6.fr/~fourmaux>

Ce document est disponible en format PDF sur le site :  
<http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/>