

# Support physique et couche liaison

## RICM 2<sup>e</sup> année



Martin Heusse

---

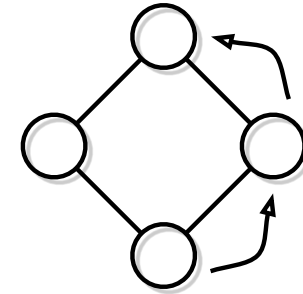
# Supports physiques

## Couche liaison

- Ligne série
- Ethernet
- ATM
- xDSL (*Digital Subscriber Line*)

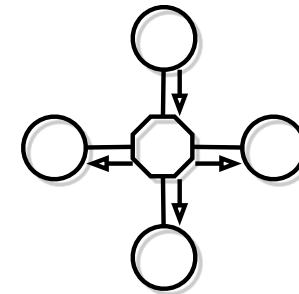
# Topologie des réseaux locaux

- Réseau en anneau : FDDI ; Token Ring
  - Les trames passent d'une station à l'autre
  - Elles reviennent à l'émetteur, qui les supprime
  - Toutes les stations voient les trames
  - Variante : double anneau contra-rotatifs : possibilité de réparation automatique



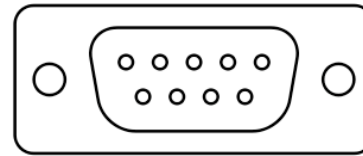
- Réseau en étoile : Ethernet ; Réseaux locaux sans fil

- Bus interconnectant toutes les stations
- C'est le *médium* qui fait la diffusion



- Il est possible de former un anneau *logique* sur un réseau *physique* en étoile

# Ligne série



- Utilisation d'une broche pour la transmission, une pour la réception
- Transmission octet par octet (ou par groupes de 5, 6, ou 7 bits)
  - Au repos, la ligne est à 1
  - *start bit* : 0
  - *stop bit* : 1 (durée de 1, 1,5 ou 2 périodes)
- Optionnel : bit de parité (détection d'erreur)

⇒ Permet de faire une console, pas une liaison de données  
(Il faut ajouter PPP ou SLIP)

Signal souvent transmis sur longue distance grâce à un *modem* → les autres broches transportent le signal de sonnerie etc.

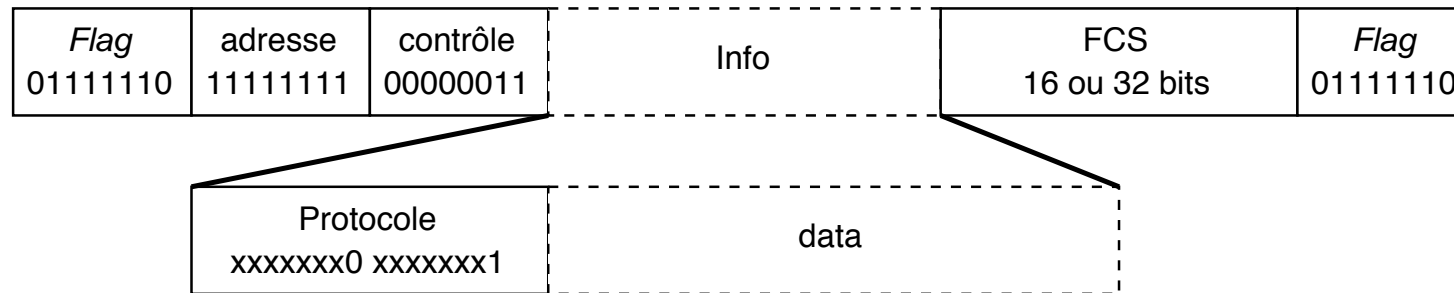
---

# Liaison de données sur ligne série

## PPP (*Point to Point Protocol*) et SLIP (*Serial Line IP*)

- Cadrage (*framing*) et transparence (seule fonction de SLIP)
- Détection/correction d'erreur
- Description du contenu des données de la PDU (eg. paquet IP ou netbios?)
- Authentification avant ouverture de la liaison
- Configuration/négociation des paramètres de niveau 2 et 3
- Compression des entêtes ou des paquets

# PPP dans des trames HDLC



- FCS : *frame check sequence*

- *Après* calcul du FCS :

Pour les liens asynchrones à *octets* de bourrage

– Échappement des octets de supervision dans les données :

0x7e → 0x7d, 0x5e (Flag); 0x03 → 0x7d, 0x23. (contrôle); 0x7d → 0x7d,  
0x5d. (échap.)

Pour les liens à *bits* de bourrage

– entre les deux *flags*

– Insertion d'un zéro après toute séquence de 5 « 1 »

– retiré à la réception

# PPP : protocoles associés

- Négociation LCP (*Link Control Protocol*)
  - Établissement & contrôle de la liaison
  - Négociation de paramètres de connexion (ex : compression de l'entête PPP — champ adresse inutile ! Suppression du FCS)
  - Transparence : éviter d'utiliser des codes significatifs au niveau physique
- CCP (*Compression. . .*)
  - Compression des entêtes de niveau 3 (des paquets similaires se suivent, en général)
  - Compression du paquet complet (genre zip)
- Authentification, au choix :
  - *login* style unix : authentification avant démarrage de PPP !
  - PAP (transmission du nom d'utilisateur et du mot de passe)
  - CHAP (Utilisation de cryptographie)
- Configuration du client (niveau 3) : protocoles NCP
  - Protocole IPCP (config. IP)
  - ATCP (config. Appletalk)

# L'accès multiple, le multiplexage

- Distribué ou centralisé
  - GSM (ou tout système dans bande de fréquence à licence) : centralisé
  - 802.11 : distribué
- Temporel
  - TDMA (GSM : 8 communications unidirectionnelles par bande de fréquence)
  - CSMA (Ethernet : CSMA/CD , 802.11 : CSMA/CA) : détection de la présence d'un homologue
  - BTMA (*Busy tone*)
    - Le récepteur émet une tonalité : pas de problème de terminal caché
- Spectral : FDMA (multiplexage en fréquence le plus simple)
  - GSM : combiné avec TDMA dans chaque bande de fréquence
  - DECT (idem)
  - 802.11 (plusieurs canaux, pas tous disjoints !)
- Code
  - CDMA (3G)
  - *Frequency hopping* (Bluetooth)
- Spatial : antennes directionnelles

---

# Accès multiple : problèmes associés

- TDMA : synchronisation
- CSMA : collisions
- FDMA : précision en fréquence
- CDMA : les puissances doivent être comparables, synchronisation

---

# Ethernet IEEE 802.3 : couche physique

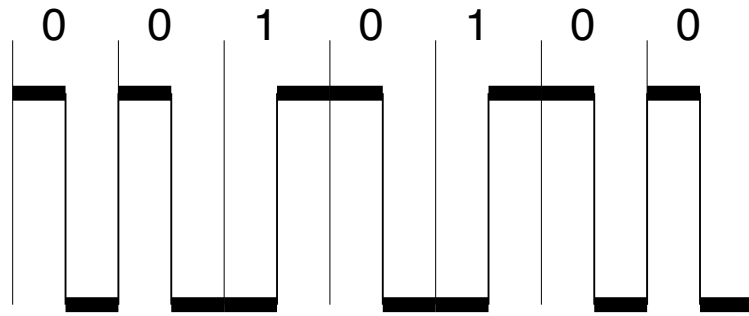
- Principe
- 10Mb/s
- 100Mb/s
- Gigabit Ethernet

# Ethernet : support

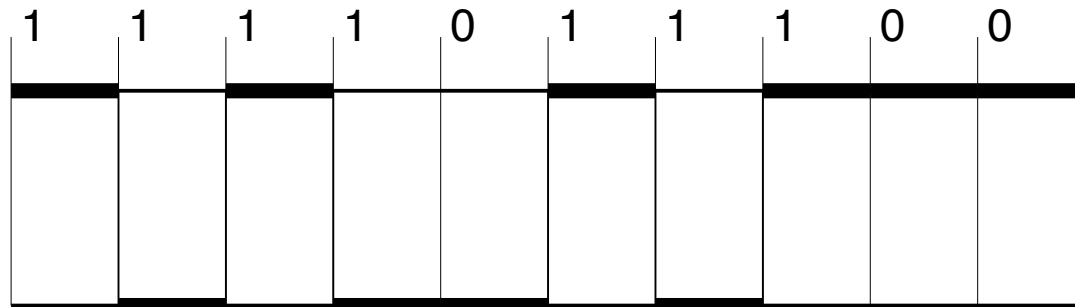
- Ethernet sur câble coaxial
  - 10base2 ; 10base5 (à éviter)
- RJ-45 / paires torsadées
  - 10base-T
  - 100base-TX ; 100base-T4
  - 1000base-TX
- Fibre
  - 100base-FX

# Codage : Manchester & NRZI

- Codage de Manchester : une transition par bit à transmettre



- NRZI : *Non-Return to Zero, Invert on one*



# Codage

- Manchester : une transition par bit utile
  - Ethernet 10Mb/s
- NRZI
  - Au plus une transition par bit
  - Diminution de l'étendue du spectre du signal (divisée par 2)
  - Possibilité de dérive de l'horloge du récepteur en l'absence de transition : les données sont transcodées pour assurer la présence de transitions

100base-TX : 4B5B → MLT-3

100base-FX : 4B5B → NRZI

# Nécessité du préambule

- Nécessité de fixer le moment d'échantillonnage
    - En Manchester, une suite de 0 ressemble fort à une suite de 1!
- Émission d'un préambule avant la trame
- Séquence de 0, 1, 0, 1. . .

# 100base-X

- Utilisation de 2 paires torsadées (-TX) ou 2 fibres (-FX)
- Signal présent en permanence sur le câble après négociation
- 4B5B introduit une transition pour chaque groupe de 4 bits de données

Pour chaque quartet, on consulte un dictionnaire

ex : 0x0 =: 00001 ; 0xE =: 11100

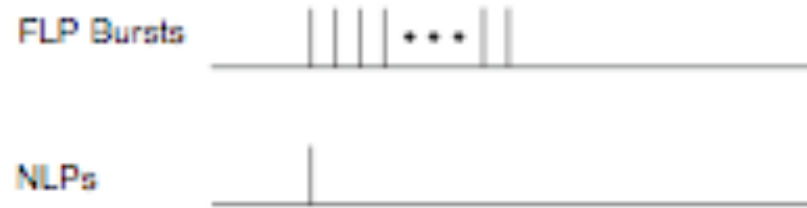
- Délimitation de début de trame (1100010001)[remplace le premier octet trans-codé de préambule]  
et de fin de trame 0110100111[empiète sur l'IFS] (voir plus loin. . .)
- MLT-3 (NRZI-3) (*MultiLevel Transitions*)
  - trois niveaux logiques : +1 ; 0 ; -1
  - Toute transition code un « 1 » (et son absence un zéro), en décrivant la séquence  
+1 ; 0 ; -1 ; 0 ; +1 etc.

# Qu'est-ce qu'un répéteur ?

- Recopie d'un support à l'autre
  - Répond aux problèmes d'atténuation
  - \* partage du canal entre fibres et paires torsadées
- Détecte les collisions, génération du *jam*
- Le *hub* Ethernet est un répéteur
  - Le réseau forme une étoile, toute trame est bien diffusée à chacun
  - Vers chaque interface, il y a une voie montante et une descendante (2 fibres / 2 paires torsadées)

# Négociation du type de canal

## *Physical Layer link signaling*



- *Normal Link Pulse* (NLP) (10baseT)
  - Détection de la présence de l'équipement distant
- *Fast Link Pulse* (FLP) (100baseT)
  - Détection de la présence de l'équipement distant
  - Train de 33 impulsions
  - Présence/absence des impulsions impaires encodent les modes acceptés.

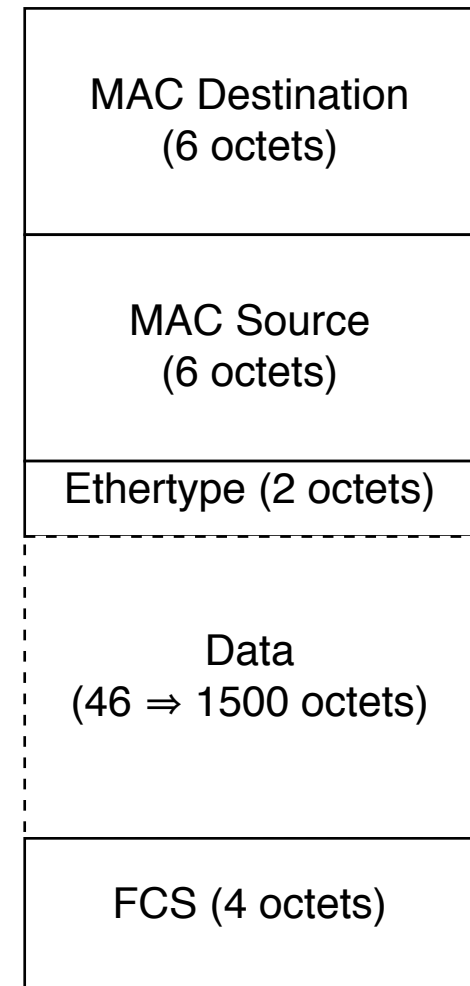
---

# Couche Liaison de données

- Découpage en trames
  - voir Ethernet
  - voir PPP
- Détection d'erreur
- Contrôle de flux
- Partage du support : sous-couche MAC (*Medium Access Control*)

# Trame Ethernet II

- Préambule (délimite la trame)  
"10101010" 7 fois puis "10101011"  
Synchronisation émetteur/récepteur
- entête + données
- *padding* (transmission de durée supérieure à *slot*)[voir plus loin]
- Le *CRC* permet la détection d'erreur.
- *inter frame spacing* (violation du code)

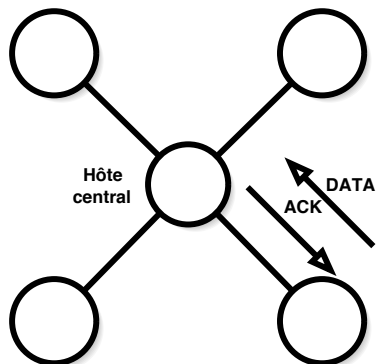


# Réseaux locaux : méthode d'accès

Medium partagé par les clients

- Partage du moyen de communication : bus, câble de réseau local, canal radio
- Méthode d'accès
  1. Déterministe :
    - Anneaux à jeton (Token ring, FDDI)
    - *Time Division Multiple Access* (TDMA)  $\Leftarrow$  GSM
    - *Code Division Multiple Access* (CDMA)  $\Leftarrow$  UMTS
  2. Aléatoire :
    - Aloha
    - CSMA/CD
    - CSMA/CA (lorsque la détection immédiate de collision est impossible)

# Aloha (1972)



```
i = 1
while (i <= maxAttempts) do
  send packet
  wait for acknowledgement or timeout
  if ack received then
    leave
  wait for random time
  increment i
end do
```

# Utilisation maximale de Aloha

- Hypothèses :
  - Paquets de taille fixe, transmis en un temps  $T$
  - Le trafic est un processus de Poisson<sup>1</sup>, d'intensité<sup>2</sup>  $\mu$

$$P[N(t) = n] = \frac{(\mu t)^n}{n!} \exp(-\mu t)$$

- Pour qu'un paquet soit transmis avec succès, il faut que
  - le dernier paquet arrivé soit arrivé depuis au moins  $T$
  - le prochain n'arrive pas avant  $T$

$$\Rightarrow P_{\neg \text{coll}} = e^{-2\mu T}$$

- Probabilité de présence sur le canal d'un paquet non sujet à collision :

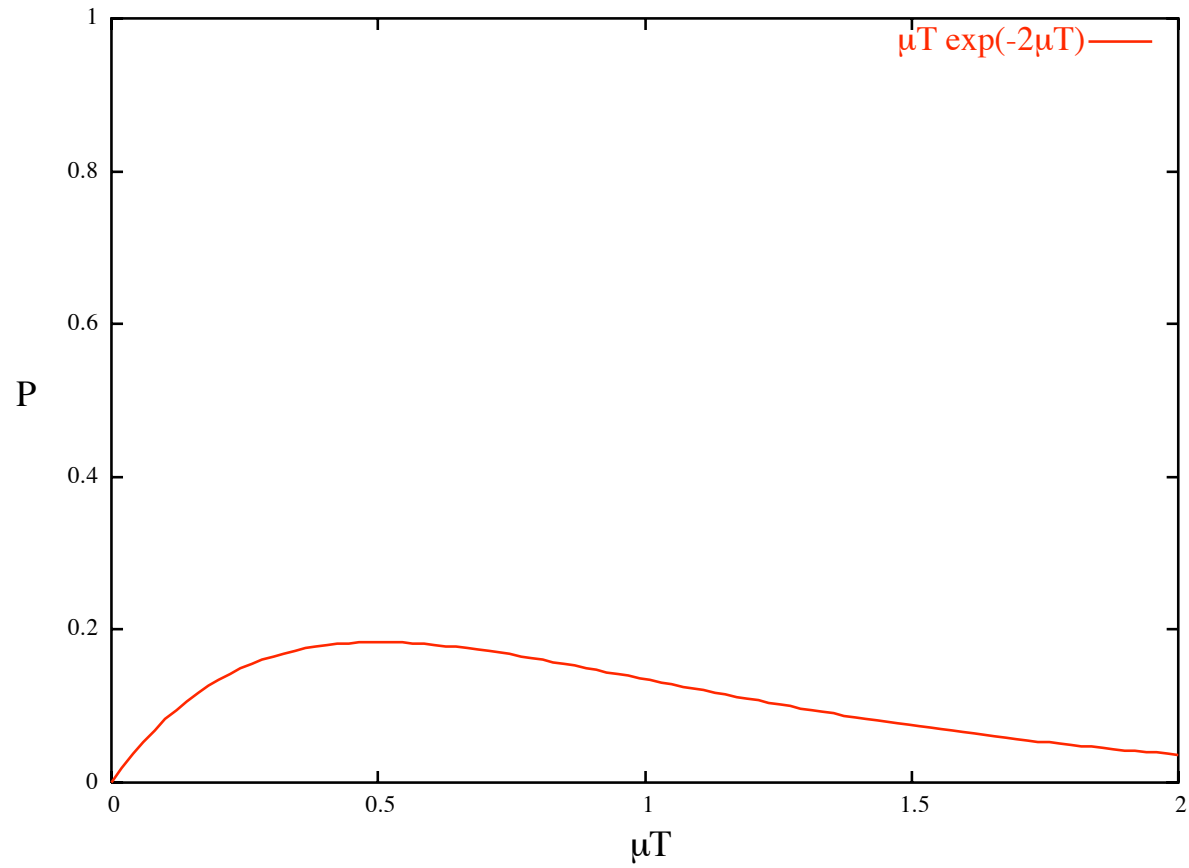
$$P_{\text{ok}} = \mu T e^{-2\mu T} : \text{max. pour } \mu T = 0,5$$

---

<sup>1</sup>Les nombres d'événements dans deux intervalles de temps disjoints sont indépendants entre eux. . .

<sup>2</sup>Nombre d'événements attendu par unité de temps.

# Utilisation maximale de Aloha



---

# *Carrier Sense* (CSMA)

- Écoute du canal avant transmission
- Évite beaucoup de collision
- ... Mais pas toutes !
  - À cause du temps de propagation sur le médium, la probabilité d'avoir deux hôtes émettant au même instant est non nulle
- Pour éviter des collisions répétées un temps d'attente aléatoire est tiré par chaque hôte avant de ré-essayer toute transmission

# *Collision Detection* (CSMA/CD)

- Les collisions sont détectées aussitôt
  - Pas d'acquittement
  - Les émetteurs cessent l'émission plus tôt
    - 3 Dès qu'on est sûr que tout le monde a détecté la collision
    - 3 Dans le cas d'un concentrateur, ce dernier envoie en général 32 « 1 », en espérant que ça ne corresponde pas à un *checksum* valide

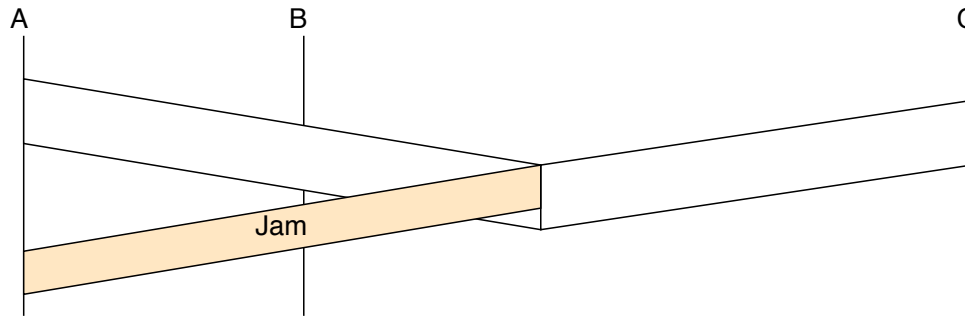
CSMA/CD est *Ethernet*

# CSMA/CD

```
i = 1
while (i <= maxAttempts) do
  listen until (channel is idle)
  transmit and listen
  wait until (end of transmission) or (collision detected)
  if (collision detected) then
    stop transmitting /* after 32 bits ("jam")*/
    wait random_time
    increment i
  else
    wait for interframe delay
    exit
end do
```

# Taille minimale des paquets (réseau 10Mb/s)

- Paquets trop courts :



- Dans Ethernet , le « jam » fait 32 bits, et doit revenir avant la fin de transmission de la trame
  - Délai exemple : 4 répéteurs + 5 segments (2 paires torsadées de 100m et 3 coax. de 500m) + 2 stations →  $44,4\mu s$
  - $slot\_size = bandwidth * delay + jam\_size + safety\_margin$   
(→ 512 bits)  
 $slot\_time = slot\_size / (10Mb/s) = 51.2\mu s$
  - ⇒ Taille minimale des données d'un paquet Ethernet : 46 octets
  - ⇒ Les trames sujettes à collisions sont raccourcies à (au plus) `slot_size`

# Quelques données

- 10Mb/s :
  - slotTime 512 bit times
  - interFrameGap 9.6  $\mu s$
  - jamSize 32 bits
  - maxUntaggedFrameSize 1518 octets ; minFrameSize 512 bits
- 100Mb/s :
  - slotTime 512 bit times
  - interFrameGap 0.96  $\mu s$
  - jamSize 32 bits
  - maxUntaggedFrameSize 1518 octets ; minFrameSize 512 bits
- 1000Mb/s : slotTime 4096 bit times
- vitesses de propagation.  
Coax. fin et fibre :  $\simeq 200.10^6 \text{ m.s}^{-1}$  ; paire torsadée :  $177.10^6 \text{ m.s}^{-1}$

# Truncated Binary Exponential Backoff

- Calcul de l'attente aléatoire :

$$random\_time = \text{rand}[0, 2^j - 1] * slot\_time$$

avec  $j = \min(i, 10)$  ( $i$  : nombre de collisions pour le paquet)

- Seule la station qui transmet remet  $i$  à 0  $\rightarrow$  *capture effect*
- CSMA/CA (*Collision Avoidance*) : attente aléatoire avant chaque transmission (lorsque le canal a été constaté occupé)
  - CSMA/CA est utilisé pour les réseaux sans fil où la détection de collision par la source est impossible (pas de voie retour)
  - Augmentation de l'intervalle de tirage en cas de collision

# Performance de CSMA/CD

- Approximativement :

$$\theta = \frac{1}{1 + C\alpha}$$

où  $\alpha = \frac{\beta}{L}$

$\beta$  : délai  $\times$  bande\_passante

$L$  : taille des trames

$C$  : constante  $\approx 2,5$

- Il est important d'avoir  $\beta \ll L$  pour obtenir une bonne utilisation du réseau

$\theta = 90\%$  pour des trames de 1500 octets

# Pont (*Bridge*)

- Connexion entre deux segments Ethernet s, sans collision
- Permet d'étendre le réseau au delà des limites de taille d'une aire de collision
- Plusieurs trames peuvent utiliser un LAN avec ponts au même moment
- Commutateur (*switch*) : pont avec plusieurs ports
  - Permet de connecter des réseaux hétérogènes (brin à 100Mb/s avec un brin à 10Mb/s)
  - Routage simple (réseau en étoile)
- On utilise aujourd'hui des VLAN (cf. cours routage)

# Ethernet commuté

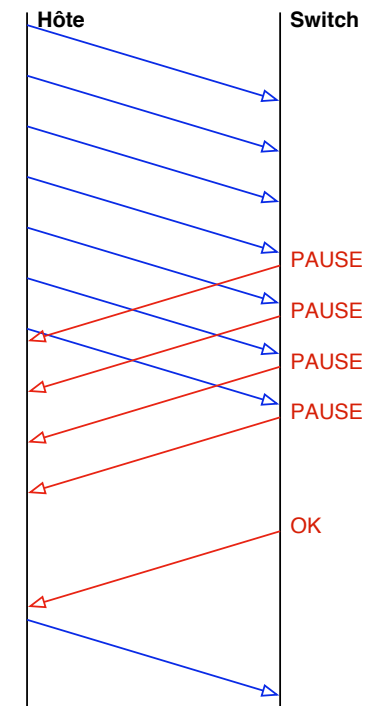
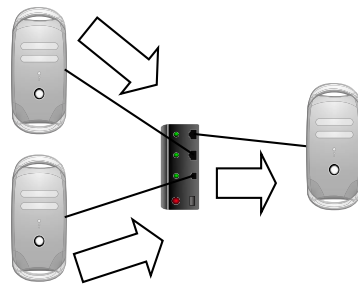
- Diminution des aires de collision : seul l'interface connectée au destinataire reçoit la trame
  - ⇒ Ethernet « *Full Duplex* »
    - en l'absence de collision, il est inutile d'écouter en même temps que l'on émet
      - ⇒ Utilisation indépendante des voix montante et descendante
    - ⇒ Ethernet Full Duplex : pas de CSMA/CD
  - Mécanisme de contrôle explicite du flux (obligatoire!)
    - Pour éviter la congestion du réseau
    - Tous les réseaux mettent en œuvre un type de contrôle de congestion
      - 3 TCP : contrôle au niveau 4 (contrôle de bout en bout)
      - 3 Réservation (ATM)
      - 3 notification (ICMP *Source Quench*)
    - Ethernet full duplex : paquets PAUSE

# Contrôle de flux

Paquet Pause : (type 8808; destination : tous les bridges)

```
12:49:35.929593 1:80:c2:0:0:1 1:80:c2:0:0:1 8808
```

```
0001 ffff 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 8607
d7d6
```



- Les *pauses* peuvent être répercutées par les switchs qui les reçoivent (*back pressure*)
- ffff est la « durée » de l'arrêt demandé.
- Un paquet avec 0000 comme « durée » relance la source (OK sur la figure)

---

# Évolution des LAN

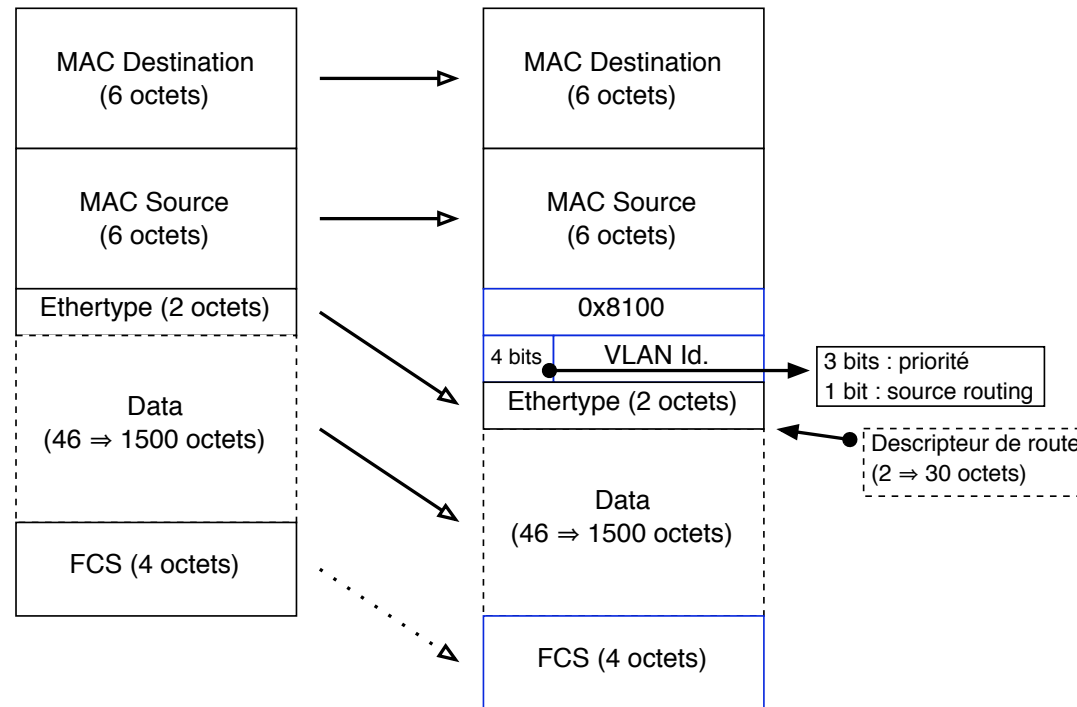
- Contrôle
  - ⇒ VLAN
- Débit
  - ⇒ 1000 Mb/s

# 802.1q

≠ VLAN par filtrage niveau 3  
Nécessité d'un marquage des paquets

- Marquage des paquets
  - *Tag* de 12 bits
  - ⇒ Association de chaque trame à un VLAN
- « Programmation » des commutateurs.
  - Base de donnée de filtrage
    - Acceptation ou non des paquets non marqués par ex.
    - Associations
- Notion de *spanning tree*
  - Élimine les cycles
  - Meilleur passage à l'échelle
  - Redondance

# Trame marquée sur Ethernet II



- Compatibilité ascendante
  - Structure du paquet similaire
  - *Mais* la longueur est différente !

# Gigabit Ethernet

- Supports

- Fibre : 1000BASE-SX et 1000BASE-LX
- Cuivre : 1000BASE-T

- Comment est-ce possible ?

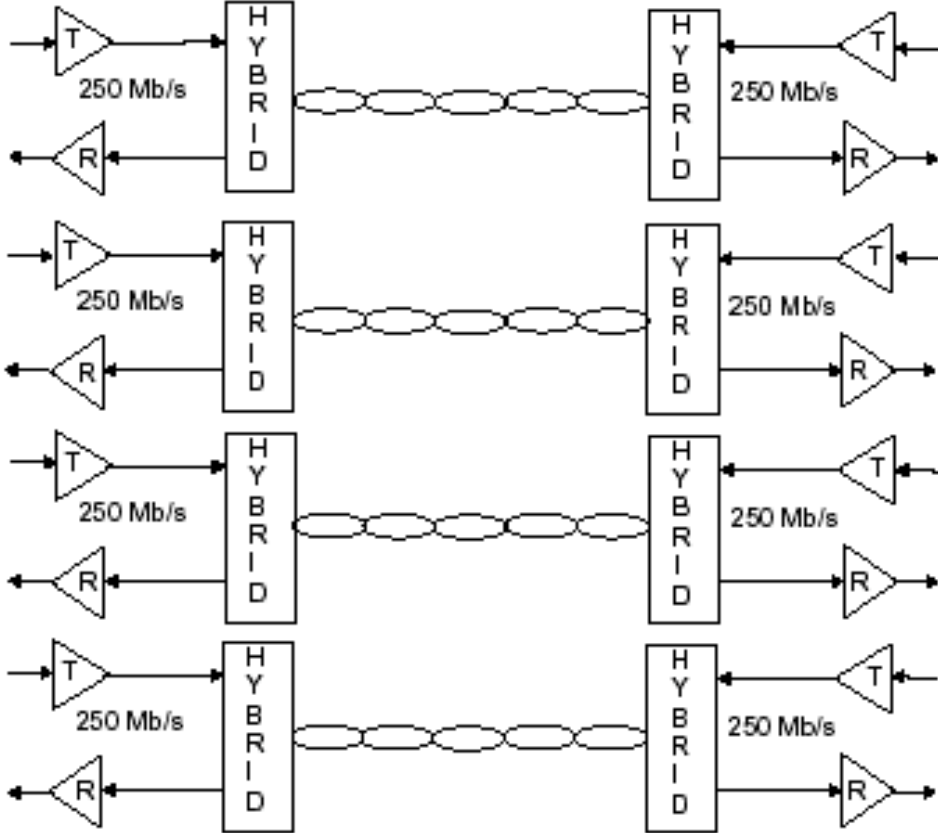
Deux fois un milliard de bits par seconde sur 4 paires de fils !

- Utilisation des 4 paires dans les deux sens (suppression d'écho)
- Égalisation (suppression des interférences inter-symbole)
- Modulation : 125 Mbaud/paire
- Symboles à 4 dimensions (4 paires), sur 5 niveaux (2 bits + 1 niveau de rab')
- Encodage 4DPAM5  
(deux bits encodés par paire torsadée par temps-symbole)
- Correction d'erreur (FEC)

- Le canal n'est jamais silencieux (comme pour 100baseT)

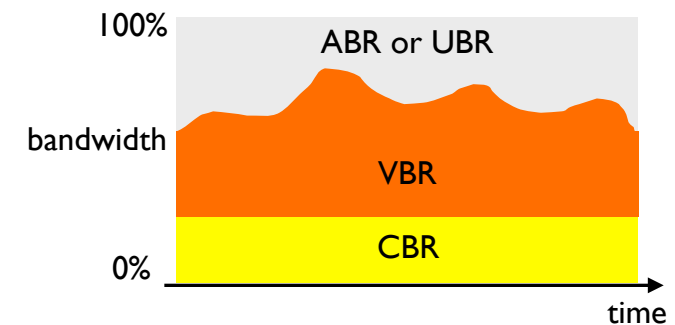
- Utilisation d'un entrelaceur

# 1000 BASE-T



# ATM *Asynchronous Transfer Mode*

- Cellules de 53 octets :
    - 4 octets d'identification de la connexion (VC ; VP)(voir là)
    - 1 octet de contrôle
    - 48 octets de données
  - Cellules de taille fixe
    - traitement de durée fixée (*hardware*) en chaque commutateur
- Le cadrage est un problème de détection de (début de) trame
- Multiplexage statistique *et* notion de connexion
    - Différents types de trafics : VBR ; CBR ; UBR
    - Garantie du respect de l'ordre des cellules
    - Éventuellement garanties de service



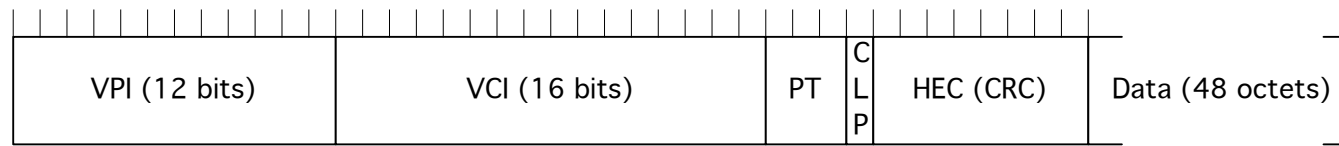
# ATM : Réseau de connexions virtuelles

- Les cellules circulent sur des circuits virtuels (réseau *orienté connexion*)

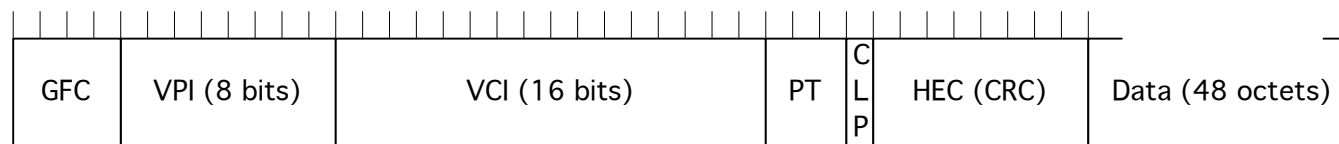
Identification du circuit virtuel par le couple VPI/VCI (*Virtual Circuit/Path Id*)

- Entête de cellule ATM :

Cellule NNI (commutateur à commutateur)



Cellule UNI (terminal à commutateur)



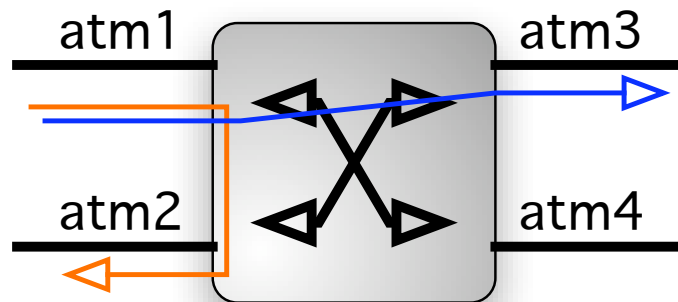
- PT : Type des données (AAL1. . .)
- CLP : priorité de suppression de cellule
- HEC (*Header Error Control*) : CRC sur l'entête. Sert à la détection de début de trame.

Comme la taille est fixe, le problème du cadrage est résolu !

# Commutation de circuits virtuels

- Les identifiants de VP, VC changent à chaque traversée de *switch* (*label swapping*) !
- Table de commutation :

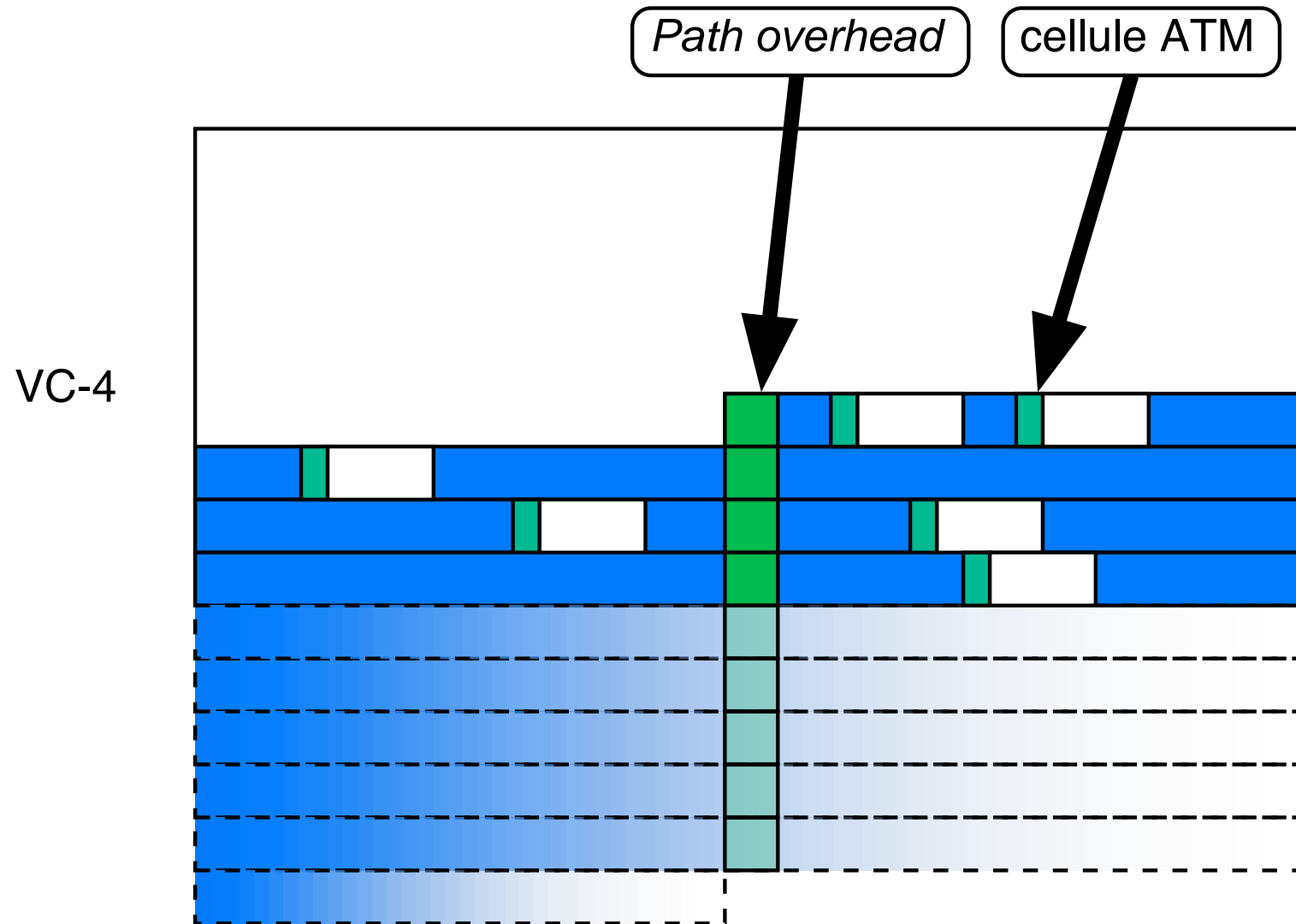
Line in	VPI/VCI in	Line out	VPI/VCI out
atm1	0x123/0xabcd	atm2	0x456/0x7890
atm1	0x321/0xabcd	atm3	0x111/0xaa11



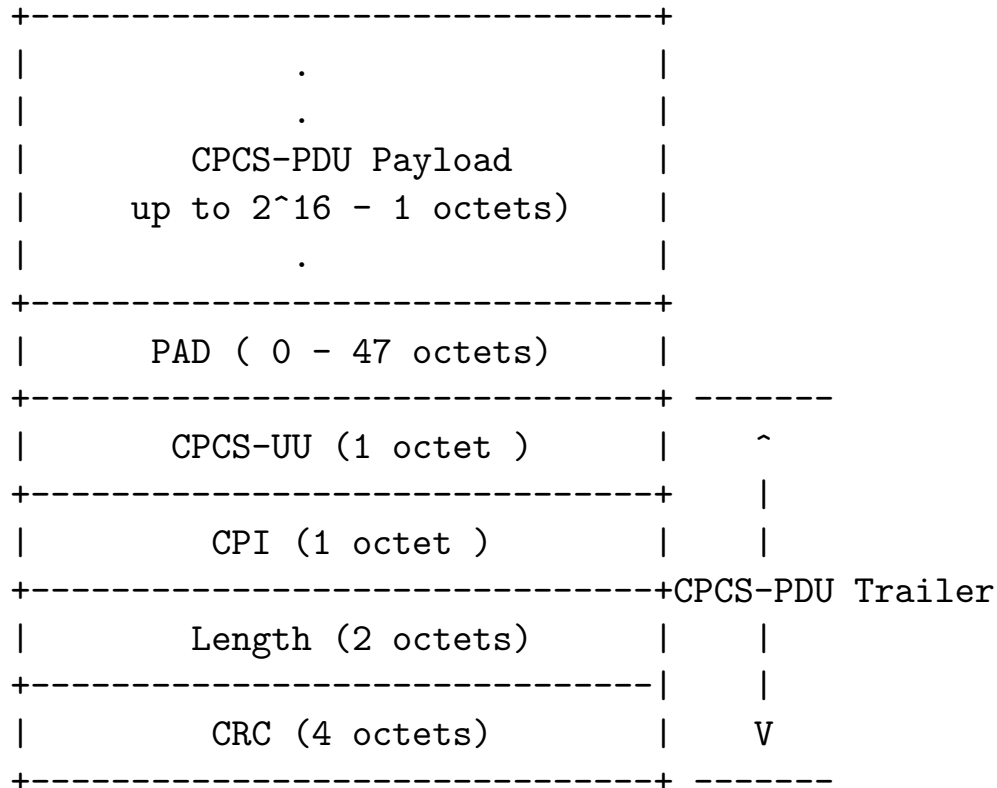
# Utilisations d'ATM

- Couches d'adaptation ATM
  - AAL0 : pas d'adaptation, cellules brutes
  - AAL1 : flux à débit constant (voix)(CBR)
  - AAL2 : flux à débit variable (voix compressée / suppression des silences)
  - AAL3/4 : encapsulation de données de type paquet (peu utilisé, peu efficace)
  - AAL5 : transport de paquets : découpage, ré-assemblage
- Point à point : aDSL
- Communication longue distance
- ★ Utilisation limitée comme protocole de réseau universel

# ATM sur SDH



# AAL5



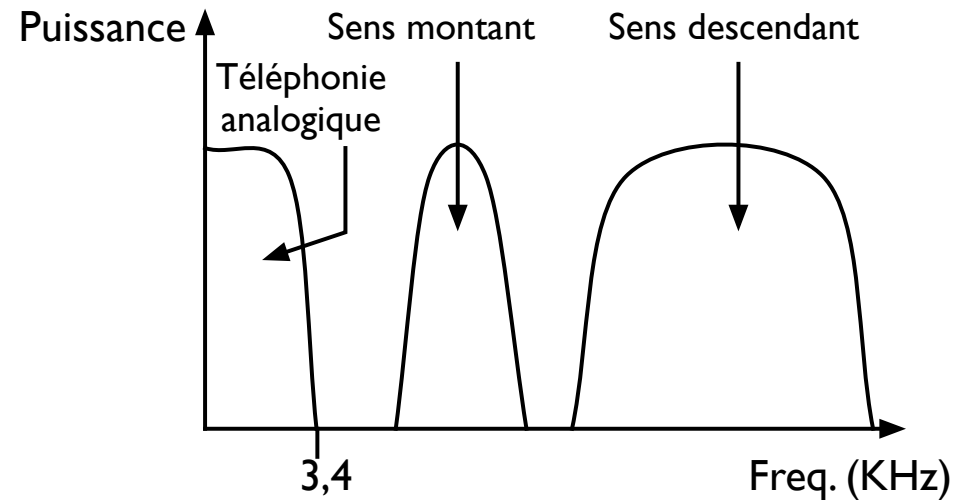
- 1 bit dans le PT signale la dernière cellule
- Le bourrage justifie les données à droite dans la dernière cellule

UU : *User to User information*, CPI = 0

# ADSL

- *Asymmetric Digital Subscriber Line*
- Accès à haut débit sur paire de cuivre :  
Typiquement 8Mbit/s descendant et 768 Kbit/s montant  
(VDSL : jusqu'à 52–1.5 Mb/s, ADSL2+ : 20–1Mb/s)
- Utilisation des techniques de transmission développées pour les réseaux hertziens : l'OFDM (utilisé aussi dans le cadre du CPL, Wimax, 802.11a/g)

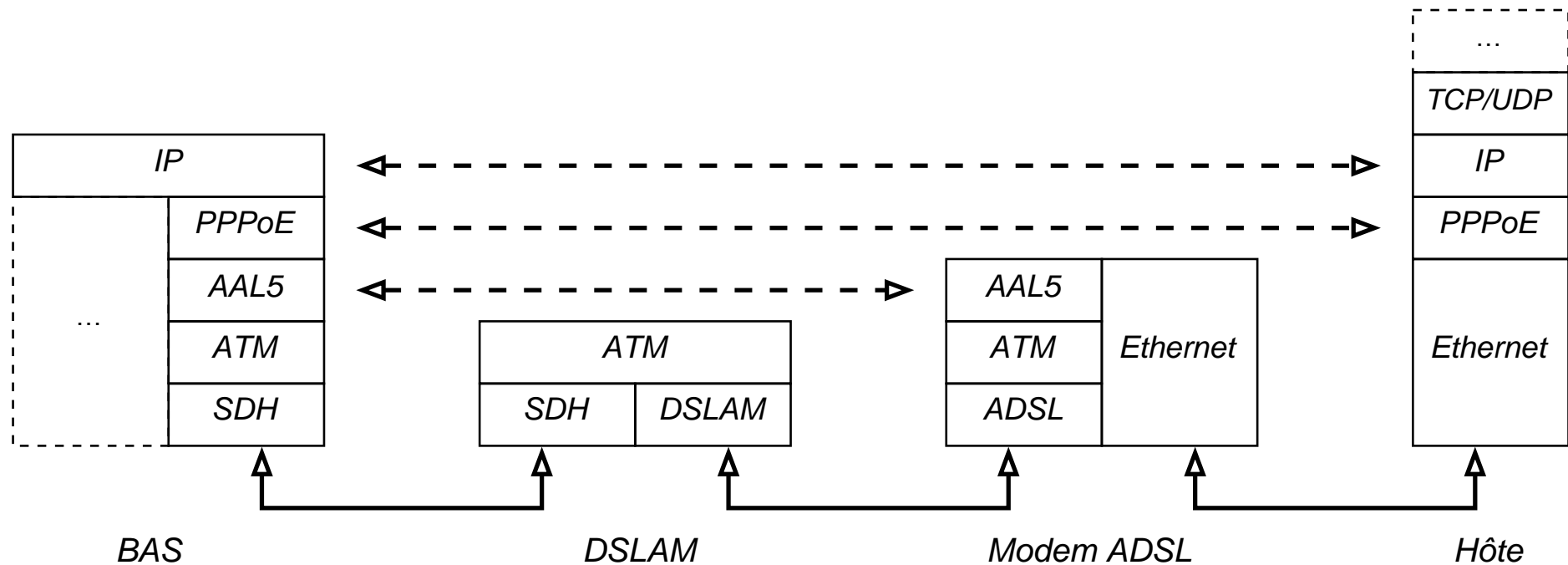
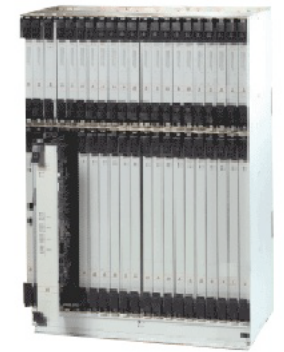
# ADSL



- Spectre découpé en 3 canaux : téléphonie, montant et descendant  
Un filtre analogique permet de séparer le signal téléphonique
- Utilisation d'un grand nombre de sous-porteuses au sein de chaque canal (OFDM)

# ADSL : architecture

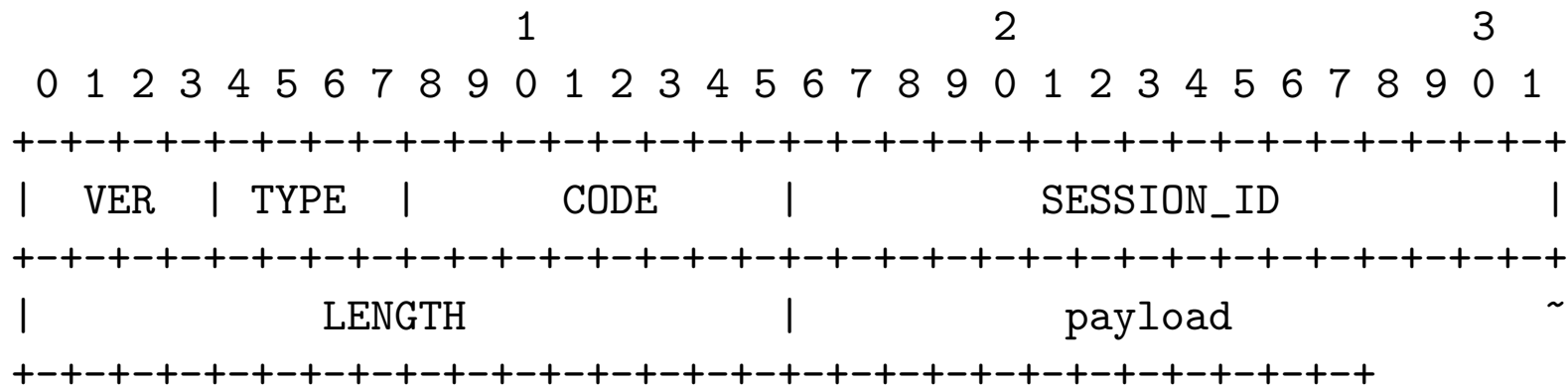
- DSLAM : *DSL Access Module*
- BAS : *Broadband Access Server* (1 BAS  $\Leftrightarrow$  1 plaque FT)



Cette architecture n'est pas la seule utilisée. . .

# PPPoE

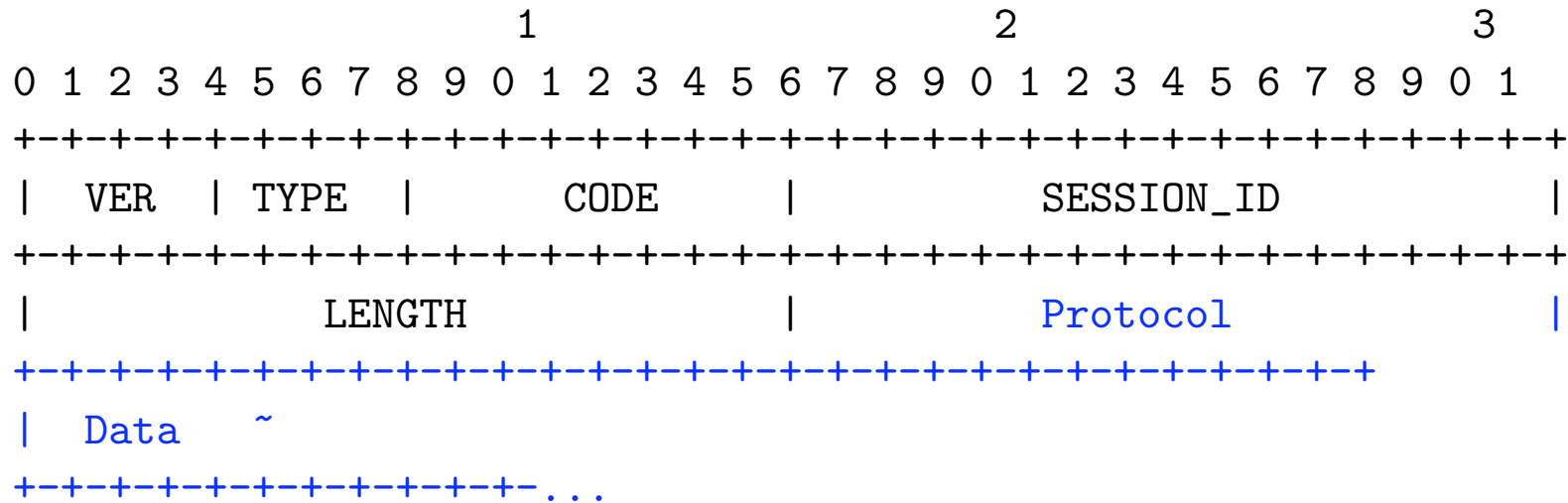
- PPPoE : pas de cadrage (*framing*) HDLC !  
*Payload* Ethernet :



- PADI, PADO, PADR, PADS, PADT : *PPPoE Active Discovery Initiation, Offer, Request, Session-confirmation, Terminate*
  - PADI : broadcast, réponse par des PADO
  - PADR : le client choisit un serveur
  - PADS : le serveur attribue un numéro de session
  - PADT : envoyé à tout moment

- Ensuite : paquets LCP comme pour les autres variantes de PPP
  - Le numéro de session ne change plus : il identifie le client, éventuellement parmi plusieurs (comme en IP sur câble)

– les données de la trame PPPoE sont une trame PPP :



- **En dégroupé** : IP/AAL5/ATM par exemple (le *BAS* est le *DSLAM...*)
- ATM n'est pas toujours utilisé (cas du VDSL) : IP/Ethernet
  - On parle de DSLAM IP
  - L2TP permet de transporter des trames PPPoE vers un BAS à travers un réseau IP

---

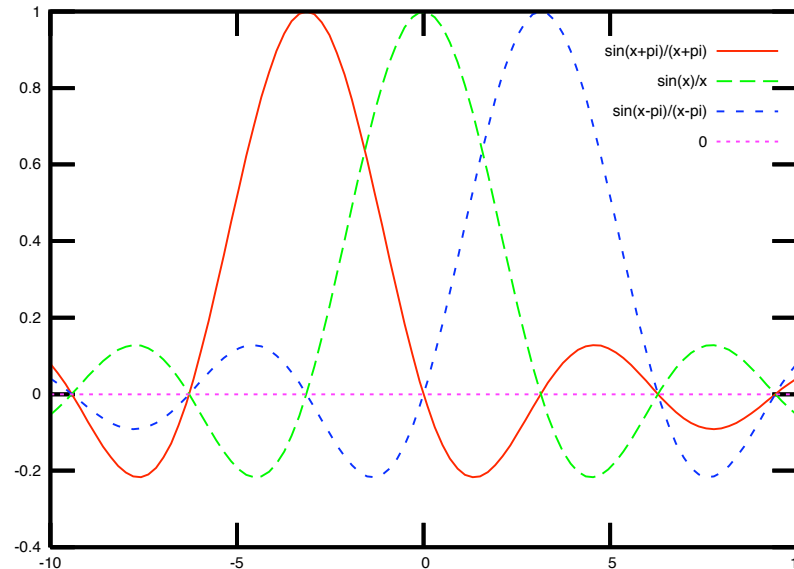
# OFDM

## *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

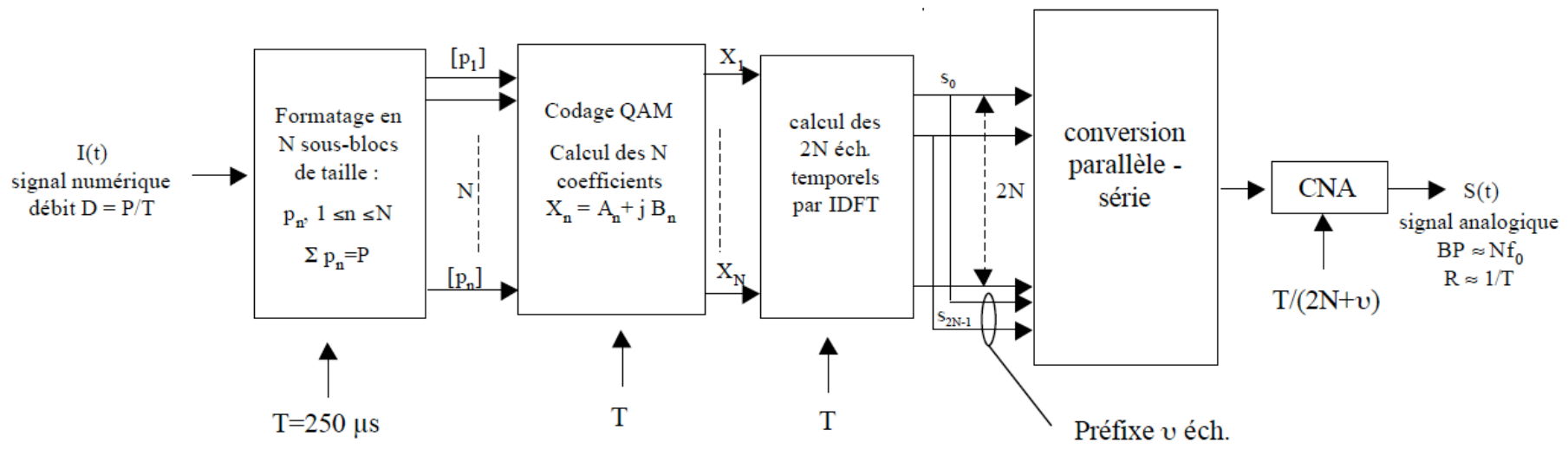
- Beaucoup de signaux simples (robustes) transmis en parallèle  
→ Bonne utilisation du spectre
- Complexité limitée à l'émetteur et au récepteur
- Fonctionne même si certaines bandes de fréquence ne passent pas, ou mal (→ canal de réponse fréquentielle non plate)

# OFDM / *Orthogonal Freq. Division Multiplexing*

- Exemple : spectre de trois signaux carrés modulés (bien choisis)



- Le signal à transmettre est réparti sur les différents sous-canaux
  - Utilisation d'une simple FFT pour la combinaison des signaux
  - Nécessité d'une grande précision **en fréquence** à la réception.



# Quelques précisions

- Espacement des porteuses 4.3125 kHz
- **On peut considérer le canal comme homogène (atténuation, phase) sur l'ensemble de la bande de la sous-porteuse**
- 250 canaux (ADSL)(Répartis entre ses montant et descendant)
- Durée de symbole :  $231.88\mu s$  ( $1/4.3125E3$ ) — Préfixe cyclique (CP) + temps de garde ajouté à chaque symbole → temps-symboles de  $250\mu s$

# Autres applications de l'OFDM

- 802.11a,g (48 sous-porteuses)
- CPL (Courant porteur de ligne) (84 sous-porteuses)
- DVB-T (TNT en français) (jusqu'à 8192 sous-porteuses) ; DAB (radio-phonie numérique)
- Wimax (OFDMA : on confie un intervalle de temps et un sous-ensemble de porteuses à chaque émetteur)
- Futurs systèmes cellulaires

---

**Merci de votre attention !**

