

# Réseaux - Cours 2

## Couches Physique et Liaison de Données

Cyril Pain-Barre

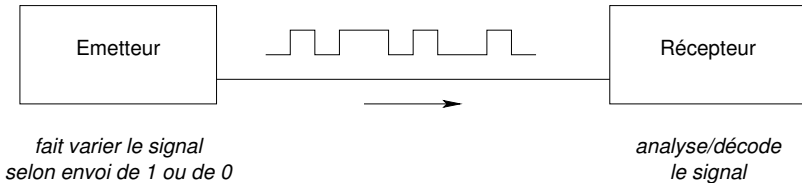
IUT Informatique Aix-en-Provence

version du 1/2/2012

# La Couche Physique

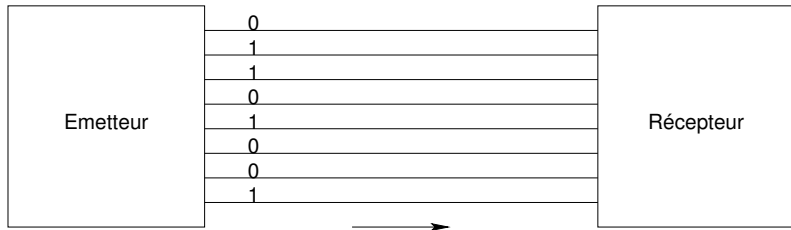
(le niveau bit)

- se propage dans un canal (liaison), matériel ou immatériel
- onde électromagnétique
- ses variations représentent des informations



# Transmission en parallèle

Les bits sont émis en parallèle sur des fils distincts (8, 16, 32, 64, voire parfois plus) :



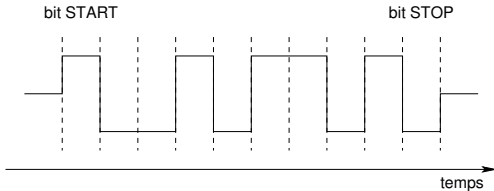
Pose des problèmes de synchronisation

N'est utilisée que sur de **très courtes distances** (ex : bus interne d'un ordinateur)

- Les bits sont émis les uns après les autres
- Deux modes possibles : asynchrone et synchrone

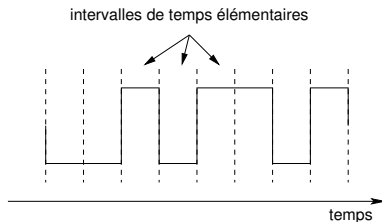
## Mode asynchrone :

- transmission a lieu n'importe quand
- début et fin de la transmission par bits START et STOP :



## Mode synchrone :

- émetteur et récepteur sont d'accord sur un intervalle de temps élémentaire constant qui se répète sans cesse
- transmission en début d'intervalle pour une durée d'un intervalle par *symbole* (ex : 1 bit)



C'est le mode utilisé pour les très forts débits

# Débit d'une ligne de transmission

- Signal toujours synchronisé sur une **horloge** (pour analyse du signal)
- Vitesse d'horloge (nombre de tops par seconde) donne la **rapidité de modulation**  $R$  (débit en baud) : le nombre d'intervalles de temps élémentaires
- Dans un intervalle, l'état du signal (sa variation) représente un symbole (moins d'un bit, 1 ou plusieurs bits)
- Le **débit binaire** est donné par la formule :  $\mathbf{D} = \mathbf{v} \times \mathbf{R}$  bit/s  
où  $v$  est la **valence** du signal, qui dépend du **codage** utilisé, et correspond au nombre de bits que représente un symbole. Pour un signal (codage) admettant  $V$  symboles (états du signal) différents, alors  $v = \log_2(V)$ .  
Dans le signal précédent, il n'y a que 2 symboles (tensions) : il transporte 1 bit par intervalle.

Rappels :

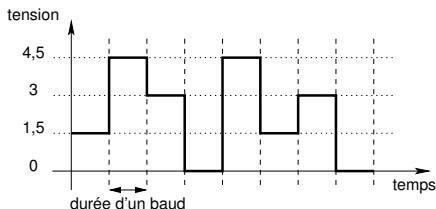
$$\bullet \log_b(x) = \frac{\log(x)}{\log(b)}$$

$$\bullet x = b^{\log_b(x)}$$

# Débit d'une ligne de transmission : exemple

Soit un codage utilisant 4 variations (symboles) avec une rapidité de modulation de 1200 bauds

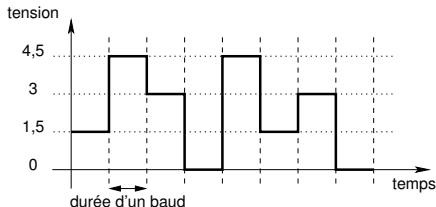
- Le signal émis pourrait ressembler à :



- On a :
  - Nombre de variations :  $V = 4$
  - Valence :  $v = \log_2(4)$ , donc  $v = 2$
- Ce codage transmet donc 2 bits par baud
- Le débit est  $D = 2 \times 1200 = 2400$  bit/s



# Débit d'une ligne de transmission : exemple (2)



Si le codage établit la correspondance suivante entre une tension et une valeur binaire :

tension	bits
0	00
1,5	01

tension	bits
3	10
4,5	11

alors le signal émis représente la séquence : 0111100011011000

- Les signaux subissent des distorsions
- Un support a un intervalle de fréquences exploitables :  $[f_{min}, f_{max}]$
- La largeur de la **bande passante** est :  $H = f_{max} - f_{min}$
- **Débit maximal théorique** (Nyquist, 1924) :

$$D_{max} = 2 \times H \times \log_2(V) = 2 \times H \times v$$

Cependant, tout support est sujet à un bruit parasite :

- impact mesuré comme un rapport signal/bruit noté  $S/N$
- souvent exprimé en décibels :  $(S/N)_{dB} = 10 \log_{10}(S/N)$
- **Capacité de transmission maximale** (Shannon, 1948) :

$$C_{max} = H \times \log_2(1 + S/N)$$

- le bruit s'accroît avec la distance, et il s'exprime souvent en dB/km

# Capacité de Transmission : exemple

Les caractéristiques d'une ligne téléphonique classique sont :

- $H = 3\,200\text{Hz}$  (limitée par des filtres)
- $S/N$  de 30dB

Puisque  $30\text{dB} = 10\log_{10}(S/N)$ , alors  $S/N = 10^{30/10} = 1\,000$ .

Ainsi  $C_{\max} = 3\,200 \times \log_2(1 + 1\,000) \simeq 32\text{ kbit/s}$

D'après la formule de Nyquist, on en déduit aussi qu'on ne peut transmettre plus de 5 bits par baud sur ce type de ligne.

## Attention aux unités !

- en transmission, on utilise le système international :  
 $1\text{ kbit} = 10^3\text{ bits}$ ,  $1\text{ Mbit} = 10^3\text{ kbit}$ , etc.
- en informatique, on utilise des puissances de 2 pour les quantités d'information :  
 $1\text{ Ko} = 2^{10}\text{ octets}$ ,  $1\text{ Mo} = 2^{10}\text{ Ko}$ , etc.

# Quelques supports de transmission

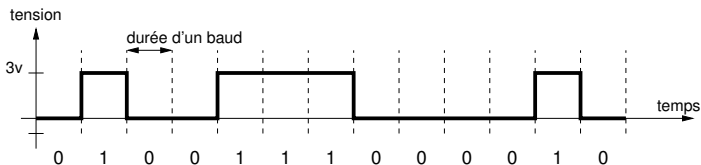
- câbles en cuivre à paires torsadées :
  - catégorie 3 :  $H = 16$  MHz
  - catégorie 5 :  $H = 100$  MHz
  - catégorie 6 :  $H = 250$  MHz
  - catégorie 7 :  $H = 600$  MHz
- câble coaxial (ex CATV) :  $H = 1$  GHz et très bonne immunité au bruit
- fibre optique :
  - bande passante très importante
  - débits théoriques de 50 000 Gbit/s (50 Tbit/s)
  - mais l'exploitation reste limitée (quelques dizaines de Gbit/s)
  - deux variantes :
    - fibre multimode
    - fibre monomode : utilisée sur longues distances (50 Gbit/s sur 100 km)

- choix de variations du signal pour émettre des bits
- différents codages possibles :
  - transmission numérique
  - transmission analogique

# Transmission numérique (ou bande de base)

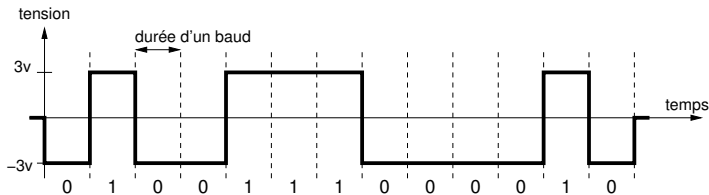
- signal de forme carrée
- obtenu par une modification brutale d'une caractéristique (ex : tension, intensité lumineuse)
- se dégradent rapidement avec la distance : des **répéteurs** peuvent amplifier le signal
- la fibre optique est la plus adaptée (100 km sans répéteur avec plusieurs Gbit/s). Elle est massivement utilisée dans les cœurs de réseaux

# Codage unipolaire



Impossibilité de distinguer une suite de 0 et l'absence d'information.

# Codage Non Retour à Zéro (NRZ)

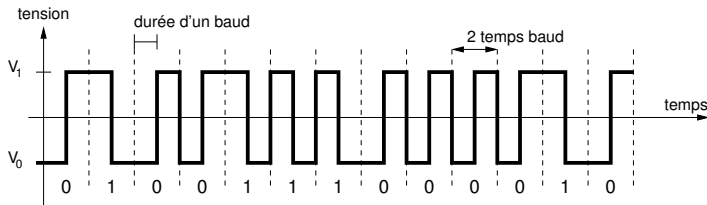


Risque de perte de synchronisation en cas de longues suites de 0 ou de 1.

De plus, il est difficile de garder un courant continu.



Utilisé dans l'Ethernet classique (jusqu'à 10BaseT).



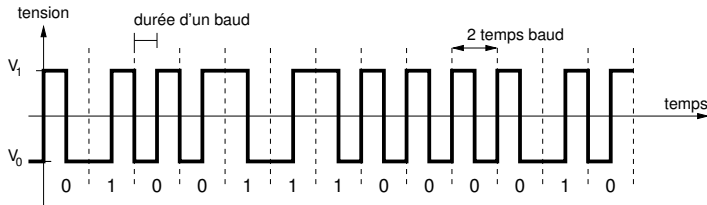
Signal obtenu par un XOR des informations et de l'horloge.

- Il faut 2 bauds pour coder 1 bit ( $v = 0,5$ )
- Le signal doit changer de polarité au milieu du temps bit (transmission de l'horloge)
- Transmission d'un 1 : le signal part de  $V_1$  pour finir en  $V_0$
- Transmission d'un 0 : le signal part de  $V_0$  pour finir en  $V_1$

Pour le même débit que NRZ, nécessite le double de bande passante...

# Codage Manchester différentiel

Variante du codage précédent, utilisée dans Token Ring.



- Il faut 2 bauds pour coder 1 bit ( $v = 0,5$ )
- Le signal doit changer de polarité au milieu du temps bit
- Le codage d'un bit tient compte de la polarité du signal au début du temps bit
- Transmission d'un 1 : garder la même polarité au début du temps bit
- Transmission d'un 0 : changer de polarité au début du temps bit

Les codages  $nB/mB$  et l'embrouillage visent à éviter les suites trop grandes de 0 ou de 1 en limitant la surconsommation de la bande passante.

- Codage  $nB/mB$  :
  - les groupes de  $n$  bits sont codés avec  $m$  bits ( $m > n$ ) conformément à une table de correspondance ;
  - exemples : 4B/5B (FDDI, Ethernet 100Base-TX) et 8B/10B (Fibre Channel, Gigabit Ethernet) avec un surconsommation de 25% de la bande passante
  - en outre, 8B/10B équilibre les variations de tension
- Embrouillage : XOR entre les octets à transmettre (ou reçus) et une suite pseudo-aléatoire.

## Combinaisons

10 Gigabit Ethernet combine l'embrouillage et un codage 64B/66B.

# Transmission analogique (ou large bande)

La transmission numérique est difficile sur de longues distances, ainsi que sur un support de faible bande passante (comme l'extrémité du réseau téléphonique).

En transmission analogique, le signal a une forme **sinusoïdale** :

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \Phi)$$

où :

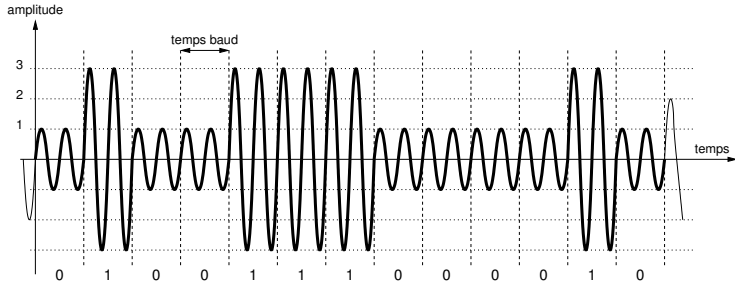
- $A$  est l'amplitude
- $f$  est la fréquence
- $\phi$  est la phase

En faisant varier (modulation) un ou plusieurs de ces paramètres, on transmet de l'information.

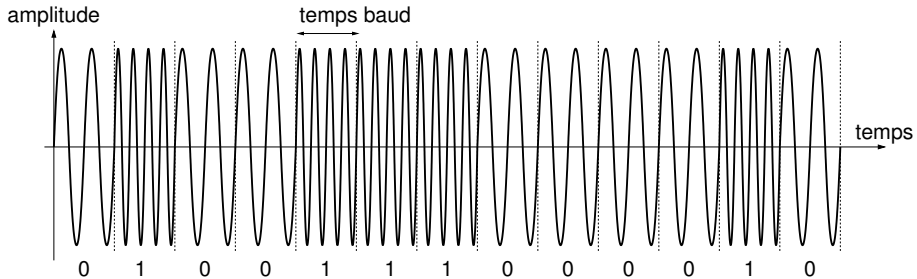
Le signal servant de référence est appelé **signal porteur** ou **porteuse**.

La modulation d'un signal (émission) et sa démodulation (réception) est réalisée par des **modems** (modulateurs-démodulateurs).

# Modulation d'amplitude



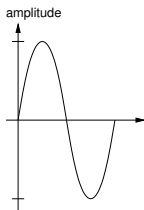
# Modulation de fréquence



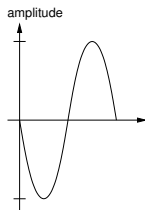
# Modulation de phase

Signal de forme plus saccadée.

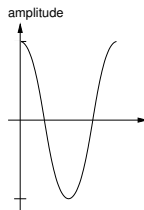
Les signaux suivants ont des phases respectives de  $0$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$  et  $3\pi/2$  :



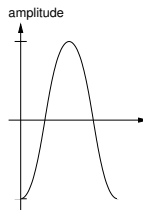
Phase de  $0$



Phase de  $\pi$



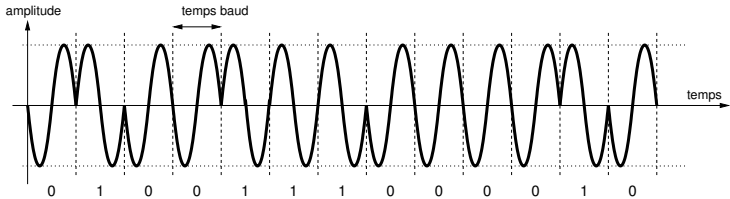
Phase de  $\pi/2$



Phase de  $3\pi/2$

# Modulation de phase : exemple

Phase de 0 pour bit à 1, et de  $\pi$  pour bit à 0 :

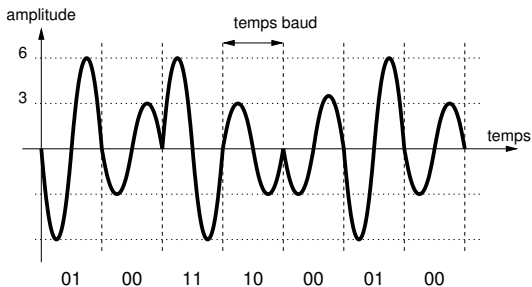




# Combinaisons des modulations

Exemple : 2 phases et 2 amplitudes, soit 4 variations possibles et valence de 2 (2 bits/baud) :

- 00 : phase de  $\pi$  et amplitude de 3
- 01 : phase de  $\pi$  et amplitude de 6
- 10 : phase de 0 et amplitude de 3
- 11 : phase de 0 et amplitude de 6



- utilisent souvent des combinaisons de modulation
- quelques normes existantes :

<b>norme</b>	<b>modulation</b>	<b>débit</b>
V.21	fréquence	300 bit/s
V.26	phase	2 400 bit/s
V.32	phase/amplitude	9 600 bit/s
V.32bis	phase/amplitude	14 400 bit/s
V.34	phase/amplitude	28 800 bit/s
V.34bis	phase/amplitude	33 600 bit/s
V.90	phase/amplitude	56 000 bit/s

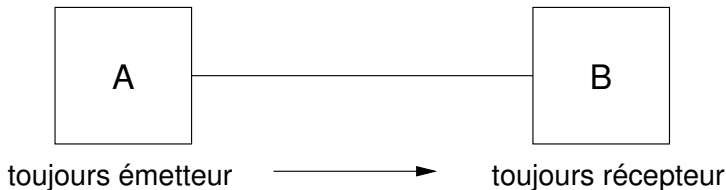
- les débits dépassant 35 kbit/s ne sont possibles que pour une certaine qualité de ligne, en compressant les données, et pour une connexion à un FAI.

Trois modes d'exploitation d'un canal :

- unidirectionnel (simplex)
- bidirectionnel à l'alternat (semi-duplex ou half-duplex)
- bidirectionnel simultané (duplex ou full-duplex)

# Mode de transmission simplex

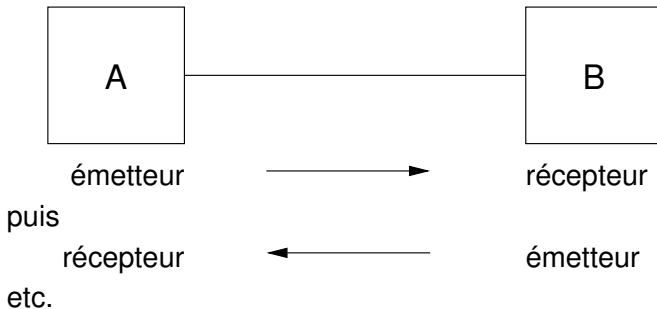
Les données transitent toujours dans le même sens :



# Mode de transmission half-duplex

Appelé aussi semi-duplex.

Transmission bidirectionnelle à l'alternat :

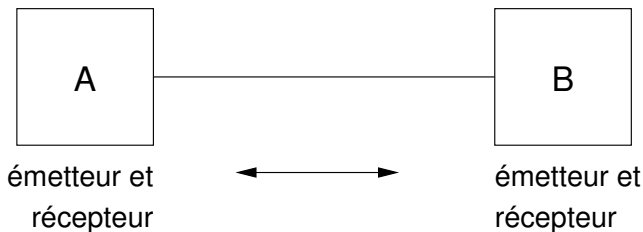


les données peuvent aller dans les 2 sens mais pas en même temps

# Mode de transmission full-duplex

Appelé aussi duplex.

Transmission bidirectionnelle simultanée :



les données vont dans les 2 sens simultanément.

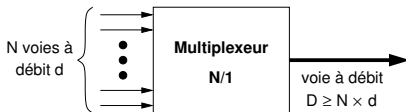
Mise en œuvre :

- placer deux canaux
- partager la bande passante et affecter une partie pour un sens et l'autre pour l'autre sens

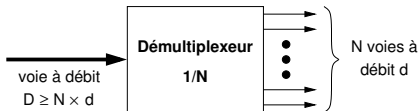
# Multiplexage

Mélanger l'information provenant de plusieurs entrées sur une seule ligne de sortie.

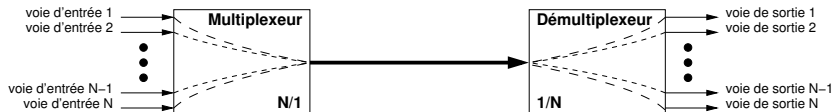
Multiplexeur : matériel effectuant le multiplexage



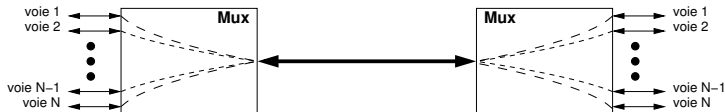
Démultiplexeur : matériel effectuant le démultiplexage



Connexion d'un multiplexeur et d'un démultiplexeur :



Les lignes sont souvent utilisées en full-duplex. On place alors des **mux** capables de multiplexer/démultiplexer :

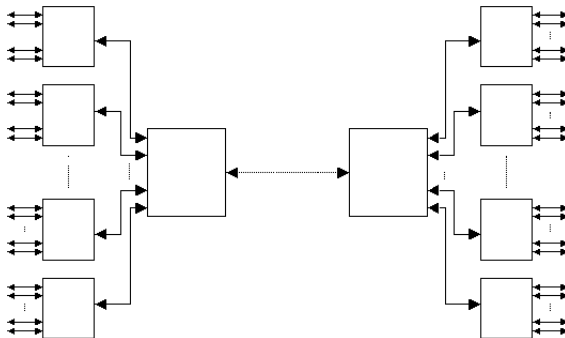




# Multiplexage hiérarchique

Le multiplexage/démultiplexage est particulièrement utilisé par les opérateurs de télécommunication.

Il est même souvent hiérarchique :



- multiplexage fréquentiel : affecter une plage de fréquences pour chaque voie bas débit. Utilisé pour le téléphone et les voies hertziennes.
- multiplexage temporel : affecter une période de temps (slot) pour chaque voie bas débit
- multiplexage statistique : meilleur emploi de la ligne haut débit pour le multiplexage temporel. Nécessite des mémoires dans les mux.

## La Couche Liaison de Données

(le niveau trame)

- se place au dessus de la couche physique
- gère la liaison entre au moins 2 nœuds ayant la même couche physique
- si plus de 2 ordinateurs, la liaison est multipoints
- a pour rôle d'émettre et recevoir des trames : suite de bits structurée dont on peut reconnaître le début et la fin

# Couche Liaison de données : services possibles

- service sans connexion, sans accusé de réception : souvent offert quand taux d'erreur faible, notamment dans les réseaux locaux (ex : Ethernet et IEEE 802.2 LLC 1)
- service avec connexion, avec accusé de réception : fiable car les paquets seront reçus dans l'ordre d'émission et une seule fois (ex : HDLC, IEEE 802.2 LLC 2)
- service sans connexion, avec accusé de réception : l'émetteur choisit s'il est pertinent ou pas de renvoyer une trame non acquittée. Principalement utile dans le monde industriel (ex : IEEE 802.2 LLC 3)

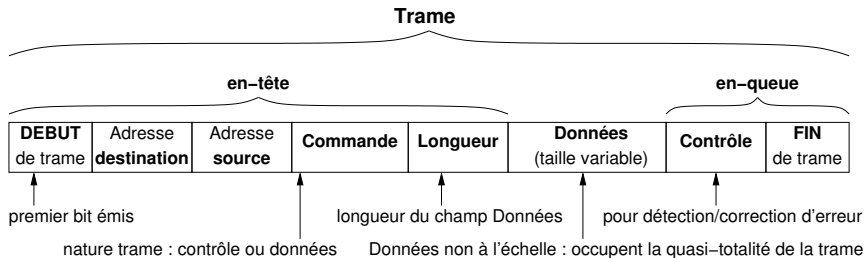
La mise en oeuvre d'un service fiable sera étudiée avec la couche Transport.

- suite de bits structurée
- comporte des champs de différentes tailles
- a une longueur minimum et maximum, parfois fixe (ex : cellules ATM de 53 octets)
- un champ peut avoir une taille variable (0 si optionnel)
- le protocole permet de reconnaître tous les champs

# Contenu possible d'une trame

- champ données : peut être absent dans une trame de contrôle
- délimiteurs : début et fin de trame, pas forcément sous la forme de champs
- adresse physique (MAC) de la destination : indispensable sur une liaison multipoints
- adresse physique (MAC) de la source (émetteur)
- champ de correction/détection d'erreurs
- champs de commande : indiquant s'il y a des données, des accusés de réception, demandant un accusé de réception, etc.

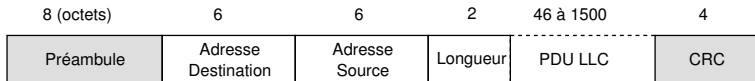
# Format général d'une trame



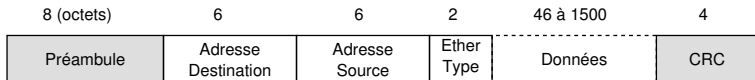


# Exemples de trames

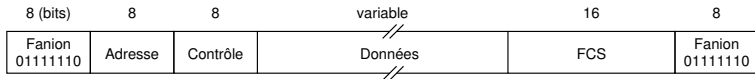
- IEEE 802.3 :



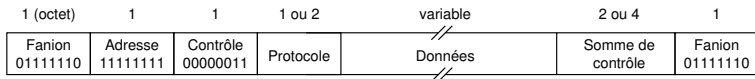
- Ethernet V2 :



- HDLC (*High-Level Data Link Control*) et LAP-B (*Link Access Procedure Balanced*) : obsolète



- PPP (*Point-to-Point Protocol*) : dans son utilisation la plus courante



Plusieurs techniques possibles :

- Comptage des octets (ex. ATM avec resynchronisation sur le champ de contrôle d'erreur)
- Caractères spéciaux
- Fanions (ex. HDLC, PPP)
- Violation du codage (ex. Token Ring et les codes interdits de Manchester Différentiel)
- Long préambule d'annonce : ex. Ethernet et IEEE 802.3 avec 64 bits 10101010101...010101010**11** permettant aussi la synchronisation des horloges



# Délimiteurs et synchronisation : fanions

- une séquence de bits (fanion) est le délimiteur
- généralement 01111110 (0x7E)
- un bit à 0 est ajouté après toute suite de 5 bits à 1 dans les données

0011011111100111111111001

## encapsulation :

01111110 00110111111001111110 1111001011111110  
**fanion** **transparence** **fanion**

Méthode employée par HDLC qui est orienté bit.

PPP utilise ce fanion mais ne transmet que des octets : effectue une transparence par octet (échappement 0x7D et XOR avec 0x20)

- Code correcteurs : codes de Hamming. Assez coûteux.  
Pour détecter et corriger une erreur sur un seul bit d'un bloc de  $m$  bits, il faut  $r$  bits supplémentaires, où  $(m + r + 1) \leq 2^r$ .  
Exemple : pour corriger une erreur sur 8000 bits, il faut 13 bits en plus.
- Codes détecteurs : codes polynomiaux appelés codes de redondance cyclique  
Préférés aux codes correcteurs pour les liaisons à faible taux d'erreur.  
Exemples :
  - CRC-16 =  $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
  - CRC-CCITT =  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$  (HDLC dans X.25)
  - CRC-Ethernet : polynôme de degré 32.