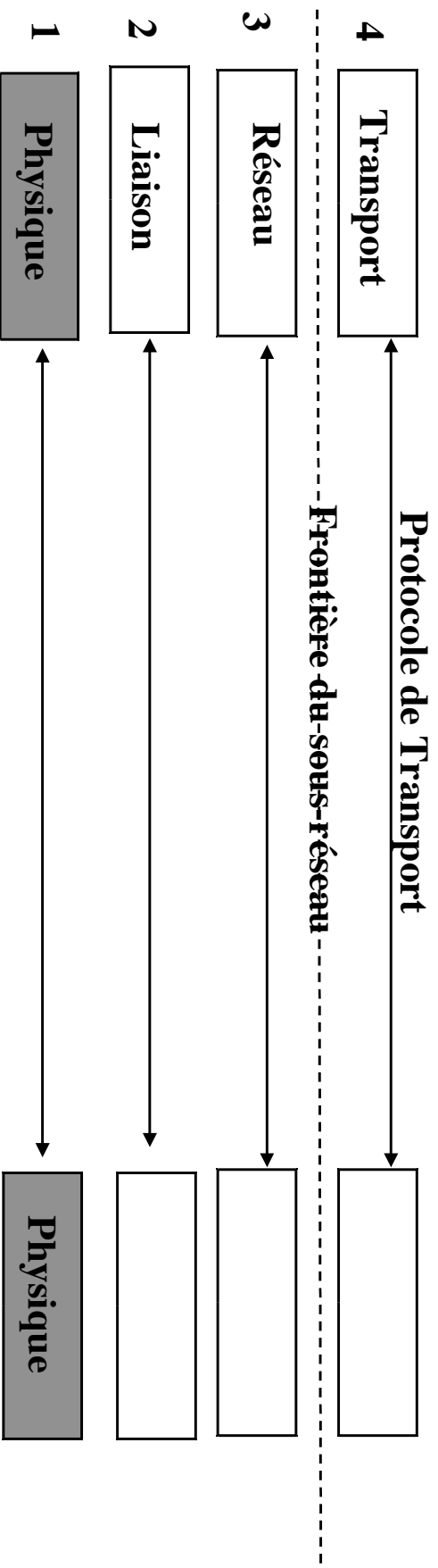


# La couche physique



# Plan du chapitre

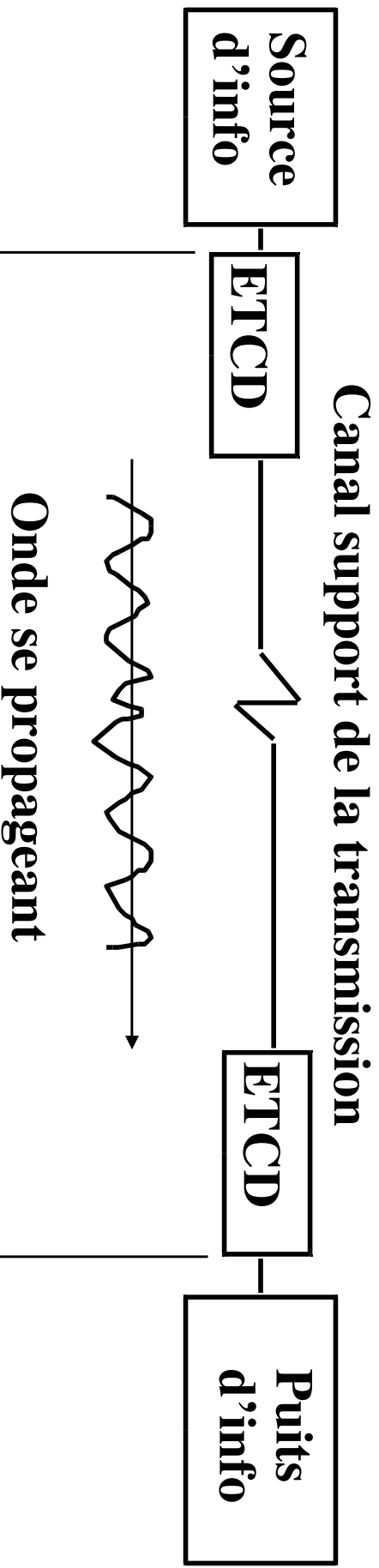
- Nature et représentation de l'information à transmettre
- Principes de la Transmission
- Mode de transmission
- Caractéristiques des voies de communications
- Les supports de communications

# Fonctionnalités

## couche 1

- Codage de l'information en signaux électromagnétiques
- Description des supports physiques permettant l'émission des signaux (média)
- Paramètres globaux :
  - Sens de transmission
  - Typologie des communications

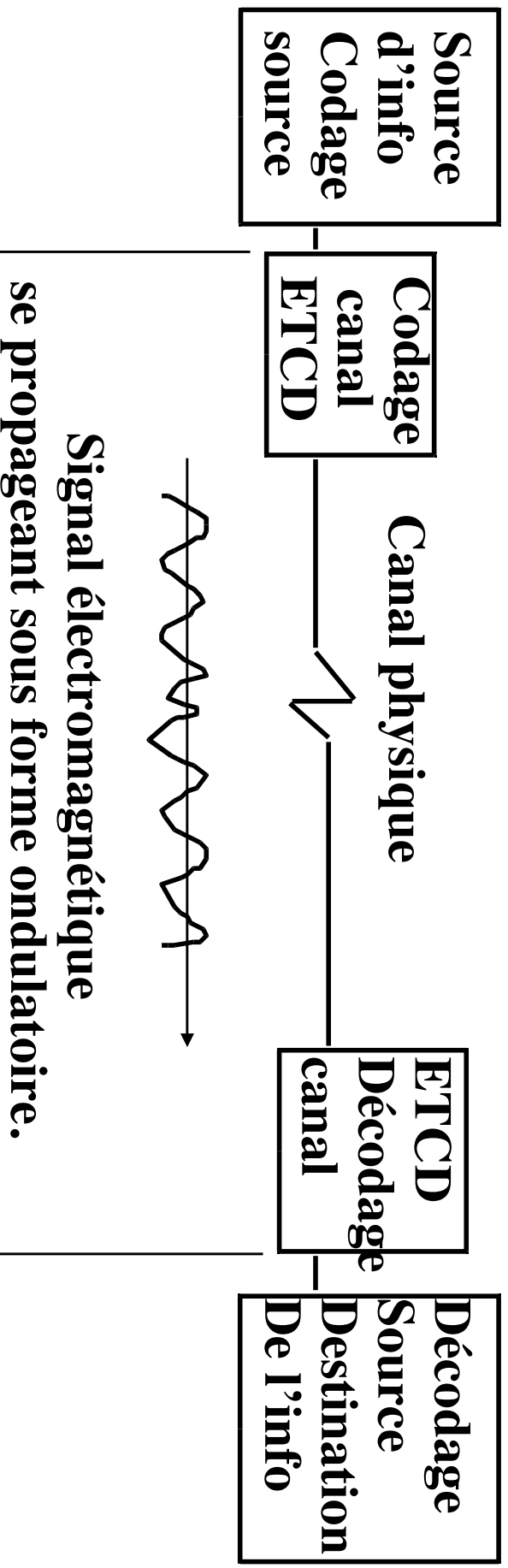
# PRINCIPE DE LA TRANSMISSION



Le canal achemine le signal codant les données sur les ondes électromagnétiques.

Il est adapté au support utilisé entre les 2 équipements terminaux de communication de données (ETCD).

# Modélisation du canal de transmission

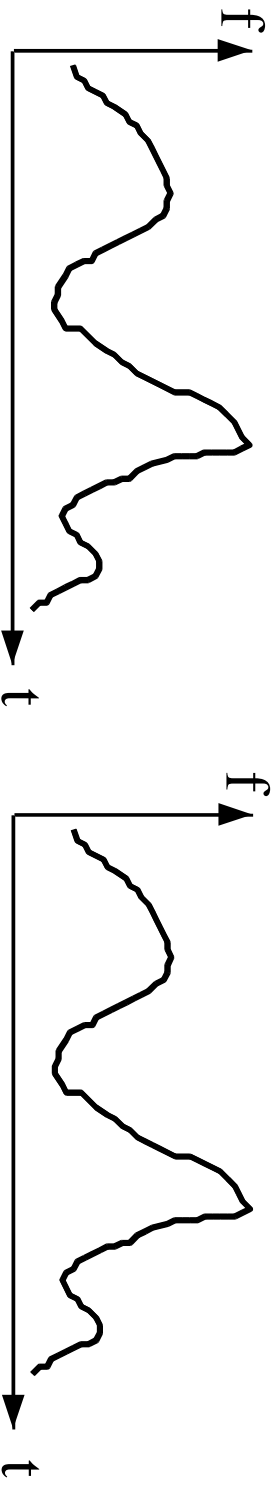


Le choix des codages utilise :

- Théorie de l'information (C. Shannon 1916-2001).
- Théorie du signal et du bruit.
- Traitement du signal (J. Fourier)
- Electromagnétisme

# Modes de transmission

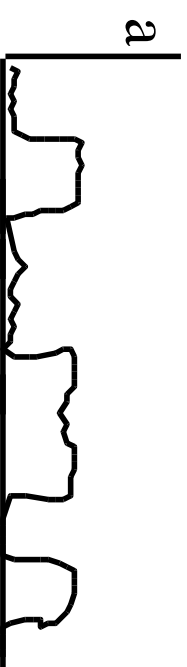
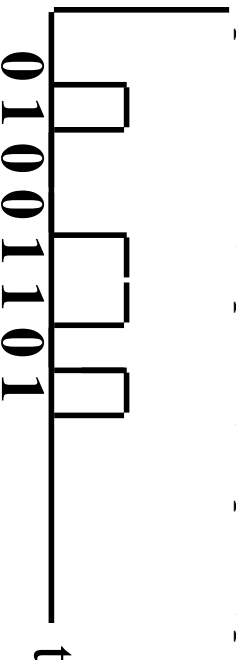
- Analogique
    - Le support propage directement l'onde de l'information analogique à transporter
- Exemple : la voix pour le téléphone à cadran (plages de fréquences entre 300 et 4000Hz)



- Numérique

- Bande de base : après discrétisation de la source, les valeurs numériques sont codées directement sur les symboles en valeurs d'amplitude de l'onde. Le décodage est réalisé à l'aide de seuils pour restituer des valeurs numériques. Par exemple 1 et 0 dans la figure ci-dessous.

- Modulation : L'information source est utilisée pour déterminer un symbole qui modifie (module) un ou plusieurs des paramètres (amplitude, fréquence, phase) du signal sinusoïdal associé au canal, appelé onde porteuse.  $a$



# La communication analogique

- Exemple le téléphone fixe des années 1930 à 2010
- Voix directement transformée en signal analogique
- Support paire de fils cuivre de bout en bout et commutateur
- Inconvénients
  - Taux d'erreur important dans la réalité
  - Multiplexage de plusieurs voies sur même support très compliqué et coûteux
  - Coût des composants ...
- Avantages
  - Proche du signal physique (en théorie)
  - Sans perte ? Lorsque parfait !

# La communication numérique

- Exemple la visioconférence whatsapp
- Voix échantillonnée et codée numériquement
- Signaux représentent des groupes de bits
- Support : modulation sur n'importe quel média
- Avantage du numérique:
  - Multiplexage facile
  - Régénération parfaite des signaux
  - Théorie du traitement du signal
  - Traitements des données numériques facilité par IT
  - Coût des composants numériques (processeur et mémoire) en baisse constante
- Inconvénients
  - Discrétisation obligatoire
  - Perte d'information ? Mais connue précisément dès la conception ...



# Vocabulaire

- **Types de transmission :**
  - **Sens: Simplex :** 1 seul sens ; **Half duplex :** 2 sens en alternance ; **(Full) Duplex :** 2 sens en même temps  
**Exercice :** FO, UTP6, Coaxial, Radio
  - **Série:** les signaux les uns après les autres sur 1 support, cf port série, USB
  - **Parallèle :** plusieurs signaux en même temps sur plusieurs supports (sous-)canaux série souvent identiques. **Exemple :** imprimante port parallèle, bus d'un ordinateur, NoC.
- **Relation en émetteur et récepteur :**
  - **Synchrone:** un symbole d'information / top d'horloge connu de l'émetteur et du récepteur
  - **Asynchrone:** l'émetteur émet quand il veut mais il faut en général délimiter l'unité d'information (bit octet, trame) par une marque de début (et de fin).
    - Souvent une communication est asynchrone au niveau de son déclenchement dans le système et synchrone au niveau des symboles ou bits transmis grâce à un préambule de synchronisation placé juste avant le début de la trame et qui « cale » le récepteur sur l'émetteur.
- **Affaiblissement du signal :**
  - dépend de la distance donc on n'a pas les mêmes caractéristiques suivant les distances de transmission
    - il faut des répéteurs pour ré-amplifier le signal.

# Représentation de l'information

- Valence  $V$  d'une voie :
  - nombre d'états logiques distincts, non compris l'état au repos, utilisés pour représenter l'information dans les symboles transmis sur le média.

Exemple :  $V = 2$ , Voie bivalente  $E \in \{e_1, e_2\}$

»  $0 \rightarrow e_1 ; 1 \rightarrow e_2$

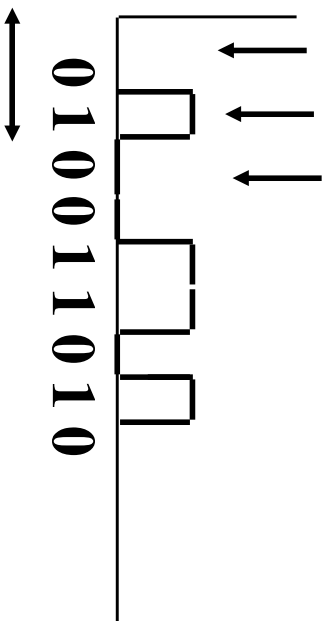
Exemple :  $V = 4$ , Voie quadrivalente  $E \in \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$

»  $00 \rightarrow e_1, 01 \rightarrow e_2, 10 \rightarrow e_3, 11 \rightarrow e_4$

# Performance de transmission

- **Fréquence d'une ligne ou bande passante:**
  - En Baud: nombre d'échantillons distincts ou symboles émis par seconde et reconnus par le récepteur. La limite est la bande passante de la ligne.
- **Débit binaire d'une ligne:**
  - En bits par seconde
  - Dépend de la valence (nombre de bits par symboles) et de la fréquence de la ligne (nombre de symboles par seconde).
  - Exercice : Si  $V=2$  alors ...

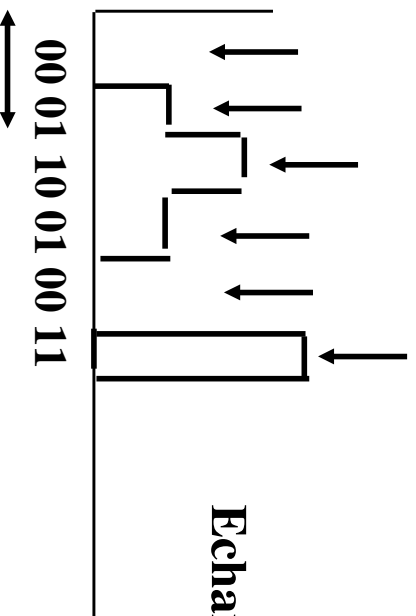
- **Ex:  $V = 2$**  **Echantillons en amplitude  $e_0, e_1$**



**Période =  $1/F$**

**On sait reconnaître les 1 et 0 en échantillonnant toutes les demi périodes**

- **Ex:  $V = 4$**



**Echantillons en amplitude  $e_0, e_1, e_2, e_3$**

**Période =  $1/F$**

**On sait reconnaître les valeurs en échantillonnant toutes les demi périodes**

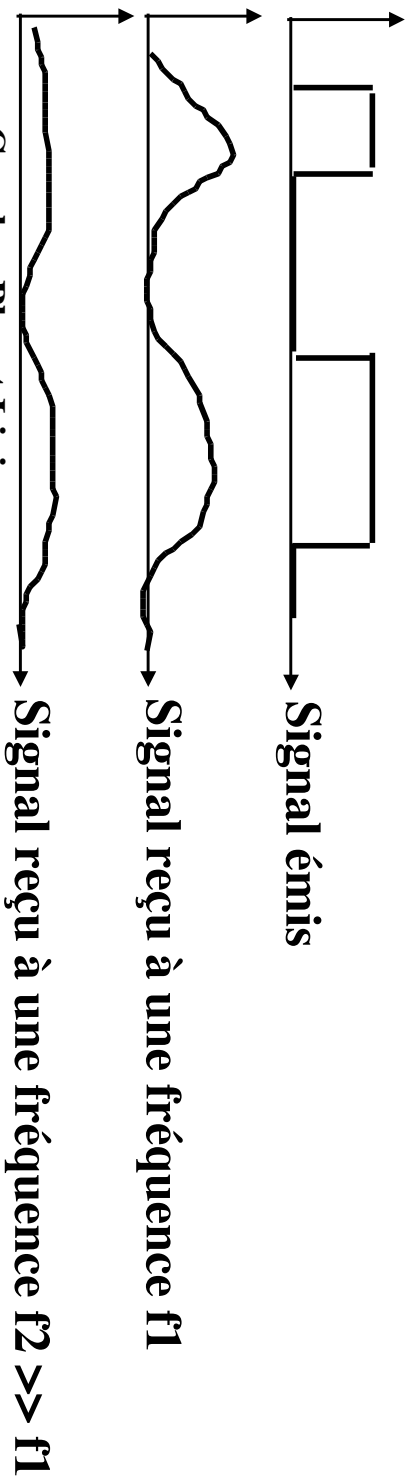
# La transmission numérique en France

- **Années 80 Réseau Numérique à Intégration de service RNIS (réseau numérique à intégration de service)**
  - Premier réseau numérique en France
  - Réalisation France Télécom -> Numéris, basé sur le cablage téléphonique
  - Services offerts:
    - » Accès de base:
      - Deux canaux numériques à 64 kbit/s pour la voix numérisée ou les données (trame de 125 us),
      - Un canal 16 ou 64 kbit/s pour la signalisation
    - » Des canaux numériques modulés de débits 384, 1536, 1920 kbit/s
- **Evolution rapide en 2000 vers la famille XDSL : ADSL1 – ADSL2 – SDSL (au départ destiné à remplacer les lignes « Transfix » de débit garanti dans les 2 sens de transmission)**
  - Hautes fréquences sur le réseau téléphonique (1.1MHz)
    - mais atténuation= $f(\text{distance})$
    - Débit max 8Mb/s à 19.4Mb/s
  - 255 sous canaux half duplex utilisés en simplex (cf. Asymétrique DSL) avec des modulations appropriées et dynamiquement adaptées lors de la synchronisation initiale.

# Principes de transmission en bande de base

On transmet directement le signal sur le canal porteur.

- Il y a un affaiblissement et une distorsion des signaux qui varient suivant le support, fréquence, la distance et l'environnement
- Au dessus d'une fréquence dite de coupure: on ne traite plus le signal (filtrage)
- Théorie du signal: courbe de variation de l'affaiblissement en fonction de la fréquence
- Bande passante: plage de fréquence sans trop d'affaiblissement où l'on sait reconnaître les signaux contenant l'information que l'on a émise
- Utilisé pour les réseaux locaux (LAN) de type Ethernet filaire



# Codage de l'information numérique en bande de base

- Nature de l'information à transmettre
  - suite d'éléments binaires codant l'information
- Transmission des informations
  - en modifiant l'état logique E de la voie au cours du temps
- Correspondance état logique / état physique

À chaque état logique peut être associé

- une valeur, ou une plage de valeur de l'état physique
- une transition entre deux états physiques

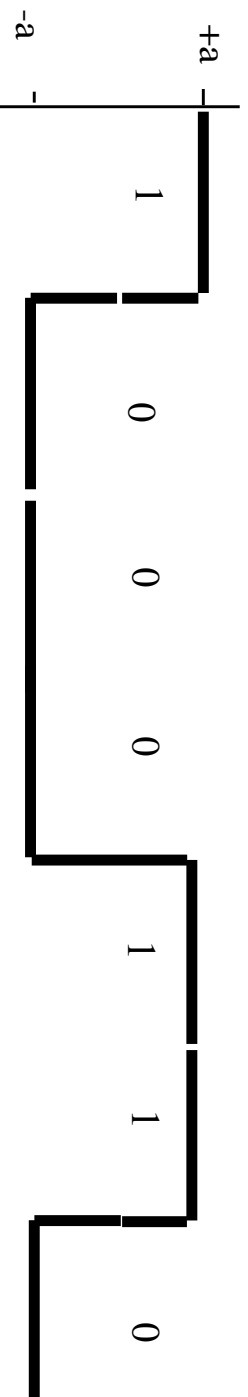
Exemple : E dans {e1, e2}

- » e1 = 3, 5 V  $\pm$  0,5 V ; e2 = -3, 5  $\pm$  0, 5 V
- » e1 = 3,5 V  $\rightarrow$  - 3, 5 V ; e2 = -3, 5 V  $\rightarrow$  3, 5 V

# Exemples de codage

- Codage NRZ Non-Return to Zero : le plus simple

tension



**Inconvénients : suite de 1 ou 0 avec la même tension !**

→ problème de synchronisation émetteur /récepteur

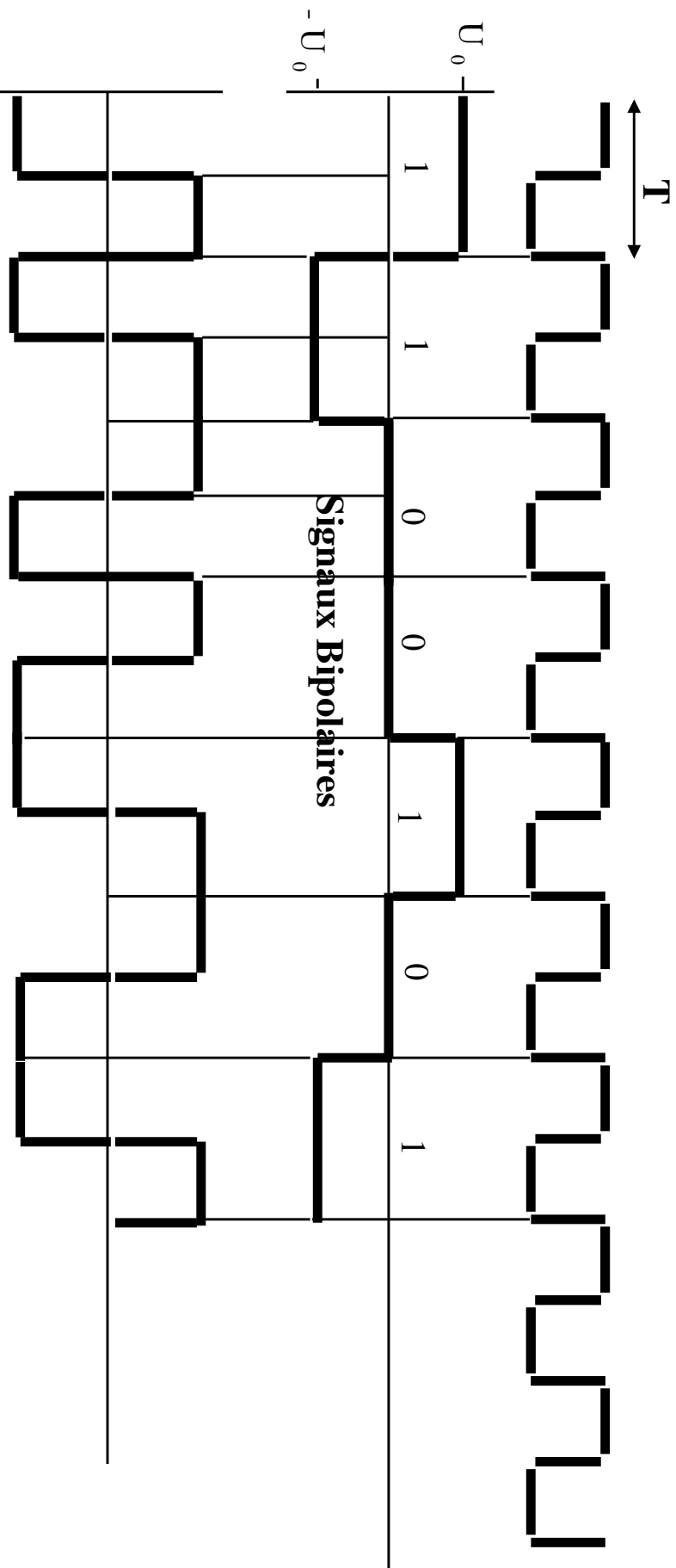
Surtout si valeur au repos = valeur du 0 par exemple

→ problème de séparation des valeurs

Surtout si plusieurs valeurs identiques consécutives



# Exemples de codage



## Codage Biphase ou Manchester

- codage avec le sens des fronts en milieu de periode
- très robuste, utilisé dans Ethernet

# Synchronisation de la transmission

- **But**
  - Assurer que le récepteur prélève l'information aux instants où le signal est significatif. Il s'agit donc gérer la référence de temps.
- **Méthode synchrone**
  - Émetteur et récepteur disposent d'un même référentiel temporel qui détermine les instants de dépôt et de prélèvement des bits.
  - Le référentiel temporel appelé horloge est un signal de synchronisation le plus souvent fourni par l'émetteur grâce à la fréquence de la porteuse
  - Exemple : à l'intérieur des puces électroniques

# Synchronisation de la transmission (2)

- **Méthode asynchrone**

- Pas de référentiel temporel commun à l'émetteur et au récepteur
- Les horloges de l'émetteur et du récepteur ont  $\sim$  la même fréquence
- L'horloge bit du récepteur est définie et calée à partir du signal de début de bloc
- Attention: dérive d'horloge ...

- **Comparaison**

- Le mode synchrone est utilisé pour des transmissions ultra rapides, à très courte distance et qui mettent en jeu de grandes quantités d'informations
- Le mode asynchrone est utilisé pour des liaisons à plus faible vitesse où la source de données produit des caractères à des instants aléatoires. Par exemple la liaison terminal ordinateur ou les LAN. On synchronise alors à chaque début de transmission d'une unité de données.

# Exemple de transmission synchronisée au niveau bit mais asynchrone au niveau trame

**Ethernet:**

Asynchrone au niveau PDU (trame) et Synchronone au niveau bit

**Préambule: 7 octets: 10101010**

**Codage Manchester : signal carré: synchronisation niveau bit**

**Fanion de début de trame: octet: 10101011**

**Séparation minimum des trames par des « silences » de 9,6 microseconde**

**Fin de trame : violation du codage Manchester (par un symbole inexistant)**

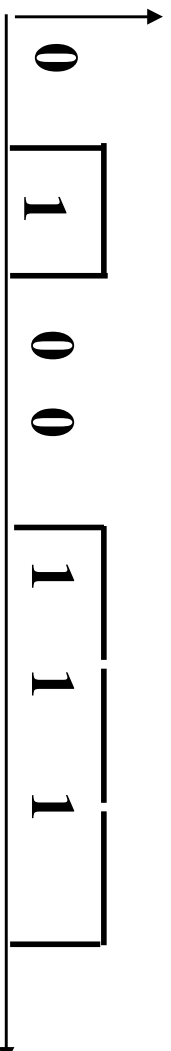
# Principe de la transmission par modulation d'onde

- Modem: modulateur/démodulateur

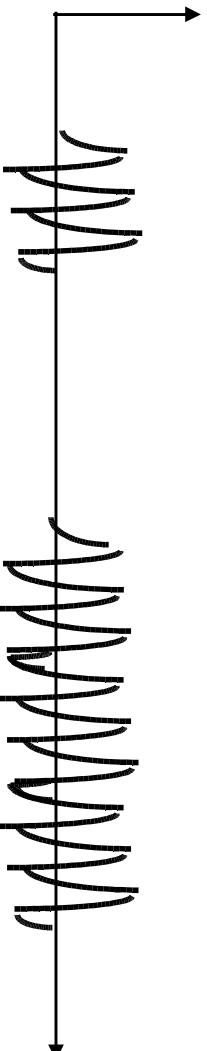
Principe : L'information codée numériquement sert à modifier un ou plusieurs les paramètres d'un signal sinusoïdal, appelé onde porteuse, choisi pour être la mieux adaptée au support.

- Paramètres de modulation :
  - fréquence
  - amplitude
  - phase
- (Presque) Toutes les combinaisons sont possibles
- Exemple: combinaison de 4 phases et deux amplitudes
  - $V=8$  valeurs donc 3 bits codés par symbole
- Exemple: modem V34 : 12 bits par symbole à 2400 bauds
  - $V=?$ ; débit binaire maximum = ? bit/s

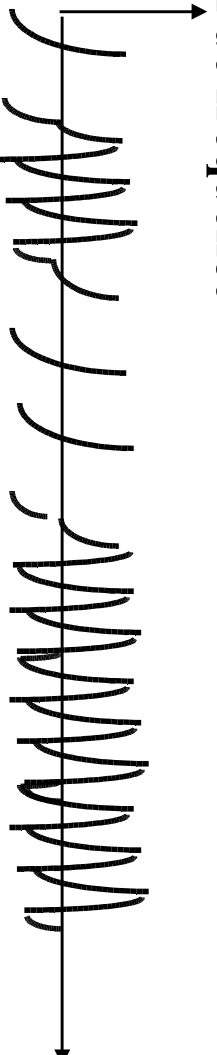
- Information binaire à émettre :



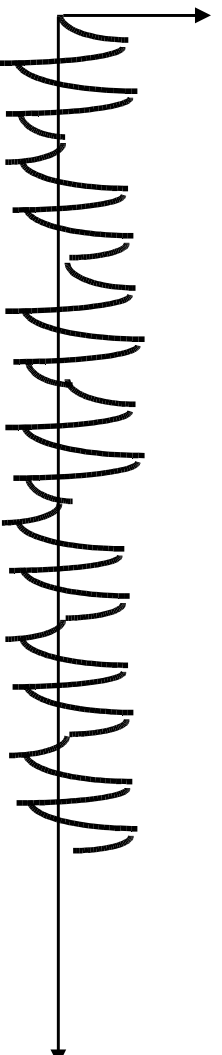
- Modulation d'amplitude



- Modulation de fréquence



- Modulation de phase



# Exemples de transmissions par modulation d'onde

- **4G**
- **WiFi**
- **Radio FM**
  - la plupart des transmissions sans fils ...
- **ADSL**

# Caractéristiques Physiques des canaux

- Taux d'erreur
  - Nb bits erronés / nb bits corrects
  - Probabilité de perte ou d'erreur d'une information élémentaire (BER)
  - WAN par ligne télécoms BER  $\sim 10^{-3}$  ;
  - WAN en FO BER  $< 10^{-13}$
  - LAN: BER  $< 10^{-9}$
  - Bus machine : BER  $< 10^{-12}$
- Longueur élémentaire
  - longueur maximale possible d'une ligne sans avoir de dispositif de ré-amplification ou de répétition ou à cause d'une hypothèse du protocole MAC
  - Exemple LAN Ethernet 100m
  - Exemple FO jusqu'à 100km



# Caractéristiques Physiques des canaux

## Support métallique classique

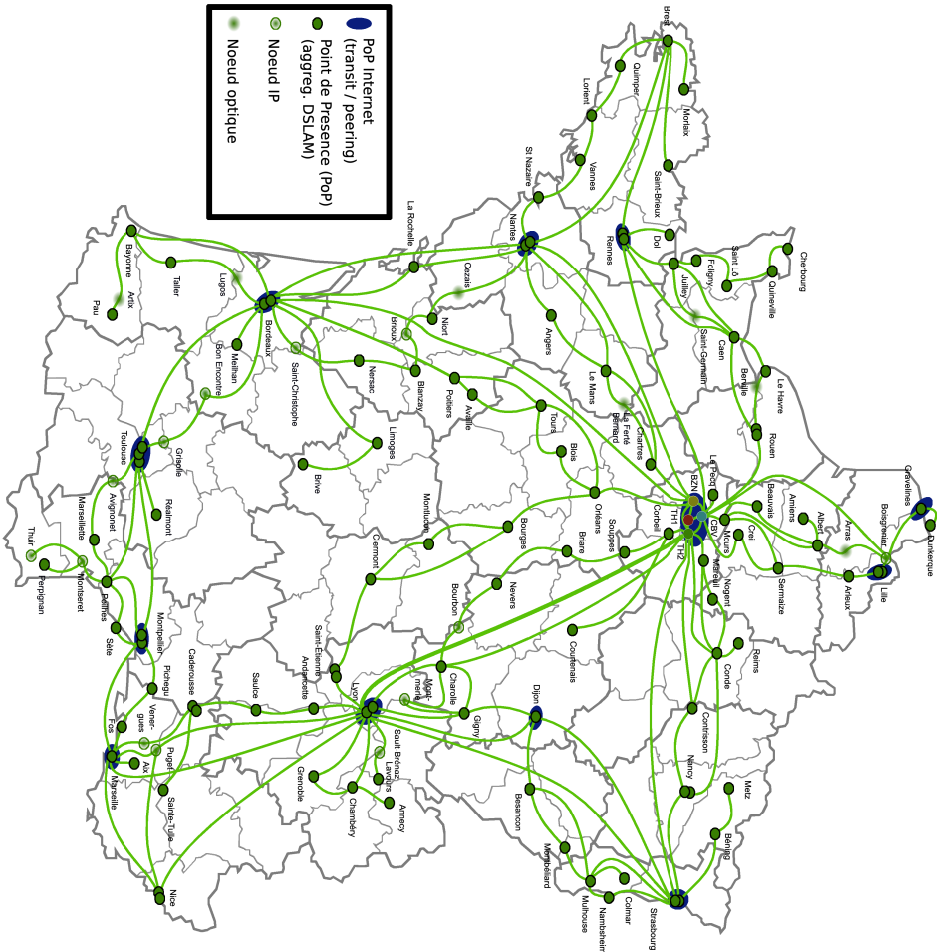
- Paire de fils torsadés: (2\* 1 mm de cuivre isolé)
  - Torsadé: Résiste mieux à l'atténuation électromagnétique
- Utilisé en analogique (téléphone) et très répandu pour les LAN
- Unshielded Twisted Pair : UTP3 puis UTP5 puis UTP6 ...
  - Paire non blindée
  - en général 4 paires dans le même câble
  - UTP5, câblage le plus répandu pour Ethernet à 100 Mégabit/s
  - Aujourd'hui UTP6-7, STP
- Actuellement le plus utilisé pour les réseaux locaux :
  - Limites : 100 m → 100 Mégabit/s
- Exemple architecture Ethernet:
  - » (Hubs/concentrateurs)) + Switchs/commutateurs
  - » Segment: 100m max
  - » Prises: RJ45,
  - » UTP avec 4 paires torsadées soit 8 fils (cable droit ou croisé)
  - » Armoire/baie de brassage: simplifie la gestion du réseau

# Fibres optiques

- Fil en verre très fin (capillaire de taille < cheveu) recouvert d'une gaine réfléchissante et d'un isolant (verre plus plastique)
- Fonctionnement en mode simplex (2 fibres pour assurer le full-duplex)
- Une longueur d'onde = un canal cf. Lasers / diode
- Pas de lumière : 0 logique, Impulsion lumineuse : 1 logique
- Utilisées en LAN (historiquement FDDI) et WAN, maintenant Ethernet Gbit/s et 10Gb/s
- Longueur élémentaire < 100km → 40 Gigabit/s
- Limitation due au passage de l'optique à l'électrique
- Optique pure limite ~50 000 Gigabit/s par fibre
- Fort développement:
  - Câbles sous-marins
  - Liaisons MAN et WAN
    - Autoroute de l'info en France, objectif de cablage de toutes les agglomérations avant 2015
- France Télécom: 1,3 million de km de fibres dès 1996
- État actuel des opérateurs : augmentation permanente
- difficile à « écouter » (piratage)
- 1Mkm de câbles sous marins ...

# Exemple de réseau FO (ILLAD ProXad)

64000km  
Fibres noires  
propriétaires  
ou louées.



# Les supports sans fil

- **Ondes lumineuses:**

- Rayons infra rouges
  - » Faible portée: télécommande TV, hifi, ...
  - » Facile à mettre en oeuvre
  - » Très peu pénétrant
  - » Omnidirectionnelles
  - » Peu utilisés pour la connexion d'ordinateurs (4 Mb/s max)
- Rayons lasers
  - » Peu coûteux (économie et puissance)
  - » Large bande passante
  - » Très directif → pas d'interception, pointage
  - » Sensible aux intempéries (chaleur, gouttes)
- Lumière visible directe → labo

# Les supports sans fil

- **Ondes radio (ou faisceaux hertziens)**

- Grandes distances (>100 km)
- Débit dépend de la plage de fréquence utilisée
- Fréquence >100 Mhz jusqu'au GigaHertz
- Problème de l'allocation des plages de fréquences (normes, ARCEP)
- Très utilisé pour la radio (ex TV), des artères du téléphone, des réseaux privés
- Support à Diffusion → avantage de couverture mais problème de confidentialité (cryptage)
- Notion de cellule ou de faisceau
- Mise en place moins coûteuse que n'importe quel support matériel, dont fibre optique
- Tours Hertziennes: moins onéreux que de creuser une tranchée pour mettre une fibre optique
- Télécommunication locale et mobile, 2G, 3G, 4G, 5G
- Réseau locaux sans fil :
  - » WI-FI (Wireless Fidelity) norme IEEE 802.11x: au départ 4 Méga bit/s puis 11 Mégabit/s (802.11b) et jusqu'à 54Mégabit/s (802.11a), 100m
  - » Bluetooth (1Mégabit/s), 10m
  - » Wimax : réseau dense de bornes réceptrices à haut débit
  - » ZigBee norme 802.15.4, 250kb/s, 50m
  - » LPWAN dans les bandes ISM : SigFox, ultra narrow band (100Hz), LoRa, modulation à étalement de spectre (sur 125kHz), cellule de rayon 10km
  - » LPWAN dans l'infrastructure télécom mobile : NB-IoT

# Les supports sans fil

## Réseau de Satellites géostationnaires (36 000 km)

- » 50 Mbit/s
  - » Vitesse :  $3.10^8$  m/s , Temps de propagation de 300 ns à 0,27s (aller-retour)
  - » Utilisé pour les lignes du téléphone en mer
  - » Problème du délai de transfert AR pour les applications interactives
- Intérêt
- » pour la diffusion
  - » pour point isolé, applications mobiles (îles, bateaux, ...)
  - » pour accéder facilement (directement) à du haut débit descendant

# Ethernet norme IEEE 802.3: Evolution Niveau physique

- câble 10base5 (coaxial épais) : 10 Mégabit/s 500m max
- Connexion prise vampire (problèmes de faux contacts)
- Vitesse de propagation :  $230 \times 10^6$  m/s
- Câble fin 10base 2 : 10 Mégabit/s 200m max
- T et bouchon.
- Problème de la coupure du réseau
- Vitesse propagation :  $230 \times 10^6$  m/s
- Transceiver + câble de connexion
- 1 seule carte pour différents cablages: coaxial, paire torsadée, fibre optique
- Aujourd'hui carte pour paires torsadées : prise RJ45 pour UTP5-6-7
- chipset dans carte mère : prise RJ45 pour UTP5-6-7
- Matériels FO pour Gb Ethernet.

# Ethernet norme IEEE 802.3:

## Paramètres Niveau physique

- Débit nominal : 1 Mbits/s à 10Gbits/s
- Transmission en bande de base, codage Manchester différentiel (1 transition inverse ; 0 transition idem)
- Niveau électrique haut 0, 85 volts, niveau bas - 0, 85 volts, 0 volt au repos
- **Support câble :**
  - Câble coaxial Ethernet épais 10Base5 - prise vampire - 500m - 100 stations – pour mémoire car obsolète
  - Câble coaxial Ethernet fin 10Base2 - prise en T- 200 m - 30 stations- problème de panne → pour mémoire car obsolète
  - Paires torsadées 10BaseT, 100 BaseT, 1000 BaseT- concentrateur ou commutateur en plus - 100m - 1024 stations
  - Fibre optique 100 BaseFX- 1000 BaseFX- 10000 BaseFX- Hub - 2000m - 102 stations - entre immeubles – pas de sensibilité électromagnétique

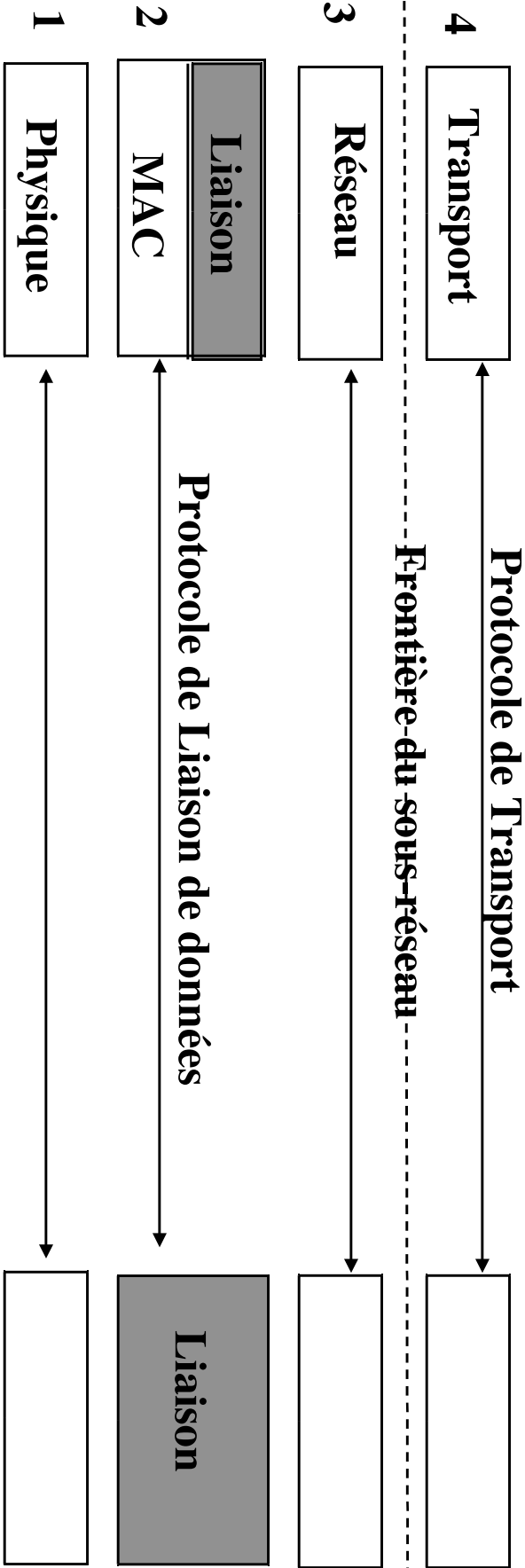


# Ethernet norme IEEE 802.3:

## Performance Niveau physique

- **Ethernet 100 Mégabit/s**
  - On garde taille minimale des trames 64 octets
  - Tranche canal 5,12 microsecondes
  - Réduction de la longueur du support (250 m ou 100m sans répéteur)
- **Plusieurs Normes:**
  - 100 base TX : 2 paires utilisées dans câble UTP5
  - 100 base T4: 4 paires torsadées utilisées dans câble UTP5
  - 100 base FX : 2 fibres optiques
    - » Codage 4B5B et NRZI
- **Ethernet 1 gigabit/s**
  - Réduction à 2m50 si on veut garder la longueur minimale des trames à 64 octets
  - On garde 250 m mais taille minimal des trames à 640 octets
  - Utilisation de 10% pour des paquets de 64 octets de données
- **Ethernet 10 gigabit/s sur Fibre optique et sur support cuivre spécifique**

# La couche liaison de données



# Plan du chapitre

- **Introduction**
- **Détermination de trame et transparence**
- **Contrôle d'erreur**
  - Les codes correcteurs
    - type d'erreur corrigées
  - Les codes détecteurs
    - pas de faux positif, demande de réémission possible

# INTRODUCTION

- Niveau LLC Logical Link Control (exemple SNA d'IBM, Netbeui de Microsoft)
- Service fournis à la couche réseau
  - Découpage en trame
  - Transfert avec détection(/correction) d'erreurs bit
  - Contrôle du flux des symboles binaires
- Niveau accès multiples à un support ( fait par la sous couche MAC : Medium Access Control ) : partage du média. Exemple le protocole Ethernet
- Dans Ethernet, la couche liaison comprend la couche MAC avec accès au canal de type CSMA/CD, la délimitation des trames et la détection des erreurs bit de type CRC. C'est un service sans connexion ni acquittement.