

## Couche physique

Objectif : transporter un flot de bits d'information d'une machine à une autre.

L'étude du transport de l'information nécessite la connaissance :

- des supports de transmission,
- des méthodes utilisées pour transmettre l'info sur ces supports.

La transmission est basée sur le principe de propagation d'ondes :

- ondes électriques (câbles, fils, ...),
- ondes radio (faisceau hertzien, satellite),
- ondes lumineuses (fibres optiques).

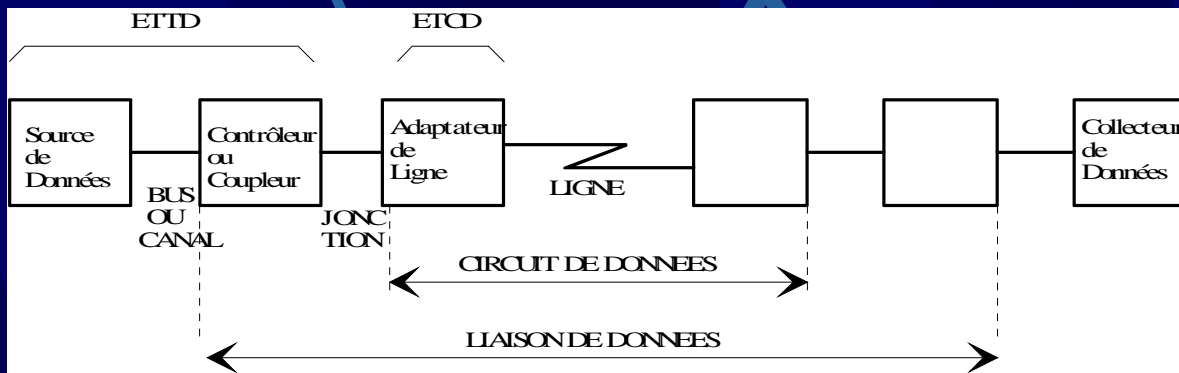
L'information elle-même est transmise en modifiant dans le temps les ondes émises :

- soit directement (transmission en bande de base),
- soit par modulation.

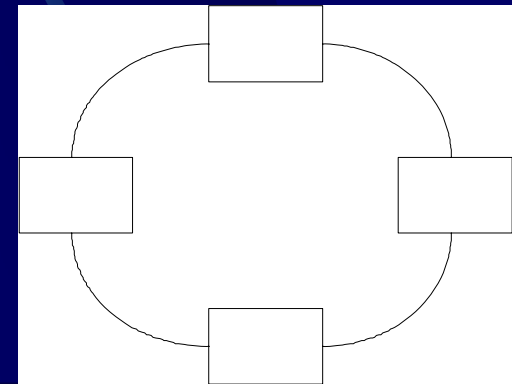
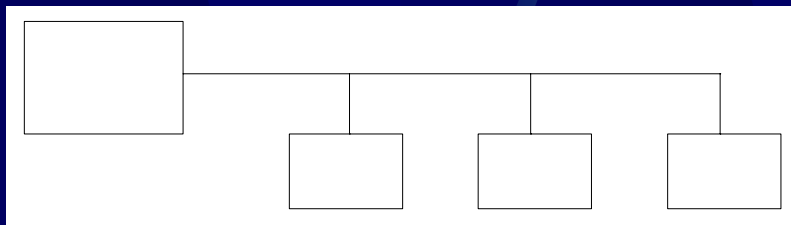
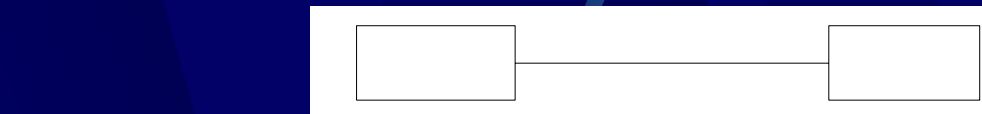
Cette opération réalisée par un ETCD (adaptateur de ligne).

# Liaison : schéma et types

- Schéma d'une liaison



- Différents types de liaison : *point-à-point, multipoint, anneau, étoile* (avec ou sans fil !)



## Codage de l'information

Les informations sont représentées par des séquences binaires constituant les caractères d'un alphabet comprenant en général :

- des lettres, chiffres, signes de ponctuation, ...
- des caractères spéciaux (fonctionnement de la communication).

1 caractère  $\leftrightarrow$  1 séquence de n bits

Choix de n ? Choix des séquences ?

## Quelques principes de codage

Soit  $N$  le nombre de caractères à coder.

Il faut au moins  $n$  bits, avec  $2^{n-1} < N \leq 2^n$ .

- Code autant que possible efficace, ie.  $N \sim 2^n$ .
- Représentation simple des chiffres (opérations arithmétiques).
- Représentation commode des lettres (opérations de tri).
- Détections et/ou corrections d'erreurs possibles.

Pour les codes usuels :  $5 \leq n \leq 8$ .

## Exemples de codes

- Code BAUDOT

Code de longueur 5.

- Code DCB (Décimal Codé Binaire )

Code de longueur 6.

- Code ASCII

Code de longueur 7 (étendu à 8 pour les caractères accentués).

## Types de signaux

**Signal** : variation de tension ou de courant électrique  
→ véhicule de l'information.

*Périodique* : se reproduit de façon identique dans le temps.

Durée d'une *période* :  $T$  (en secondes).

*Fréquence* :  $1/T$  (en hertz) = nbre de périodes par seconde.

**Analogique** : variation *continue* (son, image).

**Numérique** : variation *discontinue*, certaines valeurs données).

## Caractéristiques d'un signal numérique

- **Moment élémentaire T** (en secondes)

Durée pendant laquelle le signal n'est pas modifié.

- **Valence V**

Nombre d'états discernables du signal.

Bivalent ( $V=2$ ). Multivalent ( $V=2^k$ ).

- **Rapidité de modulation R** (en bauds)

$R=1/T$ . Nombre de moments élémentaires par seconde.

- **Débit binaire D** (en bits par seconde : bps)

$D=R \log_2 V$ .



## Supports de transmission

Un support n'est jamais parfait !

Un signal peut être :

- atténué,
- déformé (en amplitude et phase),
- parasité.

**Bande passante** d'un support = bande de fréquences dans laquelle les signaux sont « convenablement » transmis.

## Supports les plus utilisés

Avec un guide physique :

- Paire téléphonique / Paire torsadée,
- Cable coaxial,
- Fibre optique.

Sans guide physique :

- Faisceau hertzien,
- Satellite.

## Techniques de transmission

**Adéquation** du signal au support :

bande passante signal  $\subseteq$  bande passante support.

**Conversion** numérique / analogique nécessaire (ex. modem).

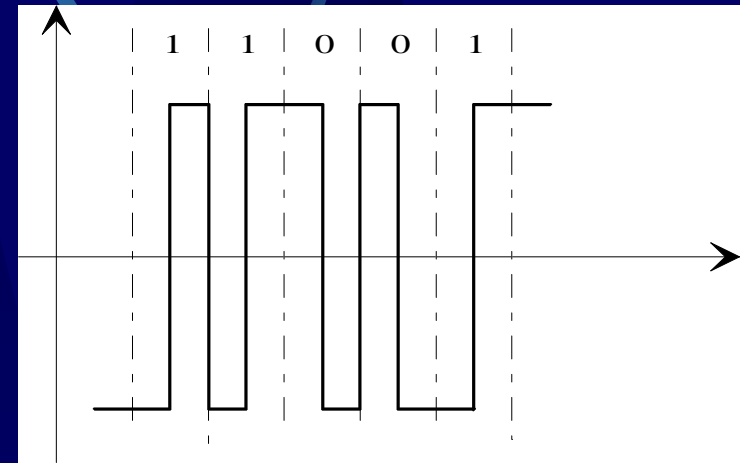
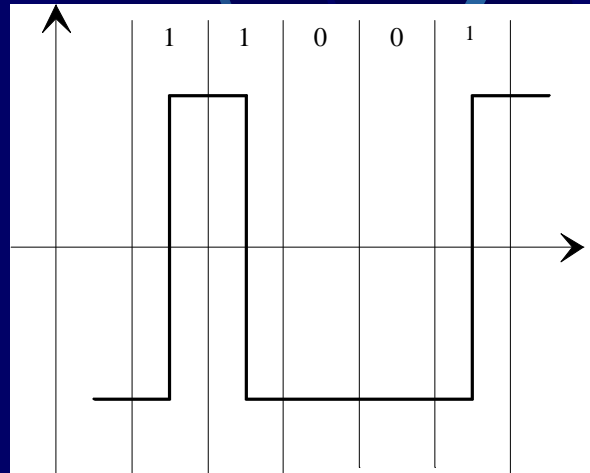
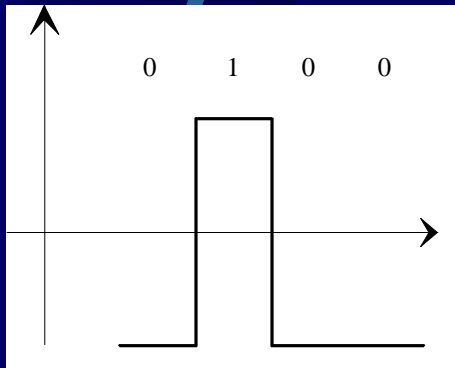
Deux types de transmission :

- transmission en bande de base (numérique),
- transmission par modulation d'onde porteuse (analogique).

## Transmission en bande de base

- Transformation simple du signal réalisée par un adaptateur bande de base
- Plutôt pour débits rapides, distances courtes.
- Numérisation du réseau téléphonique.
- Plusieurs codages utilisés...

# Codages NRZ, Miller, Manchester

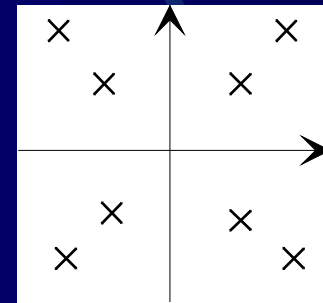
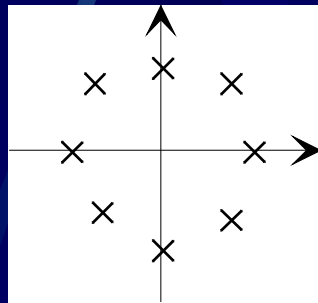
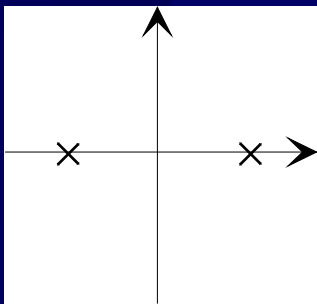


## Transmission par modulation d'onde porteuse

- Ex. paires torsadées, acheminement dans RTC.
- Signal sinusoïdal :  $A \sin(2\pi t/T + \phi)$
- Trois types de modulation pour représenter des données :
  - amplitude,
  - fréquence,
  - phase.

## Diagramme spatial associé

- modulations bi-phase ( $V=2$ ), quadri-phase (4), octo-phase (8).
- Combinaisons de modulations  $\rightarrow$  débit binaire augmente.
- biphasé ( $V=2$ ), octophase ( $V=8$ ), phase+amplitude



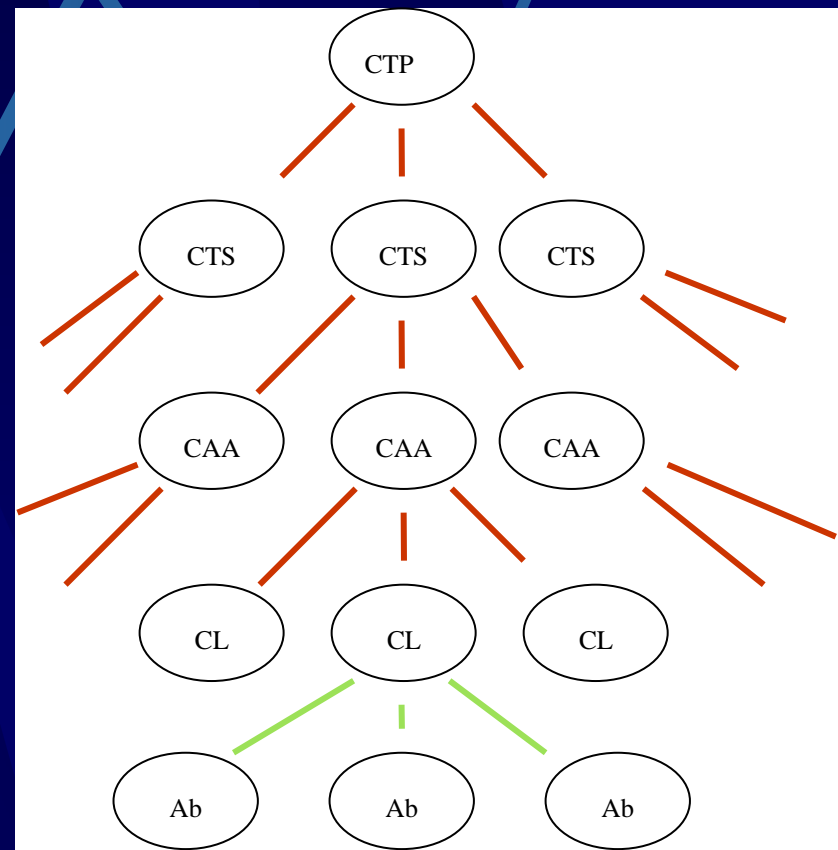
## Exemple de modems normalisés

- La plupart des modems : 2400 bauds
- **QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying)
  - 4 points dans le diagramme → 2 bits par modulation
- **QAM** (Quadrature Amplitude Modulation)
  - QAM-16 (4 bits), QAM-64 (6 bits)
- **V.32** à 9 600 bps et **V.32bis** à 14 400 bps (modem fax)
  - 32 points → 4 bits **+1** et 128 points (QAM-128) → 6 bits **+1**
- **V.34** à 28 800 bps et **V.34bis** à 33 600 bps (compression)
- **V.90** à 56 kbps descendant et 33,6 kbps montant
- **V.92** à 48 kbps montant si possible sur la ligne



# Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

- Commuté : liaison non permanente  
=> Prise de ligne+numérotation
- Structure hiérarchique :  
Centre Transit Principal (10)  
Centre Transit Secondaire (100)  
Centre à Autonomie d'Acheminement (1000)  
Centre Locale de rattachement (10000)  
[CL~4derniers chiffres =>  $10^4$  par CL]
- Connexions :  
Boucles locales : paires torsadées  
Le reste du réseau : fibre optique (rouge)



## RTC: pas 100% numérique

Numérique de bout en bout si Abonne-CL numérique  
(Numéris possible)

⇒

- Transport de la voix : téléphone
- Transport de données :
  - Abonne-CL numérique
  - Téléphone + modem

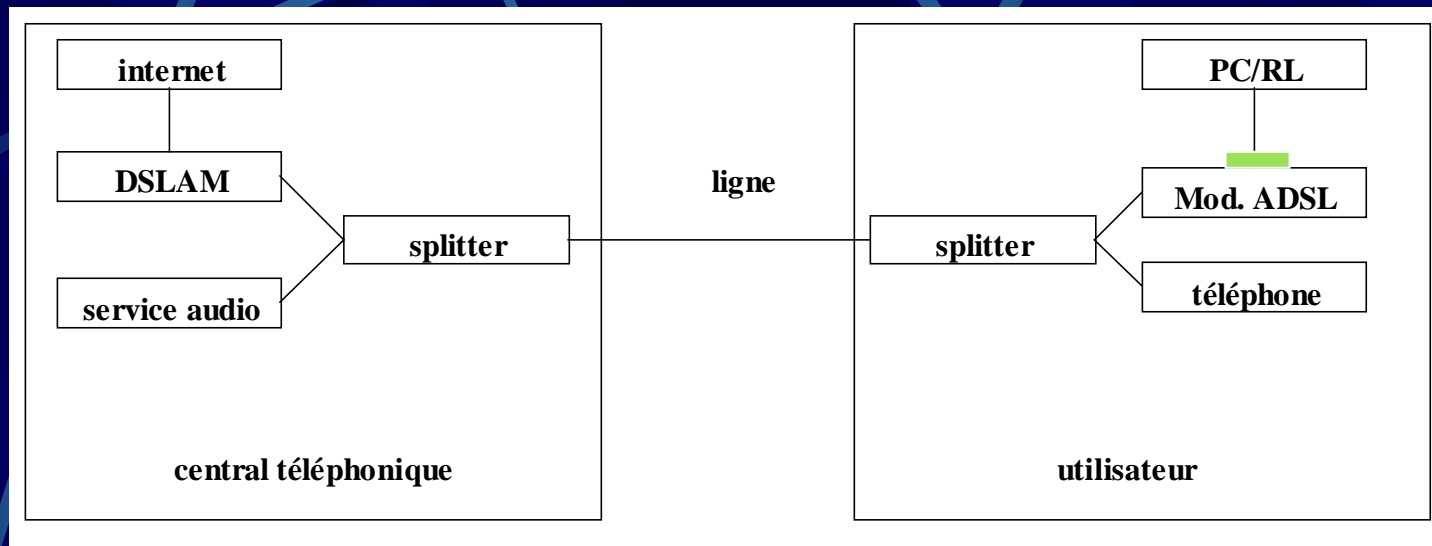
## RTC : limites

- Vitesse de transport
  - Analogique ~ 56kbps
    - 1s: 56x1024 bits soit 56x128 octets~7Koctets
    - 3mn: ~1,2Moctets (~1 disquette)
    - 12mn:~5Moctets (~4mn de mp3 - rate=192)
- Taux d'erreurs = 1bit sur  $10^4$  bits transmis
- Signalisation pauvre :  
attente, sonnerie, décroché, libéré

# ADSL

- **xDSL** : *Digital Subscriber Line* (Ligne numérique d'abonné)
  - Technologies permettant un transport numérique rapide sur une paire métallique sans interférence avec le service téléphonique analogique traditionnel (*POTS* : *Plain Old Telephone Service*).
  - 2 techniques : Transmission symétrique / asymétrique.
- **ADSL** : *Asymmetric DSL* (LNPA: Ligne Numérique à Paire Asymétrique)
  - un canal descendant (*downstream*) de haut débit
  - un canal montant (*upstream*) moyen débit
  - un canal de téléphonie (*POTS*)

# Liaison ADSL



- Boîtiers :

- modem ADSL

- séparateur de ligne (POTS splitter)

- Le DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) assure le multiplexage des flux (services disponibles sur le réseau : Internet, Vidéo...) vers les utilisateurs.

# ADSL

## ● Débits :

- descendant : au minimum de 1,5 à 2Mbps dans le sens commutateur vers utilisateur (maximum 8Mbps)
- montant : au minimum de 16 kbps dans le sens utilisateur vers commutateur (maximum 640kbps)
- dépendent d'un certain nombre de facteurs : la longueur de la boucle (limitée à 5,6km), sa section...

## ● Avantages :

- Transforme le réseau public existant en un système capable de transporter du multimédia : les services disponibles sur le réseau (Internet, Video MPEG...) arrivent vers les utilisateurs

# Le câble

- Réseau câblé de télévision
  - Liaisons longue distance (commutateurs, villes, etc) : fibre optique
  - Liaisons vers abonnés : câble coaxial
- Allocation des fréquences pour l'accès internet
  - Fréquences descendantes de haut débit
  - Fréquences montantes de moyen débit
  - Fréquences TV
  - Fréquences Radio

## Le câble

- Plusieurs abonnés sur un câble (possible entre 500 et 2000)
  - Bien adapté pour la diffusion de programmes télévisés
  - Moins pour l'accès à internet (partage de la bande passante)
- Résolution du problème de bande passante :
  - Diviser les longs câbles en segments plus courts et les connecter direct à un centre de distribution
  - Ajouter des centres de distribution (coût...)



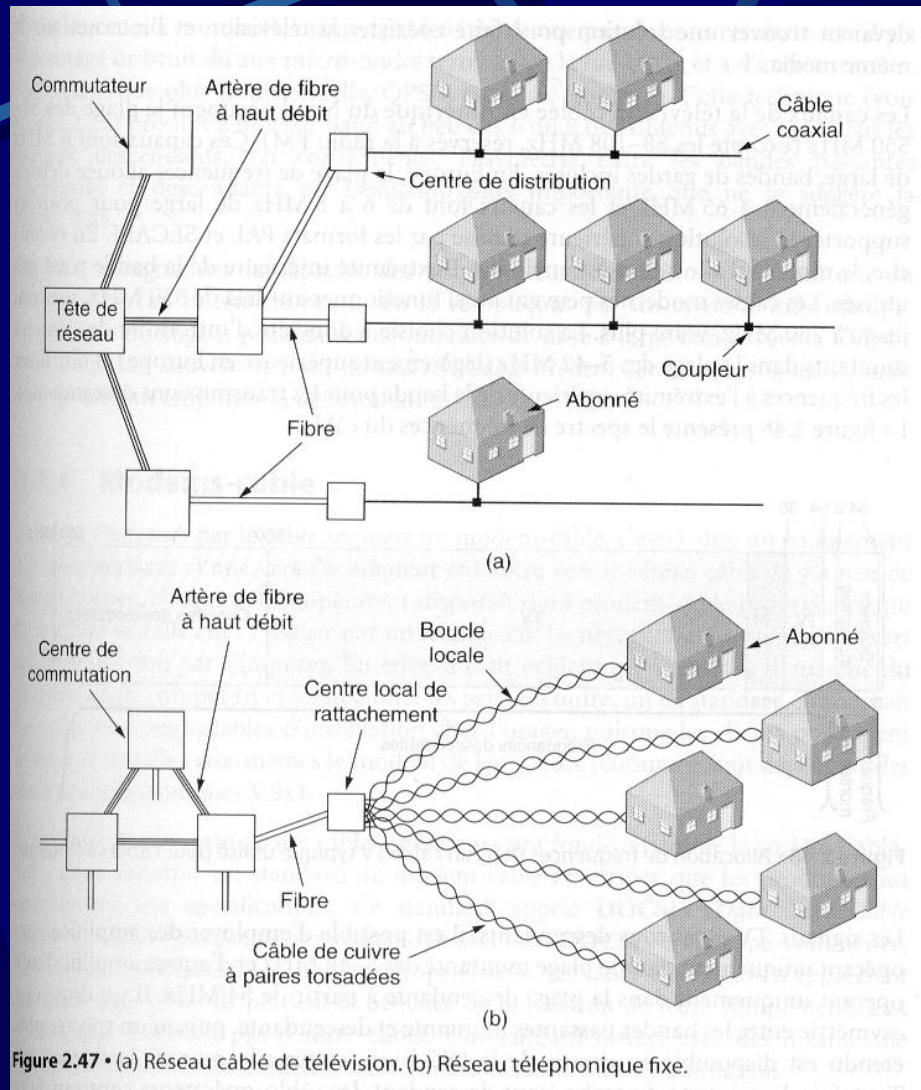


Figure 2.47 • (a) Réseau câblé de télévision. (b) Réseau téléphonique fixe.

## ADSL versus le câble

- Épine dorsale : fibre optique
  - Abonné : **aires torsadées**
  - Raccord **seul** au CL
  - Qualité service **constante**
  - Possibilité d'accès au service :
    - tout le monde a une ligne téléphonique
    - mais pb de distance au CL
- Épine dorsale : fibre optique
  - Abonné : **coaxial** (en théorie capacité  $\gg$  )
  - **Plusieurs** sur un même câble
  - **Dépend du contexte** (nbre d'abonnés connectés sur le câble)
  - Pb de **sécurité**
    - tout le monde n'est pas relié au câble
    - mais si oui, pas de pb de distance au centre de distribution

## Autres réseaux

- Lignes spécialisées
  - LS analogique : débit  $\leq 64$ Kbps
  - LS numérique (Transfix) : débit 64Kbps - 34Mbps
- Numéris (Réseau Numérique à Intégration de Service)
  - Débit  $\leq 64$ Kbps
- Réseaux satellites (Very Small Aperture Terminal)
- Réseaux sans fil - Wi-Fi (Wireless Fidelity)
  - Normes: 802.11\*
  - Débit réel : 11 à 54Mbps (Effectif: 4 à 22Mbps si bonne qualité)
  - Évolution future : 320 Mbps quasiment utile ! (802.11n)

# Modes de transmission

- Mode simplex.
- Mode half-duplex.
- Mode full-duplex.

## Modes de synchronisation

- Pour transmettre une information sur une ligne (ou une jonction), on a besoin de déterminer le moment de changement d'état du signal : c'est la synchronisation.

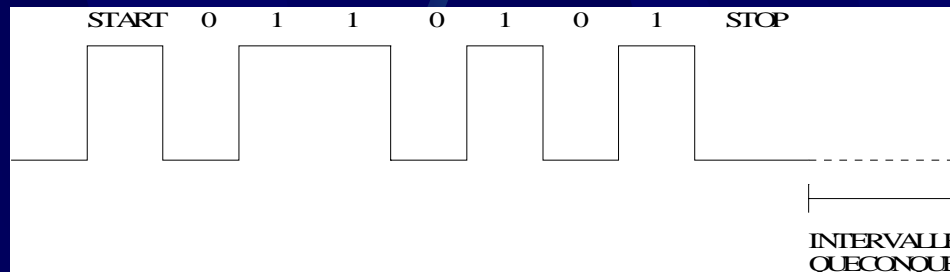
Rq : + le message est long et + R est élevée, + c'est difficile !

⇒ l'ETCD entretient une horloge.

- Deux modes sont possibles :
  - le mode synchrone
  - le mode asynchrone

## Modes de synchronisation

- Le mode synchrone
  - Synchronisation établie au départ, ‘recalée’ en permanence.
  - Les caractères se suivent les uns les autres
- Le mode asynchrone
  - Synchronisation établie à chaque caractère envoyé.
  - Les caractères sont émis à des intervalles quelconques.
  - Car. délimité par 1 ‘bit’ START et 1 ou plusieurs ‘bits’ STOP.



# Les ETCD

Équipement Terminal de Circuit de Données

Rôle essentiel : adapter les signaux binaires des ETTD aux caractéristiques des supports de communication.

Deux types :

- Convertisseur en bande de base :
  - numérique  $\leftrightarrow$  numérique.
- Modem :
  - analogique  $\leftrightarrow$  numérique.
- Caractéristiques et normes

## Jonction ETTD/ETCD : l'avis V24

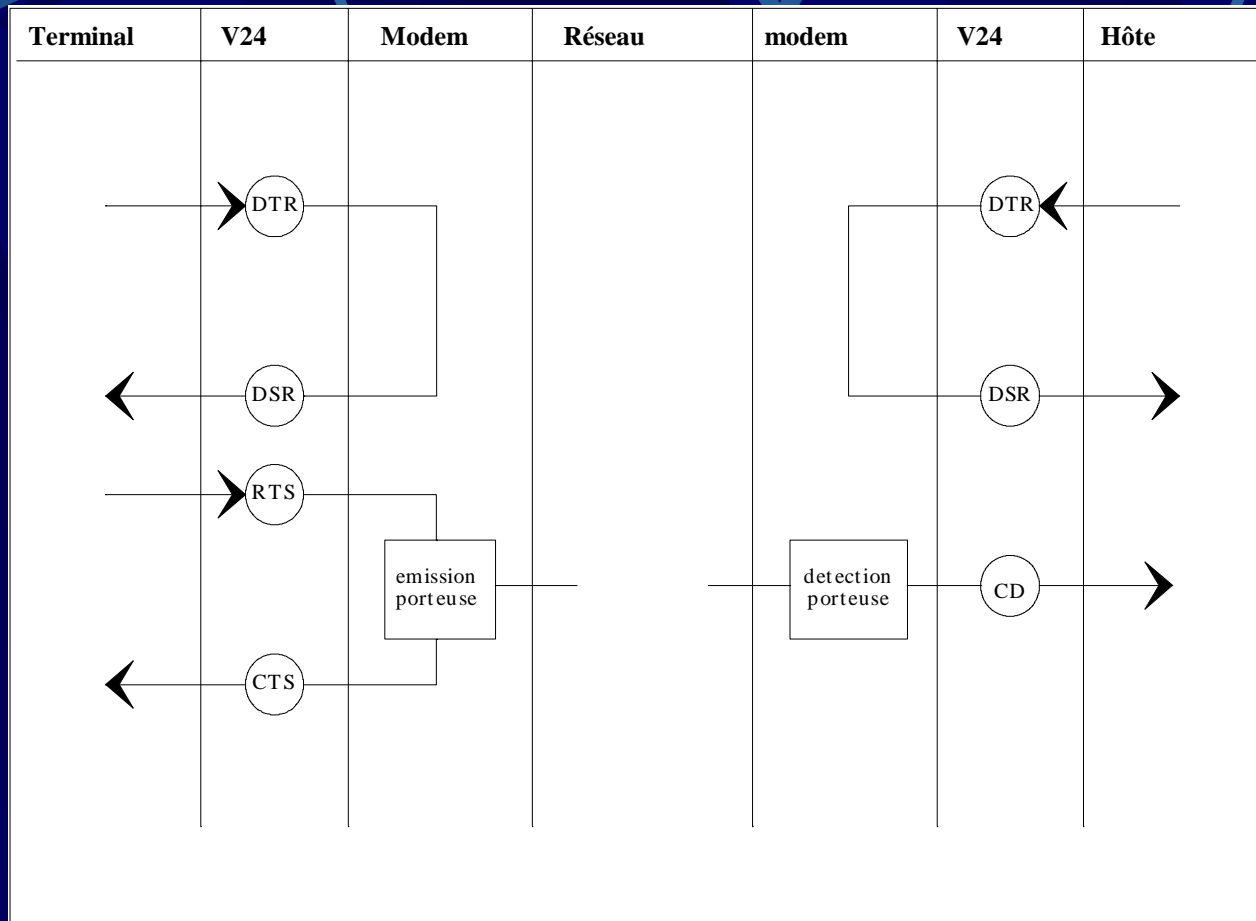
- Interface entre coupleur et adaptateur de ligne  
→ normalisée : CITT V24 (ou RS232).
- Son rôle :
  - établir, rompre la liaison,
  - préparer, effectuer la transmission.
- Jonction composée d'un ensemble de circuits :  
1 broche connecteur ↔ 1 circuit jonction ↔ 1 fonction.



# Les différents circuits de l'avis V24

n°circuit	ETTD-ETCD	APPELLATION FRANCAISE		APPELLATION ANGLAISE	
101		TP	Terre de protection	PG	Protective ground
102		TS	Terre de signalisation	SG	Signal ground
103	-->	ED	Emission de données	SD	Send Data
104	<--	RD	Réception de données	RD	Receive Data
105	-->	DPE	Demande pour émettre	RTS	Request to Send
106	<--	PAE	Prêt à émettre	CTS	Clear to Send
107	<--	PDP	poste de données prêt	DSR	Data Set Ready
108/1	-->	CDP	Connecter le poste de données	CDS	Connect Data Set
108/2	-->	TDP	Terminal de données prêt	DTR	Data Terminal Ready
109	<--	DS	Détection Signal	CD	Carrier Detect
113	-->	HET	Horloge émission ETTD	SCTE	Serial clock Transmit external
114	<--	HEM	Horloge émission ETCD	SCT	Serial Clock Transmit
125	<--	IA	Indicateur d'appel	RI	Ring Indicator

# Un exemple de scénario



# Technique de détection/correction d'erreur

## ■ Stratégies :

- Détection (et demande de retransmission) : code détecteur d'erreurs
- Détection + correction : code correcteur d'erreurs

## ■ Code de longueur N

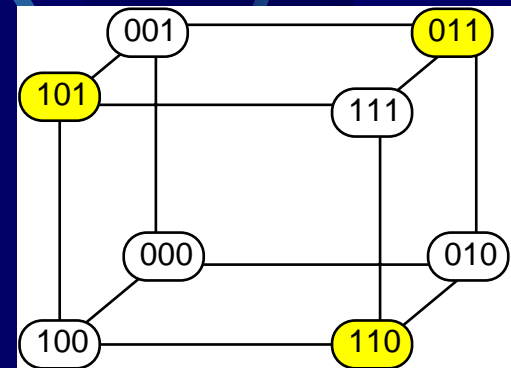
- Ensemble de séquences (mots) binaires de N bits
  - Séquences valides / invalides
    - Exemple: M bits utiles, R bits de redondance
    - $2^M$  séquences valides ( $2^N$  séquences possibles)
- Distance de Hamming entre 2 mots de code
  - Nombre de différences : si  $u=1\underline{1}01\underline{1}00$  et  $v=1\underline{0}01\underline{0}10$ , alors  $d_h(u,v)=3$
- Distance de Hamming d'un code C
  - Le minimum des distances entre 2 séquences du code C ( $D_H(C)$ ).

## Un exemple de code : '2 Parmi 3'

- Configurations valides :
  - mots de longueur 3 avec exactement 2 bits à 1.
- Code de longueur 3
- Distance de Hamming = 2
- Propriétés
  - Pouvoir détecteur : oui (erreur simple)
  - Pouvoir correcteur : non

### ■ Plus généralement :

- La distance de Hamming d'un code permet d'évaluer son pouvoir détecteur d'erreur ainsi que son pouvoir correcteur.
  - un code  $C$  peut détecter des erreurs d'ordre  $(D_H(C) - 1)$ ,
  - un code  $C$  peut corriger des erreurs d'ordre  $\text{PartieEntière}((D_H(C) - 1) / 2)$ .



## Code de bloc

On découpe l'information utile en tronçon de  $m$  bits auquel on rajoute  $r$  bits de redondance.

- Code de longueur  $n=m+r$ .
- Sur  $2^n$  combinaisons possibles, seules  $2^m$  combinaisons sont valides.

### ■ Exemple 1 : Parité verticale (VRC:Vertical Redundancy Checking)

- $m \sim 8$  (caractère) et  $r=1$  (parité paire ou impaire)
- Exemple : envoi de 4 caractères de longueur 3 ( $m=3$ ).

Information utile :	110	001	011	000
Information envoyée :	1100	0011	0110	0000

- Propriétés :
  - distance de Hamming est 2 : détecte les erreurs simples
  - détecte les erreurs qui sont d'ordre impair
  - ignore les erreurs doubles et toutes celles qui sont d'ordre pair

## Code de bloc (suite)

- Exemple 2 : Parité verticale/horizontale (LRC/VRC pour Vertical Redundancy Checking / Longitudinal Redundancy Checking)
  - Principe : les caractères munis de leur bit de parité transversale sont regroupés en blocs, et on ajoute à la fin de chaque bloc un caractère supplémentaire pour la parité longitudinale
  - Exemple : envoi d'un bloc de 4 caractères de longueur 3 ( $m=3$ ).

Information utile :    110            001            011            000  
Information envoyée : 1100            0011            0110            0000            1001

1	0	0	0	1
1	0	1	0	0
0	1	1	0	0
0	1	0	0	1

- Propriétés :
  - distance de Hamming est 4 :
    - détecte les erreurs d'ordre 3 et corrige les erreurs simples
  - détecte les erreurs qui sont d'ordre impair

# Codes polynomiaux

- Codes de blocs particuliers
- Facilement implémentables de façon matérielle
- Excellents résultats.
- Principe:
  - Toute séquence de  $i$  bits peut être représentée par un polynôme à coefficients binaires
  - Par exemple, la séquence "001101" peut être représentée par le polynôme  $x^3+x^2+1$ .
  - opérations d'addition et de multiplication modulo 2
  - $G(X)$  un polynôme de degré  $r$  appelé polynôme générateur
  - Code polynomial  $C_{G,n}$ 
    - Ensemble des séquences de longueur  $n$ , dont le polynôme associé est multiple de  $G(X)$ .

## Codes polynomiaux (suite)

- Exemple  $n=4$ ,  $G(X)=X^2$ .
  - Les multiples de  $G(X)$  de degré au plus égal à  $n-1$  :
    - $0.G(X)=0$ ,  $1.G(X)=X^2$ ,  $X.G(X)=X^3$ ,  $(X+1).G(X)=X^3+X^2$ .
  - Les séquences valides du code  $C_{G,4}$  : 0000, 0100, 1000, 1100.
- Application à la détection d'erreur :
  - $G(X)$  (degré  $r$ ) connu de l'émetteur et du récepteur
  - La taille des informations utiles :  $m$ .
  - On utilise le code  $C_{G,m+r}$



# Codes polynomiaux (suite)

## Côté émetteur

- 1  $b_{m-1} b_{m-2} \dots b_2 b_1 b_0$  : l'information utile de longueur  $m$
- 2  $M(X)$  le polynôme associé à l'information utile.
- 3 On divise le polynôme  $M(X).X^r$  par  $G(X)$   
 $M(X).X^r = G(X).Q(X) + R(X)$  ( $R(X)$  de degré  $r-1$ )
- 4 On envoie la séquence de bits de longueur  $n=m+r$  associée au polynôme :  $N(X)=M(X).X^r + R(X)$ .

Remarquons que ce polynôme  $N(X)$  est divisible par  $G(X)$  :

$$M(X).X^r + R(X) = G(X).Q(X) + R(X) + R(X) = G(X).Q(X).$$

## Côté récepteur

Détection d'erreur : vérifier que le polynôme associé à la séquence binaire reçue, est divisible par  $G(X)$ .

Information utile : supprimer les  $r$  derniers bits de la séquence reçue.

# Contrôle de flux

- Problème :
  - Un émetteur émet plus de messages que le récepteur peut accepter
    - perte à la réception
    - couches concernées : 2, 3 et 4
- Solution : éviter cette situation (prévention). Deux approches :
  1. L'émetteur n'émet que sur autorisation du récepteur
  2. Le débit est adapté au capacité du récepteur
- Exemple : Transmission asynchrone
  - Réception bufferisée + événement Xon/Xoff