

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).

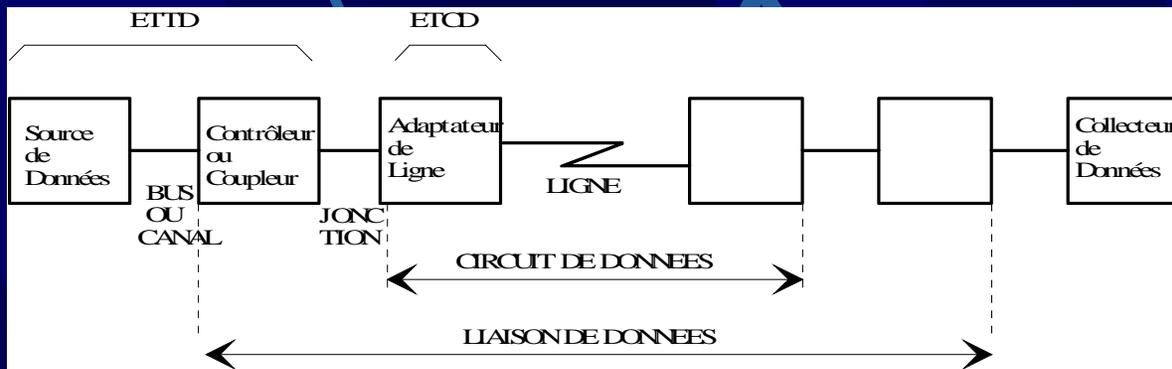
L'information elle-même est transmise en modifiant dans le temps les ondes émises :

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

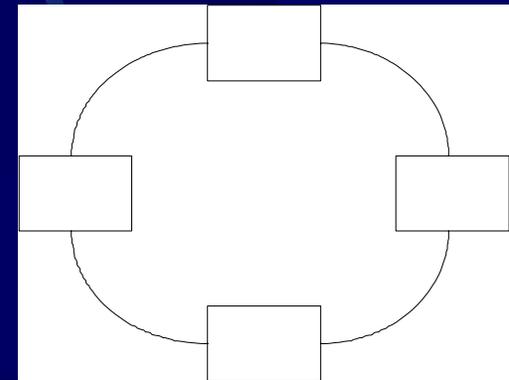
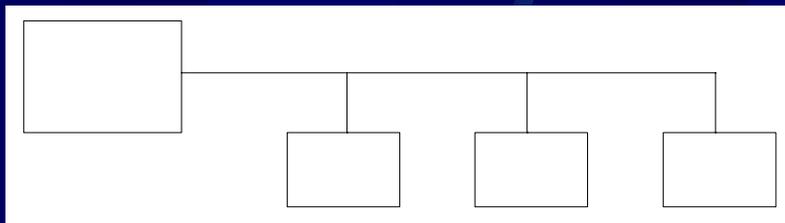
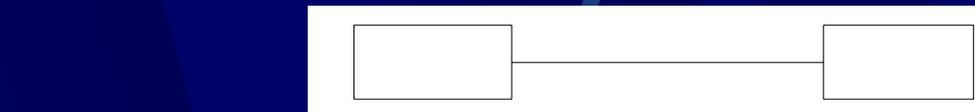
Cette opération réalisée par un ETCD (adaptateur de ligne).

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).

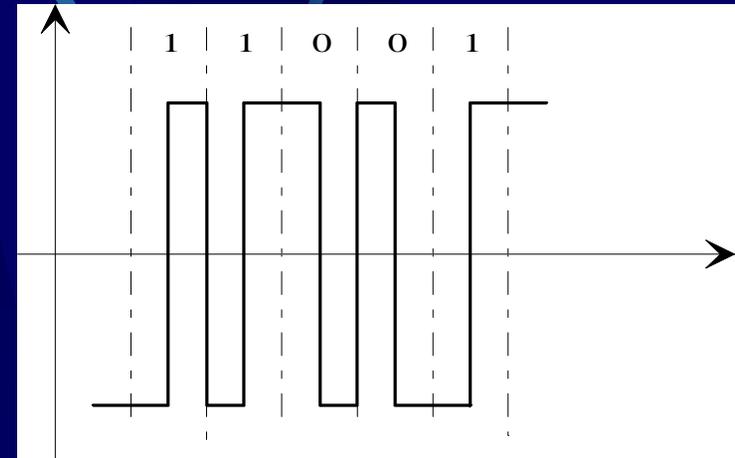
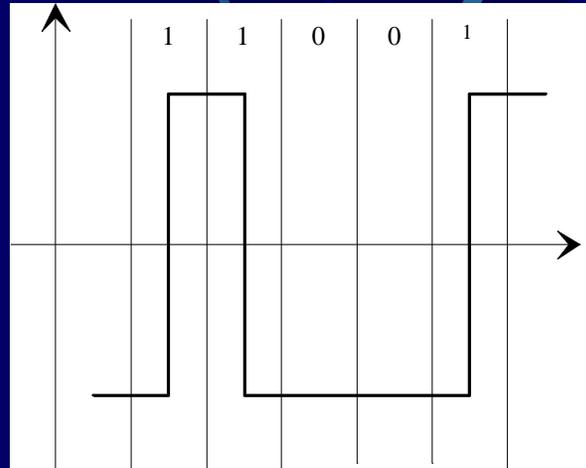
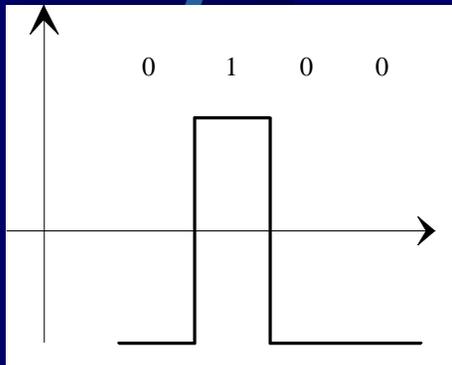
Deux types de transmission :

- 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

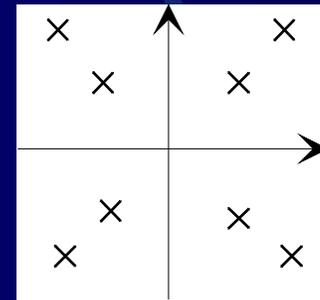
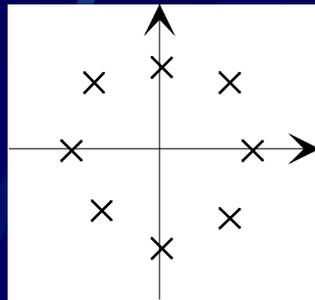
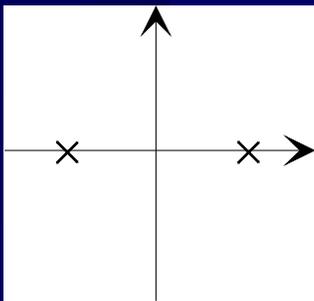


Transmission par modulation d'onde porteuse

- 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

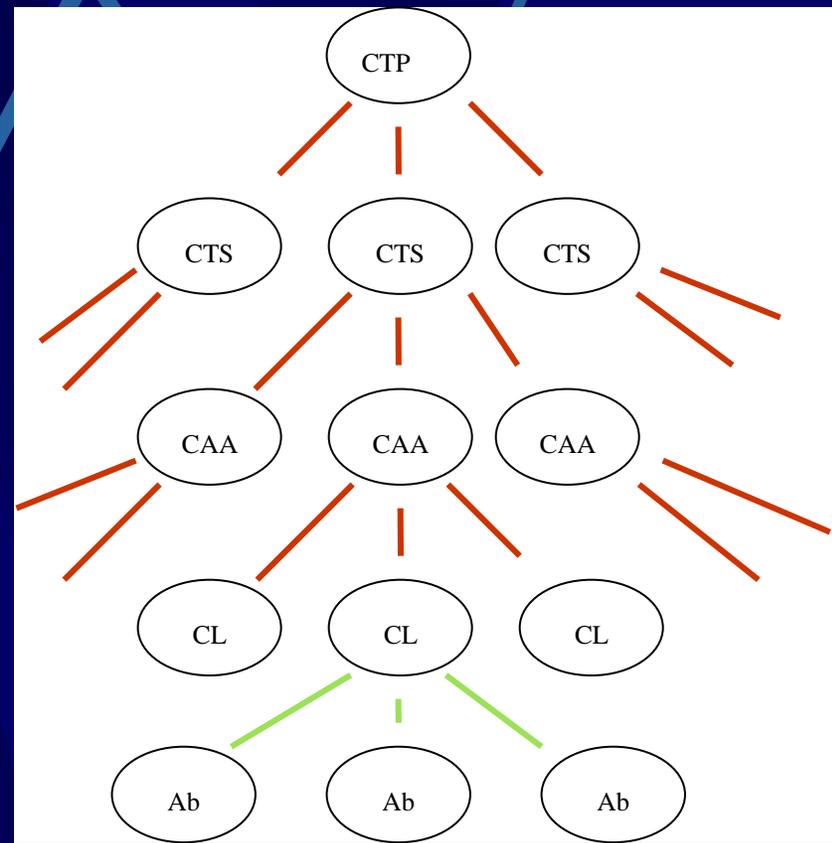


Exemple de modems normalisés

- 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

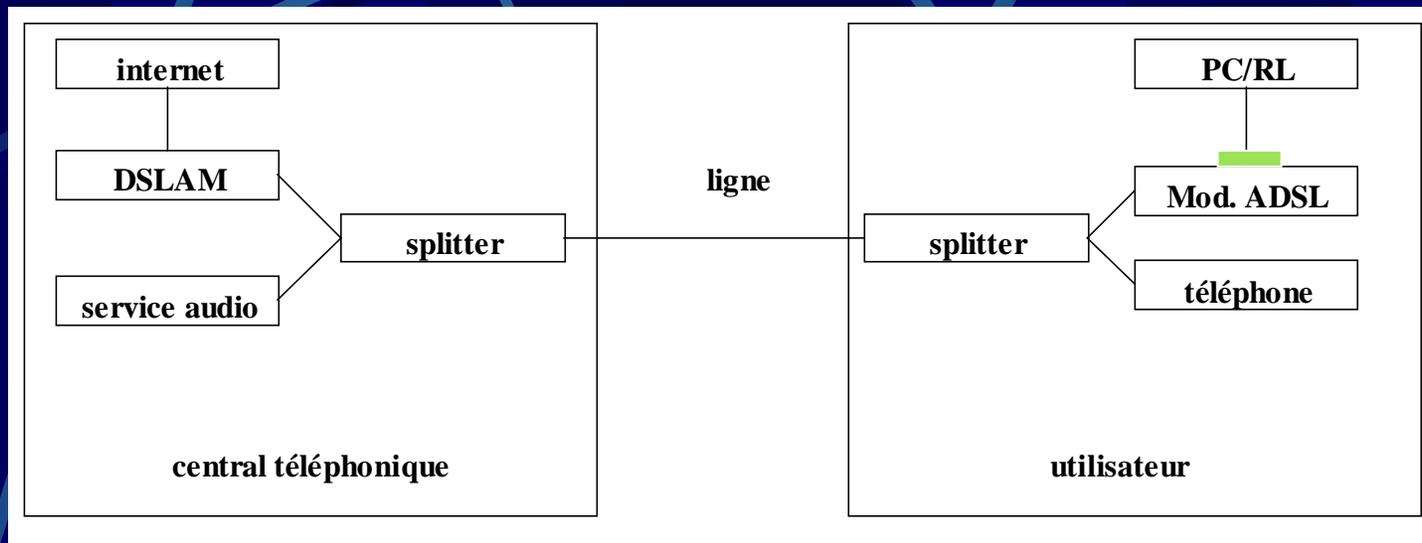
RTC : limites

- 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...)

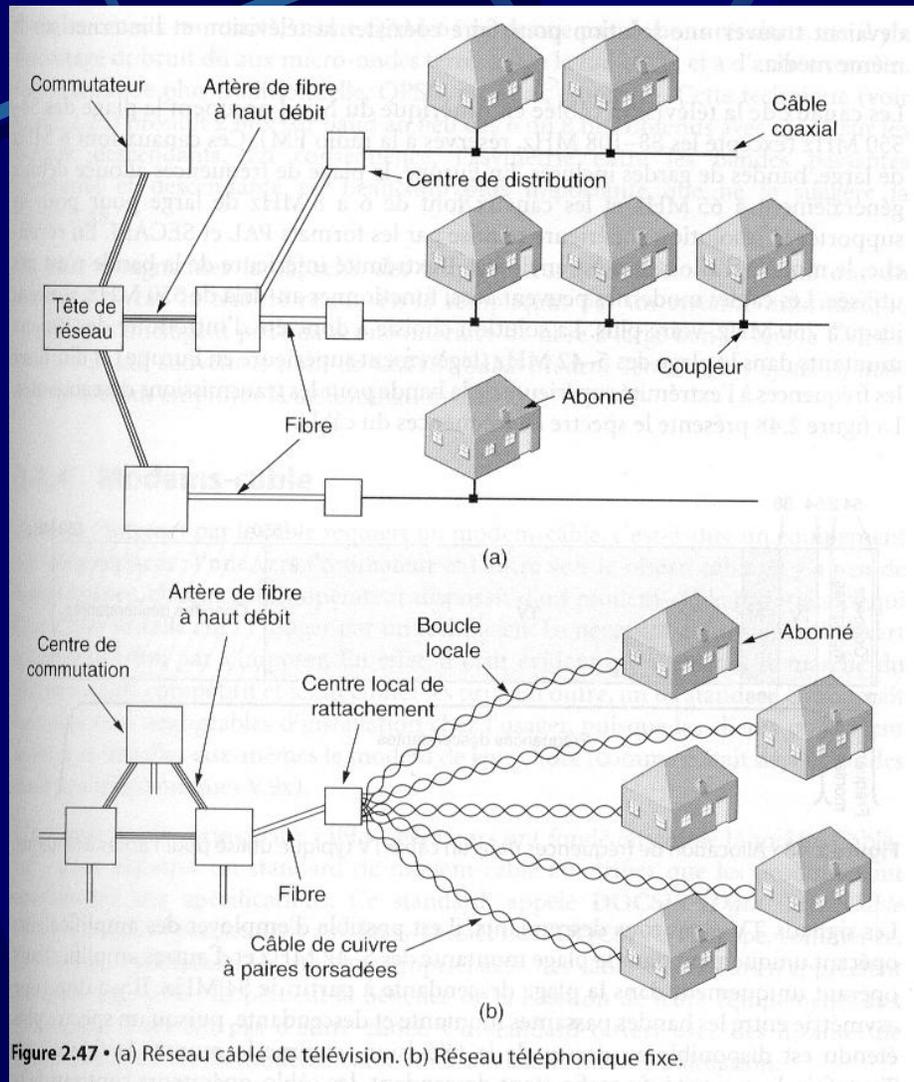


Figure 2.47 • (a) Réseau câblé de télévision. (b) Réseau téléphonique fixe.

ADSL versus le câble

- Épine dorsale : fibre optique
 - Abonné : paires 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 ≤ 64 Kbps
 - LS numérique (Transfix) : débit 64Kbps - 34Mbps
- Numéris (Réseau Numérique à Intégration de Service)
 - Débit ≤ 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.

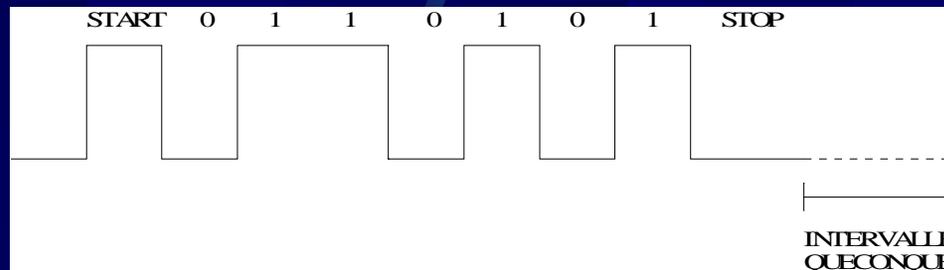
Rq : + le message est long et + R est élevée, + c'est difficile !

⇒ 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

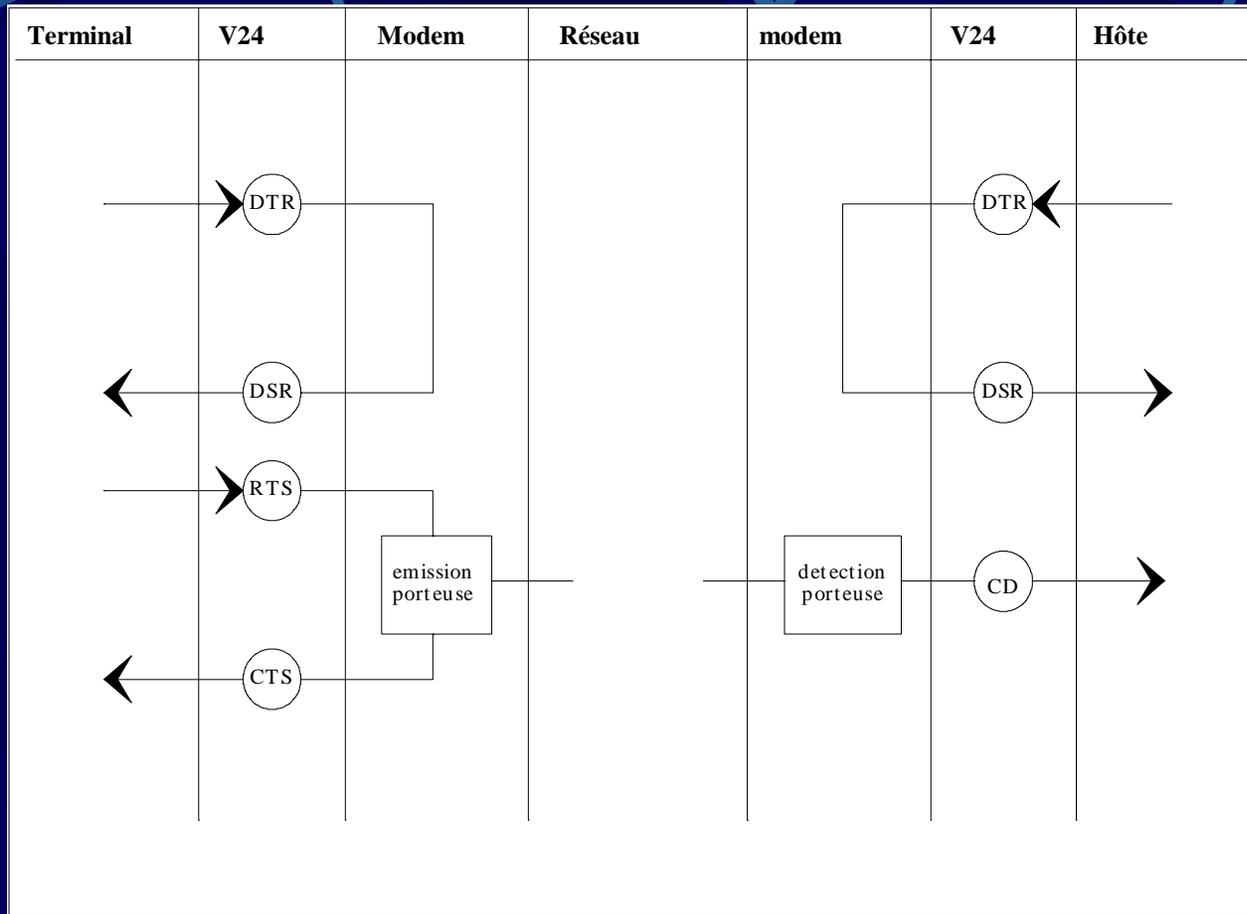
Jonction ETTD/ETCD : l'avis V24

- 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

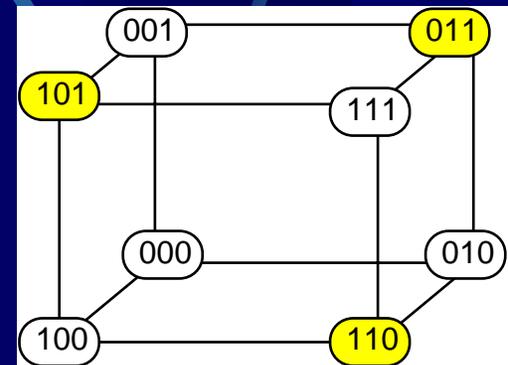
- Ensemble de séquences (mots) binaires de N bits
 - Séquences valides / invalides
 - Exemple: M bits utiles, R bits de redondance
 - 2^M séquences valides (2^N séquences possibles)
- Distance de Hamming entre 2 mots de code
 - Nombre de différences : si $u=1\underline{1}01\underline{1}00$ et $v=1\underline{0}01\underline{0}10$, 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