



■ 1. Caractéristiques : critères de choix

- ⇒ **coût** : câble, connectique, installation + exploitation + maintenance + extension + durée de vie
- ⇒ **débit maximum** supporté
- ⇒ **mécaniques** : poids, résistance aux torsions / tractions / ruptures,
- ⇒ **thermiques** : comportement au froid, chaud (incendies, spatial, etc.)
- ⇒ **chimiques** : corrosions
- ⇒ **électriques** : niveaux supportés, atténuation (distance sans répéteur), sensibilité aux perturbations électromagnétiques
- ⇒ **Radiations**
- ⇒ ...



■ 2. Supports métalliques

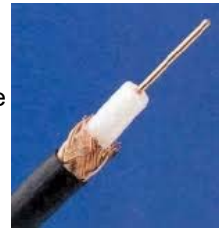
a) Ligne bifilaire (paire torsadée ou non)

- ⇒ paire de base : 2 fils électriques isolés, en cuivre ou aluminium de \varnothing entre 0,4 et 1 mm (pouvant être entrelacés hélicoïdalement pour réduire l'effet des perturbations extérieures)
- ⇒ paire blindée ou non
- ⇒ distance sans amplification : plusieurs **dizaines de km** (selon les signaux et le câble)
- ⇒ débits : de 300 bit/s à des dizaines de **Kbit/s** (sur quelques dizaines de km) ... **1 Gbit/s** sur 100 m
- ⇒ BP : jusqu'à quelques **GHz** (courtes distances : paire téléphonique) et **plusieurs dizaines de MHz** (moyennes distances : paire symétrique HF blindée) ⇒ utilisation en bande de base et large bande
- ⇒ **coût et "manipulation" : faible**
- ⇒ **domaines : importants et multiples (téléphonie, ...)**

b) Câble coaxial : pour bande de base (impédance : 50 Ω) / large bande (impédance : 75 Ω)



- ⇒ distance sans amplification : plusieurs **centaines de m** / plusieurs **dizaines de km**
- ⇒ BP : jusqu'à plusieurs dizaine de **MHz** / : jusqu'à **1 GHz**
- ⇒ débits : de **10 à 100 Mbits/s** (selon la distance)
- ⇒ sensibilité aux perturbation extérieures et émissivité : meilleure / encore meilleure
- ⇒ coût : plus élevé (technologie de base + connecteurs plus cher que le bifilaire)
- ⇒ domaines :
 - très utilisé pour réseaux locaux d'entreprise, notamment par ETHERNET
 - télévision câblée (souvent division de la BP en plages de 6 MHz (3 Mbits/s), et affectation d'une plage à une chaîne de TV)



c) "Nomenclature" de ces supports métalliques : format générique =

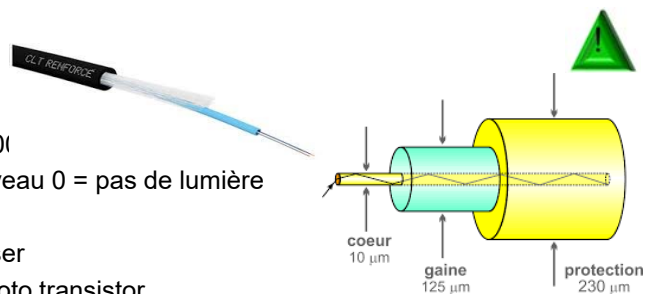
X IDEN Y

- ⇒ **X** : indique le débit max en Mbit/s
- ⇒ **IDEN** : identifie les signaux
 - **BASE** pour la bande de base
 - **BROAD** pour la large bande
- ⇒ **Y** :
 - soit **T** (Twisted pair) et le **nombre** de paires
 - soit **nombre** = nombre d'hectomètre sans répéteur
- ⇒ ex :
 - 10 base 2 = 10 Mbits/s sur coaxial sans répéteur sur 200 m
 - 10 base 5 = 10 Mbits/s sur coaxial sans répéteur sur 500 m
 - 100 base T4 = 100 Mbits/s sur câble de 4 paires torsadée

3. Fibre optique

a) Technique

- ⇒ signaux : onde lumineuse ⇒ vitesse de 300 000
- ⇒ codage des signaux : niveau 1 = lumière niveau 0 = pas de lumière
- ⇒ système formé de 3 composants :
 - système de d'émission = Led ou diode laser
 - système de réception = photodiode ou photo transistor
 - fibre = cœur de verre ou de plastique (indice de réfraction n_1) entouré d'une gaine de protection (indice de réfraction $n_2 < n_1$)
- ⇒ **2 types de fibres unidirectionnelles → transmission unidirectionnelle**
 - monomode (SMF) : passage d'un seul rayon lumineux (cœur très fin),
 - multimode (MMF) : passage simultané de plusieurs rayons lumineux (cœur plus gros), moins cher mais BP moins grande qu'en monomode



b) Caractéristiques

- ⇒ distance sans amplification : 2 km en multimode, quelques **dizaines de km en monomode**
- ⇒ BP : plusieurs centaines de **MHz** sur plusieurs dizaines de **km**
- ⇒ débits : **100 Gbit.km en monomode et 1 Gbit.km en multimode**
- ⇒ sensibilité aux perturbation extérieures et émissivité : quasi nulle
- ⇒ coût : plus élevé (technologie de base + connecteurs plus cher)
- ⇒ légèreté et faible encombrement, mais fragile à **manipuler**
- ⇒ connectivité et branchement en dérivation difficiles : inconvénient pour la "modularité" mais avantage pour la « sécurité »
- ⇒ domaine : utilisé pour débits très élevé (interconnexion de bâtiments, émissions TV numérique)

4. Ondes en air libre

- ⇒ Faisceaux hertziens (200 MHz à 30 GHz, tour de 100 m = portée à 100 km), et ondes radio (10 KHz à 100 KHz) : interconnexion de LAN, de bâtiments (évite ligne aériennes, tranchées, ...), etc.
- ⇒ Ex : Satellites → transmission par diffusion, bidirectionnelle et multiplexage temporel
 - fréquences réception (3,7 - 4,2 GHz) et émission (5,925 - 6,425 GHz) ... décalées
 - temps de transmission long : aller/retour = 250 et 300 ms (hertzien=3 μs/km, coaxial=5 μs/km)
 - domaine : interconnexion très longue distance, en "air libre" à gros débits
- ⇒ Autres : infrarouge, rayons lasers, pour stations "mobiles" très courtes distance (des dizaines de m)
- ⇒ pb : écoute et de parasitage plus facile

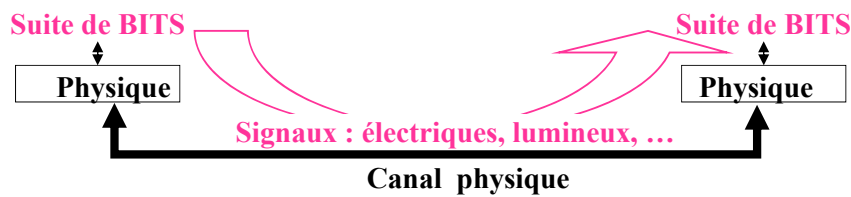
■ 5. Autres paramètres

- ⇒ **Impédances** : plusieurs valeurs typique : 50 Ω ou 75 Ω pour le coaxial, mais souvent 100 Ω (partout dans le monde), ou 120 Ω (en France, câble COREL de France Télécom ...)
- ⇒ **Blindage** (que pour « bifilaire ») : câble non blindée (UTP), blindage global (FTP), blindage individuel des paires (STP : Shielded Twisted-Pair), et encore d'autres (FFTP, SFTP, SSTP)
- ⇒ **Catégorie d'un câble** : définit sa bande passante et débit

Catégorie	Bande passante	Utilisation usuelle
1 et 2	4 KHz	Téléphonie
3	16 Mhz	Voie numérique, Ethernet, et any LAN CAN
4	20 Mhz	Token Ring
5	100 Mhz	0,1 Gbit/s - 100 m
5e	100 Mhz	1 Gbit/s - 100 m
6	250 Mhz	10 Gbit/s - 55 m
.....		
7a	1000 Mhz	10 Gbit/s - 100 m

5 - Couche Physique (couche 1)

■ 1. Définitions et rôle de la couche physique



⇒ La couche 1 échange :

- avec sa couche 2 : uniquement des séries de BITS
- avec sa couche 1 homologue : des signaux sous forme d'ondes (électriques, lumineuses, ...)

⇒ La couche 1 traite des moyens électriques et mécaniques du transfert physique de **bits**

- transformations "bits ↔ signaux pour un support" :
 - bits des trames venant de la couche 2 → signaux à émettre sur le canal physique
 - signaux reçus par le canal physique → suites de bits pour la couche 2
- émission/réception des signaux sur un support

⇒ On distingue 2 catégories de fonctionnalités (par ordre "hiérarchique")



① Celles "Indépendantes" du support :

- encodage (décodage) des bits à émettre (reçus) + durée d'un bit
- horloge : transfert de l'émetteur vers le récepteur, récupération et resynchronisation
- choix du sens de transmission

Équipements assurant ces fonctionnalités : dénommé **ETTD** → Équipement Terminal de Traitement de Données (**DTE** : Data Terminal Equipment)

② Celles spécifiques au support :

- Mise en forme du signal associé aux bits encodés / reconstitution des bits à partir du signal reçu
- caractéristiques des émetteur et récepteurs : puissance, fréquence, sensibilité, taille, ...
- moyens de raccordement physique au support : équipements électriques/électronique et mécaniques (connectique : brochage, ...)

Équipements assurant ces fonctionnalités : dénommé **ETCD** → Équipement Terminal de Circuit de Données (**DCE** : Data Circuit Equipment)



⇒ Selon les modèles, ces 2 catégories de fonctionnalités sont explicitement dissociées ou non encore en plusieurs sous-couches, comme par exemple :

- modèle OSI : pas de dissociation explicite
- modèle CAN ou FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*) : dissociation explicite

■ 2. Rappels sur la théorie de la transmission de données



⇒ Transmettre des données = 2 "éléments" : un **signal** + un **support de transmission**

⇒ Chaque élément a ses caractéristiques propres (intrinsèques)

⇒ Pour que la transmission "marche" bien → il doit y avoir compatibilité entre ces 2 lots de caractéristiques :

⇒ choisir le support adéquat pour un signal donné

⇒ Adapter le signal pour un support donné

⇒ Quelle que soit la forme initiale de l'information à transmettre, la forme réellement utilisée en "bout de chaîne", sera celle sur le support de transmission = des signaux sous formes d'ondes



2.1. Caractéristiques d'un signal périodique

Un signal est caractérisé par son **SPECTRE fréquentiel** : lot de 3 grandeurs (**AMPLITUDE MAXIMALE, FRÉQUENCE et PHASE**) pour chaque fréquence + **BANDE PASSANTE**



a) Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier (suite de fonctions sinusoïdales particulières)

⇒ Rappel des formules
$$g(t) = \frac{1}{2}C + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \cos(2\pi n f t)$$

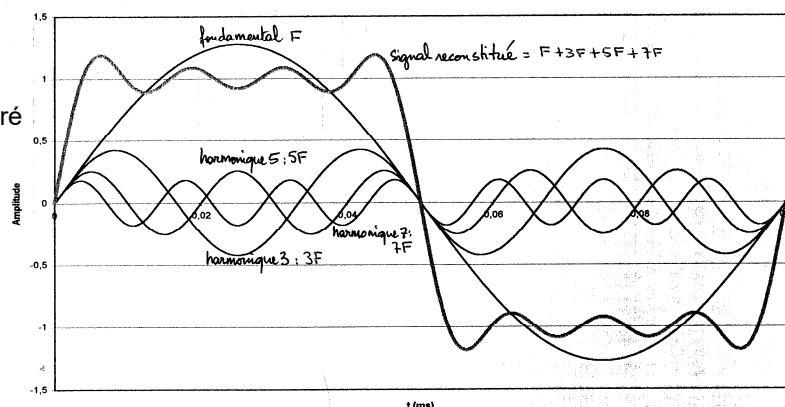
$f = \frac{1}{T}$ = fréquence fondamentale a_n et b_n : amplitudes des composantes de rang n

$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cdot \sin(2\pi n f t) \cdot dt$ $b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cdot \cos(2\pi n f t) \cdot dt$ $c = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) \cdot dt$

⇒ Ex. : décomposition d'un signal carré

⇒ Chaque composante spectrale du signal se caractérise entièrement par :

- **amplitude maximale,**
- **Fréquence**
- **phase.**



b) Affaiblissement, largeur de bande, bande passante, fréquence de coupure

La composante d'amplitude maximale est une référence pour les autres composantes

- ⇒ **Affaiblissement** (exprimée généralement en décibel (dB)) : pour une composante donnée, on s'intéresse à la valeur absolue de son amplitude max, ET à la valeur relative de celle-ci par rapport à la référence → son affaiblissement par rapport à la référence
- ⇒ **Largeur de bande** : plage de fréquences constituant le spectre d'un signal périodique Elle est théoriquement infinie, mais avec une amplitude variable ; en pratique elle est nécessairement finie.
- ⇒ **Bande passante (à X dB)** : plage de fréquences telles que "*affaiblissement* < X dB"
 - ex : sur une ligne téléphonique traditionnelle → la voie reste audible dans la plage [300 Hz - 3400 Hz], soit une BP de 3,1 KHz
- ⇒ **Fréquence de coupure (à X dB)** : fréquence telle que "*affaiblissement* = X dB"
 - Valeur typique : coupure à -3 dB → correspond à un rapport de puissance de 2
- ⇒ **Vitesse de propagation** : vitesse à laquelle se propage le signal ... sur le support ⇒ dépend donc directement du type de support, et donc de la nature du signal
 - Onde lumineuse : **300 000 km/s (300m/μs)** sur fibre monomode, **100m/μs** sur fibre multimode
 - Signal électrique : **300m/μs** en hertzien et **200m/μs** en coaxial ou bifilaire



2.2. Caractéristiques d'un support – Conséquences sur le signal



Un support est caractérisé par sa résistance, son impédance, sa sensibilité au bruit, qui définissent sa bande **BANDE PASSANTE** et le **DÉBIT** qu'il peut supporter

a) Bande passante, affaiblissement

- ⇒ **La résistance du support** de transmission
 - ① affaiblit l'amplitude du signal transmis.
 - ② "freine", donc limite, la vitesse des "changements"
- ⇒ support = filtre passe bas (à la rigueur passe bande) ⇒ Limitation des fréquences qui arrivent "à passer" sur le support ⇒ **le support a une bande passante qui lui est propre**
- ⇒ **la bande passante du signal doit "passer" dans celle du support**
- ⇒ **L'affaiblissement** : se juge en comparant signal reçu et émis
 - agit sur toutes les composantes du signal, MAIS, pas de manière homogène, car il est fonction de la puissance du signal donc de sa fréquence et de son amplitude
- ⇒ **Bande passante(à X dB)** avec $X_{db} = 10 \cdot \log_{10}(\text{puissance_signal} / \text{puissance_bruit})$

b) Distorsions

Les propriétés d'un support, dont son impédance, provoquent des distorsions (fonctions de la fréquence et de la longueur du support), des 3 caractéristiques de base d'un signal : phase, fréquence et amplitude max (ne pas confondre distorsion et affaiblissement)

c) Types de bruit (perturbations)



- ⇒ **Bruit** = phénomène aléatoire de nature électrique ou électromagnétique
 - ⇒ **Bruit blanc** = agitation thermique des électrons :
 - énergie faible, mais affectant toutes les fréquences de la même manière
 - **intrinsèque au support** ⇒ toujours présent
 - ⇒ **Bruit impulsif** = signal aléatoire de courte durée mais forte intensité :
 - énergie plus importante, mais affecte plutôt les fréquences plus élevées
 - dû à des **influences extérieures** au support :
 - diaphonie : couplages capacitifs et inductifs entre lignes voisines
 - inductions électrostatique et électromagnétiques dues aux lignes d'alimentation (courant fort)
- ⇒ **Nota** : un signal subit des perturbations ET en provoque aussi vers son environnement

d) Conséquences : un signal est "déformé" lors de son transport ⇒ il sera donc mal reconstitué

- ⇒ **Signal distordu** (en fréquence, amplitude et phase)
- ⇒ **Pertes des harmoniques "amputées" par la bande passante** : seules les fréquences dans la BP du support servent à reconstituer le signal ⇒ plus la BP est étroite, plus il est "déformé"
- ⇒ **Chevauchement des BP** quand plusieurs signaux (avec des fréquences porteuses différentes) circulent sur un même support ⇒ utilisation de filtres pour ne récupérer que les harmoniques qui ne se chevauchent pas.

2.3. Rapidité de modulation - Débit Binaire



a) Rapidité de modulation → Caractéristique uniquement liée à la ligne physique

- ⇒ **Intervalle significatif** ou État Significatif ou Moment Élémentaire :
 - durée pendant laquelle reste constante une combinaison des 3 grandeurs (amplitude max, fréquence et phase) caractérisant le signal
- ⇒ **Valence** (noté **V**) = nombre d'états significatifs distincts utilisés dans le codage pour caractériser les éléments du signal à transmettre

ex : un signal d'amplitude trivalente (ex. +A, 0, -A Volts) et de modulation biphase possède 6 états significatifs (3 x 2)
- ⇒ **Rapidité de modulation** = inverse de l'intervalle significatif = "rapidité" d'un changement d'état (significatif) du signal transmis
 - ⇒ **Unité** (de la rapidité de modulation) : le **BAUD** (pour une durée en secondes) = nombre de changements d'état à la seconde

b) Débit binaire → caractéristique liée à la ligne physique ET aux techniques de transmission et d'encodage des bits utilisées

⇒ Un bit a une durée : T_b

⇒ **Débit** = nombre de bits transmis par seconde (exprimé en bits/s)



- Débit de la **source** : quantité de bits émis par seconde par l'émetteur
- Débit du **support** : quantité de bits pouvant passer par seconde dans la "section" du support → aussi appelé **capacité**
- il faut avoir **Débit_source < Capacité_support**

⇒ **Lien débit-rapidité** : **débit \geq rapidité de modulation**

- 2 états significatifs ($V = 2$) ⇒ chaque état ne peut « représenter/transporter » qu'une combinaison unique de ...un seul bit



⇒ transmission de 1 bit à chaque « changement d'état » ⇒ (débit = rapidité)

- 6 états significatifs ($V = 6$) ⇒ chaque état ne peut « représenter/transporter » qu'une combinaison unique de 2 bits ⇒ un état transporte 2 bits

⇒ transmission de 2 bits à chaque « changement d'état » ⇒ (débit = 2 x rapidité)

- lien débit (source) et rapidité : **Débit = Rapidité \log_2 (Valence) en bits/s**

⇒ **Débit Maximum** (Nyquist) pour une ligne non bruitée, avec une BP de H (filtré par un passe bas) et N le nombre de niveaux significatifs du signal : **$D_{\max} = 2.H.\log_2(N)$ bits/s**

$$\begin{array}{ll} \text{ex : } H = 3 \text{ kHz, } N=2 & \Rightarrow D_{\max} = 6000 \text{ bits/s} \\ H = 3 \text{ kHz, } N=4 & \Rightarrow D_{\max} = 12000 \text{ bits/s} \end{array}$$

⇒ **Capacité de transmission** : d'après Shannon, la capacité maximale sur une ligne bruitée (par un bruit blanc) **$C = H.\log_2(1 + \text{puissance_Signal} / \text{puissance_Bruit})$ bits/s**

Attention : c'est un maximum Théorique, jamais atteint en pratique du fait d'un taux d'erreurs non nul.

2.4. Conclusion



⇒ Le support de transmission doit être parfaitement connu pour qu'on puisse adapter les signaux à transmettre aux caractéristiques de ce support.

⇒ C'est l'adéquation entre les caractéristiques des supports et les besoins relatifs à ce que l'on veut transmettre, qui guide le choix

- d'un support ou d'un autre
- des techniques de transmissions et d'encodage des bits

⇒ On cherche généralement à avoir les capacités de transmissions les plus élevées possibles ⇒ on cherche un support avec une grande bande passante, et supportant des fréquences élevées

⇒ Quand la BP est assez élevée, on peut avoir 2 types de transmissions :

- ① **BANDE de BASE** ou **BASE BAND** (basses fréquences) : les signaux les **mieux adaptés** sont de type numérique ("à échelon")
- ② **LARGE BANDE** ou **BROAD BAND** (hautes fréquences) : les signaux les **mieux adaptés** sont de type sinusoïdal, encore dit ANALOGIQUE

remarque : signaux sinusoïdaux → aussi utilisables en bande de base

■ 3. Transmission ANALOGIQUE (dite aussi "large bande", BROAD BAND)



3.1. Principe de base : utilisation de signaux sinusoïdaux + modulation

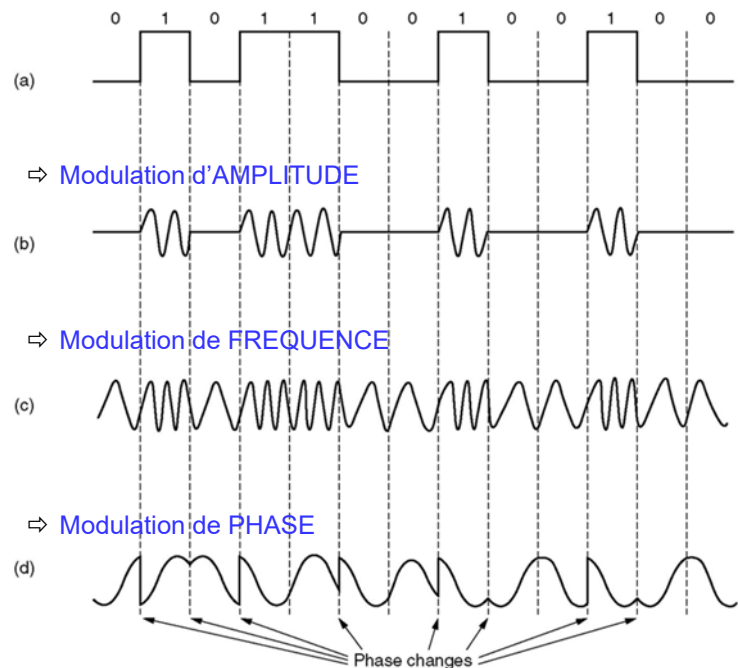
- ① Le signal utile (numérique ou analogique) **module** une "fréquence porteuse" (F_p , aussi dite fréquence de "référence") qui sert à transporter l'information du signal utile

- ② \Rightarrow spectre du signal utile décalé

\Rightarrow permet :

- de "caler" la bande passante du signal utile dans la bande passante du support
- de partager le même support pour plusieurs communications en les situant dans des plages de fréquences différentes
- d'offrir souvent une meilleure protection au bruit

Très utilisé dans transmission sur voies téléphoniques et voie hertzienne.



3.2. Les différents types de modulation : **ASK**, **FSK**, **PSK** (« SK » = Shift Keying)

- \Rightarrow **Modulation d'AMPLITUDE** de la porteuse par l'amplitude du signal utile : **ASK**

- 0 et 1 logique de l'information utile \rightarrow traduits en variations d'amplitude
 - 0 logique codé par un seul niveau d'amplitude max (ex. : 0 Volts)
 - 1 logique codé par un seul niveau d'amplitude max (ex. : 5 Volts)
- Largeur de bande du signal modulé : 2 fois celle du signal utile [$F_p \pm B_{\text{signal utile}}$].
- Très sensible aux perturbations affectant l'amplitude (celles électromagnétiques)
- Utilisation : télédiffusion et radio ondes moyennes (AM et MW : 500 à 2000 kHz)

- \Rightarrow **Modulation de FRÉQUENCE** de la porteuse : **FSK**

- 0 et 1 logique de l'information utile \rightarrow traduits en variations de fréquences
 - 0 logique codé par une fréquence F_1
 - 1 logique codé par une fréquence F_2 (différente)
- Largeur de bande \gg à celle en ASK et PSK (car utilise 2 fréquences porteuses)
- Très sensible aux perturbations affectant la fréquence (atténuation, dérives)
- Utilisation : surtout transmission de signaux utiles analogiques (ex : radio diffusion, télédiffusion, multiplexage voies téléphoniques), limitée à de faibles débits pour signaux numériques (car besoin de grande BP)

- \Rightarrow **Modulation de PHASE** de la porteuse : **PSK**

- 0 et 1 logique de l'information utile \rightarrow traduits en variations de phases
 - 0 logique codé par une phase (ex. : 0)
 - 1 logique codé par une autre phase (ex. : π)
- Largeur de bande : plus petite qu'en FSK
- Très sensible aux perturbations affectant la phase (dérives, diaphonie)
- Utilisation : surtout transmission signaux numériques, et débits moyens pour voies téléphoniques et faisceaux hertziens

- \Rightarrow **Modulation combinée linéaire** : modulation d'amplitude et de phase

■ 4. Transmission Numérique (dite aussi "bande de base", BASE BAND)



4.1. Principe de base

⇒ Transmission "directe" de signaux NUMÉRIQUE ("à niveaux") représentant les 0 et 1 LOGIQUES

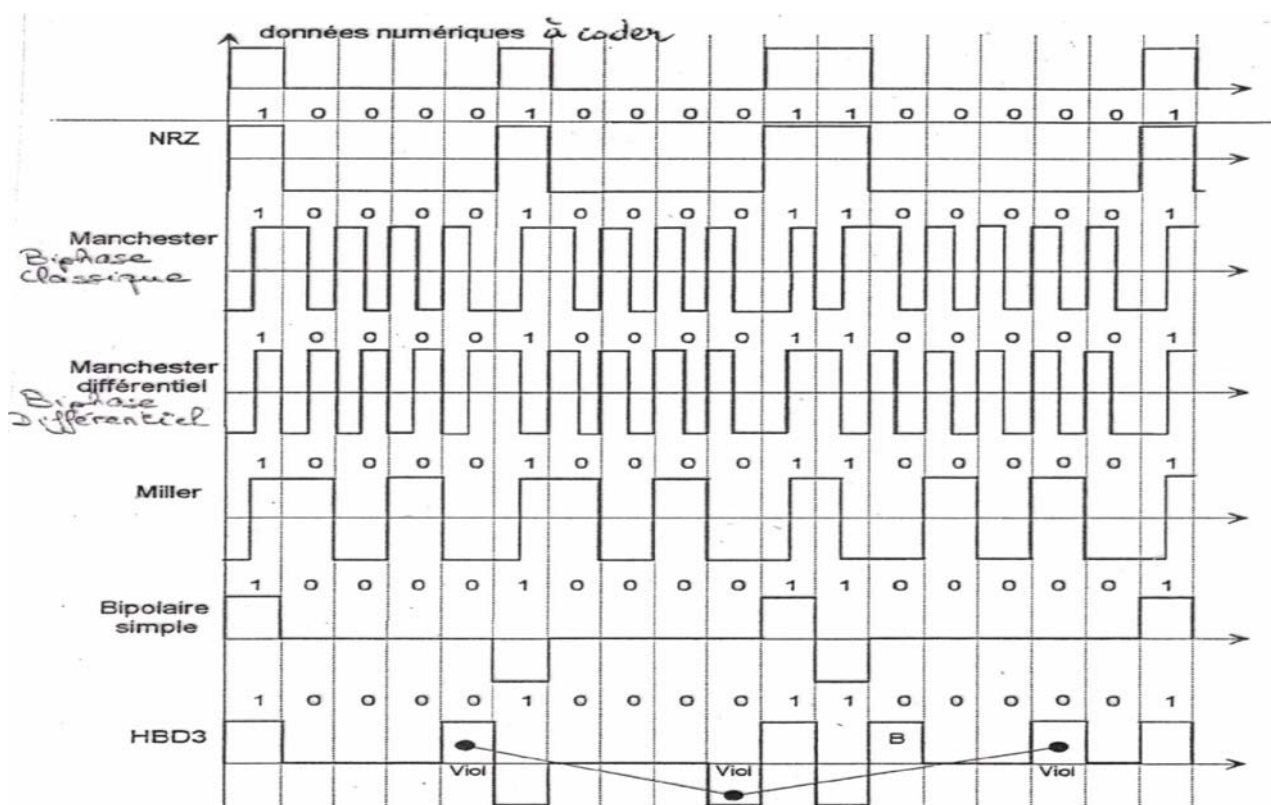
⇒ Avantages :

- certaines performances plus élevées qu'en analogique (ex : débits)
- équipements moins cher : ETCD = simple connecteur (plus de MODEM car plus de modulation)
- pas d'accumulation des distorsions dues aux lignes et multiplexage

⇒ Problèmes :

- ① **Sensibilité plus forte aux "déformations"** ⇒ technique limitée à de petites distances (quelques dizaines de km)
- ② **Besoin d'un codage numérique** : l'envoi "direct" de niveaux 0 et 1 ⇒ signal correspondant avec un spectre de fréquence autour de $f=0$ ⇒ signal mal transmis et de plus on ne peut pas décaler la bande passante
⇒ **transformer ce signal en le "codant" pour pouvoir décaler son spectre**
- ③ **Besoin de Synchronisation bit** : le récepteur doit **appréhender** et **échantillonner** les bits un à un, à un rythme compatible au rythme auquel ils ont été émis ⇒ l'horloge du récepteur doit être calée sur celle de l'émetteur, pour permettre au récepteur **d'échantillonner** correctement ce qu'il reçoit ⇒ transporter l'horloge de l'émetteur vers le récepteur, qui doit la recalculer "assez" souvent : l'horloge est reçue avec un retard, et de plus une horloge dérive toujours (préréglage impossible)

4.2. Exemples de codage d'une suite logique de bit en signal NUMERIQUE



4.3. Synchronisation bit : comment synchroniser émetteur et récepteur ?



Transmettre des "transitions" "assez souvent"

a) Horloge intégrée dans les données utiles

- ⇒ Principe : utiliser des codages avec transitions (changement de valeurs "régulièrement" dans le code d'un bit) → **code dit "self clocking"**
- ⇒ La lecture du signal est suffisante au récepteur pour se resynchroniser sur l'émetteur.
- ⇒ La détermination de la valeur de l'horloge peut se faire à chaque bit

b) Horloge séparée des données utiles → 3 techniques : synchrone, asynchrone, asynchrone synchronisé

① Synchrone : une ligne particulière d'horloge

- 1 ligne de données + 1 ligne d'horloge
- seulement pour de courtes distances

② Asynchrone : des "fanions" particuliers pour "encadrer" les données utiles

- **fanion** = suite particulière de bits qui ne se retrouvera alors pas dans la suite de bits correspondant aux données utiles à transmettre
- **"bit START"** = suite de bits, utilisée pour signaler le début d'un message, et qui contient nécessairement une ou plusieurs transitions,
- **"bit STOP"** = suite de bits, utilisée pour signaler la fin d'un message.
- La détermination de la valeur de l'horloge ne se fait plus qu'en début de message

③ Asynchrone Synchronisé : bits de start et stop + bits de BOURRAGE



- **BOURRAGE (bit stuffing)**: calcul et insertion de bits tels que ces bits introduisent **une transition** dans la suite de **bits de données utiles**, chaque fois qu'une suite de bits sans transition est trop longue.
- De plus, le message est encadré par des fanions.
- Ex de bourrage : insérer un bit "contraire" tous les 5 mêmes bits
 - * si le message à émettre contient la suite 111111, l'émetteur insère un 0 après le 5^{ième} bit
 - * le récepteur, élimine du message tout 6^{ième} bit après une série de 5 bits identiques
- Remarque : même en l'absence de message à transmettre, on peut transmettre les fanions pour continuer à synchroniser le récepteur
- La détermination de la valeur de l'horloge se fait en début de message et au moins à chaque bit de bourrage
- La fréquence d'échantillonnage du récepteur est souvent prise comme un multiple de l'horloge de l'émetteur

4.4. Codage et principaux codes numériques

a) Buts codage

- ⇒ Minimiser ou annuler la composante continue
- ⇒ Optimiser l'utilisation de la bande passante + s'adapter au support par transposition du spectre
- ⇒ Assurer un maximum de transitions pour transporter l'horloge au récepteur
- ⇒ Faciliter la détection d'erreurs
- ⇒ Choix d'un codage
 - adéquation entre la bande passante du support et le spectre du signal encodé : pour des codes à transitions dans les bits, la fréquence du signal est un multiple de la fréquence du signal non encodé (celui sous forme de bits)
 - sensibilité au bruit
 - transport de H
 - ...
- ⇒ On peut classer les techniques de codages selon différents critères :
 - nombre de niveaux : 2, 3, ...
 - retour à zéro ou non
 - codage bit par bit (appliqué à un flot de bits) ou par blocs de bits
- ⇒ On notera la durée d'un bit = T_b

b) Codage bit par bit



① NRZ : Non Return to Zero

- Principe : sur sa période T_b , un bit est codé **en ABSOLU** par un seul Etat (E_T Volt) → il n'y pas de "passage à zéro" au cours de la durée d'un bit. Par exemple :
 - 0 logique codé par un niveau faible : -A Volts
 - 1 logique codé par un niveau élevé : +A Volt
- Signal de densité spectrale avec un maximum de puissance situé autour de la fréquence nulle, qui
 - est très mal transmise un support
 - ne peut être transposée et ainsi adapter le signal à la nature du support)
- Pas de transition dans un bit ⇒ pas de transition dans les suites de bits identiques (...0000000... ou ...1111111 ⇒ des dérives entre émetteur et récepteur car ils ne transportent :
 - pas l'horloge ⇒ risque de désynchronisation temporelle du récepteur
 - pas bien la différence entre niveaux fort et faible de potentiel

② NRZI : Non Return to Zero Inverted (non retour à zéro et mode "différentiel")

- Principe : sur sa période T_b , un bit est codé **en RELATIF** par un seul Etat (E_T Volt) mais dont la valeur dépend de la valeur sur la **période précédente (mode différentiel par rapport à la période précédente)**. Ex. :
 - 0 logique codé par : $E_T = -E_{T-1}$
 - 1 logique codé par : $E_T = E_{T-1}$
- ✚ : limite les problèmes des suites de bits identiques : seuls les suites de 1 posent problème
- : densité spectrale similaire au NRZ

③ Biphase Cohérent (Manchester 1) = "ou exclusif" entre signal d'horloge et code NRZ

- Principe : sur sa période, un bit est codé en **ABSOLU** par 2 états \Rightarrow tous les bits contiennent une transition d'état :
 - 0 logique codé par 2 valeurs : +A Volts sur sa 1ère 1/2 période -A sur sa 2ème 1/2 période
 - 1 logique codé par 2 valeurs : -A Volts sur sa 1ère 1/2 période +A sur sa 2ème 1/2 période
- + : puissance maximale à une fréquence non nulle et valeur moyenne nulle
- + : pas de problème des suites de bits identiques : transitions systématiques (dans chaque bit) \Rightarrow transmission régulière de l'horloge au récepteur
- + : la détection de l'absence de transition dans un bit permet de détecter un erreur
- + : bonne résistance au bruit
- : nécessité de doubler la bande passante du support par rapport au NRZ à débit équivalent

④ Biphase Différentiel (Manchester 2) : "ou exclusif" entre signal d'horloge et code NRZI

- Principe : sur sa période, un bit est codé en **RELATIF** par 2 états dont la valeur dépend de celle de la dernière demi-période précédente
 - 0 logique codé par 2 valeurs :
 - sur sa 1ère 1/2 période : valeur inverse de celle de sa demi période précédente
 - 1 logique codé par 2 valeurs :
 - sur sa 1ère 1/2 période : valeur égale à celle de sa demi période précédente
- \Rightarrow un bit 0 contient deux transitions, et un bit 1 contient une transition.

⑤ Code de Miller : de type Manchester 1, mais en ne gardant qu'une transition sur 2

- + : spectre plus étroit que celui du Manchester



⑥ Autres codes : codes bipolaires même avantages que code de Miller

- Basés sur l'utilisation de trois niveaux : -A, 0, A \rightarrow spectre plus étroit que celui du Manchester
- **Bipolaire** simple, bipolaire d'ordre 2, bipolaires à haute densité (BHD, ou HDB \rightarrow High Density Bipolar) \rightarrow utilise des suites spéciales de -A, 0, A pour coder les longues suites de 0 \rightarrow si la suite de remplissage est formée de n+1 symboles \rightarrow code d'ordre n.
- **Hdb3** : utilise les symboles 0, B et V, avec B = -A si le dernier symbole non nul est +A et B = +A si le dernier symbole non nul est -A, et V est identique au dernier symbole non nul, ce qui donne 2 suites possibles :

c) Codage par blocs

- \Rightarrow Principe : coder un bloc de n bits, par une combinaison de m niveaux ($m < n$)

blocs de 4 bits	séquence de codage 4B/3T
0000	+A +A +A
0001	+A +A 0
0010	+A 0 +A
....	
1111	0 -A -A

c) Précodage

- \Rightarrow Remplacer un bloc de bits logiques par un autre bloc de bits logiques, tels qu'il y ait nécessairement au moins une transition dans le nouveau bloc.
- \Rightarrow Ex. : 4B/5B, 8B/10B

■ 5. Matériel de connexion au support et interface avec la couche 2



5.1. Les MODEMS (**MO**dulation - **DÉ**Modulation)

⇒ appareil de connexion sur la ligne de transmission pour faire des TRANSMISSIONS ANALOGIQUES (généralement pour des conversions numérique-analogique, mais peut aussi faire des conversions analogique-analogique)

⇒ caractéristiques définies par les recommandations V de l'ITU

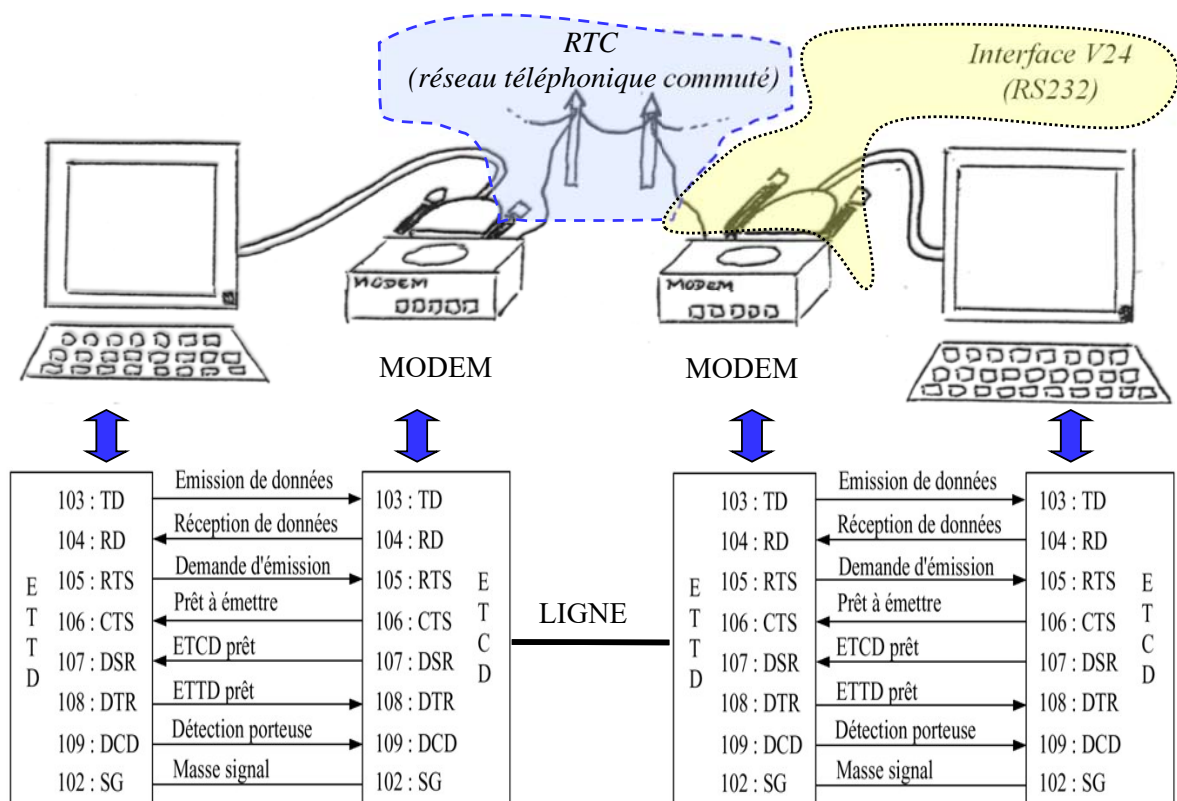
⇒ Ensemble de recommandations V21 ... V37 respectant toutes les recommandation d'interface logique V24, qui définit

- les numéros de circuits (de 101 à 134 puis 200 ...)
- les enchaînements de signaux nécessaires pour la transmission **entre l'ETTD et l'ETCD**

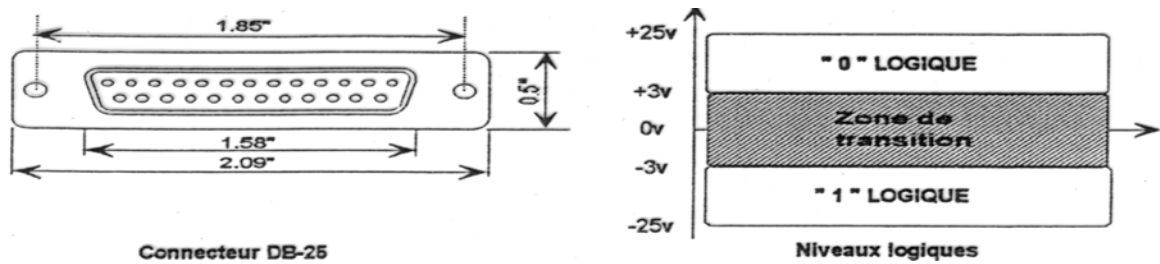
⇒ débits binaires normalisés sur les lignes téléphoniques :

- en transmission asynchrone : 300, 600 et 1200 Bits/s
- en synchrone : 1200, 2400, 4800, 9600, 12000 14400 ... 72000 Bits/s

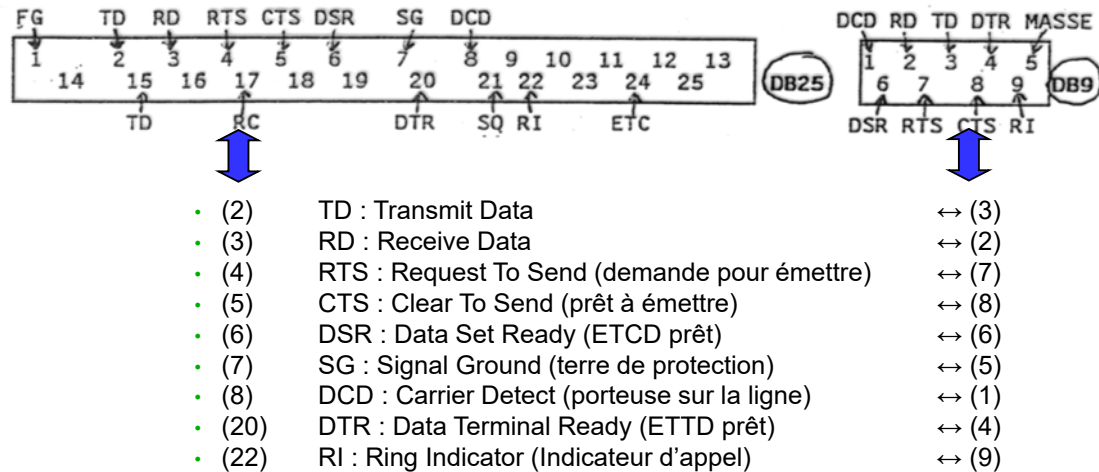
⇒ « Position » des modems



⇒ Norme V24 : relations entre les niveaux logiques et les niveaux électriques



⇒ Norme V24 : Correspondances de brochage entre connecteurs DB25 et DB9



5.2. Matériel : CODEC (COdeur/DÉcodeur)



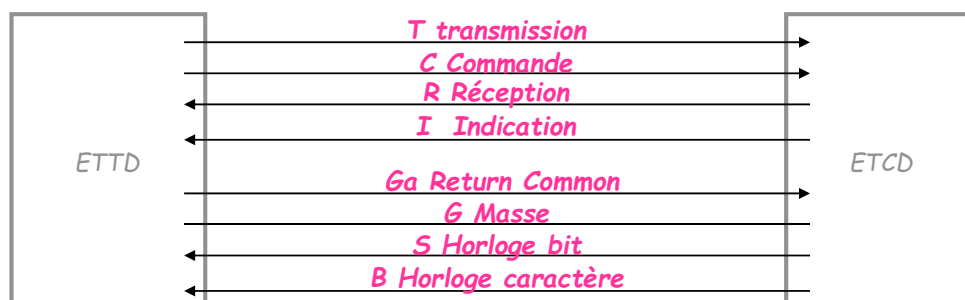
⇒ appareil de connexion sur la ligne de transmission pour faire des TRANSMISSIONS NUMERIQUES à partir de signaux analogiques (conversions analogique-numérique)

5.3. Recommandation X21

⇒ recommandation décrivant une interface ETTD-ETCD pour des transmissions **synchrones** sur un réseau public et orienté transmission de caractères codés CCITT n°5 (code sur 7 bits, mais pas de l'ASCII)

⇒ n'utilise que 4 circuits pour la transmission de données (+ circuits de terre, horloge, ...)

⇒ connecteurs de 15 broches





■ 6. Sens de transmission : 3 configurations possibles

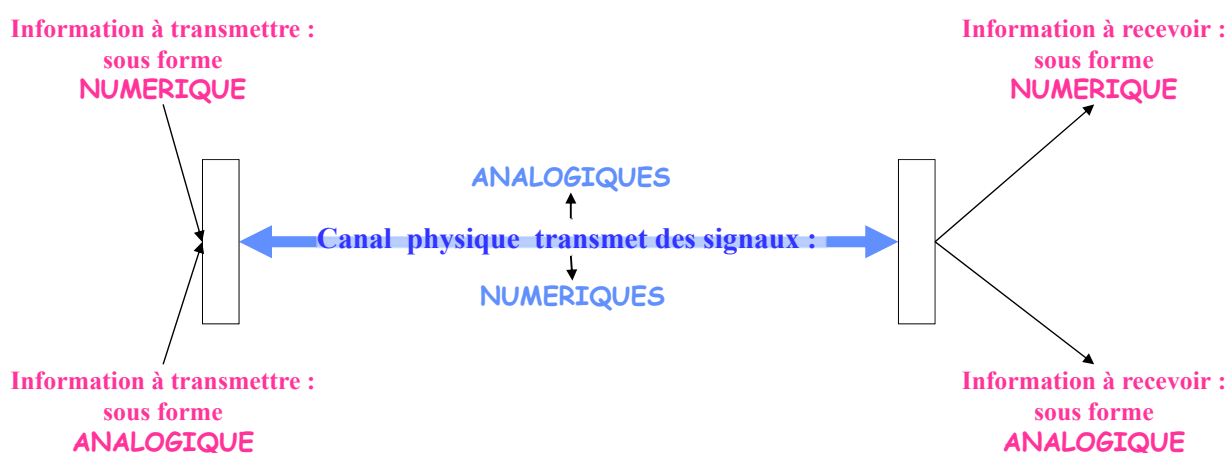
- ⇒ **Unidirectionnel (SIMPLEX)** : transmission toujours dans le même sens
ex : diffusion de la télé
- ⇒ **Bidirectionnel à l'alternat (Half Duplex)** : transmission soit dans un sens, soit dans l'autre, mais jamais dans les 2 simultanément
ex : de plus en plus rare, justifié par une contrainte "d'économie" en support (1 coaxial ou 1 paire, mais 2 fibres optiques)
- ⇒ **Bidirectionnel** : transmission simultanément dans les deux sens
ex : le plus courant, toujours possible en y mettant les "moyens" au niveau du support (1 coaxial ou 2 paires avec fréquences d'émission et de réception différentes)

■ 7. Accès au support → Politique de partage du support

Support de transmission = ressource demandée (à partager) par plusieurs utilisateurs
⇒ comment (à qui et quand) attribuer au mieux cette ressource ?

Ce point sera vu dans la présentation de la couche 2.

■ 8. Combinaisons type d'information – type de transmission



Transmission \ Information	Analogique	Numérique
Analogique	<ul style="list-style-type: none"> • Parole sur réseau Téléphonique • Son sur ondes radio • Images télévision sur réseau télédiffusion 	Parole, son ou image en bande de base
Numérique	Données informatiques sur ligne téléphonique, par satellite	Données informatiques en bande de base

