

Chapitre 2 : communications numériques.

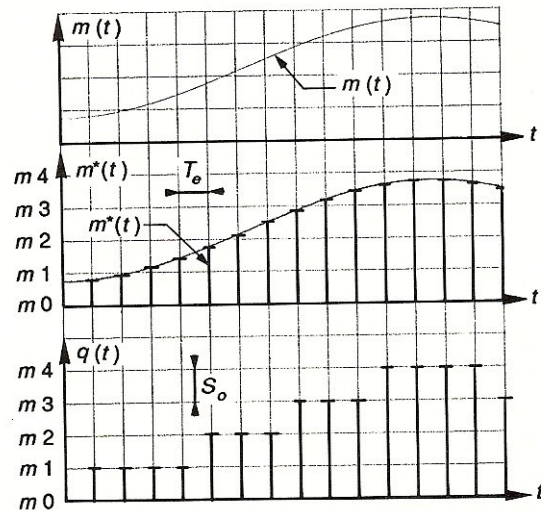
1) généralités sur les communications numériques.

A) production d'un signal numérique : transformation d'un signal analogique en une suite d'éléments binaires notés « 1 » et « 0 » + représentation d'un élément binaire par un signal électrique.

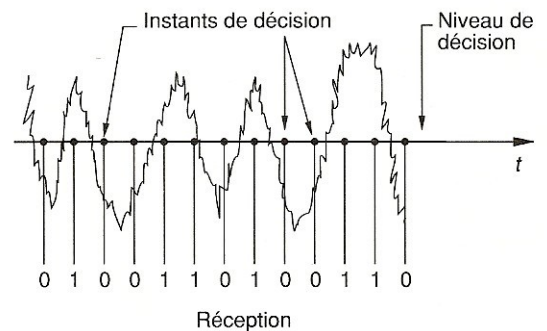
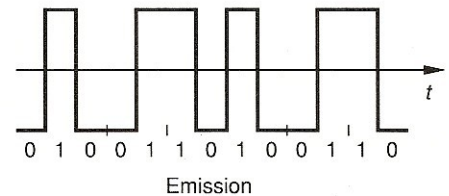
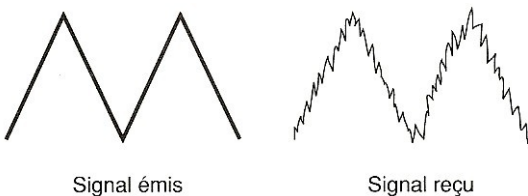
signal analogique

**échantillonnage** + blocage:  
paramètre essentiel : fréquence d'échantillonnage  $f_e = 1/T_e$

**Quantification** :  
paramètre essentiel : quantum :  $S_0$



Comparaison entre une transmission analogique et numérique :



Effets du canal de transmission :

- la bande passante B du canal déforme les signaux.
- un bruit est ajouté au signal transmis.

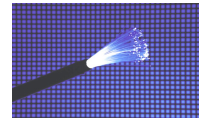
Pour une transmission **analogique** : dégradation du signal qui dépend du canal de transmission et qui est aléatoire.

Pour une transmission **numérique** : si la perturbation liée au canal n'est pas trop importante, le récepteur reconstitue le signal (seuils et instants de décisions corrects !) et les imperfections du canal n'ont pas de répercussion.

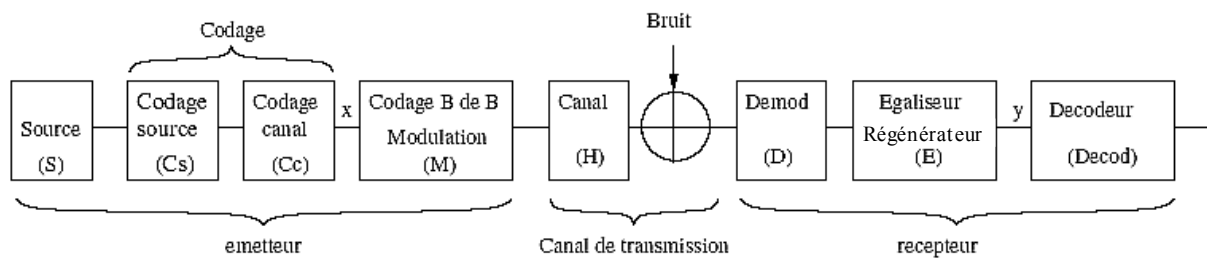
mais : l'échantillonnage apporte une limitation :  $f_e > 2.F_{max}$  donc  $F_{max} < f_e/2$

la quantification apporte un bruit de quantification.

La dégradation est définie une fois pour toute, indépendamment du canal de transmission.



B) schéma général d'une transmission numérique :



Objectif d'une communication numérique : transmettre le maximum de donnée (débit) avec une fiabilité maximale (probabilité d'erreur minimale) avec :

- des limites théoriques (Shannon),
- des contraintes physiques (propagation),
- des contraintes économiques (complexité)

Source : excepté la radio, toutes les communications actuelles sont numériques (TNT, DVB-S, GSM, UMTS, ADSL, ...). Le signal est numérisé et se présente sous forme d'une suite aléatoire de signaux représentant des « 0 » ou des « 1 ».

La source est caractérisée par son débit binaire :  $D = 1/T_b$  où  $T_b$  est la durée d'un bit.  
Le débit binaire est en bits/sec

**Codage source** : on comprime le signal numérique en :

- regroupant les éléments binaires en  $M = 2^n$  symboles (groupes de  $n$  bits en général). La durée d'un symbole est notée  $T_s$  et on a  $T_s = n.T_b$ .

On définit alors la rapidité de modulation  $R$  (débit des symboles) :  $R = 1/T_s = D/n$

- exploite les redondances présentes dans le signal, par exemple la compression MPEG2 pour la vidéo.

**Codage canal** : lutte contre les effets du canal, à savoir :

ajoute des bits de redondance aux symboles pour pouvoir détecter (et corriger à la réception) d'éventuelles erreurs apportées par le canal de transmission.

Exemples : ajout d'un bit de parité, Code de Reed-Solomon (CD, ADSL), codes cycliques (CRC).

Le nombre de bits à transmettre augmentant, le débit symbolique augmente, comme par exemple pour le cas du GSM : 13 kbits/s → 33 kbits/s

**Codage bande de base ou modulation** : n'est pas exactement un codage.

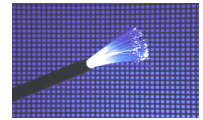
Transmission en bande de base : le signal est transmis sans transposition de son spectre.

On utilise cette transmission sur de courtes distances et avec un fort débit.

Modulation : il y a transposition du spectre du signal autour d'une fréquence porteuse et transmission. Cette opération est effectuée par un modulateur.

A chaque symbole, l'émetteur associe un signal physique adapté au canal de transmission, par ex :

- bande de base : codes NRZ, RZ, Manchester, HDB3, ... (ADSL, signal téléphone, RTC)
- modulation : OOK, FSK, PSK, QPSK, QAM, ...



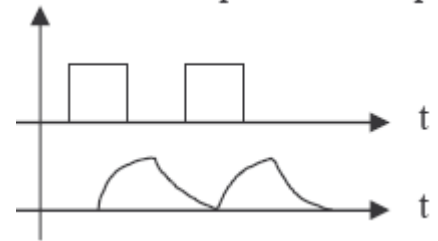
canal de transmission : canal hertzien, lignes filaires (paires torsadées) , cable coaxial, fibre optique, CD,...

Le canal de transmission est caractérisé par :

- sa bande passante et sa réponse impulsionnelle.

Si on place un signal carré en entrée, on observe :

- une atténuation de l'amplitude.
- un déphasage affectant de manière différente chaque harmonique du signal.



- un bruit additif : présent pendant la transmission (propagation, bruit équipements, brouilleurs). Le bruit est caractérisé par sa densité de probabilité, généralement supposé Bruit Additif Blanc ou rose.

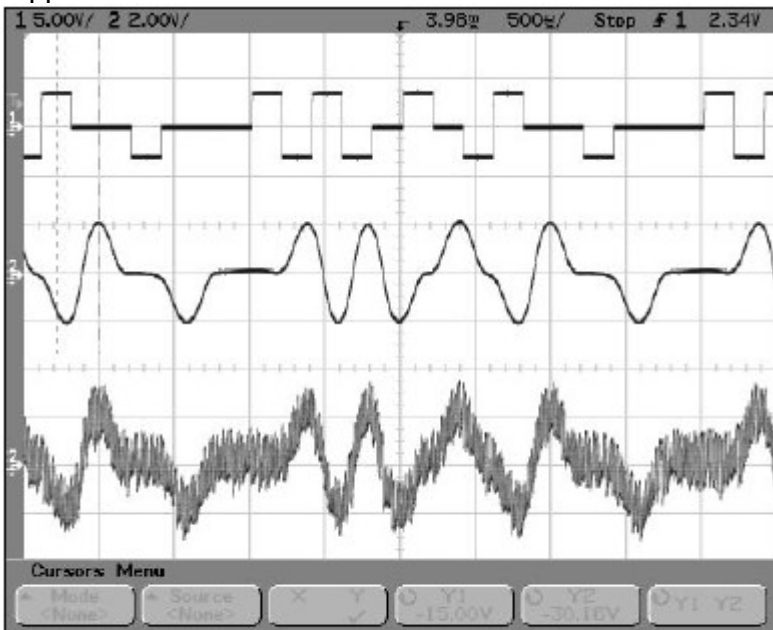
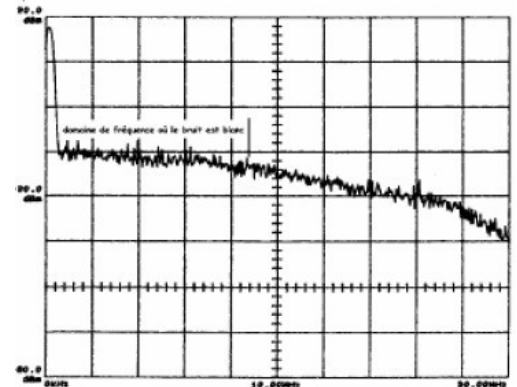
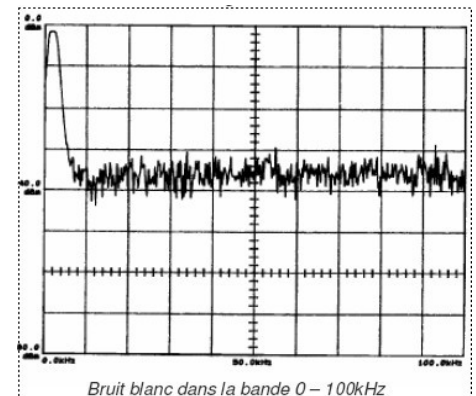
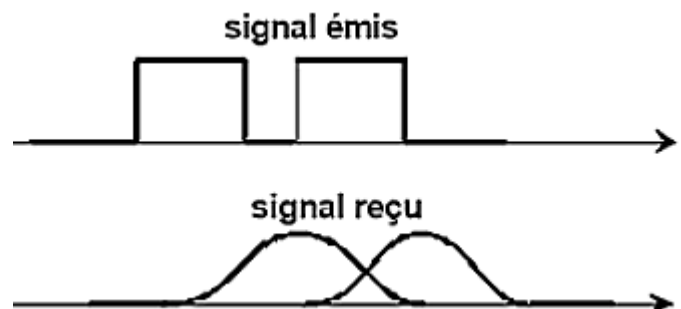


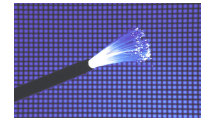
Fig. 15. Signal BNRZ avec un débit de 5kBps, visualisé en entrée de la ligne, puis en sortie de la ligne (bande passante 3.3kHz) non bruitée, et enfin en sortie de la ligne légèrement bruitée.



égalisateur régénérateur : pour lutter contre les bruits présents pendant la transmission (propagation, bruit équipements, brouilleurs). Le récepteur reçoit un signal analogique qui doit lui permettre de retrouver la suite des symboles émis.

Utilité : lutte contre les effets du canal de transmission pour augmenter le débit. (pour éviter l'Interférence Entre Symboles).





décodeur : décodeur de canal et décodeur de source.

Le **décodeur de canal** va détecter et corriger certaines erreurs présentes dans le signal numérique fourni par le récepteur. Le nombre d'erreurs corrigées et détectées dépend du nombre de bits ajoutés au signal informatif lors du codage de canal.

Le **décodeur de source** va décompresser le signal numérique pour retrouver le signal fourni par la source.

La qualité d'une transmission numérique est caractérisée par un paramètre : le **Taux d'Erreur Binaire (TEB)**. La mesure du TEB est réalisée en émettant une séquence de N bits connus du destinataire, puis en comptant le nombre  $n_E$  de bits erronés au niveau

du récepteur : 
$$TEB = \frac{n_E}{N}$$

*En pratique on obtient des TEB qui peuvent aller de  $10^{-3}$  pour le GSM à  $10^{-11}$  pour la télévision numérique.*

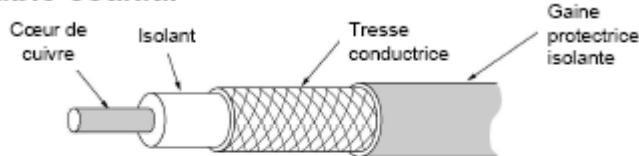
### C) rappels sur les différents canaux de transmission :

Nous pouvons trouver les supports à propagation guidée suivants :

- Les supports cuivre (paires torsadées, câbles coaxiaux, ligne imprimée)
- Les fibres optiques

et les supports à propagation libre : air, vide, ...

#### ■ Câble coaxial



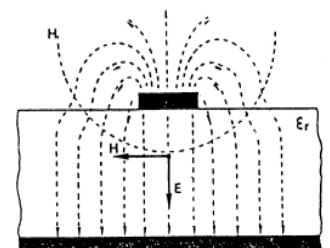
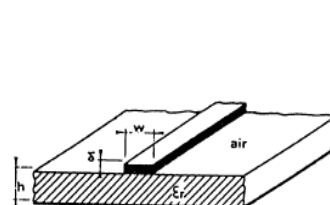
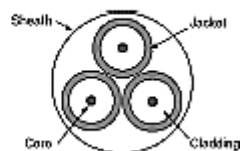
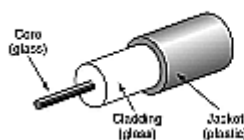
- Bonne résistance aux bruits
- Support encombrant. Télévision et téléphone.
- **10 Base 2** (10MHz sur 200m)
- 100 Base 5 (100MHz sur 500m)

#### ■ Paire torsadée (Twisted pair):



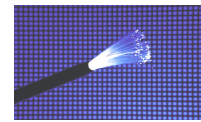
- Cœur de cuivre, blindé (STP) ou non (UTP)
- Pas cher, simple à utiliser
- Téléphone & LAN (prise RJ45)
- **10 Base T** : 10 Mbits/s (200m)
- 100 Base T : 100 Mbits/s (100m)
- 1000 Base T : « Gigabit »

#### ■ Fibre optique



ligne imprimée

- Silice, verre ou plastique ;
- de moins en moins cher, léger ;
- jusqu'à 40 Gbits/s sur de très longues distances (50 - 100km)
- 10 Base F

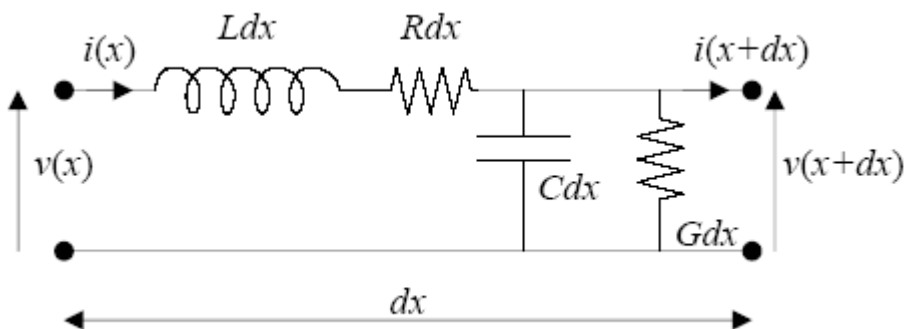


Un support de transmission dénature le signal. Il se comporte comme un **filtre passe-bas**. Il est couramment modélisé par un quadripôle dont les caractéristiques sont :

- La bande passante (BP)
- L'atténuation (distorsion d'amplitude ou de phase) souvent exprimée en dB/m
- L'impédance caractéristique.

Principe des lignes électriques : la longueur des lignes fait que la tension (et le courant) à une abscisse  $x = L1$  ne correspond plus à la tension en  $x = L2 > L1$ . Il y a propagation de l'onde à la vitesse  $v < c$ . Si la ligne est sans pertes, l'amplitude est conservée mais il y a un décalage correspondant au temps de propagation :  $t \longrightarrow (t - x/v)$

On modélise alors un petit tronçon de ligne par :



$L$  : inductance linéique en H/m.

$C$  : capacité linéique en  $\mu\text{F}/\text{m}$ .

et on montre que, si les pertes sont faibles ( $R \approx 0$  et  $G \approx 0$ ) la tension  $v(x)$  satisfait à l'équation des télégraphistes :

$$\frac{d^2 \underline{V}(x)}{dx^2} + LC\omega^2 \cdot \underline{V}(x) = 0$$

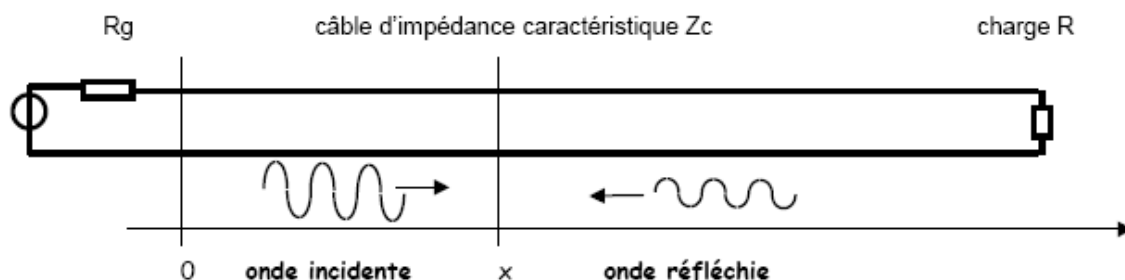
qui a pour solutions :

$$v(x,t) = V_1 \cos(\omega t - kx) + V_2 \cos(\omega t + kx) \quad \text{avec } k = \frac{\omega}{v} \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

signal allant vers les  $x$  croissants :  
onde incidente

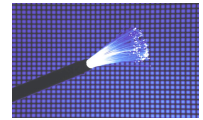
signal allant vers les  $x$  décroissants :  
onde réfléchie

On appelle impédance caractéristique de la ligne la grandeur  $Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$

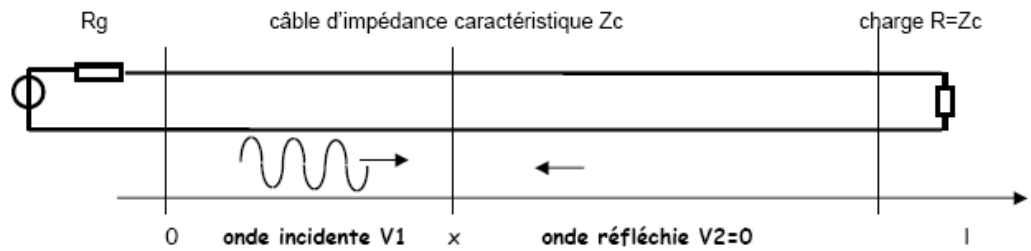


La tension en tout point de la ligne est la somme de deux ondes progressives se propageant en sens contraire.

En général, le signal appliqué à l'entrée d'un câble coaxial va se propager vers la sortie, et une partie de ce signal va se réfléchir sur la résistance terminale et revenir vers la source.



Ligne adaptée :



Ligne désadaptée : l'amplitude de l'onde incidente est donnée par :  $V_2 = \rho \cdot V_1$  avec  $\rho = \frac{R - Z_c}{R + Z_c}$   
 $\rho$  est appelé le coefficient de réflexion.

Cas particuliers :

- $R = 0$  (ligne en court-circuit) :
- $R = \infty$  (ligne ouverte) :

A une distance  $x$  du bout de la ligne la tension s'écrit alors :

$$v(x,t) = V_1 \cdot \cos(\omega t + kx) + r \cdot V_1 \cdot \cos(\omega t - kx)$$

- aux points  $x_0$  où les 2 termes sont en phase, la tension est maximale (ventre) :

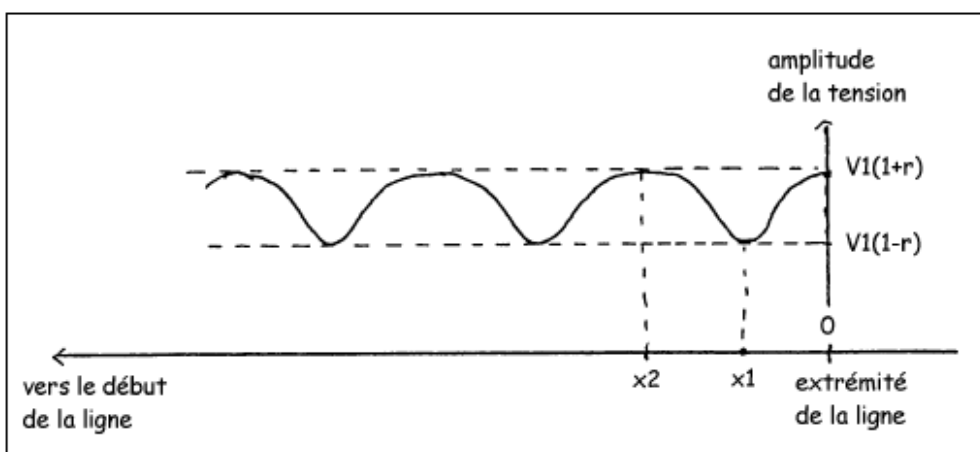
$$V(x_0) = V_1 \cdot (1 + r) \quad \text{supérieure à la tension en entrée}$$

ces points sont caractérisés par :  $k \cdot x_0 = n \cdot 2\pi$  soit  $x_0 = n \cdot \lambda$

- aux points  $x_1$  où les deux termes sont en opposition de phase, la tension est minimale (noeud) :

$$V(x_1) = V_1 \cdot (1 - r) \quad \text{inférieure à la tension d'entrée}$$

ces points sont caractérisés par :  $k \cdot x_1 = (2n + 1) \cdot \pi$  soit  $x_1 = (2n + 1) \cdot \lambda / 2$



On définit alors le Rapport d'Ondes Stationnaires ou ROS de la manière suivante :

$$\text{ROS} = \frac{\text{amplitude maximale}}{\text{amplitude minimale}} = \frac{1 + |r|}{1 - |r|}$$

ROS = 1 si la ligne est adaptée