



**Institut Supérieur du Numérique**

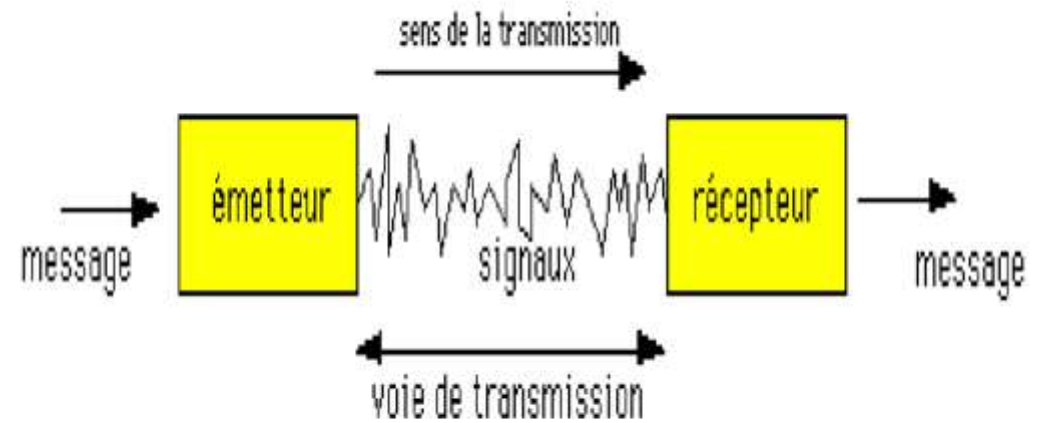
# **COMMUNICATION DANS UN RESEAU**

Année Universitaire: 2024/2025

- Objectif : délivrer l'information et assurer l'intégrité des données transmises en garantissant un certain niveau de qualité de service. Les informations étant de nature:
  - Numérique (discrète): l'information est dénombrables. Exemple, un texte d'une page.
  - Analogique (continue): variation continue d'un phénomène physique : capteur de température, voix.
- Fidélité de la chaîne de transmission: filtrage, conversion analogique/numérique, codage, modulation, ...

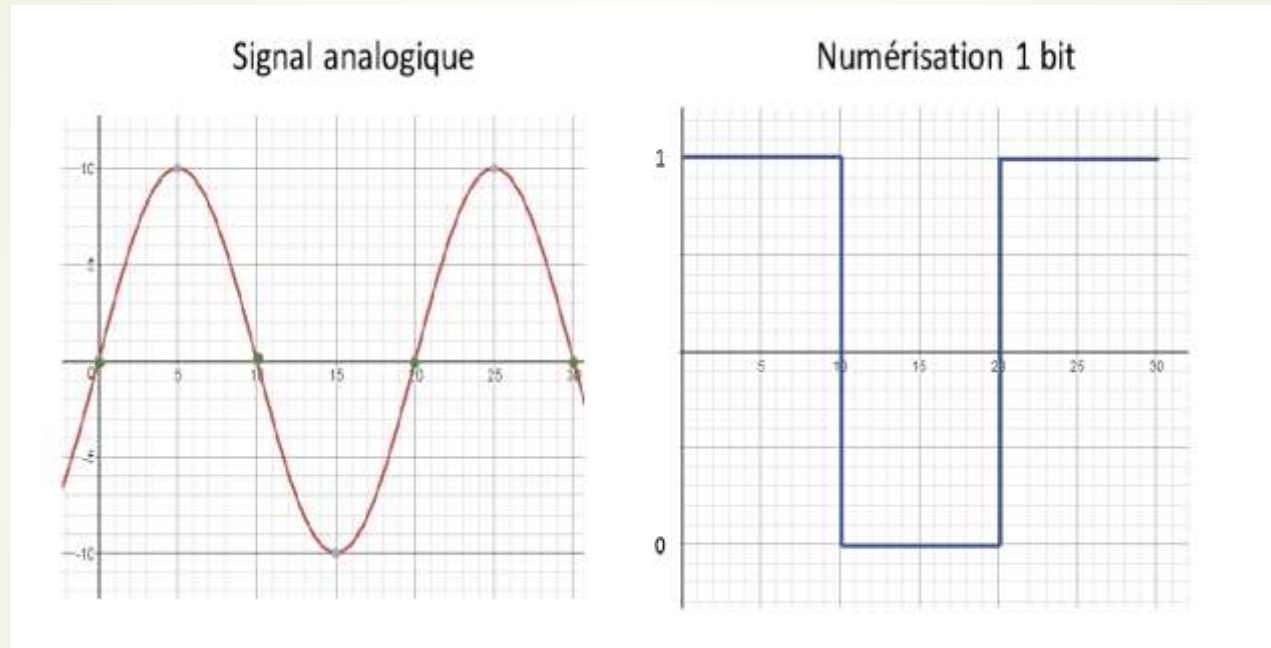
# Principe de la Transmission

- L'information qui transite sur les réseaux de télécommunication consiste en messages de types divers : textes, sons, images fixes ou animées, vidéo, etc....
- Quand ils sont distants l'un de l'autre, l'emploi des réseaux de télécommunication est une manière moderne de résoudre la transmission d'informations.
- Toutefois, pour les nécessités du transport, la transmission d'un message nécessite un encodage en signaux de type électrique ou électromagnétique



# Principe de la Transmission

## Type de Signal

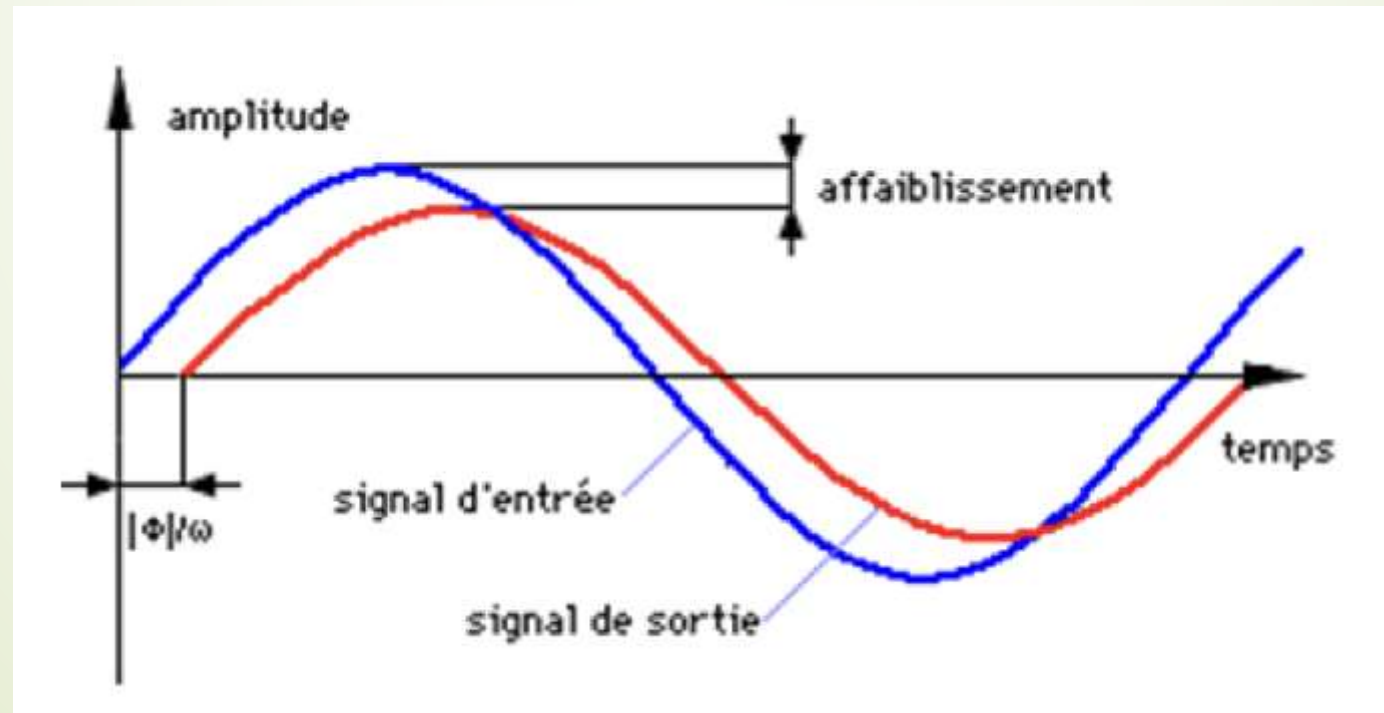


De part ces deux états bien distincts, **le signal numérique** présente l'avantage d'être facilement et fidèlement reproductible. Un signal peut être copié des milliers de fois et restera toujours conforme à l'original. Par contre **le signal analogique** est sensible aux parasites et peut s'altérer dans le temps.

# Principe de la Transmission

## Affaiblissement

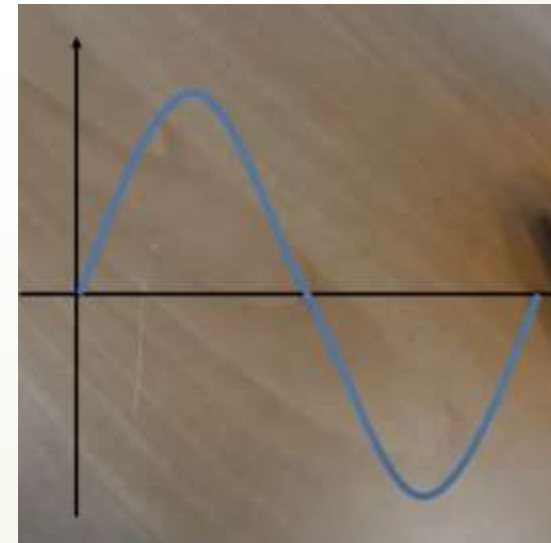
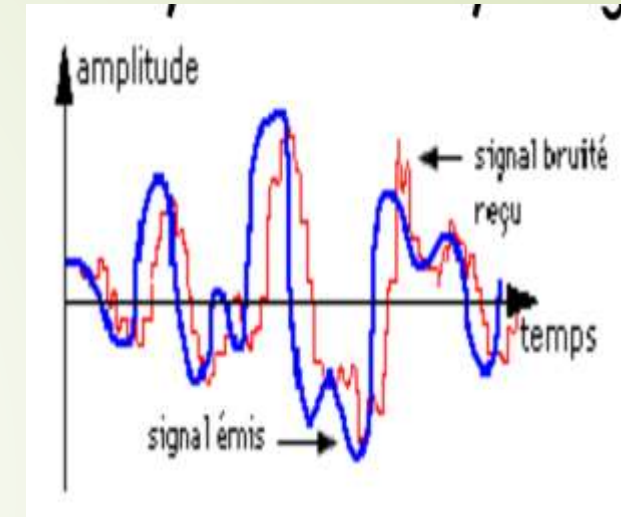
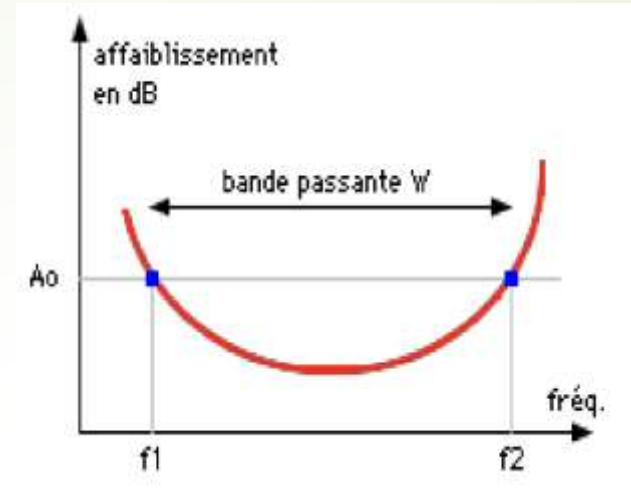
L'affaiblissement  $A$  (parfois appelé atténuation) du signal est le rapport des puissances du signal émis,  $P_e$ , et du signal reçu,  $P_s$ . Chacune des puissances s'exprime en Watts. Toutefois, on préfère utiliser une échelle logarithmique basée sur la définition du décibel :  
$$A = 10 \log_{10}(P_e/P_s) \text{ (en décibels)}$$



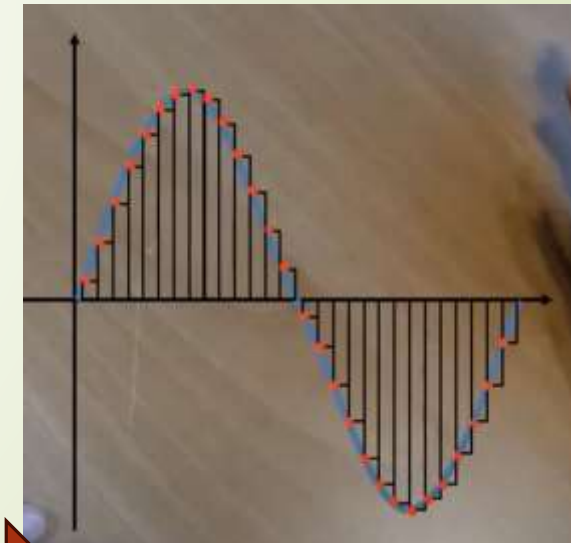
# Principe de la Transmission

6

- Bande passante : le support physique ne peut pas faire circuler toutes les composantes fréquentielles (perte d'énergie). Il se comporte comme un filtre avec un certain gabarit (fréquence de coupure basse et haute). La bande passante est la différence entre les deux fréquences.
- Théorème de Shannon (échantillonnage): pour reconstituer un signal propagé dans un support de bande passante  $B$ , il est nécessaire que la fréquence d'échantillonnage  $f_e \geq 2B$ .
- un symbole: une suite de un ou plusieurs bits.
- Rapidité de modulation: c'est le nombre de changements d'états par seconde  $R = 1/\Delta$  [baud].  $\Delta$  intervalle de temps entre deux changements de niveau.
- capacité de transmission: c'est le débit maximal  $C$  acheminé sur une bande de  $W$  (Hz) est obtenu par le théorème de Shannon:  $C = W \log_2(1 + S/B)$ .
- Le bruit consiste en signaux parasites qui se superposent au signal transporté et qui donnent, en définitive, un signal déformé;
- On distingue 3 types de bruit :
  - bruit déterministe (dépend des caractéristiques du support)
  - bruit aléatoire (perturbations accidentelles)
  - bruit blanc (agitation thermique des électrons)

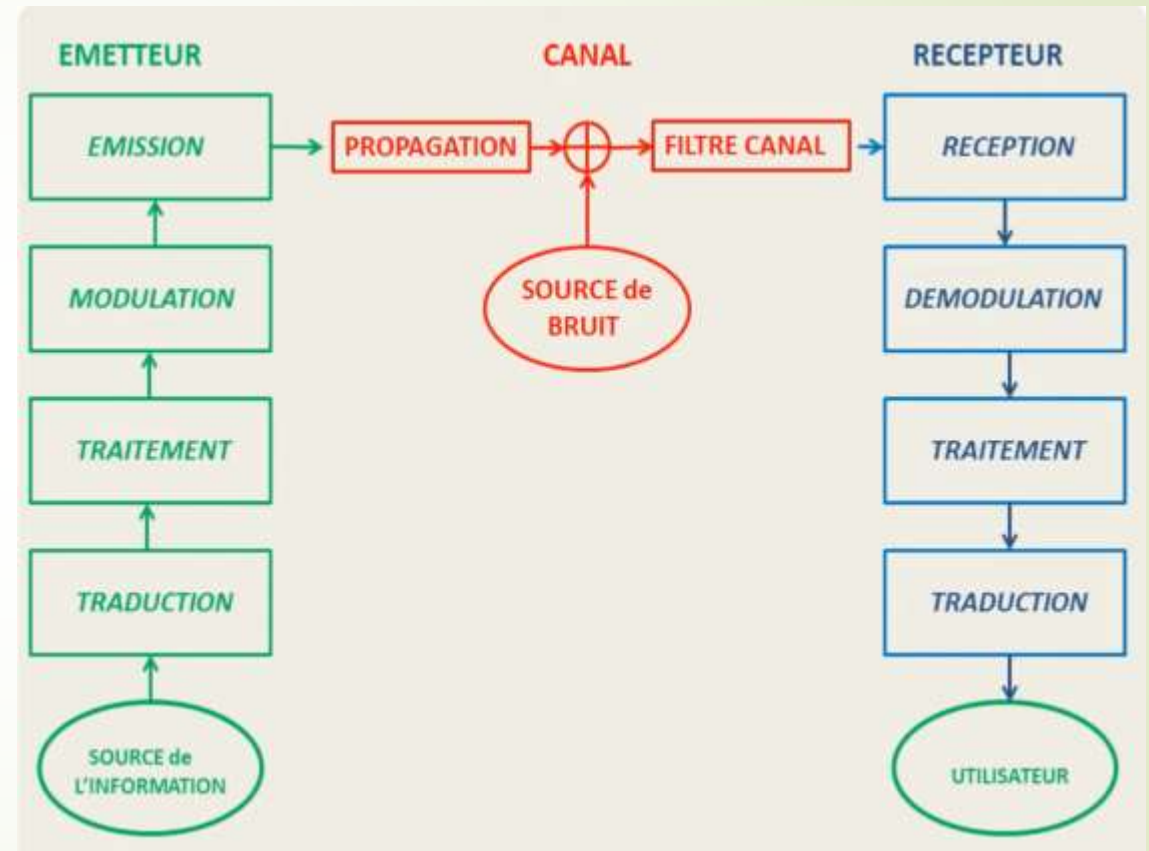
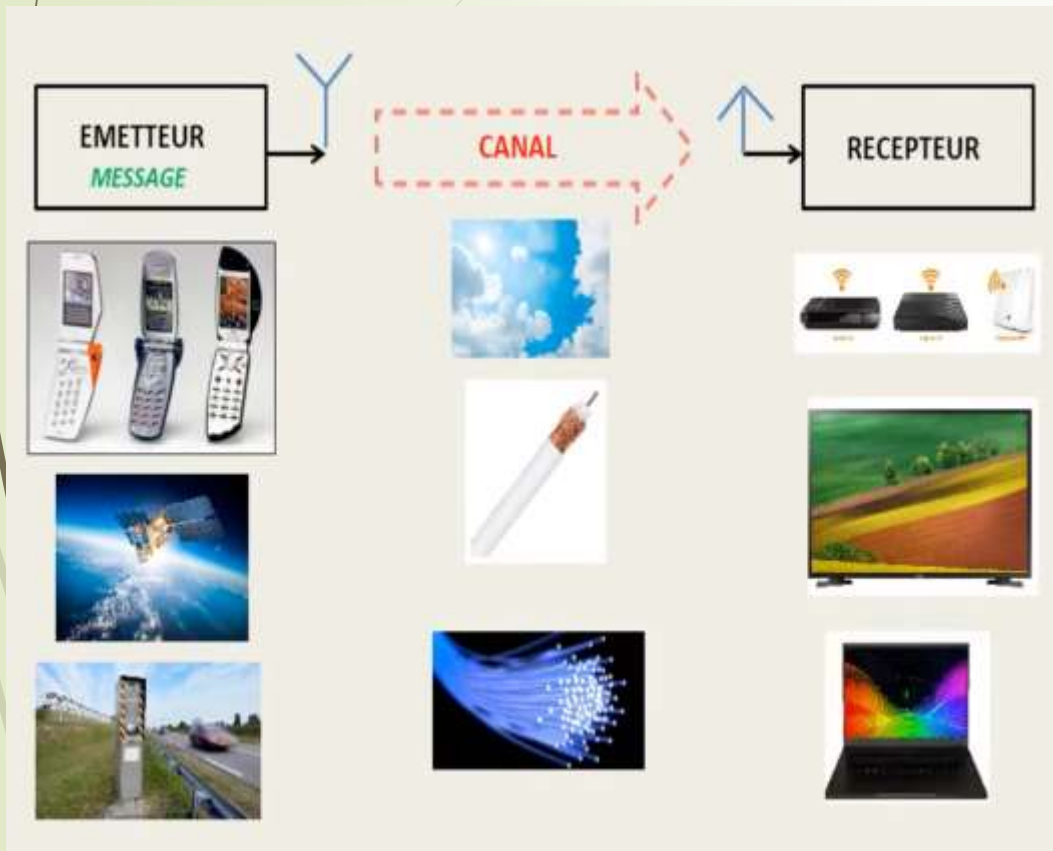


signal original



signal échantillonné

# Structure générale d'un système de transmission



# Structure générale d'un système de transmission

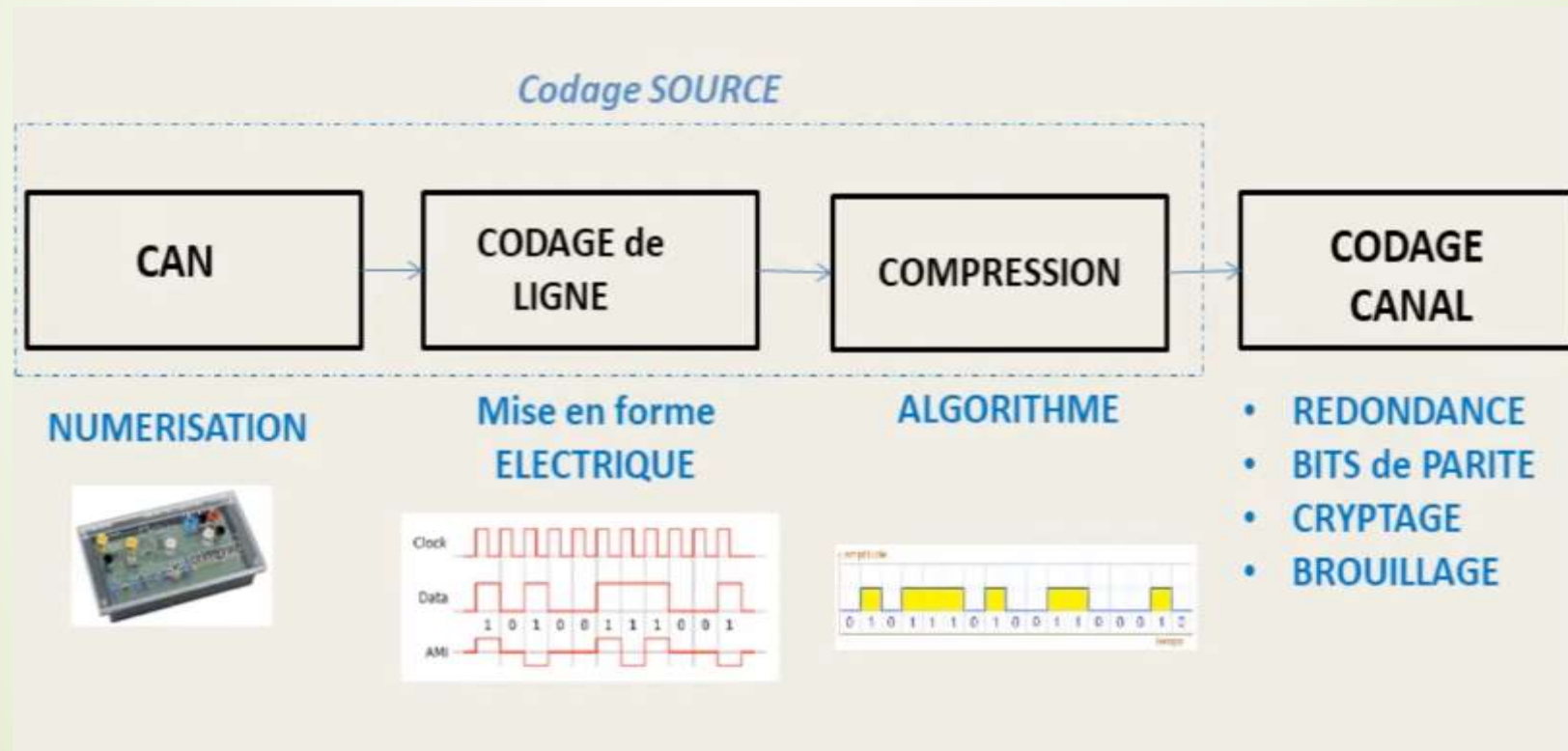
## Structure de l'émetteur



# Structure générale d'un système de transmission

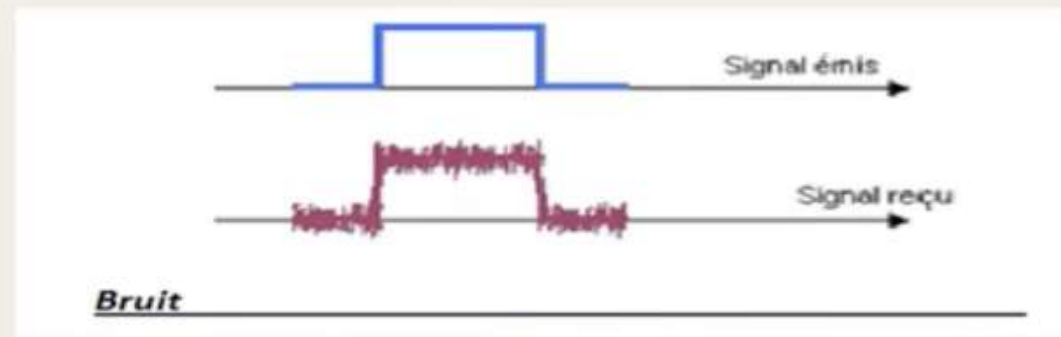
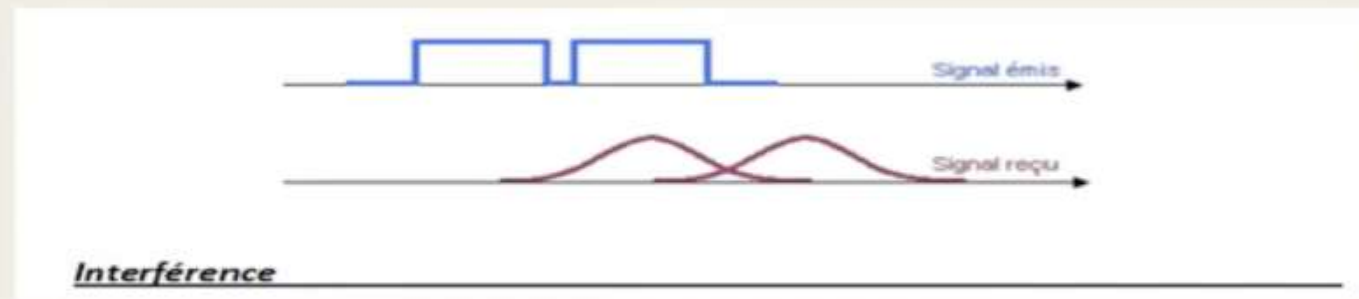
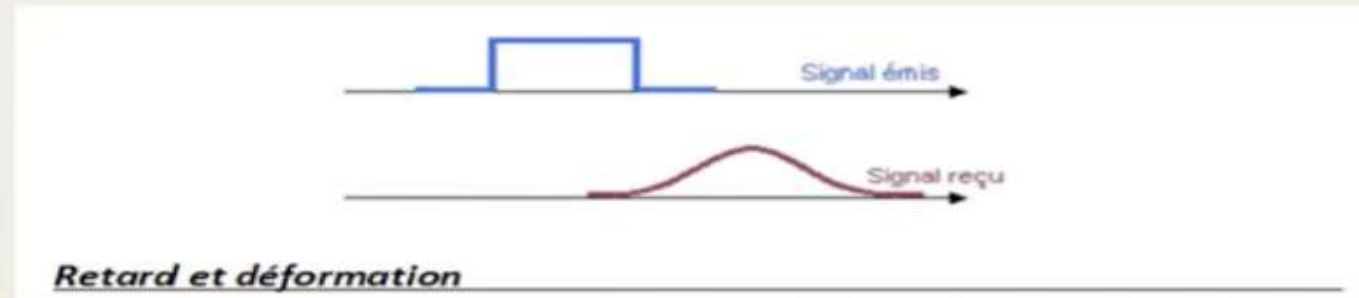
Structure du codeur (codage de source et du canal )

**Objectif : transmettre un message bref et sécurisé**



# Structure générale d'un système de transmission

Effet du canal sur le message



# Transmission en bande de base

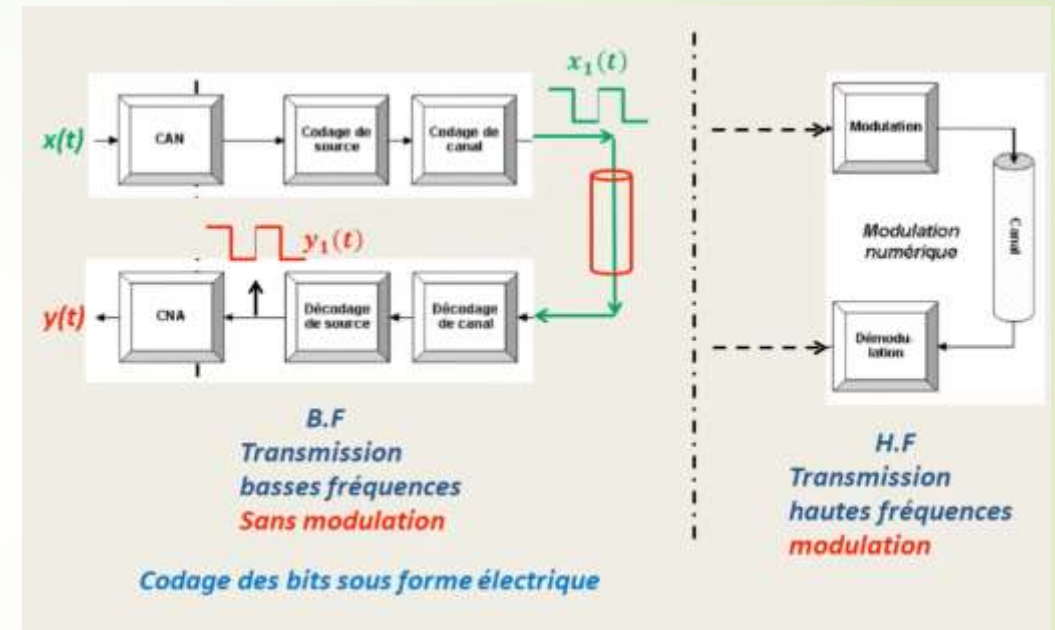
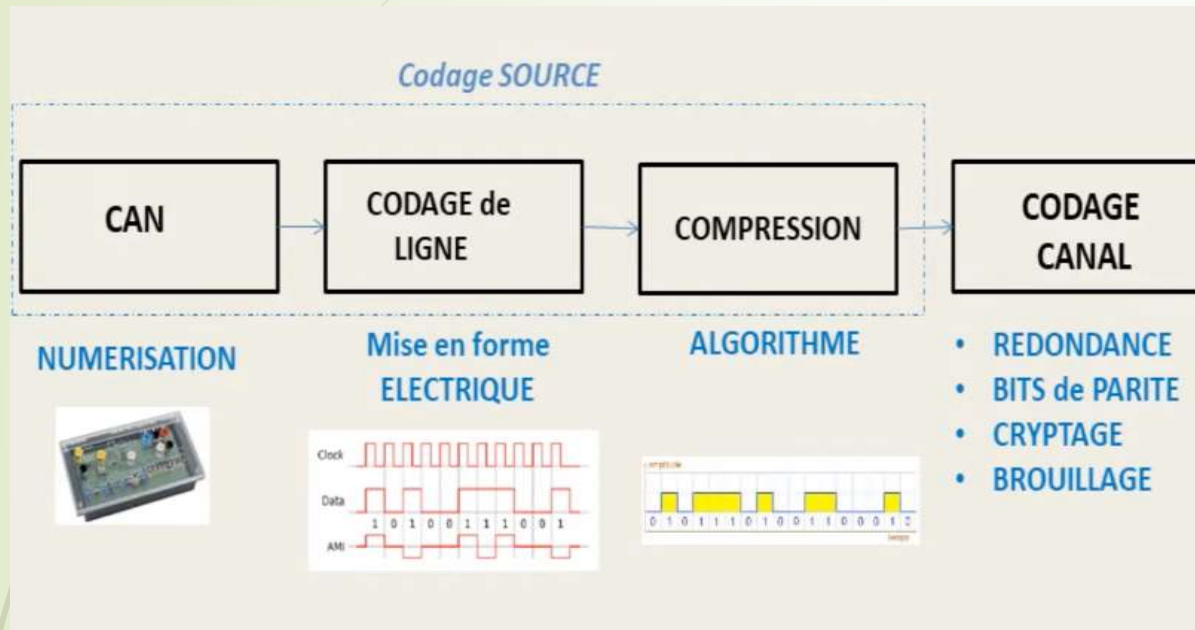
La transmission en bande de base est un mode de transmission où le signal (analogique ou numérique) est envoyé directement sur le canal de communication, sans modulation sur une fréquence porteuse.

## **Exemple de transmission en bande de base :**

1. Réseaux Ethernet (Câblés) : Le signal numérique transmis utilise toute la bande passante du câble pour la transmission.
2. USB (Universal Serial Bus)
3. Communication série (RS-232, UART) : Communication, par exemple, entre un ordinateur et un microcontrôleur via un port série
4. Fibre optique : utilisée , par exemple, dans les datacenters
5. Bus de communication dans les circuits électroniques

# Transmission en bande de base

## Codage source & Codage canal



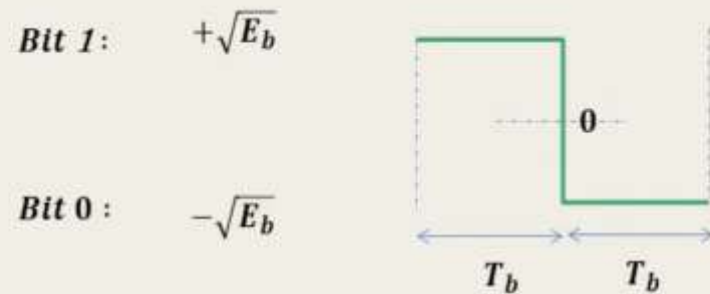
- **CAN** : Convertisseur Analogique/Numérique
- **Codage en ligne** : Le codage du signal optimise la transmission en réduisant les distorsions et en facilitant la synchronisation.
- **Compression** : Réduit la taille des fichiers pour économiser la bande passante et accélérer la transmission.
- **Codage du canal** : Permet de maximiser la quantité d'informations transmises en minimisant les erreurs et en optimisant la bande passante.

- La transmission directe de la suite des symboles binaires n'est pas possible le codage permet d'adapter le signal au support de transmission.
- Le codage du signal optimise la transmission en réduisant les distorsions et en facilitant la synchronisation.

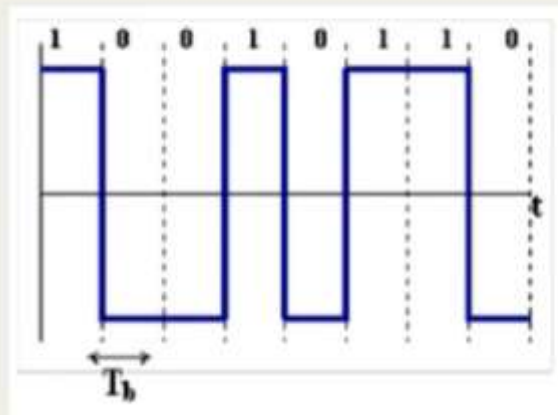
# Transmission en bande de base

## Codage en ligne

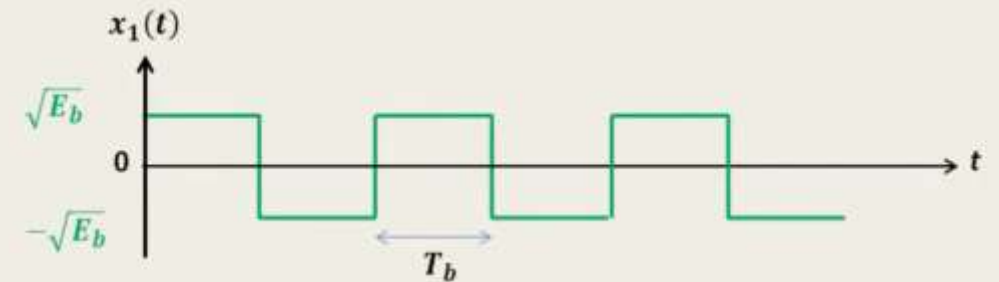
Le code NRZ (No Return to Zero) : le signal binaire est transposé en tension pour éviter les valeurs nulles



Séquence 10010110 :



Spectre du code NRZ  
(Occupation de la bande de base)



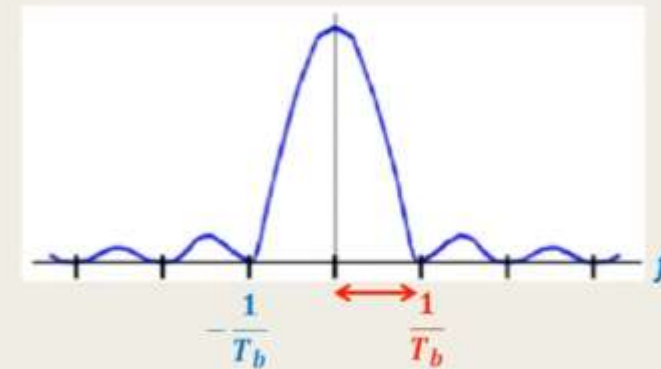
Bits équiprobables ↓ FOURIER

Efficacité spectrale

$$\eta = \frac{\text{Débit}}{\text{Bande}} = \frac{1/T_b}{1/T_b} = 1$$

Composante continue (DC)

$$E[x_1(t)] = \frac{1}{2}\sqrt{E_b} + \frac{1}{2}(-\sqrt{E_b}) = 0$$



# Transmission en bande de base

## Codage en ligne

Le spectre de puissance du signal NRZ est concentré au voisinage des basses fréquences



**mauvaise transmission par le support**

### Avantages :

- ❖ Le codage bivalent procure une bonne immunité aux bruits surtout si l'amplitude entre les deux états est importante.
- ❖ La réalisation de ce type de codage est très facile à mettre en œuvre.

### Inconvénients :

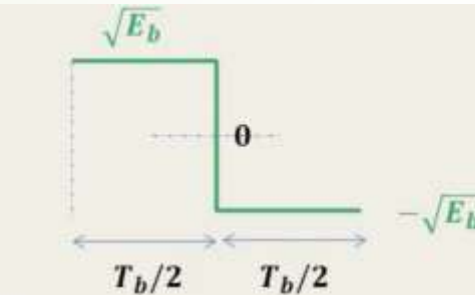
- ❖ C'est le cas le plus défavorable car le signal transmis est composé d'une grande partie de signaux BF (plus de 90%); l'affaiblissement est donc très important.
- ❖ Les longues suites de 0 ou de 1 provoque facilement des pertes d'horloge de synchronisation.

# Transmission en bande de base

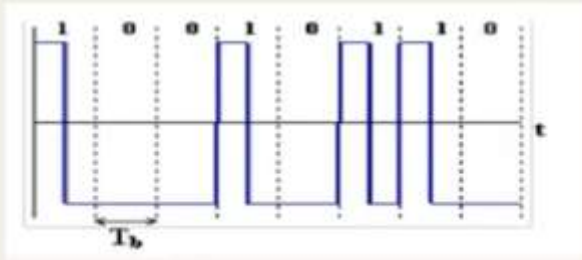
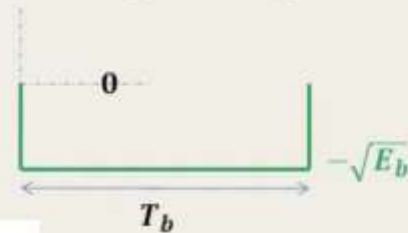
## Codage en ligne

Le code RZ (Return to Zero) :

Bit 1 :  $+\sqrt{E_b}$  durant  $T_b/2$   
 $-\sqrt{E_b}$  durant  $T_b/2$

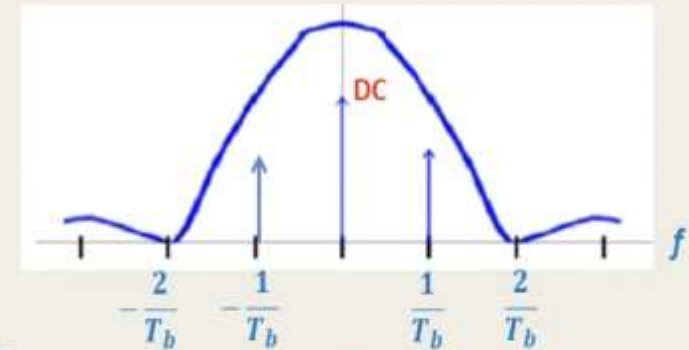


Bit 0 :  $-\sqrt{E_b}$  durant  $T_b$



Il y'a d'autres variantes du code RZ

Spectre du code RZ



Efficacité spectrale

$$\eta = \frac{1/T_b}{2/T_b} = 0.5$$

Composante continue (DC)

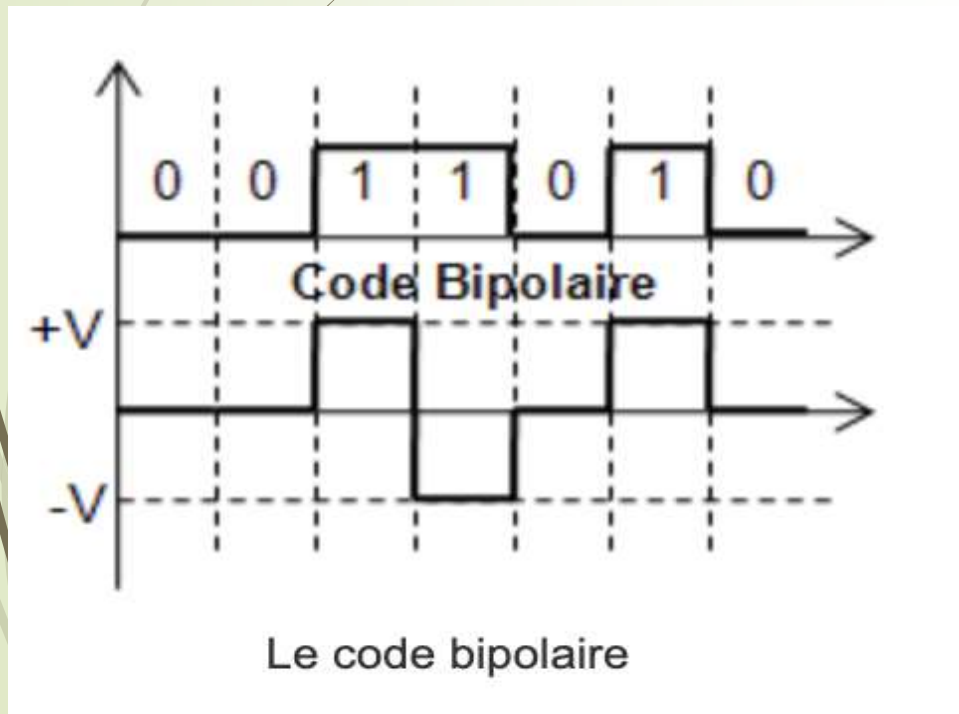
$X_1(f)$  contient la composante  $\delta(f)$

# Transmission en bande de base

## Codage en ligne

**Le code bipolaire :** Le signal est transmis tel que à :

- une donnée à 0 correspond l'état nul de la ligne,
- une donnée à 1 correspond alternativement à l'état positif puis l'état négatif sur la ligne.



### Avantages :

- ❖ Ce codage produit un décalage du spectre de fréquence vers des fréquences plus hautes, ce qui réduit l'affaiblissement
- ❖ Ce codage permet la détection d'erreur sur les bits à 1 à transmettre (suite de deux niveaux positifs ou négatifs)

### Inconvénients :

- ❖ Les longues suites de 0 provoquent encore des pertes d'horloge de synchronisation.

Pour combattre le problème des suites de 0, on utilise " le code bipolaire HDBn "

# Transmission en bande de base

## Codage en ligne

17

### Le code manchester (biphase ou biphasé):

- Introduction de transition au milieu de chaque intervalle, par exemple: 0: front montant et 1: front descendant
- Signal transmis = signal binaire  $\oplus$  horloge

### Avantages :

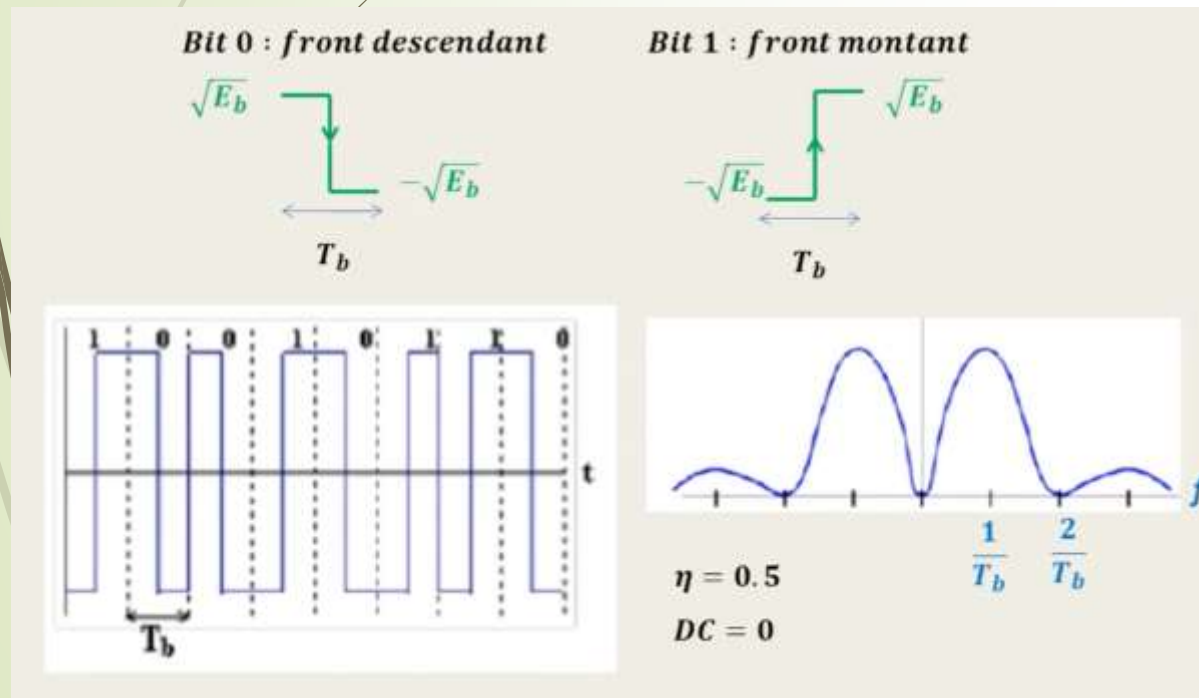
- ❖ A chaque bit transmis, le signal change d'état et permet donc une synchronisation aisée des horloges.
- ❖ La composante continue de ce signal est nulle.
- ❖ Le spectre de transmission est étalé, avec un étalement vers les hautes fréquences.

### Inconvénients :

- ❖ Le câblage doit être rigoureux, car l'inversion des fils conduit à la réception du message complémenté.

**Pour combattre ce problème, on utilise le code Manchester différentiel :** La transmission des données s'effectue toujours par l'intermédiaire de fronts placés au milieu des bits. Cependant, le choix du front s'effectue en fonction du précédent. Ainsi :

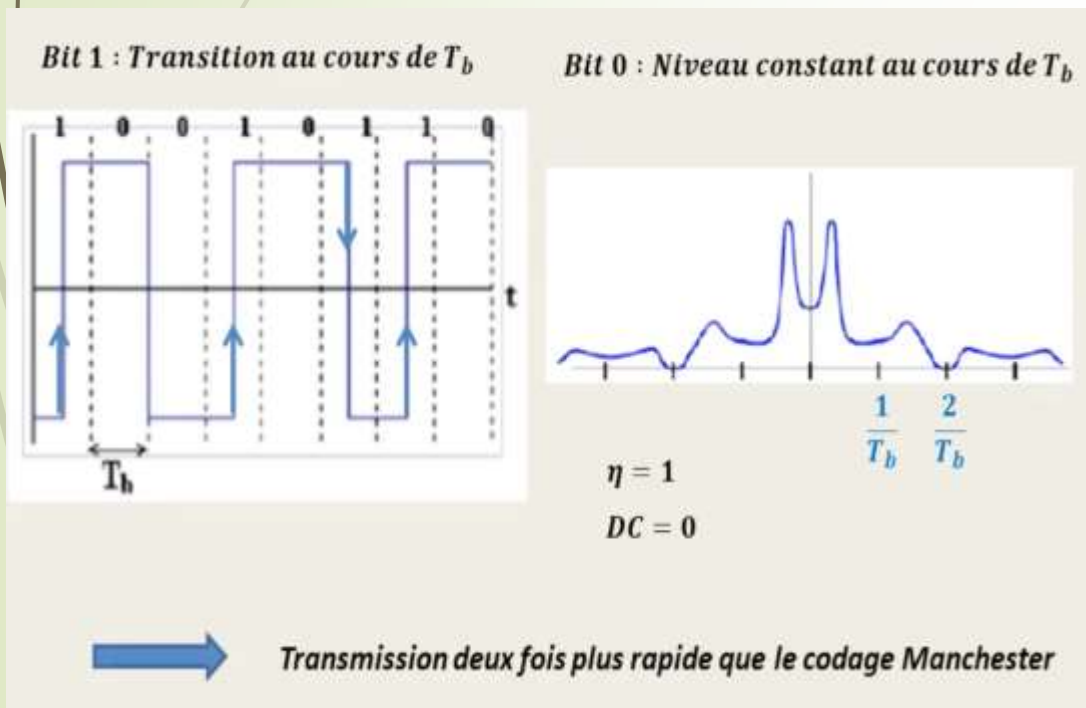
- un état 0 produit un front identique au précédent (signaux en phase)
- un état 1 produit un front inverse au précédent (signaux en opposition phase)



# Transmission en bande de base

## Codage en ligne

**Code de miller** : est issu du code Manchester simple et consiste à supprimer les fronts descendants du signal (diviseur par deux).



### Avantages :

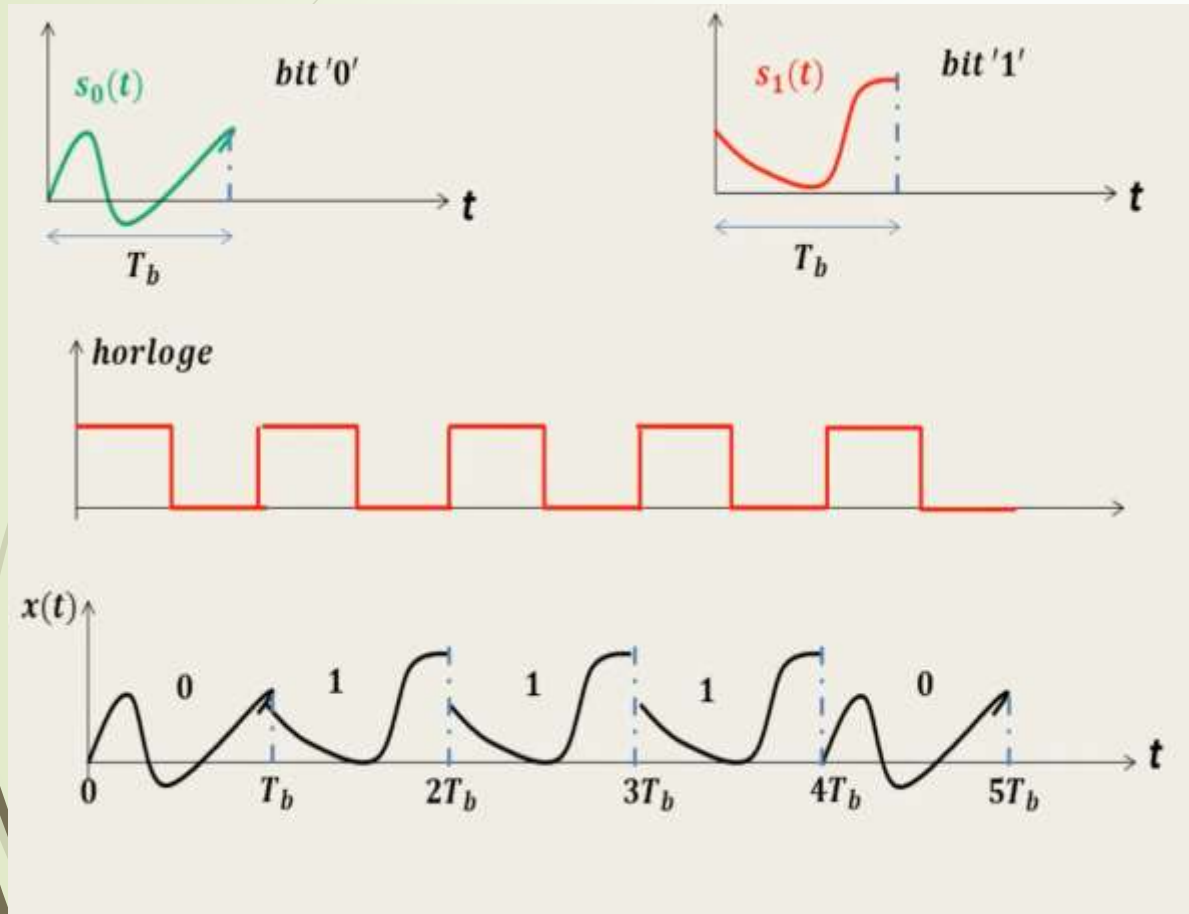
- ❖ Le spectre de transmission est plus étroit que pour le code Manchester, et il décalé vers les hautes fréquences. Il permet donc une transmission à des débits beaucoup plus élevés.

### Inconvénients :

- ❖ Le câblage doit être rigoureux, car l'inversion des fils conduit à une erreur dans la compréhension du message.

# Transmission en bande de base

Formule d'un spectre d'un code



bits émis statistiquement indépendants :  $\text{Prob}('1') = p$   
 $\text{Prob}('0') = 1 - p$

Signal codé  $x(t) = \sum_{k=0}^{+\infty} s_{0 \text{ ou } 1}(t - k \cdot T_b)$

Fonction d'autocorrélation  $R_x(\tau) = E[x(t)x(t + \tau)]$

FOURIER  $\downarrow$   $S_0(f) = \text{TF}(s_0(t))$   
 $S_1(f) = \text{TF}(s_1(t))$

Spectre du code

$$X(f) = \frac{1}{T_b} [p|S_1(f)|^2 + (1-p)|S_0(f)|^2 - |pS_1(f) + (1-p)S_0(f)|^2] + \frac{1}{T_b^2} |pS_1(f) + (1-p)S_0(f)|^2 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(f - \frac{n}{T_b})$$

$\uparrow$  DC + harmoniques  $\frac{n}{T_b}$

# Transmission en bande de base

## Spectre des codes particuliers

*Code bipolaire équiprobable*

$$s_0(t) = -s_1(t)$$

$$p = 0.5$$

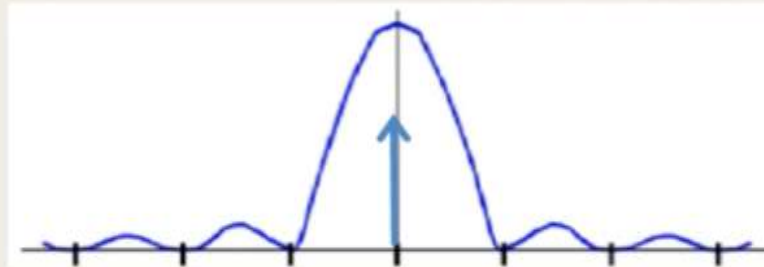
$$X(f) = \frac{1}{T_b} |S_1(f)|^2$$

*Code NRZ*

$$X(f) = \sigma^2 T_b \text{sinc}^2(f \cdot T_b) + m^2 \delta(f)$$

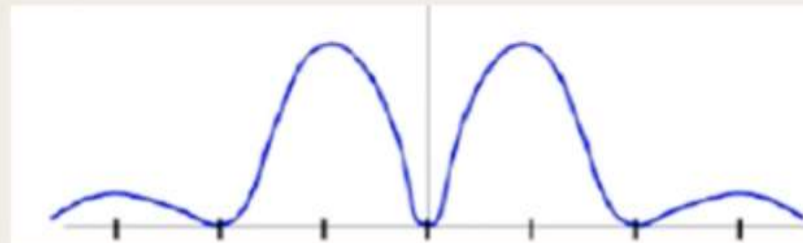
$$m = E[x(t)] = 2(p - 0.5)\sqrt{E_b}$$

$$\sigma^2 = 4p(1 - p)E_b$$



*Code Manchester*

$$X(f) = E_b T_b [\text{sinc}^2(f \cdot T_b / 2) - \text{sinc}^2(f \cdot T_b)]$$



# Transmission en bande de base

## Le choix d'un codage

Le choix d'un type de codage n'est pas à priori évidente. Il apparaît cependant que plusieurs paramètres doivent être considérés :

- ✓ La bande passante du support
- ✓ La sensibilité au bruit
- ✓ Les problèmes d'horloge

Or chaque cas est un cas particulier, dépendant du support utilisé, du lieu d'implantation, du type d'informations transmises,...

**Bref le choix est souvent délicat et empirique.**

# Concept de Modulation

## Motivations

- ❑ Transmission à grande distance
- ❑ Eviter les bruits et interférences basses fréquences (BF)
- ❑ Dimension de l'antenne de réception inversement proportionnelle à la fréquence
- ❑ Organisation des canaux de transmission autour de porteuses

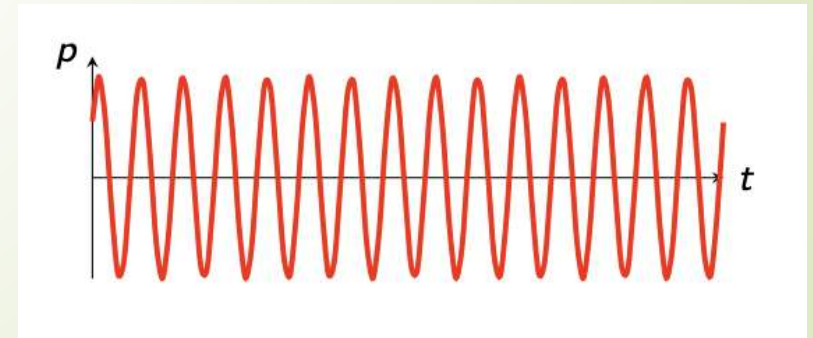
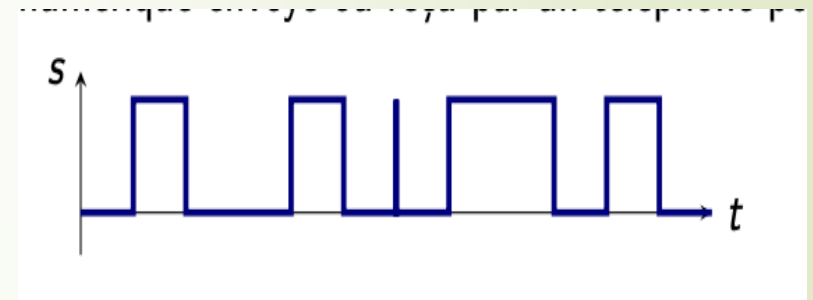
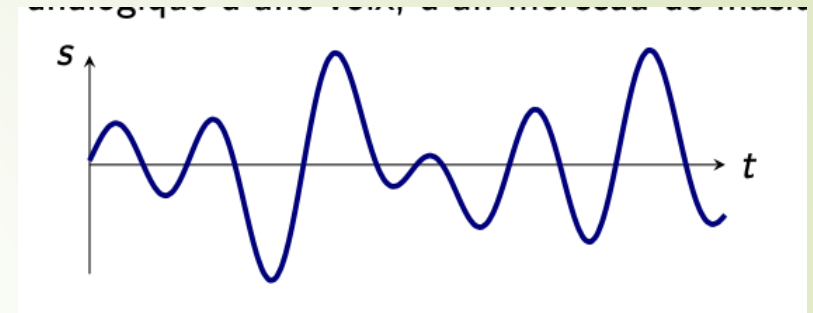
# Concept de Modulation

- La **modulation** est un procédé permettant de transformer le signal que l'on souhaite transmettre  $s(t)$ , en un signal adapté au canal de transmission qui est à bande passante limitée.
- La modulation utilise une onde sinusoïdale de référence appelée porteuse, dont la fréquence est très supérieure au signal modulant.
- La porteuse  $p(t)$  est représentée par :  $p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \phi_p)$ ,  
 $\omega_p = 2\pi f_p$

$f_p$  représente la fréquence porteuse,  $A_p$  et  $\phi_p$  représente respectivement l'amplitude instantanée et la phase instantanée de la porteuse modulée.

le signal modulé  $s_m(t) = s(t) \oplus p(t)$

- Moduler un signal sinusoïdal, c'est faire varier un ou plusieurs de ces paramètres.



# Concept de Modulation

## Modulation analogique

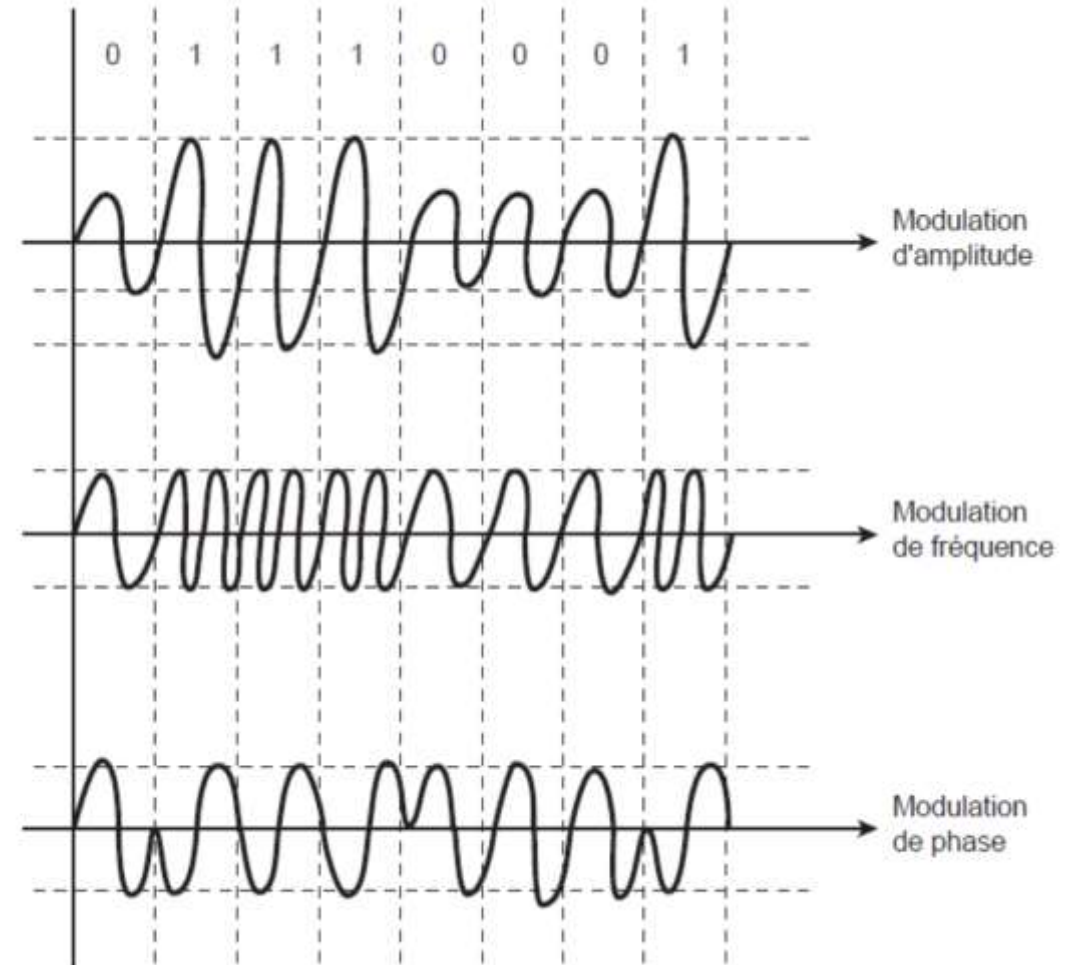
24

- $p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p)$ ,  $\omega_p = 2\pi f_p$
- $s_m(t) = s(t) \oplus p(t)$

Suivant le type de paramètre à varier, on distingue les trois modulations analogiques classiques :

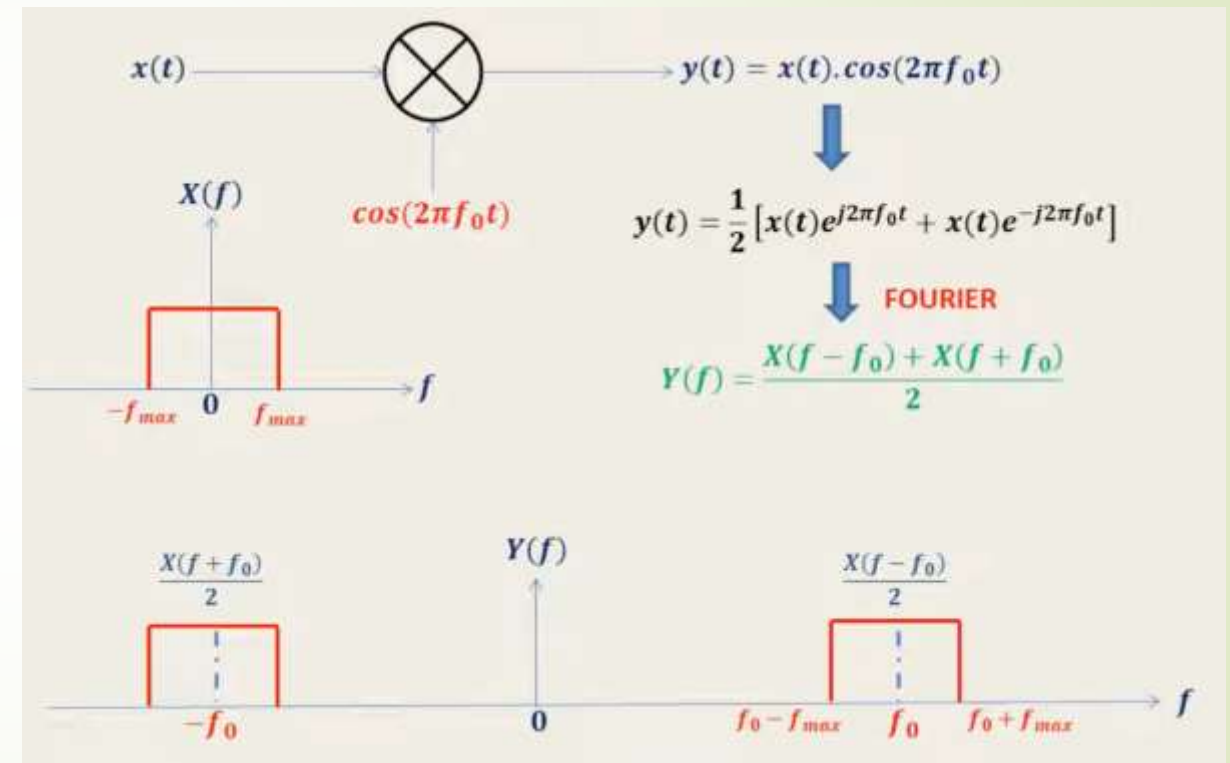
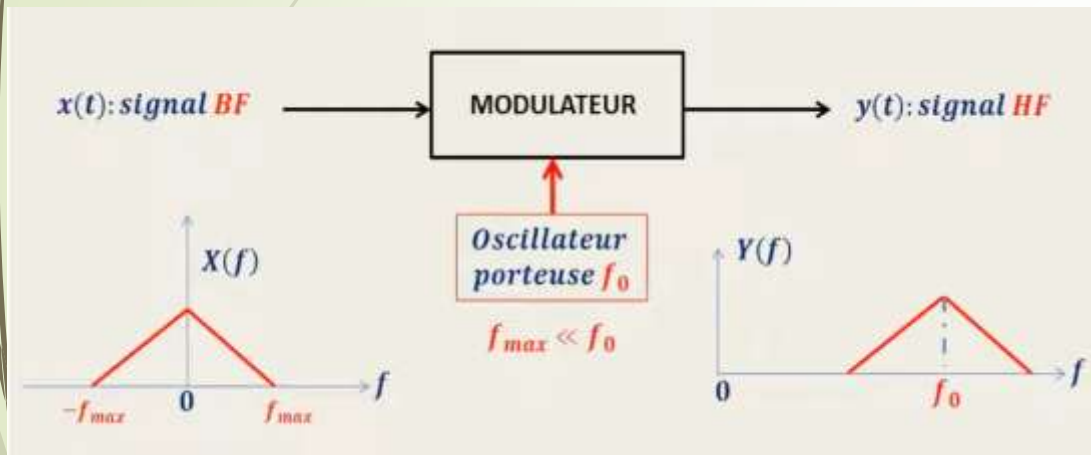
- ❑ AM (Amplitude Modulation) ou Modulation d'Amplitude MA
- ❑ FM (Frequency Modulation) ou Modulation de Fréquence MF
- ❑ PM (Phase Modulation) ou Modulation de Phase MP.

**Actuellement, ces techniques de modulations sont principalement utilisées dans le domaine de la radiodiffusion.**



# Concept de Modulation

## Modulateur de base

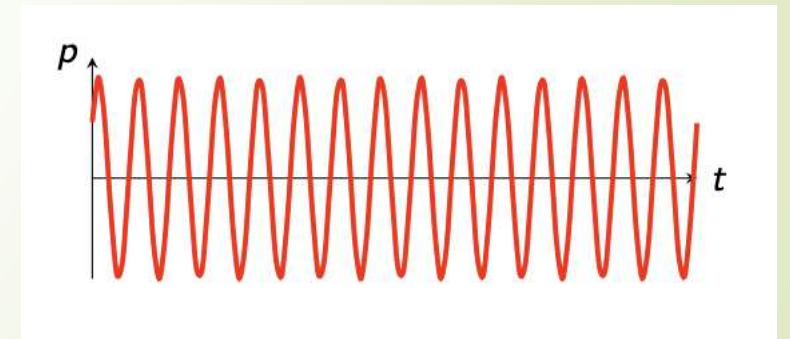
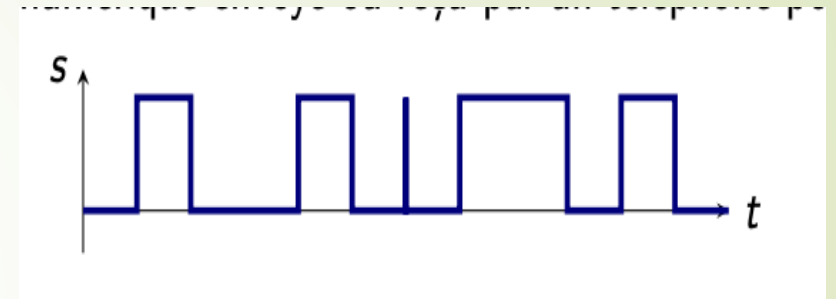


# Concept de Modulation

## Modulation Numérique

trois types de modulations numériques de base à savoir :

- ☐ Modulation **ASK** (Amplitude Shift Keying), ou Modulation par Déplacement d'Amplitude MDA ;
- ☐ Modulation **FSK** (Frequency Shift Keying), ou Modulation par Déplacement de Fréquence MDF ;
- ☐ Modulation **PSK** (Phase Shift Keying), ou Modulation par Déplacement de Phase MDP.



# Concept de Modulation

## Modulation Numérique

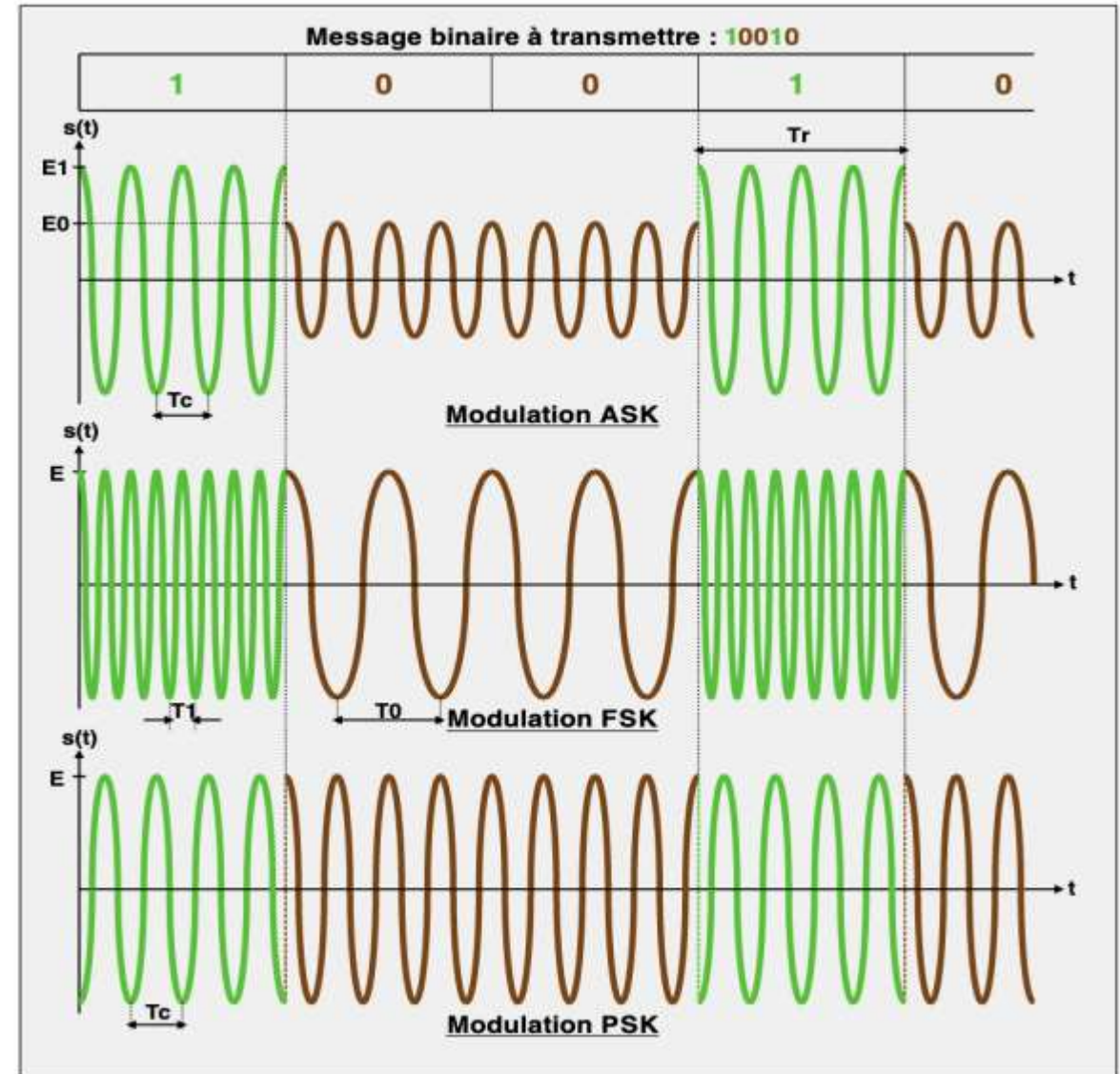
27

Exemple : on veut transmettre le message binaire  $\mathbf{m(t)}$  constitué des 5 bits **10010**, soit le nombre  $(18)_{10}$  et ce, pour les trois types de modulations citées.

- Le signal modulant  $\mathbf{m(t)}$  est transmis sous forme **sérielle** au rythme d'un signal d'horloge de période  $T_r$  (période rythme).  $f_r = 1/T_r$  (en Hz) Fréquence rythme
- L'onde porteuse :  $\mathbf{p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p)}$ ,
- On constate, sur la figure de la page précédente, que pour chacun des trois types de modulations, le signal modulé  $s(t)$ , pendant la durée élémentaire de transmission d'un bit  $T_r$ , a pour expression :  $\mathbf{s(t) = E \cos(2\pi f t + \varphi)}$ ,

Cette tension sinusoïdale est entièrement caractérisée par les trois paramètres :

- amplitude  $E$ , en volts (V) ;
- fréquence  $f$ , en Hertz (Hz) ;
- phase  $\phi$ , en radians (rad).



# Concept de Modulation

## Modulation Numérique

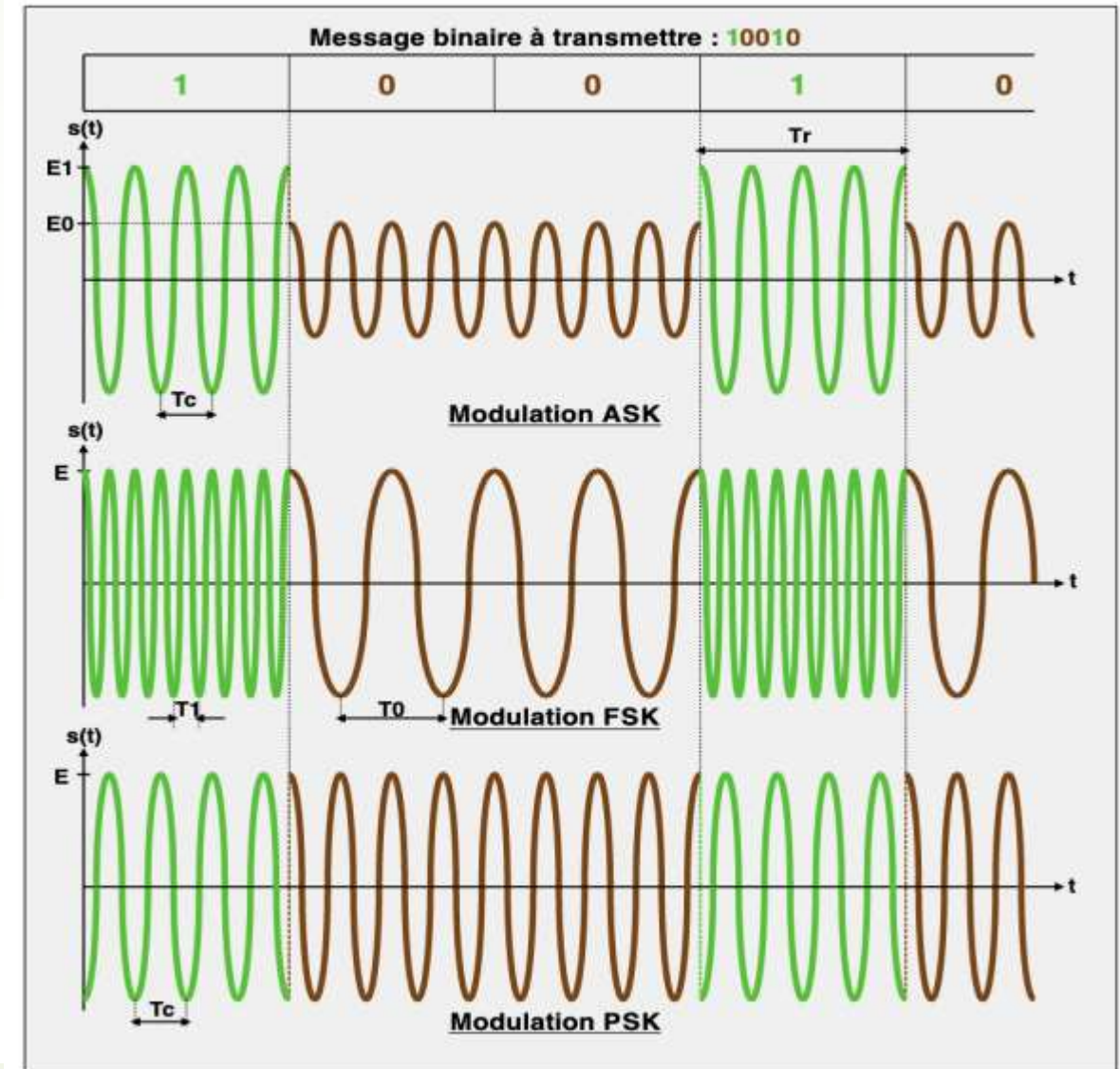
28

Pour chaque modulation, le changement de niveau logique du bit transmis se caractérise par la modification de l'un des trois paramètres  $E$ ,  $f$  ou  $\phi$  du signal modulé  $s(t)$ , et plus précisément, par :

- un saut d'amplitude pour une modulation ASK ;
- un saut de fréquence pour une modulation FSK ;
- un saut de phase pour une modulation PSK.

On peut donc en déduire l'expression du signal modulé  $s(t)$  en fonction du niveau logique du bit transmis, et selon le type de modulation considéré :

| Type de modulation | Expression analytique de $s(t)$ |                                |
|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                    | Pendant la transmission d'un 0  | Pendant la transmission d'un 1 |
| ASK                | $E_0 \cos(2\pi f_c t + 0)$      | $E_1 \cos(2\pi f_c t + 0)$     |
| FSK                | $E \cos(2\pi f_0 t + 0)$        | $E \cos(2\pi f_1 t + 0)$       |
| PSK                | $E \cos(2\pi f_c t + 0)$        | $E \cos(2\pi f_c t + \pi)$     |

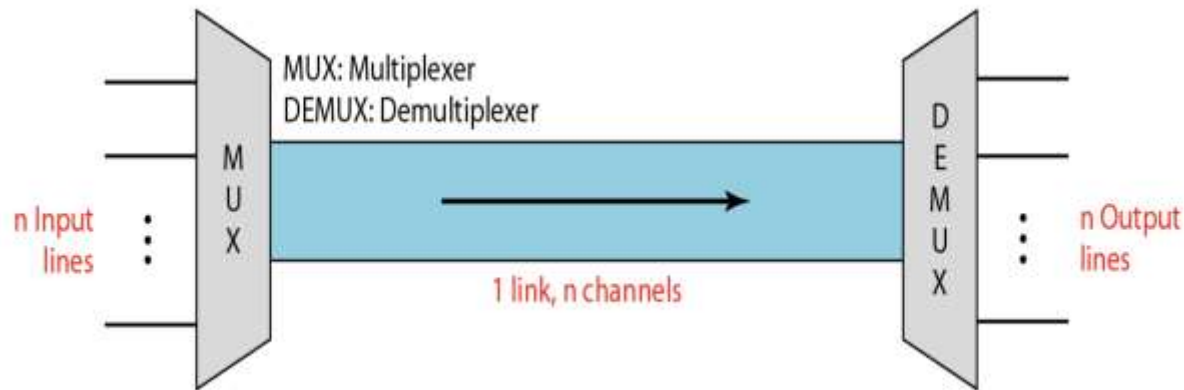


# Le Multiplexage

29

## Définition :

- ❖ Le **multiplexage** est une technique qui permet de **transmettre plusieurs signaux sur un même canal de communication** en partageant la bande passante disponible.
- ❖ Cela permet d'optimiser l'utilisation des ressources et d'éviter d'avoir un canal dédié pour chaque signal.



il existe plusieurs types de multiplexage selon la façon dont les signaux sont combinés et séparés :

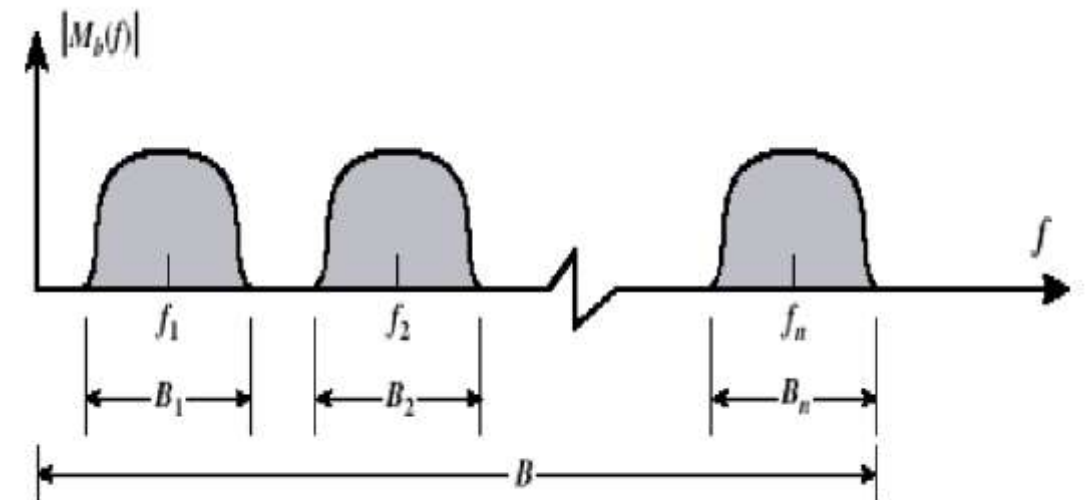
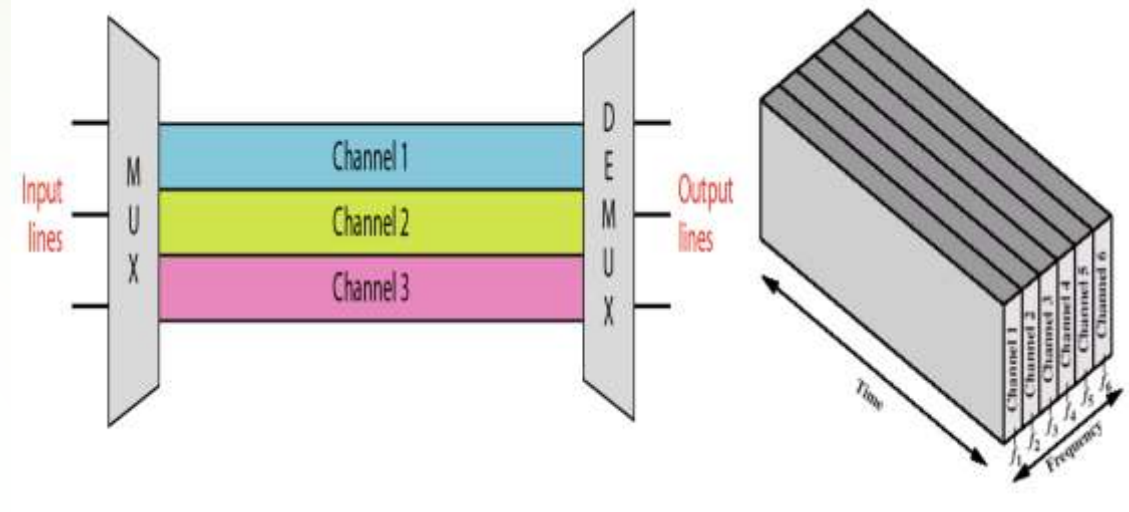
- **Multiplexage en Fréquence** (FDM - Frequency Division Multiplexing)
- **Multiplexage en Temps** (TDM - Time Division Multiplexing)
- **Multiplexage en Longueur d'Onde** (WDM - Wavelength Division Multiplexing)
- **Multiplexage par Code** (CDM - Code Division Multiplexing)

# Le Multiplexage

## Multiplexage Fréquentiel (FDM)

☞ **Principe** : Chaque signal est transmis sur une fréquence différente dans le même canal de transmission.

- ☐ Le spectre nécessaire du médium excède celui du canal requis.
- ☐ Les canaux sont répartis également lorsqu'il n'y pas de données.
- ☐ Chaque signal est modulé à de différentes fréquences de transporteurs.
- ☐ Les fréquences de transporteurs sont séparées de façon à ce que les signaux ne se recouvrent pas



# Le Multiplexage

## Multiplexage Fréquentiel (FDM)

### Types d'applications FDM :

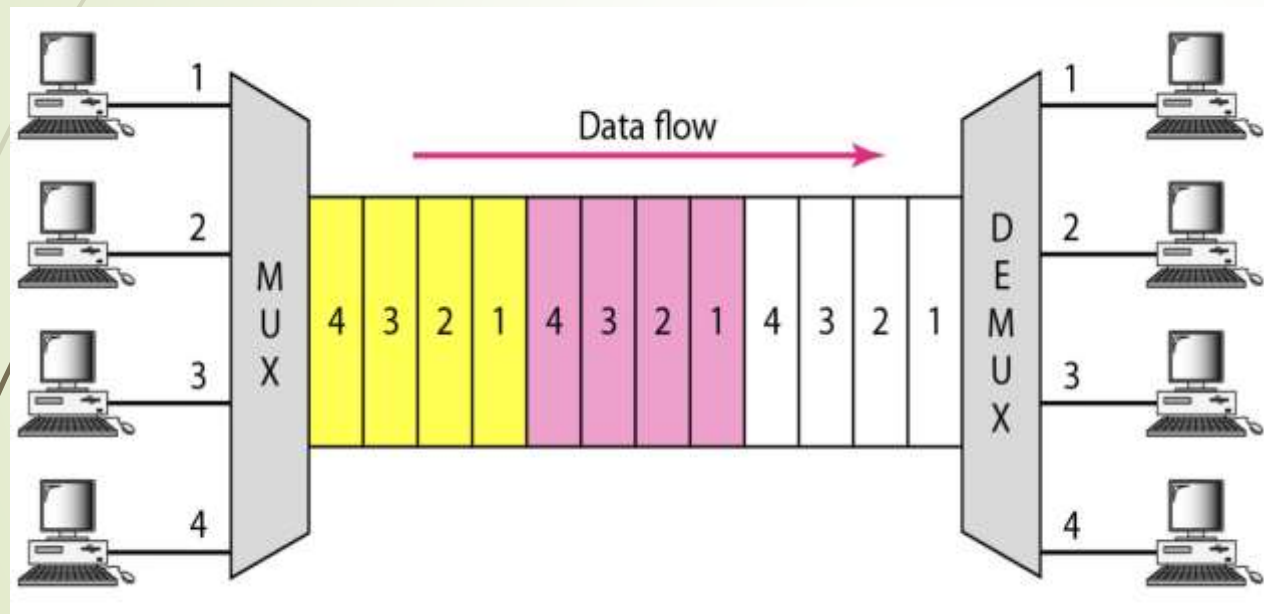
- ☐ Lignes téléphonique à haute capacité
- ☐ Radio AM: de 530 KHz à 1700 KHz, avec une largeur de bande de 10 KHz par station
- ☐ Radio FM: de 88 MHz à 108 MHz, avec une largeur de bande de 200 KHz par station
- ☐ Diffusion de TV : une largeur de bande de 6 MHz canal de TV
- ☐ Première génération de téléphones cellulaires : chaque usager a 2 canaux de 30 KHz (transmission, réception).

# Le Multiplexage

## Multiplexage temporel (TDM)

👉 **Principe** : Chaque signal utilise le même canal, mais à des instants différents.

👉 Chaque utilisateur a un créneau temporel dédié.



Application :

- ☐ Réseaux téléphoniques fixes (ancien RTC)
- ☐ USB (Universal Serial Bus)

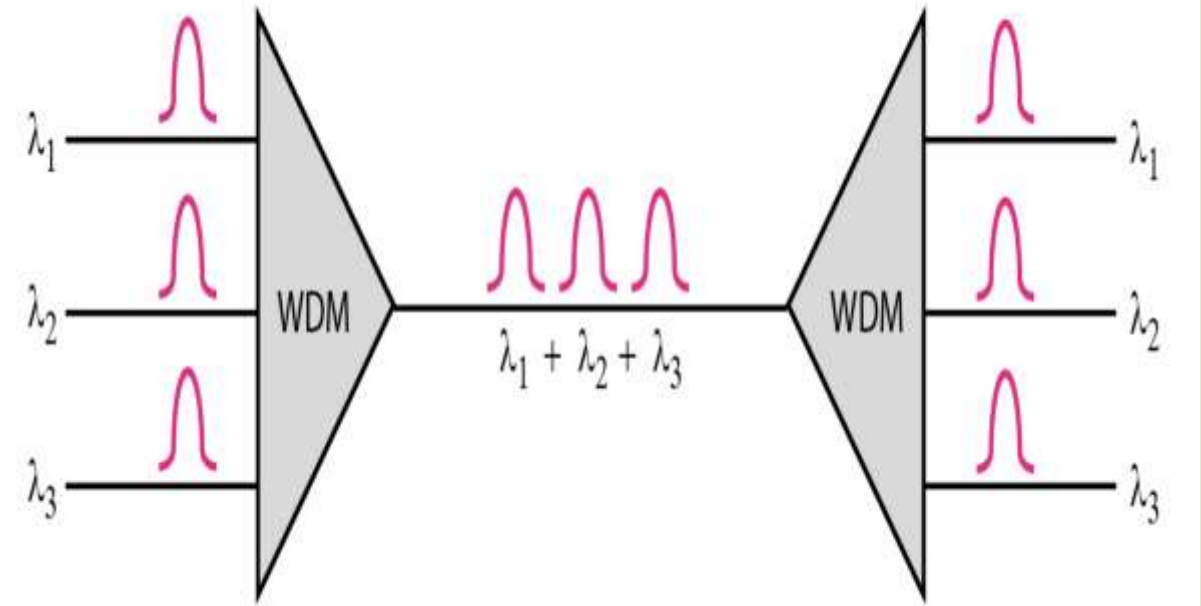
# Le Multiplexage

## Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

👉 **Principe** : Utilisé pour la fibre optique, où plusieurs signaux sont transmis **en utilisant différentes longueurs d'onde (couleurs de lumière)**.

**Exemple** : Fibre optique des réseaux Internet (WDM en fibre optique)

- ❑ Un seul câble de fibre optique peut transporter plusieurs signaux en utilisant **différentes longueurs d'onde** de la lumière.
- ❑ Cela permet d'envoyer **plusieurs flux de données simultanément** sur la même fibre (ex : plusieurs conversations téléphoniques et connexions Internet en parallèle).



# Le Multiplexage

## Multiplexage par Code CDM

- ☞ **Principe** : Chaque signal est codé avec une séquence unique et peut être transmis simultanément sur la même bande de fréquences.
- ☞ Très utilisé pour les communications sans fil et la téléphonie mobile.

### Exemple : Téléphonie mobile 3G

- ☐ Plusieurs utilisateurs peuvent émettre en même temps et sur la même fréquence.
- ☐ Chaque appel ou connexion Internet est identifié par un code unique qui permet au récepteur de retrouver les données correctes.