

# Physical layer

---

NAILA BOUCHEMAL

# Outline

---

- Main transmission elements
- Data & Signals
- Transmission Media
- Characteristics of transmission media
- Disturbances of the transmitted signal
- Transmission techniques: Baseband, Broadband
- Exercises

# Outline

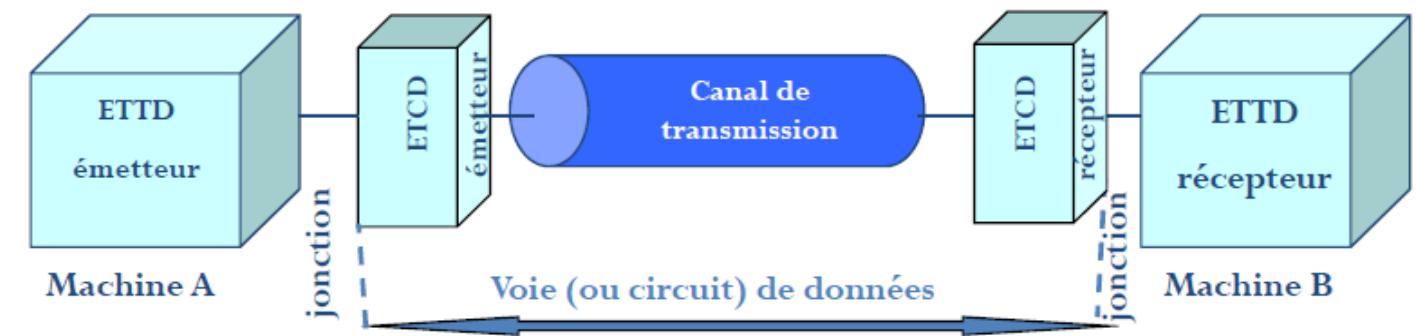
---

- Main transmission elements
- Data & Signals
- Transmission Media
- Characteristics of transmission media
- Disturbances of the transmitted signal
- Transmission techniques: Baseband, Broadband
- Exercises

# Main transmission elements

---

- **l'ETTD (Data Terminal Equipment):** The computer performs data processing and transmission supervision.
- **l'ETCD (data communication terminal equipment):** the modem - specific equipment responsible for adapting the data to be transmitted to the communication medium
- The transmission medium



The physical layer deals with bit-level transmission between different devices and supports electrical or mechanical interfaces connecting to the physical medium for synchronized communication.

# Data & Signals

---

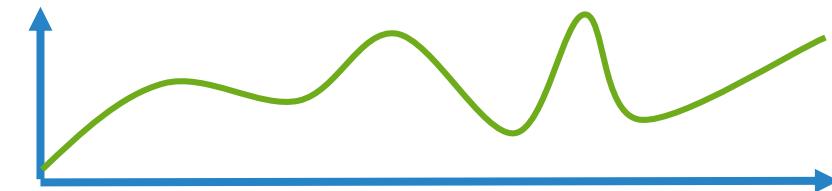
- Data refers to information based on some mutually agreed rules between a sender and a receiver.
- Two data types; **analog and digital.**
  - Analog data : take on continuous values. Typical examples of analog data are voice and video.
  - Digital data take on discrete values. As text or strings character.
- Signal is electrical, electronic or optical representation of data, which can be sent over a communication medium.

# Data & Signals

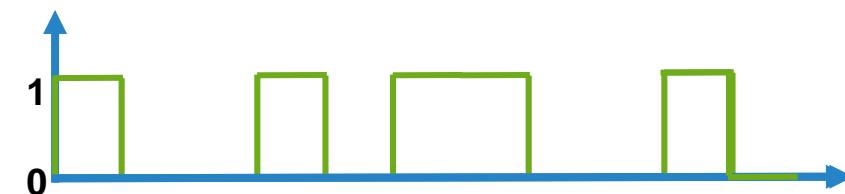
- Une antenne radio
- Un courant alternatif dans une antenne (tension positive/ Négative)
- Des électrons → en mouvement entre (+) (-)

Ce qui va générer une onde électromagnétique qui se propage avec une certaine vitesse sur le support de transmission

L'information peut être transmise sous forme analogique:  
évolution continue de la valeur



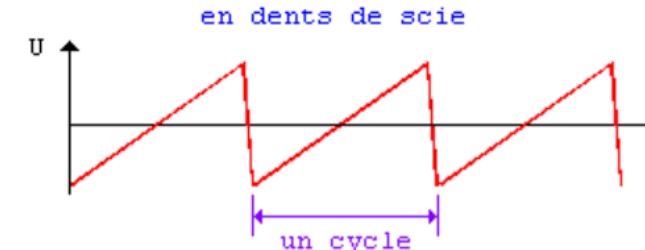
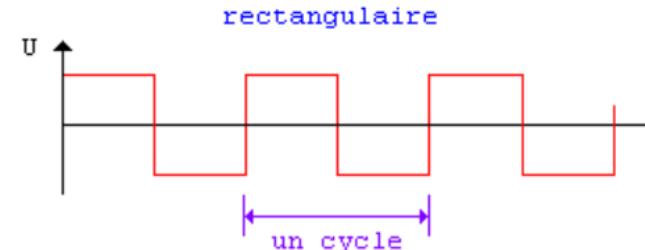
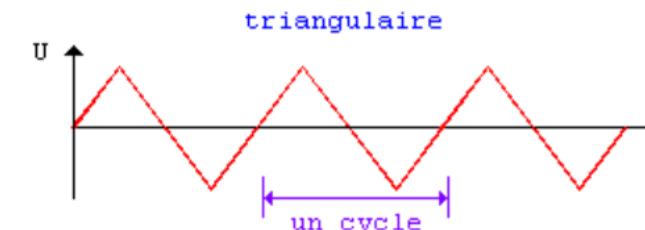
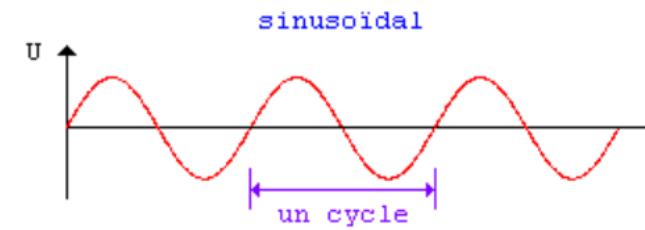
Ou sous forme numérique: changement de valeur discontinu (échantillonnage)



# Signal périodique

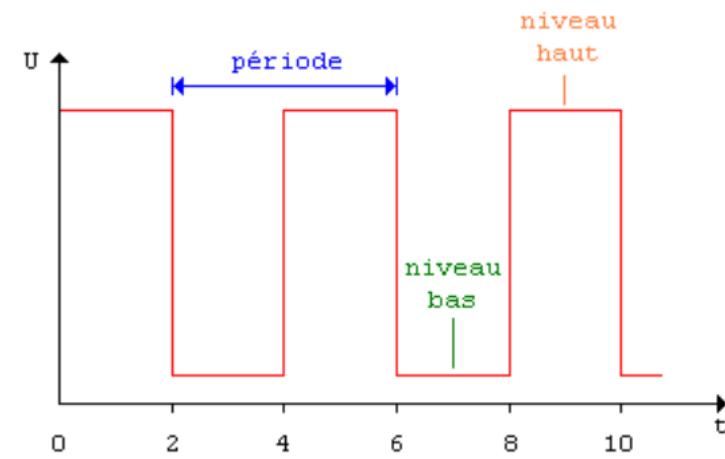
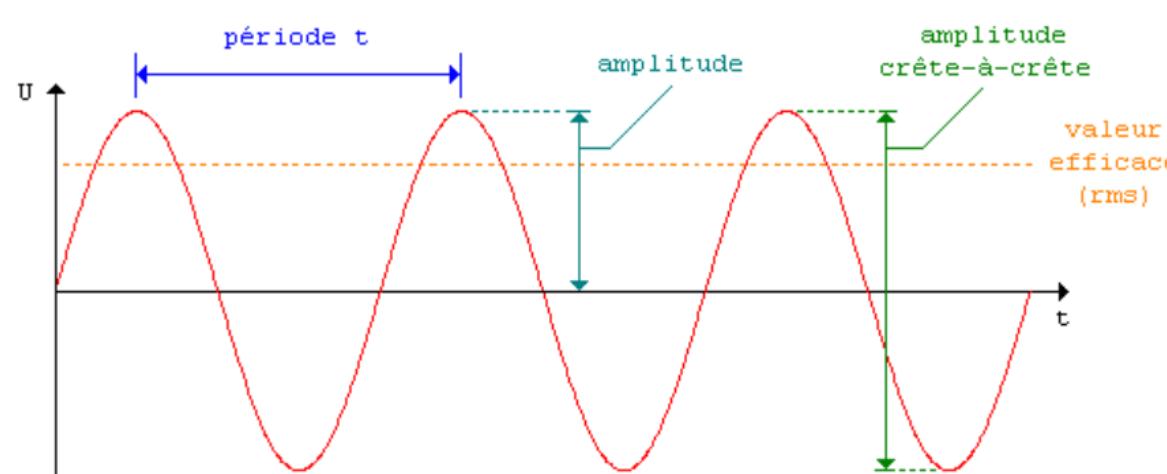
---

- Voici quelques formes d'onde (*waveforms*, en anglais) de signaux électriques:
- On observera que ce sont des formes simples et répétitives → C'est pourquoi ces signaux sont dits "périodiques".



# Signal périodique

- Trois paramètres permettent de décrire un signal périodique, qui est en quelque sorte le "modèle de base" des signaux analogiques:
  - la **fréquence**, mesurée en hertz (Hz): La fréquence ( $f$ ) d'un signal variable périodique est le nombre de cycles qui se répètent en 1 seconde
  - la **période** (qui est l'inverse de la fréquence), mesurée en secondes (s): la période ( $t$ ), étant l'intervalle qui sépare deux points consécutifs pour lesquels la valeur et le sens de la variation sont identiques
  - l'**amplitude**, mesurée en volts (V): L'amplitude du signal est définie comme la valeur maximale de sa tension.



# Fourier Analysis

---

Joseph FOURIER, mathématicien français, affirma, dans un mémoire daté de 1807, qu'il était possible, dans certaines conditions, de décomposer une fonction périodique  $f$  sous la forme d'une somme infinie de signaux sinusoïdaux:

Soit  $f$  une fonction ( ou signal) périodique de période  $T$  avec  $\textcolor{brown}{T} = \frac{2\pi}{\omega}$

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t$$

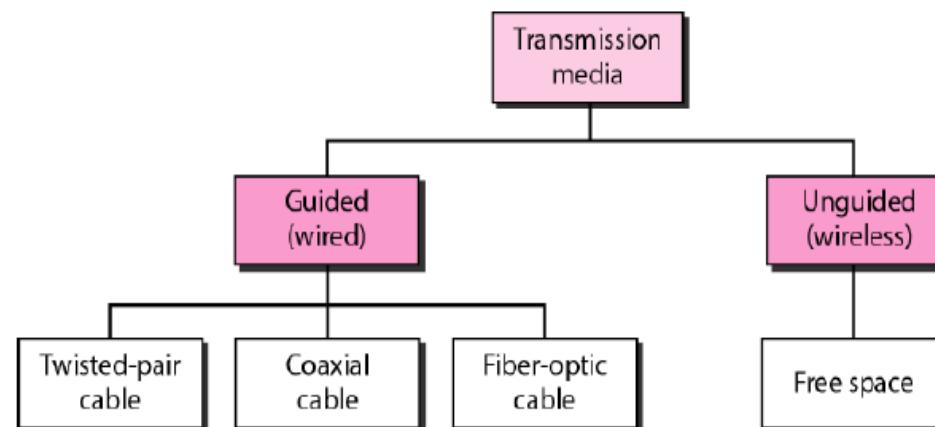
On peut donc considérer  $f$  comme la somme

- d'un terme constant  $a_0$
- d'un nombre infini de termes sinusoïdaux appelés harmoniques.
- Le nombre  $\omega$  est appelé pulsation associée à  $T$

# Transmission Media

---

- Transmission media are actually located below the physical layer and are directly controlled by the physical layer.
- A transmission **medium** can be broadly defined as anything that can carry information from a source to a destination.
- In data communications, the transmission medium is usually **free space**, **metallic cable**, or **fiber-optic cable**.
- The information is usually a signal that is the result of a conversion of **data from to another form**.



# Guided Media

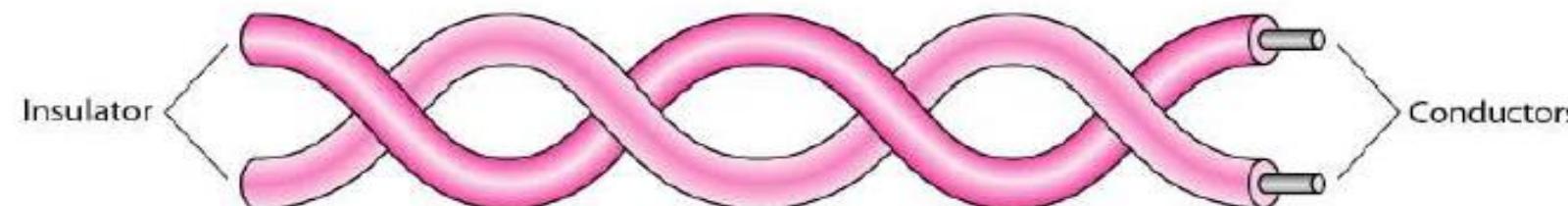
---

- Les supports filaires, qui sont ceux qui fournissent un conduit d'un appareil à un autre, incluent **le câble à paire torsadée, le câble coaxial et le câble à fibre optique**.
- Un signal voyageant le long de l'un de ces médias est dirigé et contenu par les limites physiques du support.
  - Les câbles à paire torsadée et coaxiaux utilisent des conducteurs métalliques (cuivre) qui acceptent et transportent des signaux sous forme de courant électrique.
  - La fibre optique est un câble qui accepte et transporte des signaux sous forme de lumière.

# Twisted Pair

---

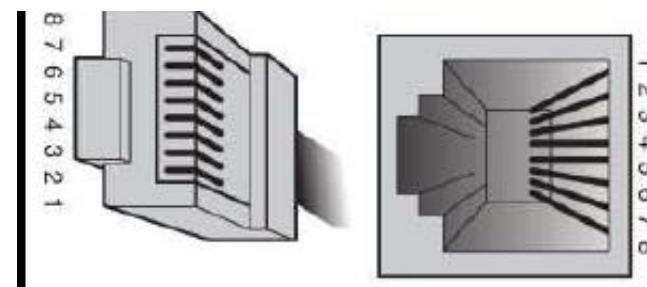
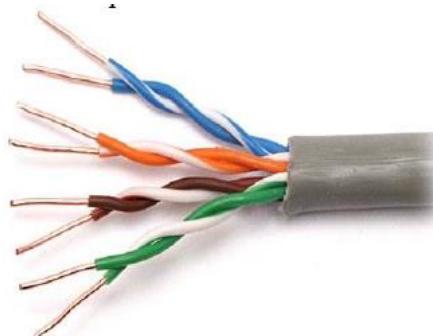
- La paire torsadée est l'un des supports de transmission de câblage **les plus anciens** et les plus courants utilisé pour les communications téléphoniques et les réseaux Ethernet les plus modernes.
- Les paires torsadées peuvent être utilisées pour transmettre des signaux **analogiques ou numériques**.
- Les fils sont torsadés ensemble sous une forme hélicoïdale, tout comme une molécule d'ADN.
- Lorsque les fils sont torsadés, les ondes de torsions différentes s'annulent, de sorte que le fil rayonne moins efficacement.
- Il existe deux types de base, les **paires torsadées blindées (STP)** et les **paires torsadées non blindées (UTP)**.



# Unshielded twisted-pair (UTP)

---

- Le câble à paire torsadée le plus utilisé dans les communications
- Ce câble se compose de 4 paires torsadées **de fils métalliques** (cela signifie qu'il y a 8 fils dans le câble).
- Chaque paire est torsadée avec un nombre différent de torsions par cm pour aider à **éliminer les interférences** des paires adjacentes et d'autres appareils électriques.
- Chaque paire torsadée se compose de **deux conducteurs métalliques** qui sont isolés séparément avec leur propre **isolation en plastique coloré**.



Pin	Color	Pair
1	Orange/White	2
2	Orange	2
3	Green/White	3
4	Blue	1
5	Blue/White	1
6	Green	3
7	Brown/White	4
8	Brown	4

# Categories of UTP

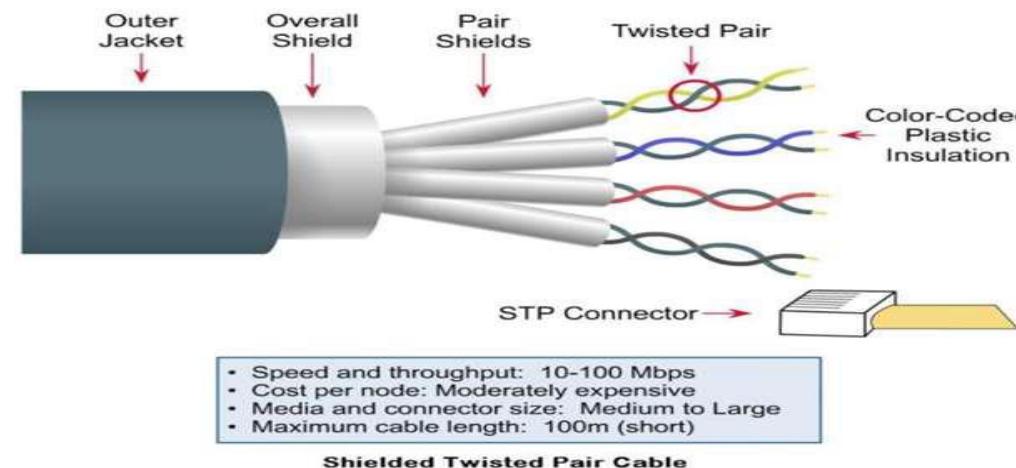
Category rating based on number of twists per inch and the material used

---

Category	Specification	Data Rate (Mbps)	Use
1	Unshielded twisted-pair used in telephone	< 0.1	Telephone
2	Unshielded twisted-pair originally used in T-lines	2	T-1 lines
3	Improved CAT 2 used in LANs	10	LANs
4	Improved CAT 3 used in Token Ring networks	20	LANs
5	Cable wire is normally 24 AWG with a jacket and outside sheath	100	LANs
5E	An extension to category 5 that includes extra features to minimize the crosstalk and electromagnetic interference	125	LANs
6	A new category with matched components coming from the same manufacturer. The cable must be tested at a 200-Mbps data rate.	200	LANs
7	Sometimes called SSTP (shielded screen twisted-pair). Each pair is individually wrapped in a helical metallic foil followed by a metallic foil shield in addition to the outside sheath. The shield decreases the effect of crosstalk and increases the data rate.	600	LANs

# Shielded twisted-pair (STP)

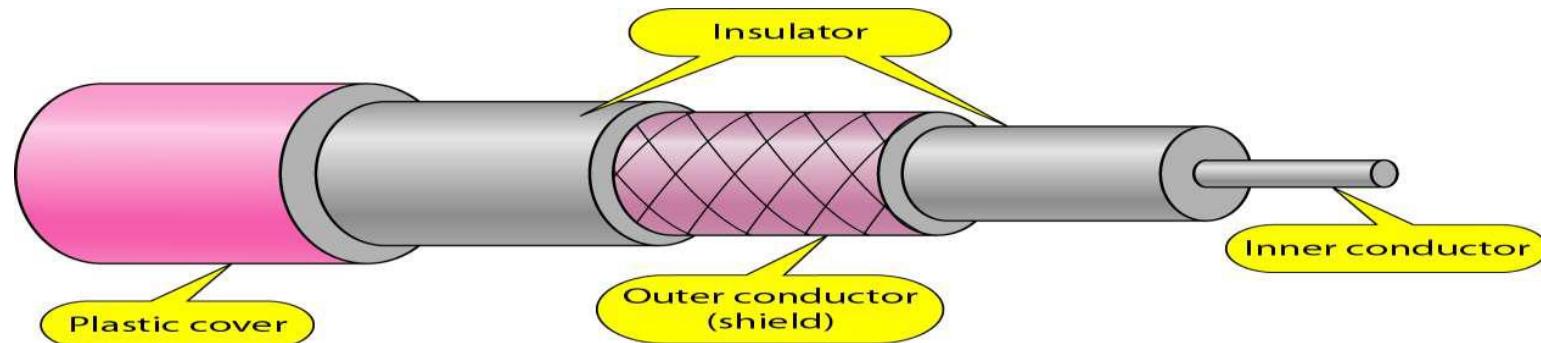
- Ce câble est recouvert d'une **feuille métallique** qui recouvre **chaque paire de conducteurs isolés**.
- La feuille métallique est utilisée pour empêcher l'infiltration de bruit électromagnétique. Ce bouclier aide également à éliminer la diaphonie (l'interférence d'un premier signal avec un second)
- STP est adapté **aux environnements** présentant des **interférences électriques** et offre également de meilleures performances à des débits de données plus élevés.
- Mais le blindage supplémentaire rend les câbles STP assez volumineux et plus chers que les câbles UTP



# Co-axial Cable

---

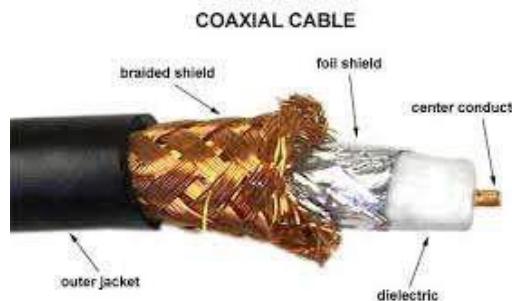
- Un câble coaxial se compose d'un **fil de cuivre rigide** comme noyau, entouré d'un **matériau isolant**.
- L'isolant est enveloppé d'un **conducteur cylindrique**, souvent sous la forme d'une maille tressée étroitement tissée.
- Le conducteur extérieur est recouvert d'une **gaine de protection en plastique**.
- Câble TV par exemple



# Types of Co-axial Cable

---

- Bien que le câblage coaxial soit difficile à installer, il est très résistant aux interférences de signal.
- Il peut prendre en charge de plus **grandes longueurs de câble** entre les périphériques réseau et une plus **grande bande passante** qu'un câble à paire torsadée.
- Les câbles coaxiaux sont capables de transmettre des données à un débit rapide de 10 Mbps.
- **Ethernet** peut parcourir environ **100 mètres avec UTP**, tandis que le **câble coaxial** augmente cette distance à **500 mètres**.

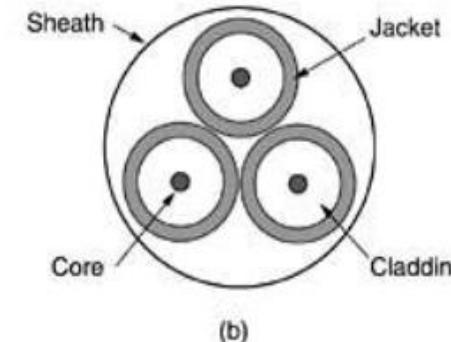
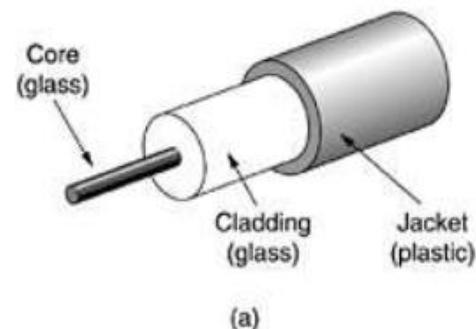


Category	Impedance	Use
RG-59	$75 \Omega$	Cable TV
RG-58	$50 \Omega$	Thin Ethernet
RG-11	$50 \Omega$	Thick Ethernet

# Optical Fiber

---

- Le câble à fibre optique ou fibre optique est constitué de **fines fibres de verre** qui peuvent transporter des informations sous forme de **lumière visible**.
- La fibre optique typique est constituée d'un **brin très étroit de verre ou de plastique** appelé noyau.
- Autour du noyau se trouve une couche **concentrique de verre ou de plastique** moins dense appelée revêtement, dont l'indice de réfraction est inférieur à celui du noyau.
- La couche la plus externe du câble est connue sous le nom de gaine, qui protège le revêtement et le noyau de l'humidité, de l'écrasement et de l'abrasion.



# Outline

---

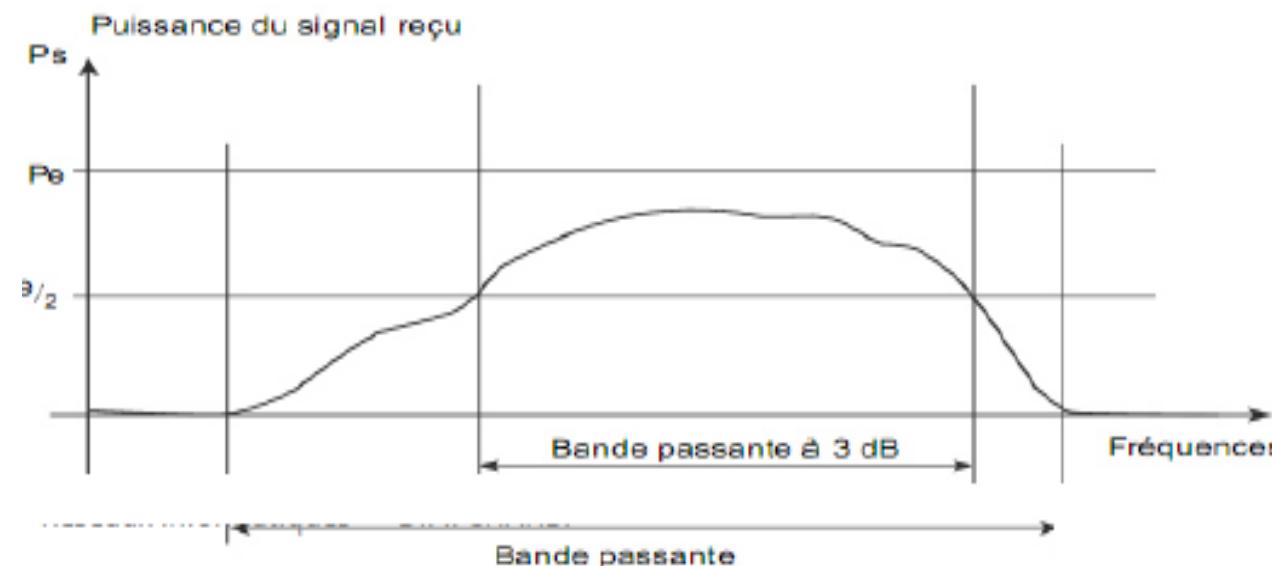
- Main transmission elements
- Data & Signals
- Transmission Media
- Characteristics of transmission media
- Disturbances of the transmitted signal
- Transmission techniques: Baseband, Broadband
- Exercises

# Characteristics of transmission media

## 1) Bandwidth

- La bande de fréquence que le support peut transporter sans trop de déformation exprimée en Hz.
- Plus la bande passante d'un support est grande, plus il contient d'informations dans une unité de temps.
- C'est la plage de fréquence dans laquelle les signaux de sortie ont une puissance supérieure à un seuil :

- $Ps > Pe / 2$
- $Ps/Pe = 0,5$
- $10 \times \log_{10} (Ps/Pe) = 3 \text{ dB}$



# Characteristics of transmission media

---

## 2) Signal to noise ratio :

- Le rapport entre la puissance (S) du signal transmis et la puissance (B) du bruit.  $\text{SNR} = P_s / P_B$
- Il est généralement exprimé en décibels (dB) :  $\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10}(P_s / P_B)$

## 3) Noise resistance:

- Les porteuses ont des taux d'erreur de transmission.
- Quantité de bruit présente dans le canal.

# Characteristics of transmission media

---

## 4) Theoretical maximum Bit rate: maximum channel capacity :

- La capacité (ou débit binaire maximal) d'un support de transmission est la quantité maximale d'informations transportées par unité de temps.
- Pour un canal à bande passante W, la capacité C est exprimée par la formule de Shannon:

$$C = W \log_2(1 + S/N) \text{ (bits/s)}$$

- Log<sub>2</sub> est utilisé pour exprimer la quantité d'informations en bits.

Example :

$$W=3100 \text{ Hz}, S/N(\text{dB}) = 30 \text{ dB} \quad \text{alors } S/N=10^{30/10}=1000$$

$$c = 3100 \frac{\log_{10}(1 + 1000)}{\log_{10}(2)} = 30 \text{ kbits / s}$$

# Exercise 1

---

Si une fibre optique a un débit  $D = 155 \text{ Mb/s}$  et une longueur  $L = 3000 \text{ km}$

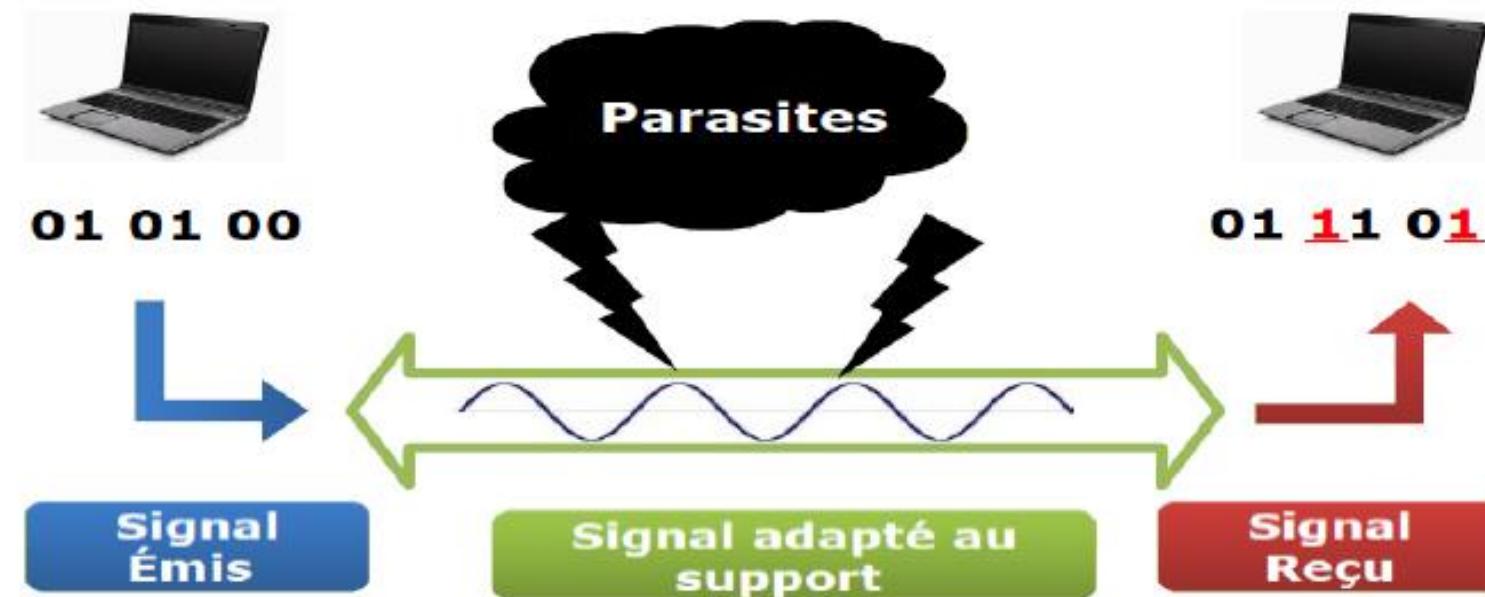
Vitesse de propagation  $V = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

1. Combien de temps faut-il pour recevoir à l'autre bout la fin d'un paquet de taille 512 Octets?
2. À présent on utilise une paire torsadée de débit  $D = 2 \text{ Mb/s}$ , et la même vitesse de propagation
3. Combien de temps faut-il pour recevoir un paquet de l'autre bout de la ligne?

Indice: Le temps d'émission du paquet+ le temps de propagation

# Transmission problems

- In other words, the networks are not perfect: they introduce unwanted variations into the signals they carry.
- When an analog signal is thus modified, this introduces noise into the message: The greater the distance, the more likely the signal is to be distorted.



# Disturbances of the transmitted signal

---

- The transmission media are not perfect
- Some phenomena affect the transmitted signal and thus degrade the quality of the transmission.
  - Atenuation or weakening (Affaiblissement)
  - Phase shift (Déphasage)
  - Noise

**Support defaults limit transmission**

- Bit rate
- Range

- When an analog signal is modified, this introduces noise into the message: The greater the distance, the more likely the signal is to be distorted.

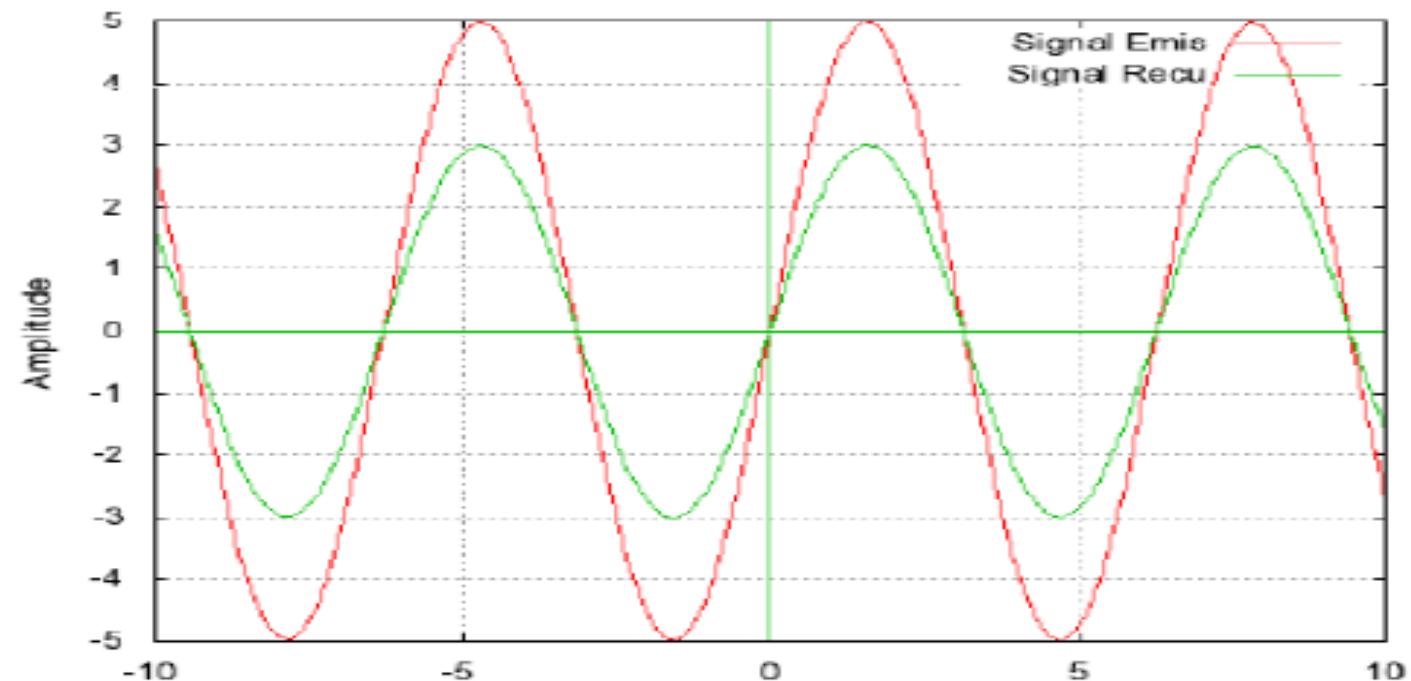
→Need to adapt the transmission techniques to the support characteristics

# Disturbances of the transmitted signal

## 1) Attenuation : (Affaiblissement)

The amplitude of the signal decreases as a function of the distance traveled (length of the channel), which results in a loss of energy of the signal.

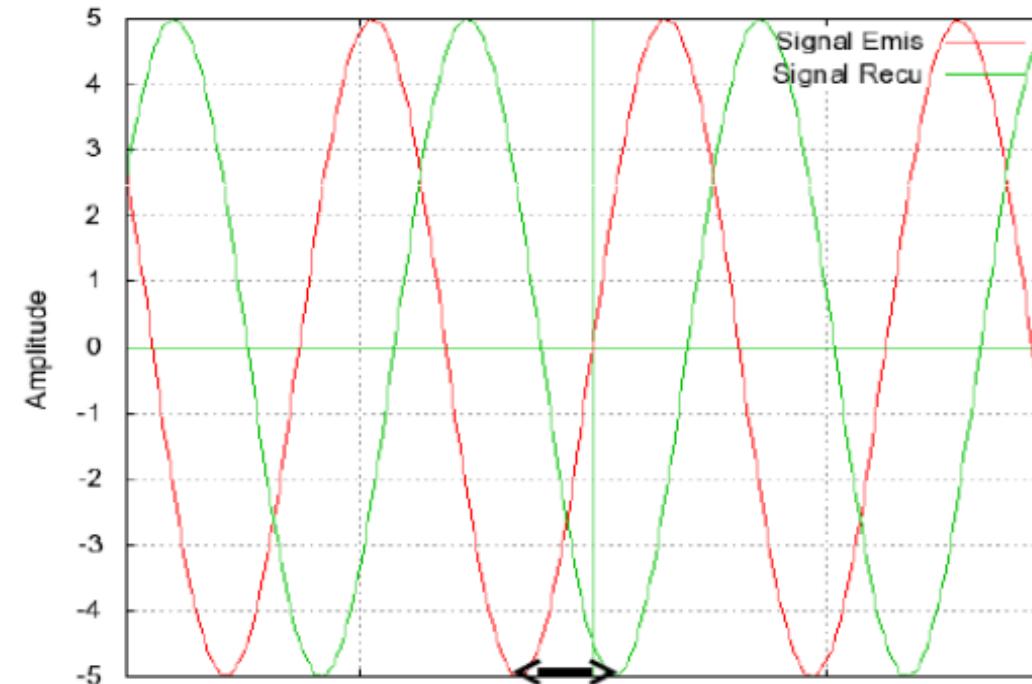
**Solution:** Use Amplifier



# Disturbances of the transmitted signal

## 2) Phase shift

Variation of the signal phase as a function of frequency. This also induces a Signal distortion.



# Disturbances of the transmitted signal

---

## 3) The noises

**The noise :** it is a disturbing signal that adds to the transmitted signal by causing errors on it.

The noise comes from the channel itself and its external environment (thermal variation, electromagnetic interference).

**Crosstalk :** noise added to the original signal of a conductor by the action of the magnetic field from another conductor.

Solution: remove cables or use a shield.

**The echo:** signal reflection due to an impedance matching problem.

Solution: echo canceller.

# Outline

---

- Main transmission elements
- Data & Signals
- Transmission Media
- Characteristics of transmission media
- Disturbances of the transmitted signal
- Transmission techniques: Baseband, Broadband
- Exercises

# Transmission techniques

---

**Need to adapt the transmission techniques to the characteristics of the support**

Two major transmission techniques

- 1. Baseband** (coded information transmitted directly to the channel)
- 2. Frequency transposition or broadband** (modulation) here the information is sent on a signal which will carry it then sent on the channel. → Frequency Transposition

# Transmission techniques

---

## 1. Transmission en bande de base

1. Utilisée dans les réseaux locaux
2. Permet d'obtenir des circuits de données à grand débit et faible portée (débit supérieur 1 Mb/s pour une distance inférieur à 1 Km)
3. Utiliser directement des supports physiques de type métallique (paire torsadées ou cable coaxiaux)
4. Les codage en bande de base vont essentiellement avoir pour rôle de diminuer la largeur de bande du signal binaire et de transposer celle-ci vers des fréquences plus élevés.
5. C'est l'ETCD qui réalise le codage en bande de base.

Permet de réduire la succession de zéro et de un (problèmes de synchronisation)

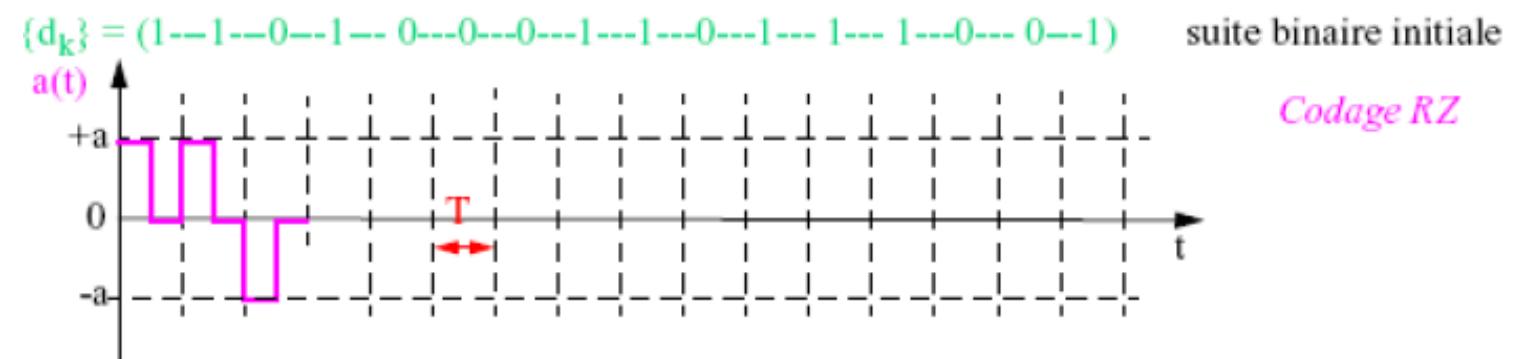
# Transmission techniques

The main codes used in a baseband transmission:

## 1) Codage RZ (Return To Zero)

- The signal returns to zero for each pulsation.
- Does not require the sending of a separate clock signal or any other source synchronization.
- Synchronization maintained in most cases.

Example :

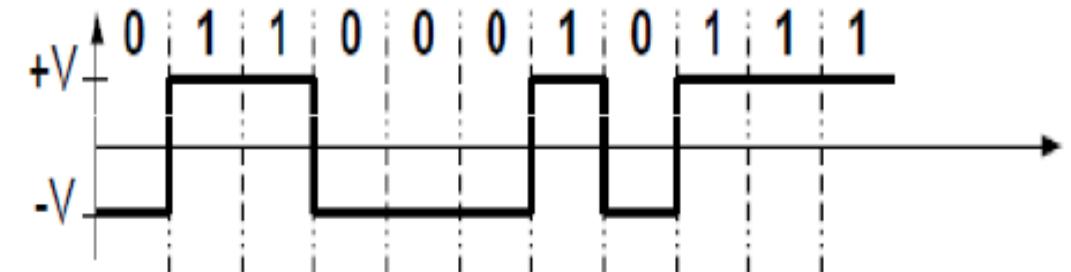


# Baseband transmission techniques

---

**2) Coding NRZ (No Return to Zero):** Consists of transforming 0 into -V and 1 into + V.

- Confusion problem solved (bit 0 and no data).
- **long sequence** of 0 or 1 (-V or + V):
- **Loss of synchronization** (clock rate).
- significant continuous component

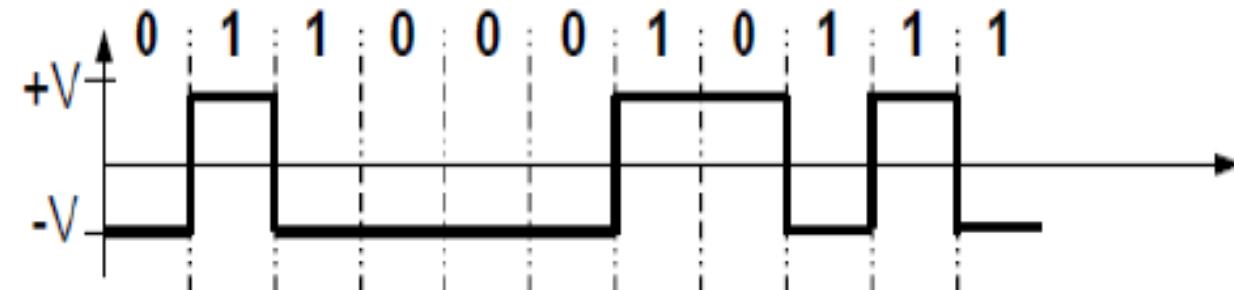


It is very close to the basic binary coding (0 logic coded by 0 volts and 1 logic is coded by a voltage of 5 Volts (example))

# Baseband transmission techniques

## 3) Coding NRZI (No Return to Zero Inverted):

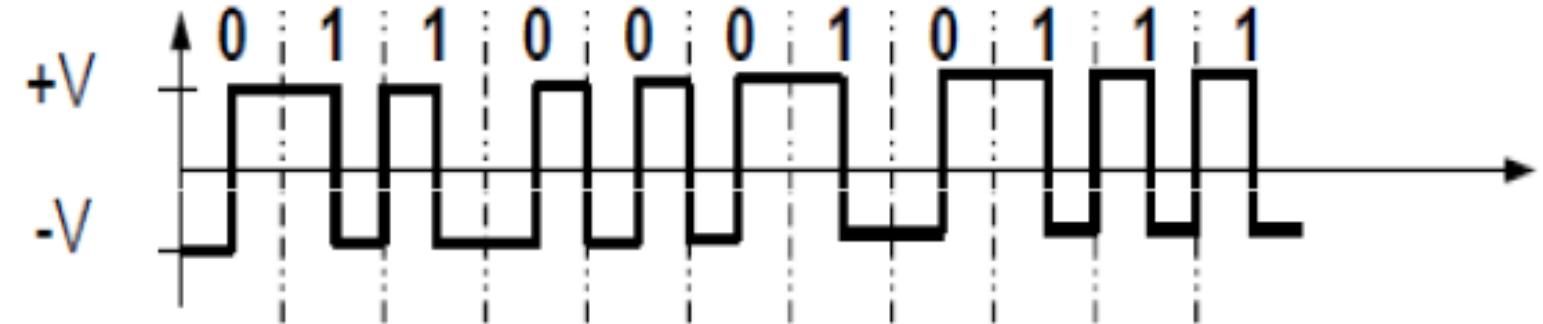
- When we have the bit '1' to transmit, we change the voltage level compared to the previous bit.
- To transmit the bit '0', we keep the same voltage level as the previous bit.
- Narrow spectrum but **same problem as NRZ** (synchronization and continuous component)



# Baseband transmission techniques

## 4) Manchester Coding : (Cause the transition for each each transmitted bit)

- A bit is encoded by a variation of voltage level.
- Bit '1' corresponds to the transition from + V to -V.
- Bit '0' corresponds to the transition from -V to + V.
- No problem of continuous component or synchronization but wider spectrum.
- Used in Ethernet networks.

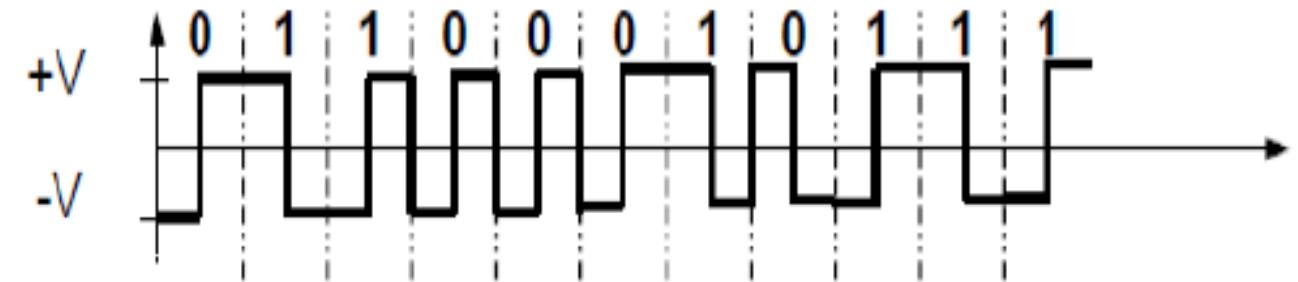


Provoquer une transition du signal pour chaque bit envoyé, pendant toute la durée du bit

# Baseband transmission techniques

## 5) Differential Manchester Coding :

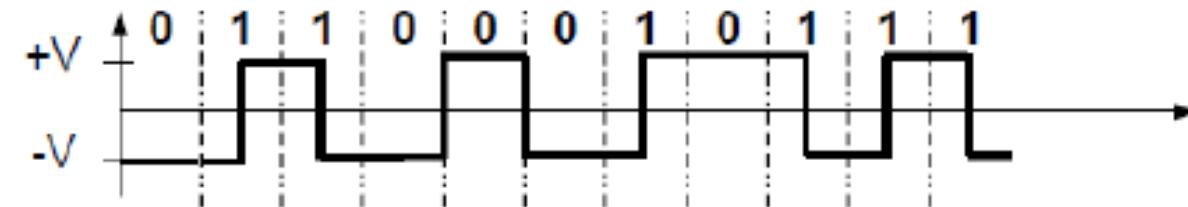
- A bit is encoded by a variation of the voltage level.
- Bit '0' corresponds to the transition from  $-V$  to  $+V$ .
- **Bit '1' does not change the voltage level at the beginning of clock cycle.**
- No problem of continuous component or synchronization but wider spectrum.
- Uses in Networks Token Ring Networks



# Baseband transmission techniques

## 6) Delay Mode Coding or Miller Code:

- When the bit is 1, a transition appears in the middle of the clock time.
- When the bit is 0, there is no transition.
- A transition appears at the end of bit '0' if it is followed by another '0'.
- Same advantages as Manchester in addition: reduced spectrum (Fewer transitions)

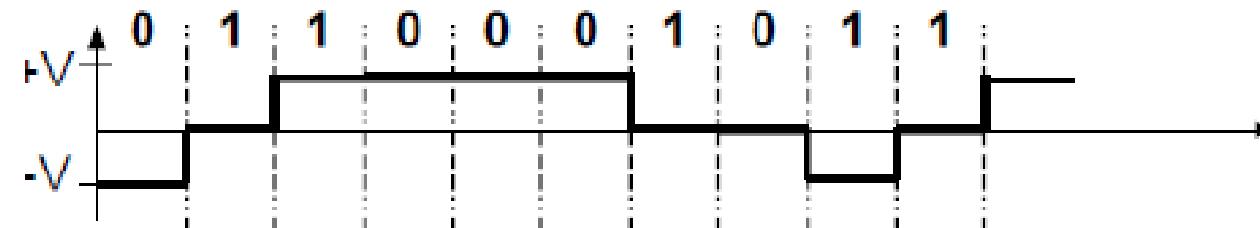


# Baseband transmission techniques

---

## 7) MLT3 coding (3 voltage levels) :

- When the bit is 1, a transition to the next level appears.
- Bit 1 can be successively coded by 3 voltage levels (+V, 0, -V).
- When the bit is at 0, keep the previous value of the voltage.
- Convention: initialization of the first transition (exp: rising edge).



3 niveaux de tensions (seul 1 font changer le signal d'état, zero conserve la valeur précédente transmise)

# Baseband transmission techniques

---

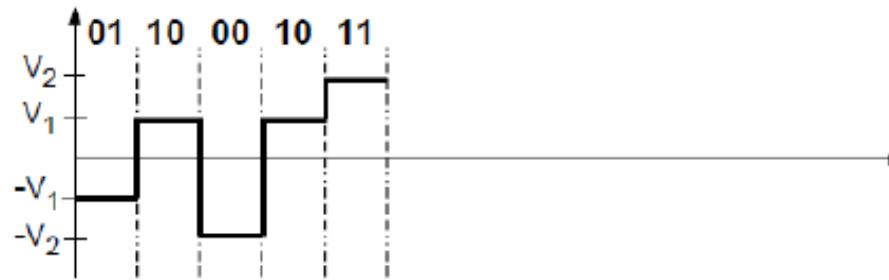
## 8) Code 2B / 1Q (2bits / 1 quaternary):

Each 2-bit block is represented by a voltage level among 4 possible levels (hence the quaternary name).

2 bits => 4 different symbols

Ex : 00 =>  $-V_2$ ; 01 =>  $-V_1$ ; 10 => $V_1$ ; 11 => $V_2$

- Allows the transmission rate to be increased: over a time interval, 2 bits are coded instead of one.
- Used in ADSL technology.



# Problem of baseband transmission

---

- Dégradation (pertes) du signal très rapide en fonction de la distance parcourue.
- Il n'est utilisé que dans les réseaux locaux à grande vitesse et à courte portée (distance <1 km).
- Pas de propagation pour les fréquences en dehors de la bande passante moyenne.

# Transmission techniques

---

## II. Broadband transmission

In some cases the signal spectrum is not adapted to the medium bandwidth.

Example: Electromagnetic wave transmission (high frequencies).

Need to translate the signal to another admissible frequency by the channel

Carrier frequency: → Modulation

To restore the information signal on the receiver side it is necessary to perform the reverse operation:

→ Demodulation

# Principle of modulation

---

The modulation is a signal processing operation that makes it adaptable for to a communication channel.

We distinguish :

- Amplitude Shift Keying (ASK)
- Frequency Shift Keying (FSK)
- Phase Shift Keying (PSK)

*The modulation transforms any initial signal into a signal adapted to the communication medium employed.*

*The signal is obtained by varying sine wave parameters.*

*The sinusoidal signal is centered around a frequency  $f$  called reference wave or carrier.*

# Why Different Modulation Methods?

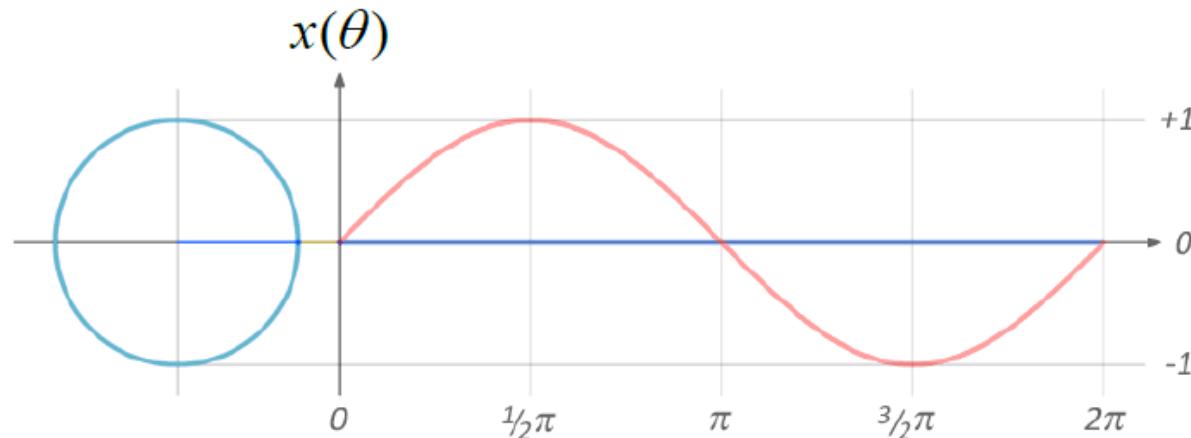
---

- Offre des choix avec différents compromis:
  - Transmitter/Receiver complexity
  - Power requirements
  - Bandwidth
  - Medium (air, copper, fiber, ...)
  - Noise immunity
  - Range
  - Multiplexing

# Sine Periodic signal

---

- The signal representation form by sine function:
- The sine function to build a wave,
- This function expresses a length from an angle.

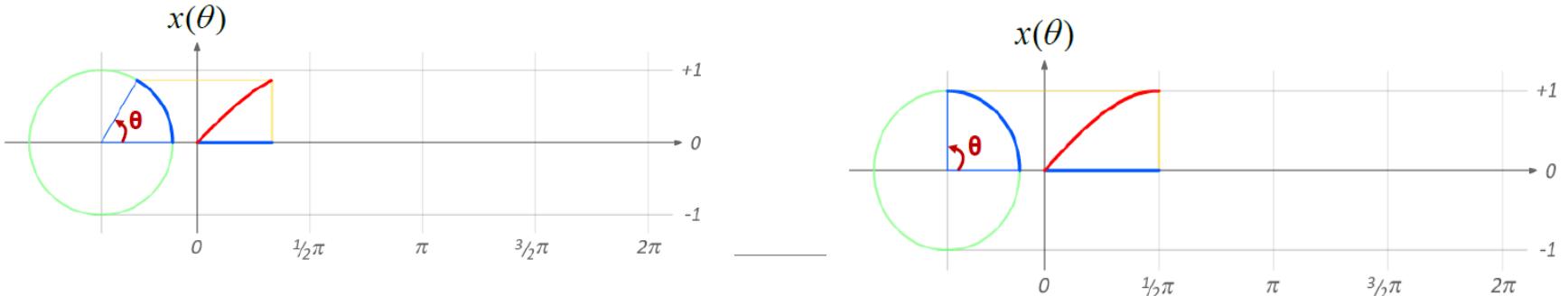


Valeur de l'angle ⇔  
 Déplacement sur un  
 cercle de rayon 1

« Déroulage » du cercle sur  
 un plan en fonction de l'angle  
 en radian

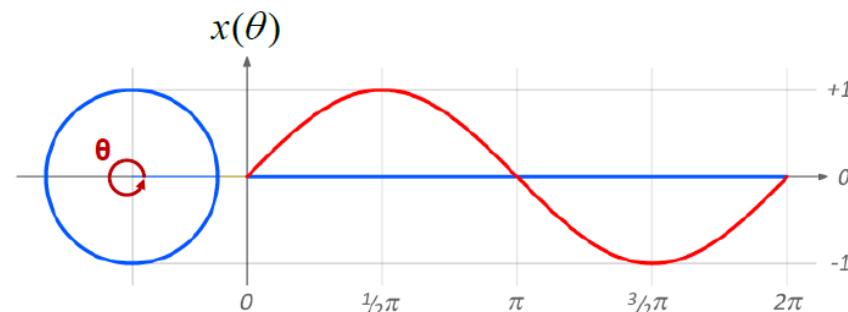
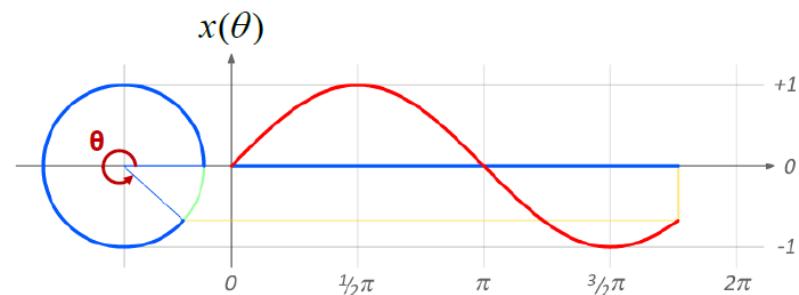
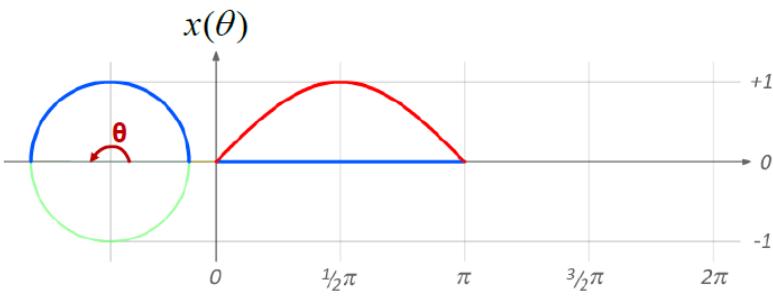
$$x(\theta) = \sin(\theta)$$

## Sine wave



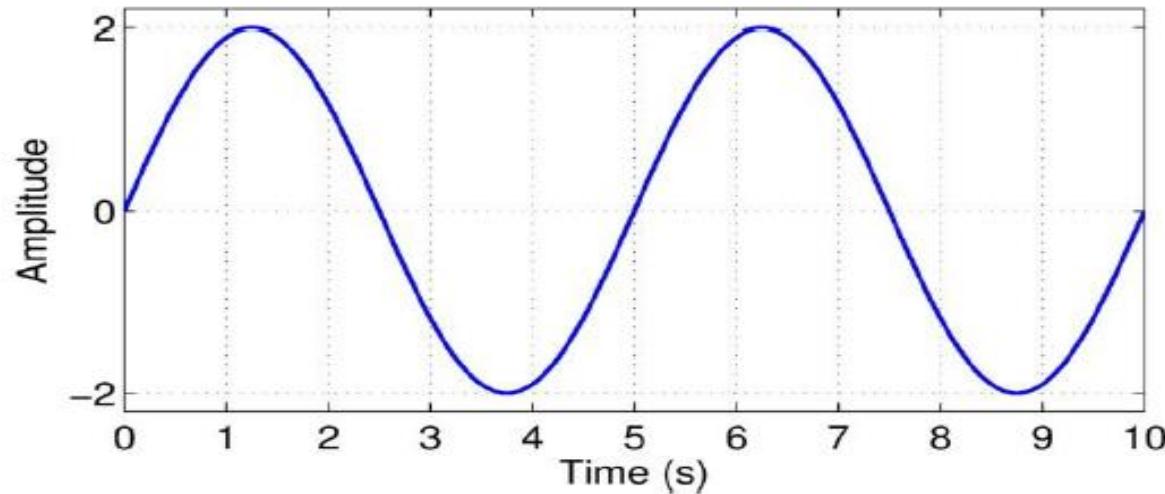
$$x(\theta) = \sin(\theta)$$

$$x(\theta) = \sin(\theta)$$



# Sine wave simple

---



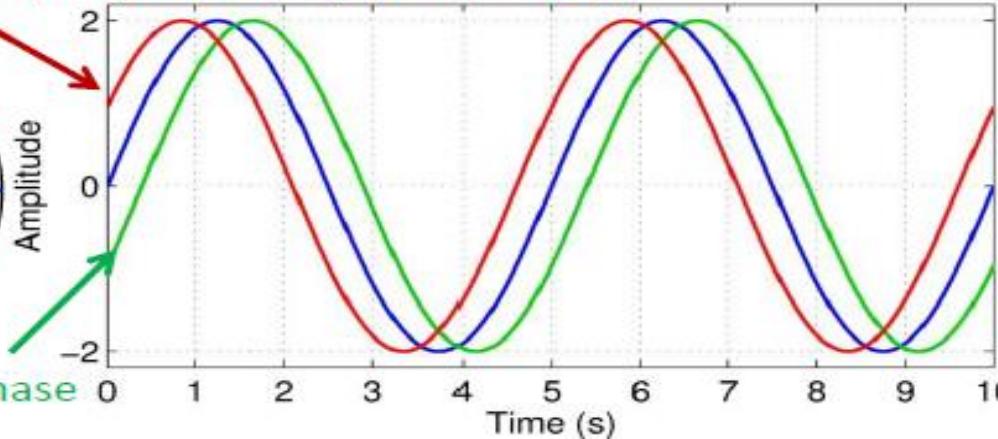
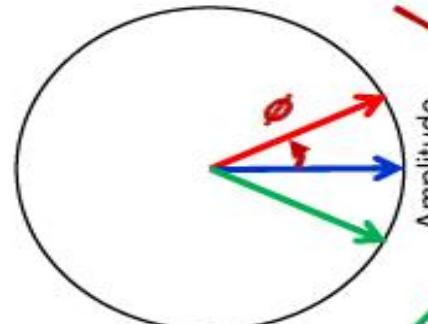
Amplitude  $A$  :  $\pm 2$   
 Période  $T$  de 5 s

$$x(t) = 2 \sin\left(\frac{2\pi}{5} t\right)$$

# Dephasing waveform

Où l'onde commence par rapport au cycle de l'oscillation

Avance de phase (le cycle est déjà commencé)



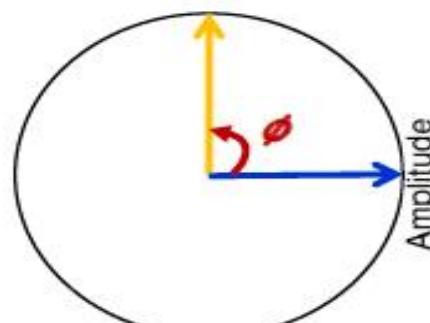
Retard de phase

$$x(t) = 2 \sin\left(\frac{2\pi}{5}t + \phi\right)$$

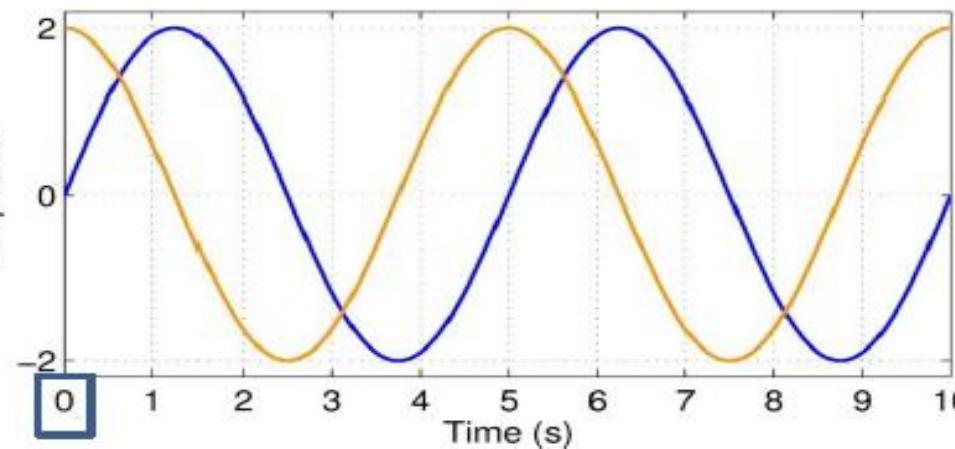
$\phi = +0.5 \text{ rad}$

$\phi = 0 \text{ rad}$

$\phi = -0.5 \text{ rad}$



Représentation avec le cercle des angles



$\phi = 0 \text{ rad}$

$\phi = \pi/2 \text{ rad}$

(90°) Cosinus

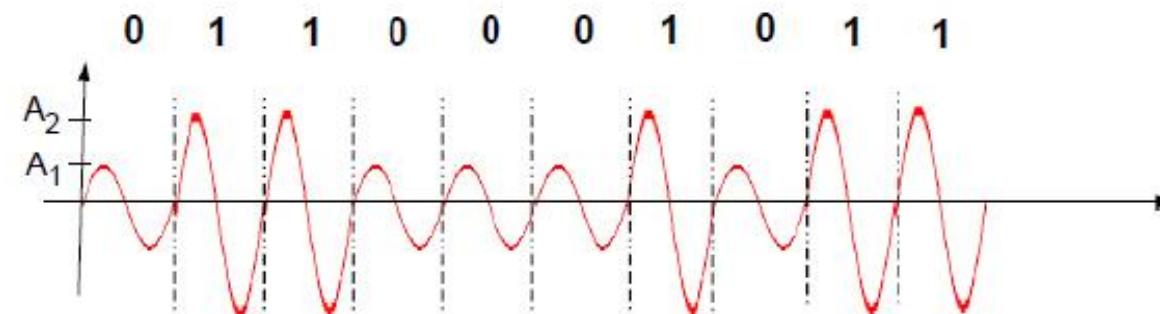
"on a déroulé un peu trop en avance"

# Amplitude Shift Keying ASK

---

Represent each bit by a value of the amplitude carrier.

Ex : bit '0' =>  $A = A_1$  ; bit '1' =>  $A = A_2$

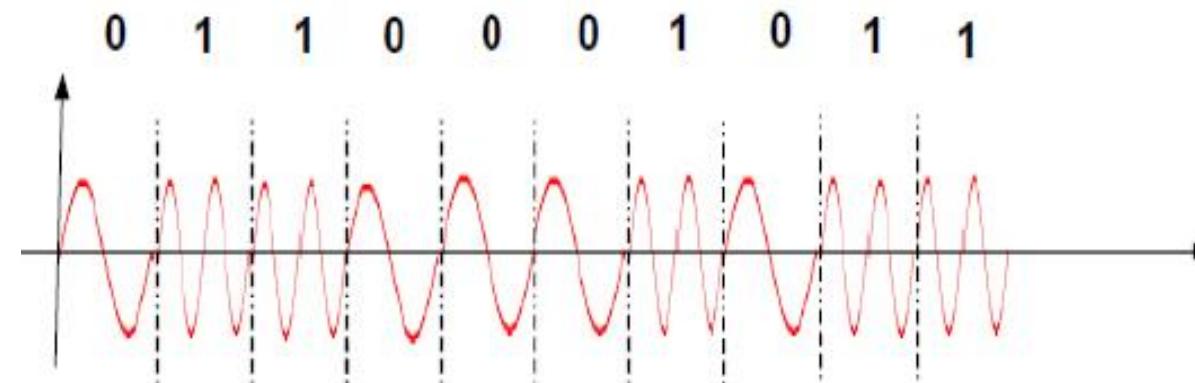


# Frequency Shift Keying (FSK)

---

Represent each bit by a frequency of the carrier (around  $f_0$ ).

Ex : bit '0' =>  $f = f_1$  ; bit '1' =>  $f = f_2$



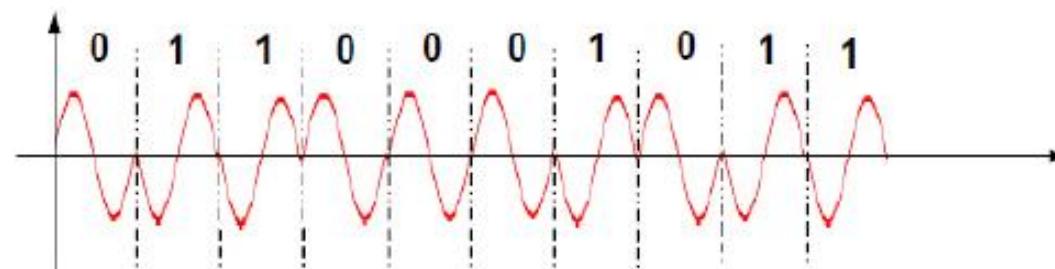
# Phase Shift Keying (PSK)

---

Represent each bit by one phase of the carrier.

2 possible states (bit 0 or 1) => 2 different phase values (hence the name BPSK: BinaryPSK).

Ex : bit '0' =>  $\phi=0$  : bit '1' =>  $\phi=\pi$ .



# Exercise 2

---

Represent the encoding of the binary sequence: 010111010011

- With a Miller coding
- With a Manchester coding
- With NRZ coding